

Téma 4

Výpočet přímého nosníku

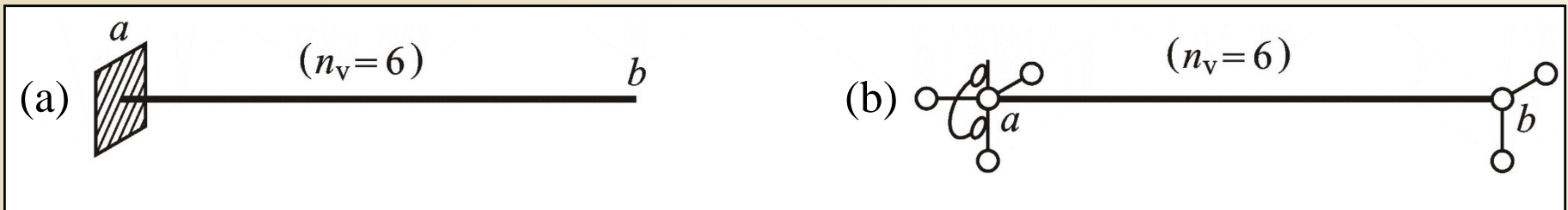
- Výpočet nosníku v osově úloze
- Výpočet nosníku v příčné úloze ve svislé a vodorovné hlavní rovině
- Výpočet nosníku v krutové úloze
- Výpočet nosníku v rovinné úloze
- Výpočet nosníku v prostorové úloze

Výpočet nosníku v prostorové úloze

Statically určitý nosník v prostoru musí být podepřen $n_v=6$ jednoduchými vnějšími vazbami, které musí být správně uspořádány, aby nevznikl výjimečný případ podepření.

Přímý nosník musí být podepřen a může být zatížen obecně v prostoru – tzv. prostorová úloha. Prostorové zatížení lze rozložit:

- silové složky působící v ose nosníku
- silové složky kolmé k ose nosníku a momenty v 1.hlavní rovině prutu
- silové složky kolmé k ose nosníku a momenty ve 2.hlavní rovině prutu
- momenty v rovinách kolmých k ose prutu



Statically určité nosníky v prostorové úloze

Obr. 7.51. / str. 123

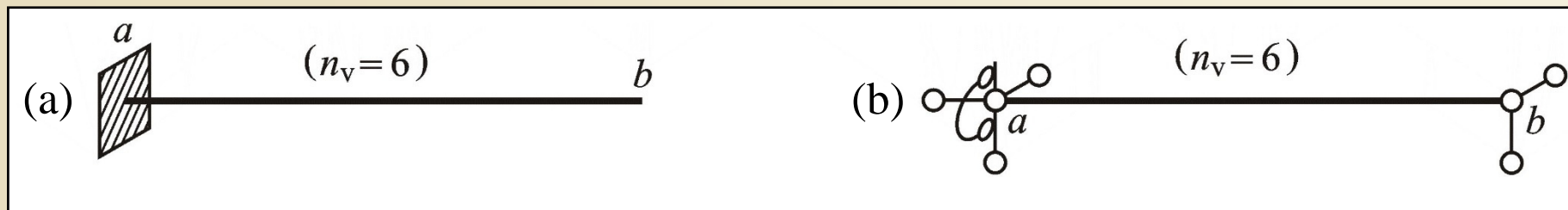
Výpočet nosníku v prostorové úloze

Výpočet prostorově zatíženého a prostorově podepřeného nosníku lze zjednodušit rozložením na 4 jednodušší úlohy:

- osová úloha (namáhání **tahem** nebo **tlakem**)
- příčná úloha v 1.hlavní rovině (**příčný ohyb v 1.hlavní rovině**)
- příčná úloha ve 2.hlavní rovině (**příčný ohyb ve 2.hlavní rovině**)
- krutová úloha (namáhání **kroucením**)

Postup výpočtu má dvě hlavní etapy:

- výpočet složek reakcí ve vnějších vazbách**
- výpočet vnitřních sil nosníku**



Statically determinate beams in spatial problems

Obr. 7.51. / str. 123

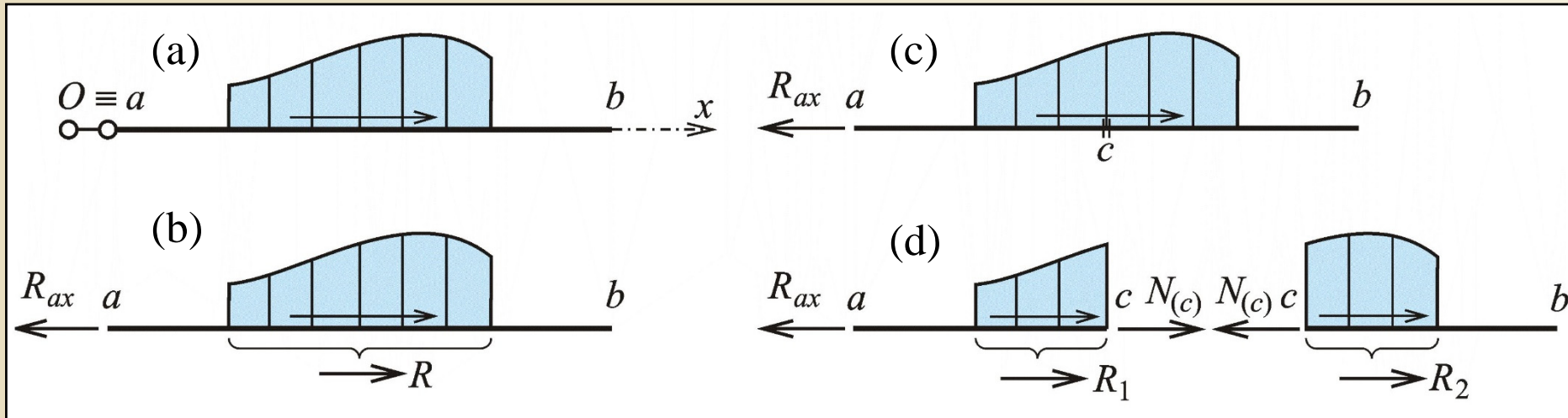
Výpočet nosníku v osově úloze

Jedna vnější vazba – jediná složka reakce ($n_v = 1$) z podmínky rovnováhy:

$$-R_{ax} + R = 0 \Rightarrow R_{ax} - R = 0 \Rightarrow R_{ax} = R$$

Jediná složka vnitřních sil – **normálová síla**.

Normálová síla N osově namáhaného nosníku v zadaném průřezu je rovna výslednici všech sil, které na nosník působí po jedné straně zadaného průřezu.

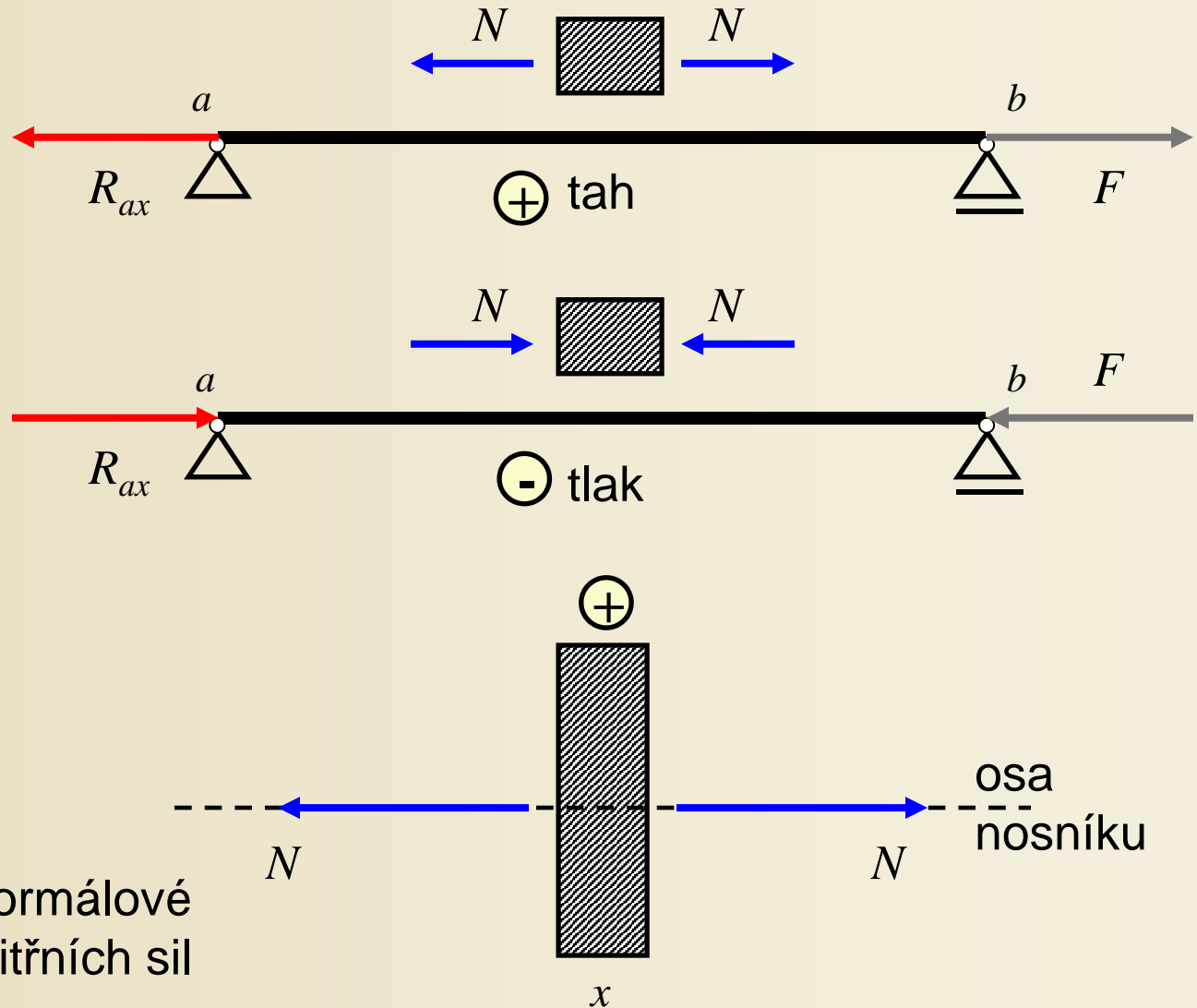


Výpočet reakce a normálové síly v osově úloze

Obr. 7.1. / str. 90

Normálová síla N

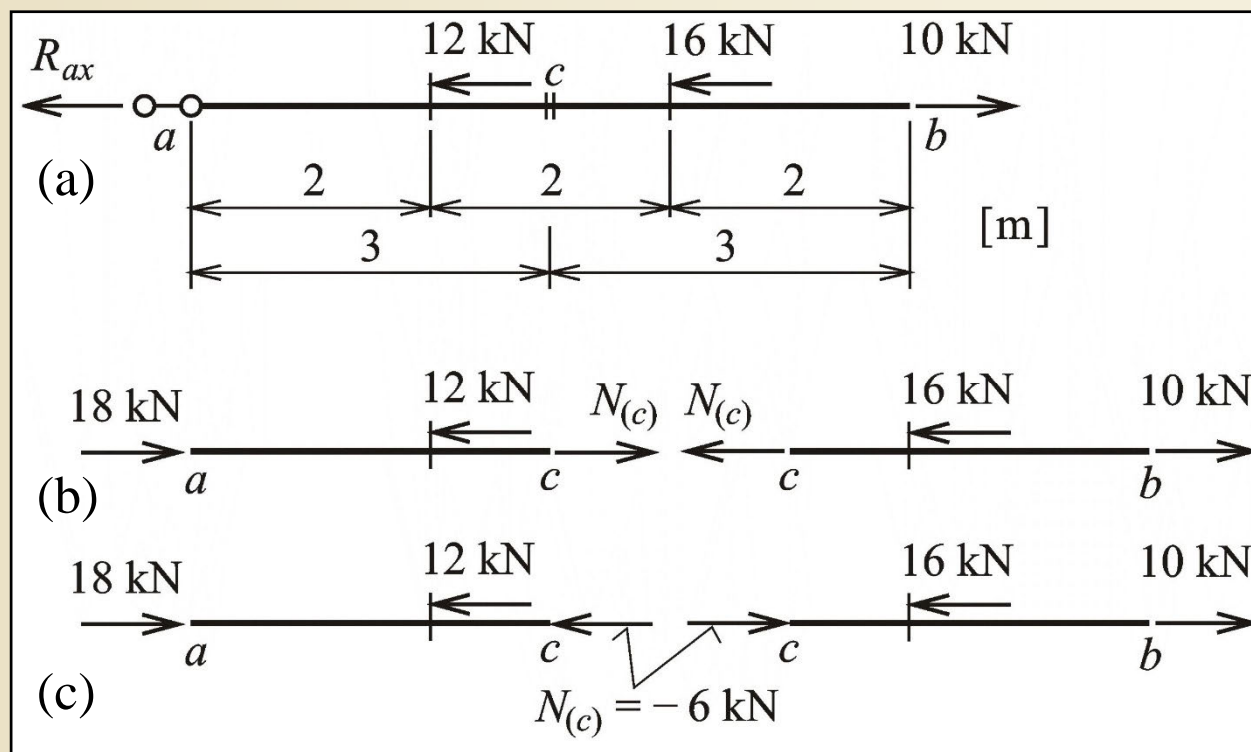
Normálová síla je kladná (tahová), má-li výslednice smysl **od** zadaného průřezu (tj. při postupu z levé strany doleva, při postupu z pravé strany doprava). V opačném případě je normálová síla záporná (tlaková).



Kladný směr normálové složky vnitřních sil

Příklad 4.1

Zadání: určit reakci R_{ax} a normálovou sílu v průřezu c



Zadání a řešení příkladu 4.1

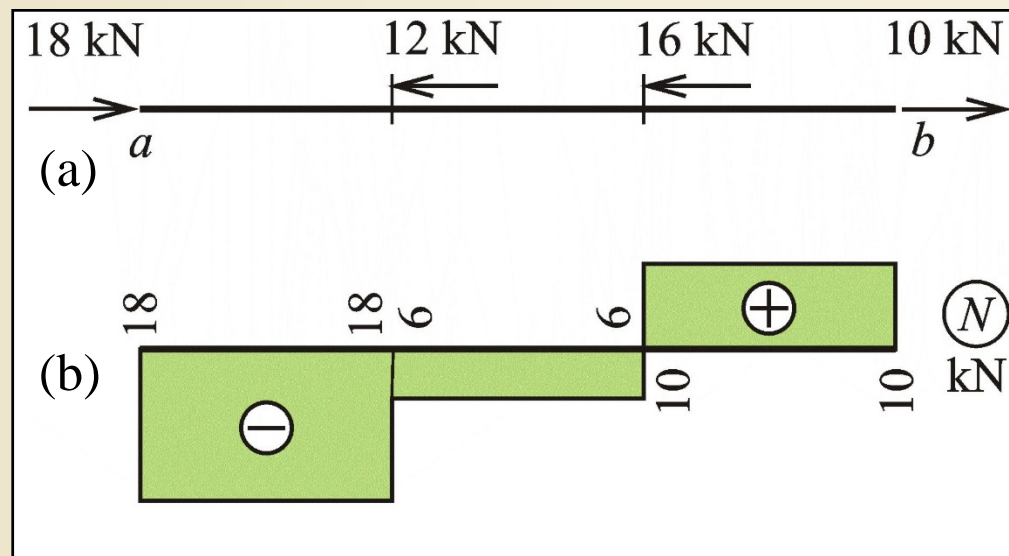
Obr. 7.2. / str. 90

Příklad 4.2

Zadání: sestrojit průběh normálových sil N

Normálová síla v průřezu, kde působí bodová (osamělá) osová síla, je určena ve dvou soumezných průřezích zleva a zprava od působíště bodové síly. Obě normálové síly se liší o hodnotu bodové síly, normálová síla se mění skokem.

Průběh normálových sil po celé délce se znázorňuje graficky formou diagramu (grafu).

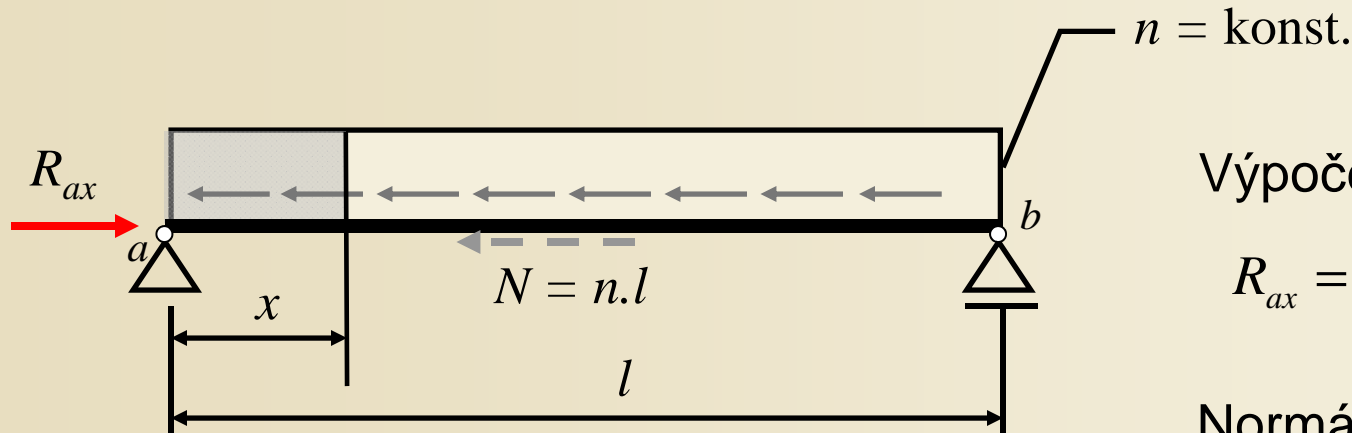


Řešení příkladu 4.2

Obr. 7.3. / str. 91

Nejjednodušší zatěžovací stavy prostých nosníků

Při působení spojitého osového zatížení se reakce určí pomocí výslednice celého spojitého zatížení – plocha zatěžovacího obrazce (obecně integrace, u jednoduchých obrazců elementární vzorce geometrie).
Obdobně se při výpočtu normálové síly určí dílčí výslednice spojitého zatížení vlevo nebo vpravo od uvažovaného průřezu.



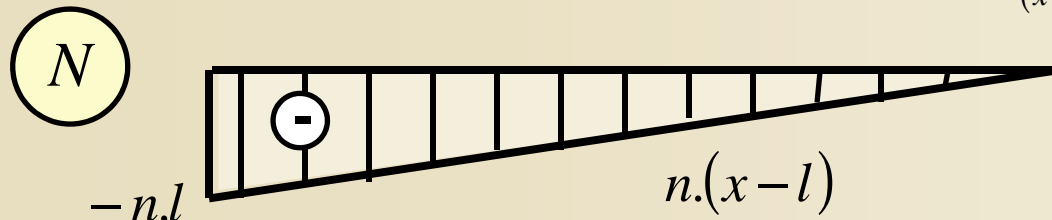
Výpočet reakcí

$$R_{ax} = N = n.l(\rightarrow)$$

Normálová síla

$$N_{(x)}^L = -R_{ax} + n.x = -n.l + n.x = n.(x - l)$$

$$N_{(a)} = -R_{ax} = -n.l$$



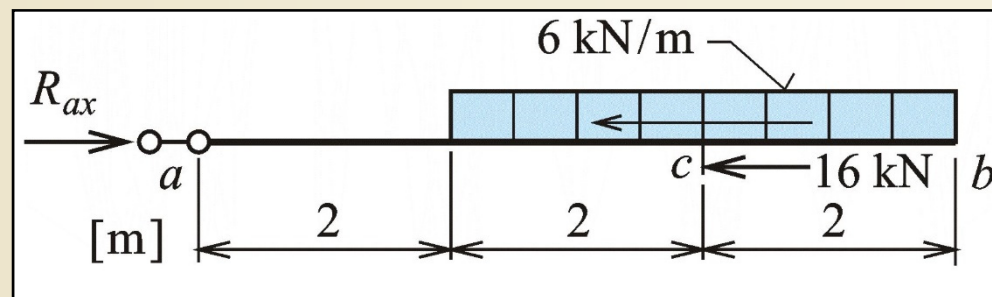
Příklad 4.3

Zadání: určit velikost reakce R_{ax} a velikost normálové síly v soumězných průřezích zleva a zprava od průřezu c .

$$R_{ax} = 6.4 + 16 = 40\text{kN}$$

$$N_{(c1)} = -40 + 6.2 = -28\text{kN}$$

$$N_{(c2)} = -2.6 = -12\text{kN}$$



Zadání příkladu 4.3

Obr. 7.4. / str. 92

Výpočet normálových sil

a) rovnoměrné zatížení $n = \text{konst.}$ $R_{\bar{x}} = n \cdot \bar{x}$

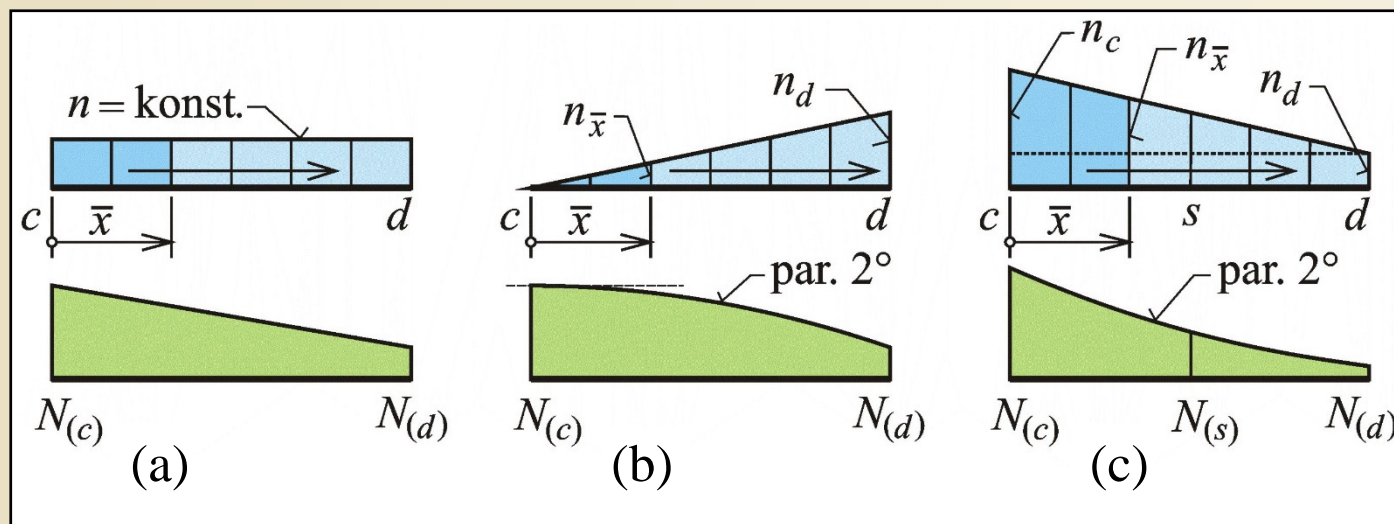
$$N_{(\bar{x})} = N_{(c)} - n \cdot \bar{x}$$

b) trojúhelníkové zatížení (b je délka části cd)

$$n_d, n_{\bar{x}} = n_d \cdot \frac{\bar{x}}{b} \quad R_{\bar{x}} = \frac{1}{2} \cdot \bar{x} \cdot n_{\bar{x}} = \frac{n_d \cdot \bar{x}^2}{2 \cdot b}$$

$$N_{(\bar{x})} = N_{(c)} - \frac{n_d \cdot \bar{x}^2}{2 \cdot b}$$

c) lichoběžníkové zatížení – složené z rovnoběžného a trojúhelníkového

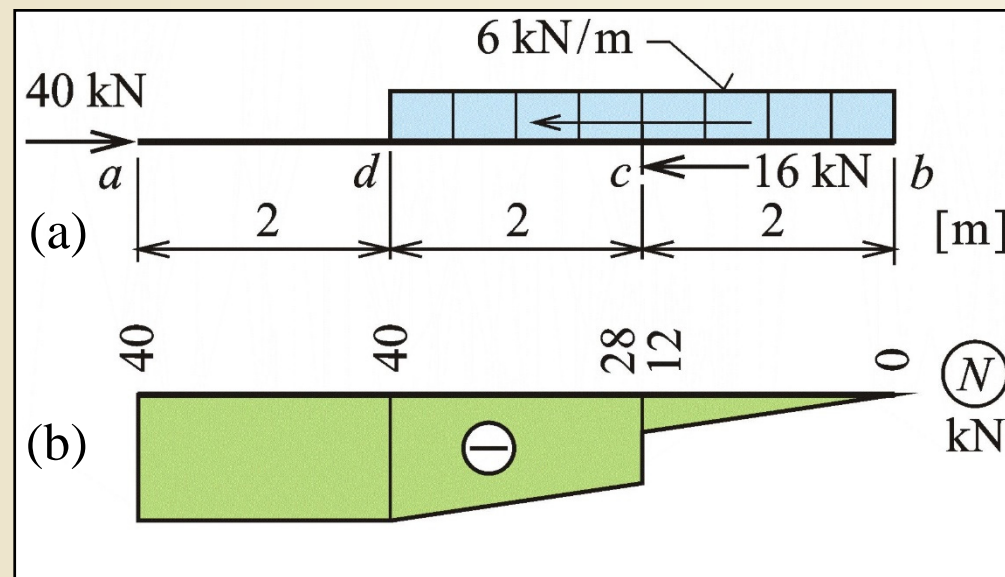


Průběhy normálových sil pod spojitým osovým zatížením

Obr. 7.5. / str. 92

Příklad 4.4

Zadání: sestrojit průběh normálových sil N



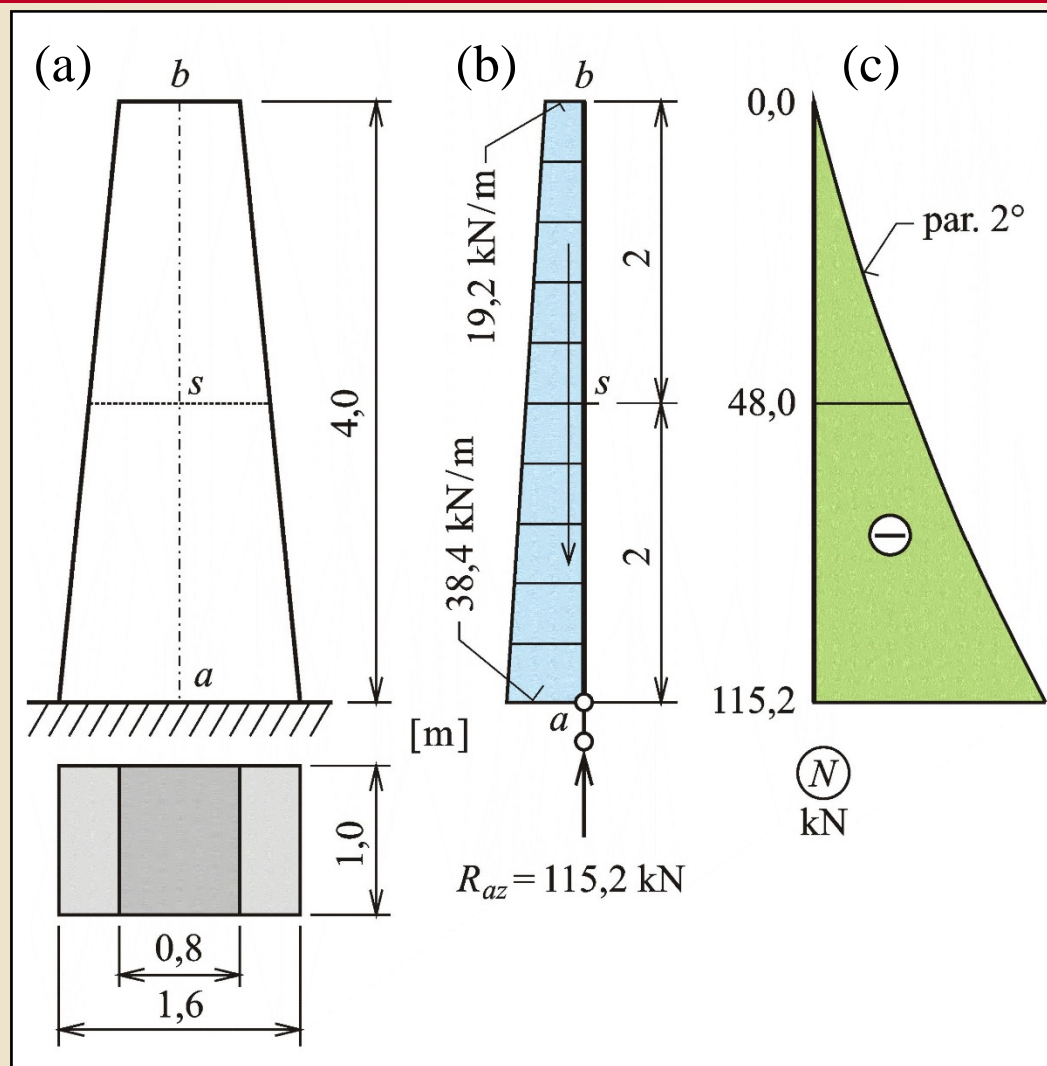
Řešení příkladu 4.4

Obr. 7.6. / str. 93

Příklad 4.5

Zadání: obdélníkový průřez s lineárně proměnnou výškou průřezu, měrná hmotnost staviva $\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$, zatížení pouze vlastní tíhou.

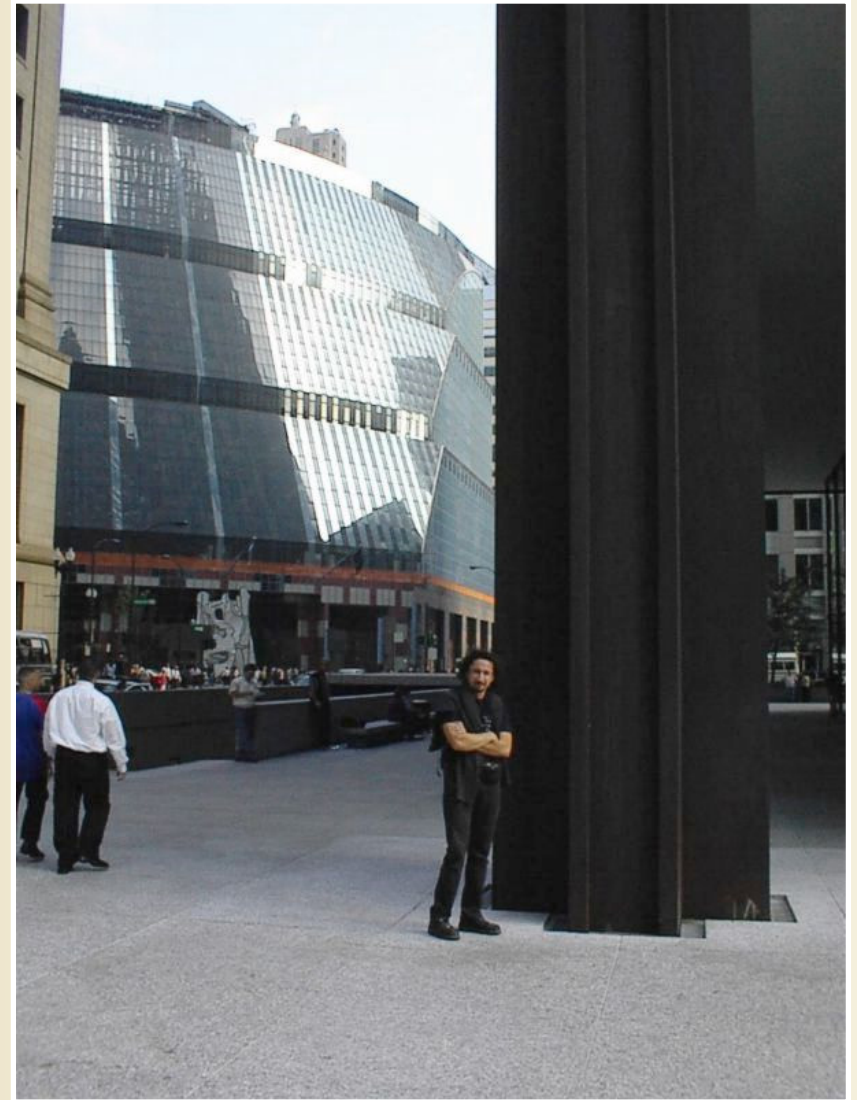
Předmět výpočtu: reakce sloupu a průběh normálových sil.



Zadání a řešení příkladu 4.5

Obr. 7.7. / str. 94

Nosník v osově úloze - sloup



Odstupňovaný průřez sloupu Richard Daley Center v Chicagu z roku 1965

Nosník v osově úloze - sloup



Odstupňovaný průřez sloupu Richard Daley Center v Chicagu z roku 1965

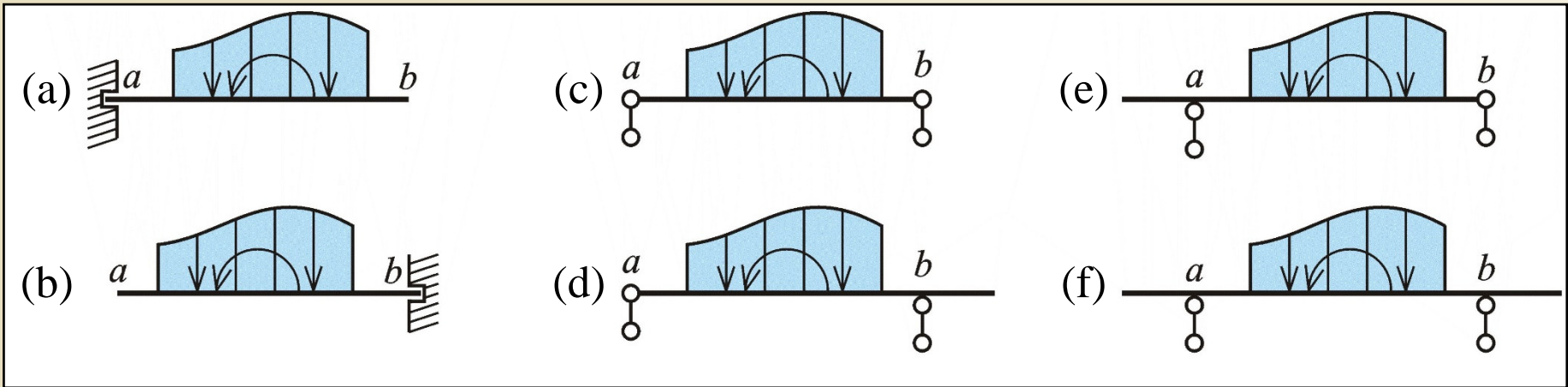
Výpočet nosníku v příčné úloze

Zatížení libovolným příčným zatížením s trojím způsobem podepření ($n_v=2$):

a) konzola posuvně vetknutá vlevo nebo vpravo

b) prostý nosník podepřený na obou koncích vazbami proti svislému posunu

c) prostý nosník s převislými konci

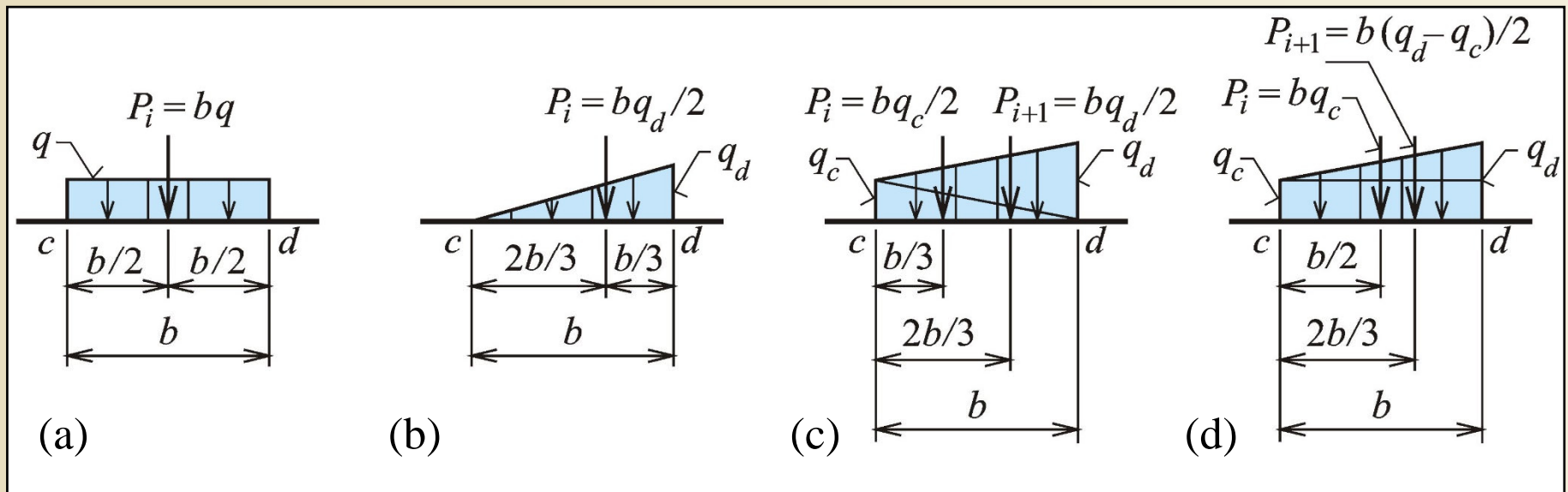


Druhy přímých nosníků v příčné úloze

Obr. 7.9. / str. 95

Výpočet nosníku v příčné úloze

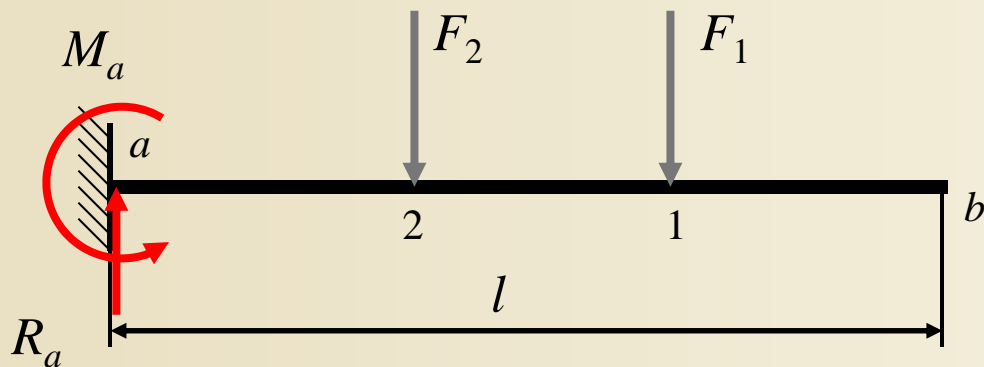
Při působení spojitého zatížení se reakce určí pomocí výslednice celého spojitého zatížení – plocha zatěžovacího obrazce (obecně integrace, u jednoduchých obrazců elementární vzorce geometrie), která má působíště v těžišti zatěžovacího obrazce.



Náhradní síly za spojitá zatížení v příčné úloze přímého prutu

Obr. 7.10. / str. 96

Reakce konzoly posuvně vetknuté vlevo



Výpočet reakcí pomocí podmínek rovnováhy:

1. $R_z = 0 \Rightarrow R_a$

2. $\sum M_{ia} = 0 \Rightarrow M_a$

Kladné znaménko vypočtené složky reakce potvrzuje její předpokládaný smysl, záporné znaménko udává, že skutečný smysl složky reakce je opačný, než byl předpokládán.

Reakce konzoly posuvně vetknuté vlevo

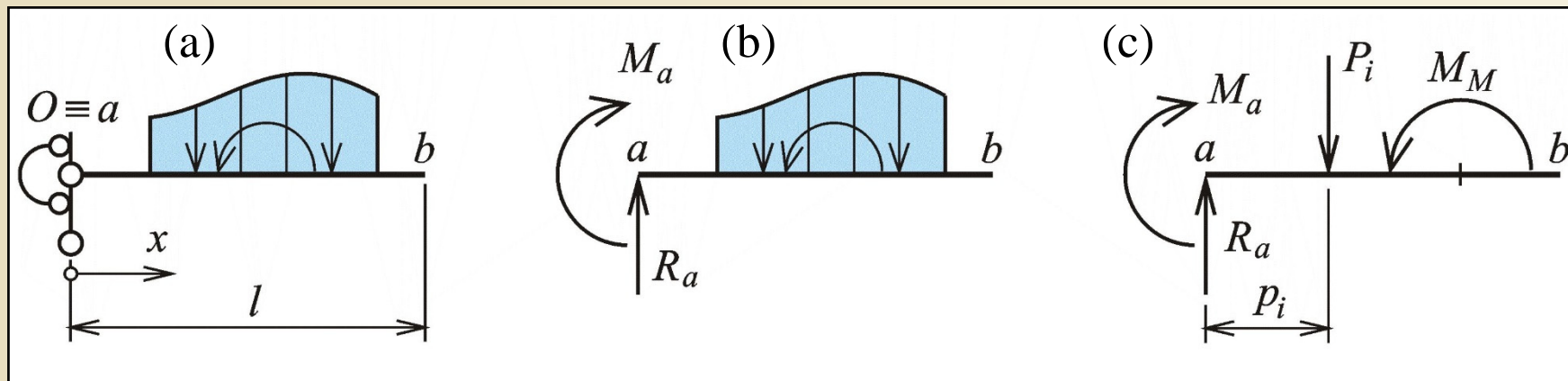
Výpočet reakcí pomocí podmínek rovnováhy:

1. $R_z = 0$

$$R_a - \sum P_i = 0 \Rightarrow R_a = \sum P_i$$

2. $\sum M_{ia} = 0$

$$M_a + \sum P_i \cdot p_i - M_M = 0 \Rightarrow M_a = -\sum P_i \cdot p_i + M_M$$

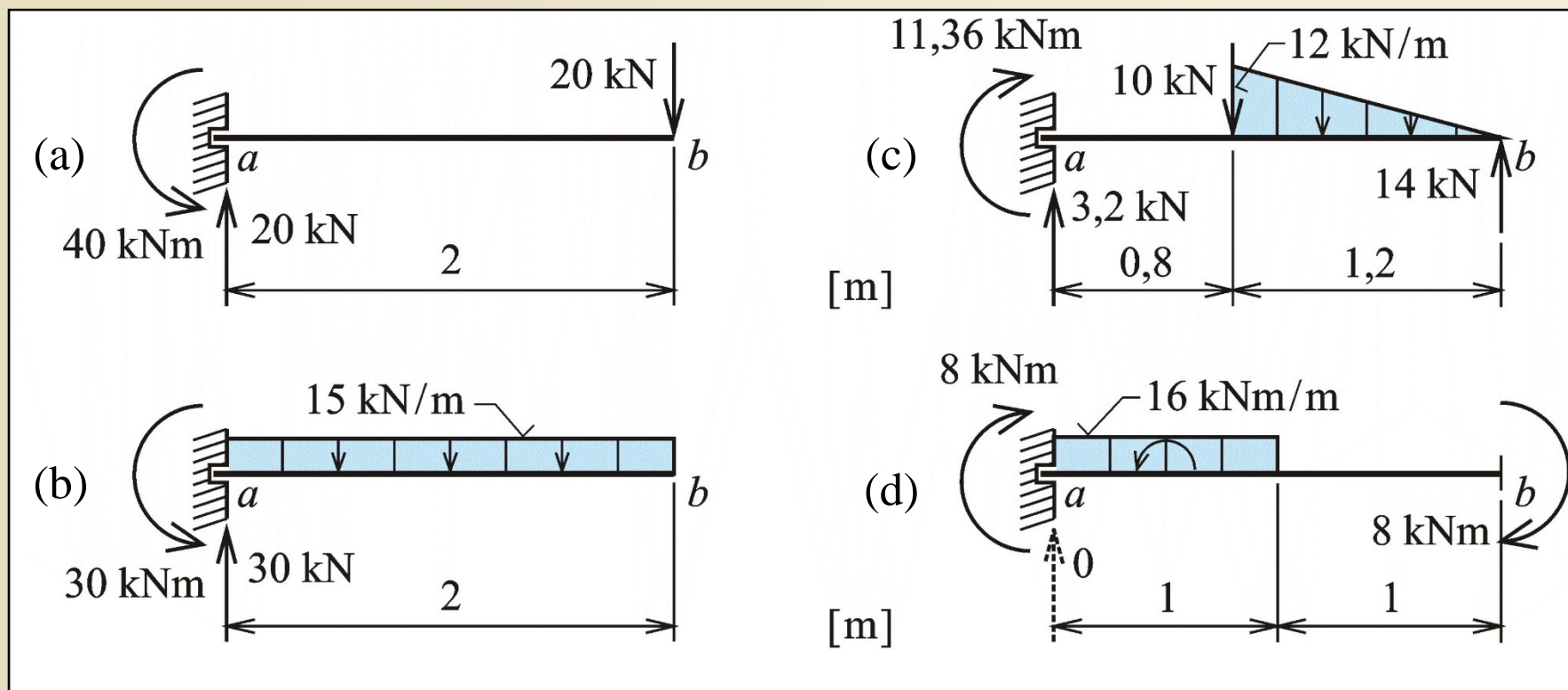


Složky reakce konzoly vlevo vetknuté a schéma upraveného zatížení

Obr. 7.11. / str. 96

Příklad 4.6

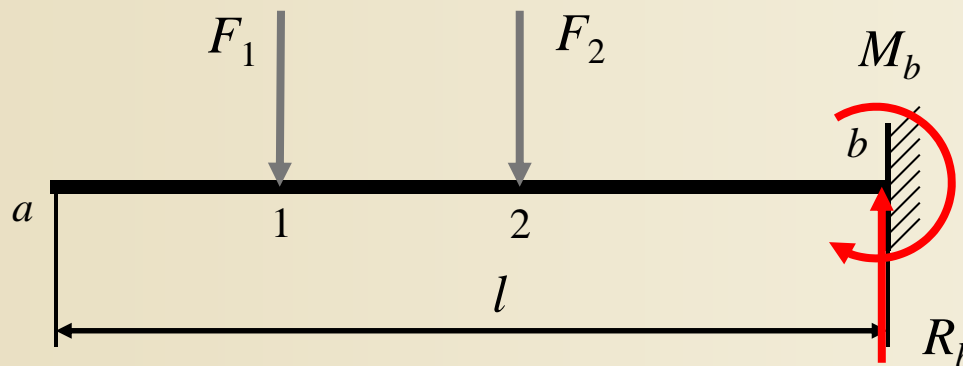
Zadání: určit složky reakcí pro čtyři zatěžovací stavy těže konzoly



Zadání a řešení příkladu 4.6

Obr. 7.12. / str. 97

Reakce konzoly posuvně vetknuté vpravo



Výpočet reakcí pomocí podmínek rovnováhy:

1. $R_z = 0 \Rightarrow R_b$

2. $\sum M_{ib} = 0 \Rightarrow M_b$

Kladné znaménko vypočtené složky reakce potvrzuje její předpokládaný smysl, záporné znaménko udává, že skutečný smysl složky reakce je opačný, než byl předpokládán.

Reakce konzoly posuvně vetknuté vpravo

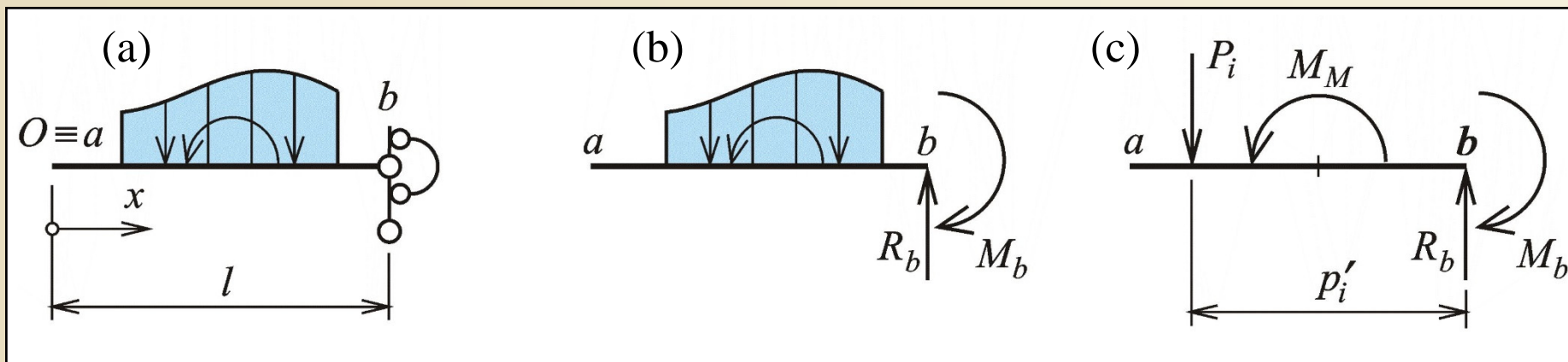
Výpočet reakcí pomocí podmínek rovnováhy:

1. $R_z = 0$

$$R_b - \sum P_i = 0 \Rightarrow R_b = \sum P_i$$

2. $\sum M_{ib} = 0$

$$M_b - \sum P_i \cdot p_i - M_M = 0 \Rightarrow M_b = \sum P_i \cdot p_i + M_M$$

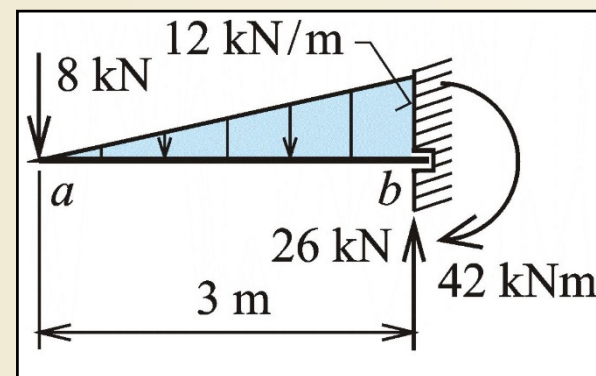


Složky reakce konzoly vpravo vetknuté a schéma upraveného zatížení

Obr. 7.13. / str. 97

Příklad 4.7

Zadání: určit složky reakcí pro uvedený zatěžovací stav



Zadání a řešení příkladu 4.7

Obr. 7.14. / str. 98

Ukázky konzolových nosníků



Chodníková konzola mostní konstrukce

Ukázky konzolových nosníků



Chodníková konzola mostní konstrukce

Ukázky konzolových nosníků



Betonový skelet a ocelová kopule pavilonu C, Brněnské výstaviště

Ukázky konzolových nosníků



Konstrukce schodiště pavilonu C, Brněnské výstaviště

Ukázky konzolových nosníků



Konstrukce schodiště pavilonu C, Brněnské výstaviště

Ukázky konzolových nosníků



Konzolový nosník konstrukce schodiště pavilonu C, Brněnské výstaviště

Ukázky konzolových nosníků



Konzolový nosník podepření technologického mostu dolu ČSA v Karviné

Ukázky konzolových nosníků



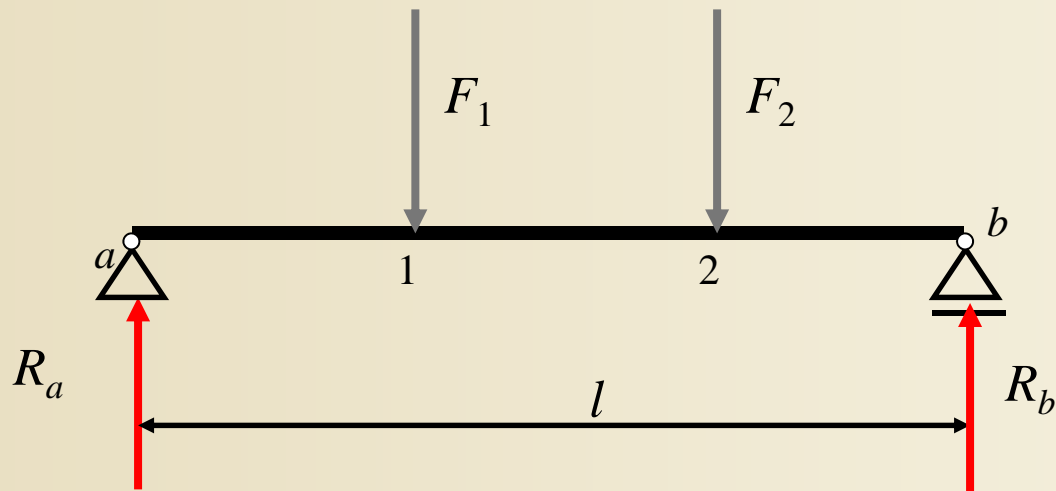
Nosná konstrukce plošiny, Výzkumné energetické centrum VŠB-TU Ostrava

Ukázky konzolových nosníků



Nosná konstrukce plošiny, Výzkumné energetické centrum VŠB-TU Ostrava

Reakce prostého nosníku bez převislých konců



Výpočet reakcí pomocí podmínek rovnováhy:

1. $\sum M_{ia} = 0 \Rightarrow R_b$
2. $\sum M_{ib} = 0 \Rightarrow R_a$
3. $R_z = 0$ kontrola

Kladné znaménko vypočtené složky reakce potvrzuje její předpokládaný smysl, záporné znaménko udává, že skutečný smysl složky reakce je opačný, než byl předpokládán.

Reakce prostého nosníku bez převislých konců

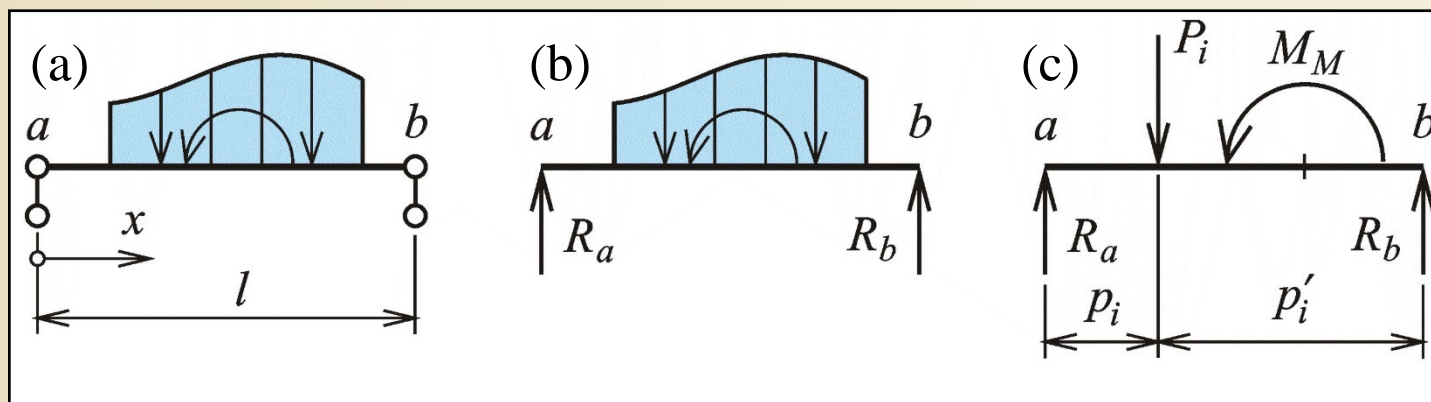
Výpočet reakcí pomocí podmínek rovnováhy:

$$1. \quad \sum M_{ib} = 0 \quad R_a \cdot l - \sum P_i \cdot p'_i - M_M = 0 \Rightarrow R_a = \frac{1}{l} (\sum P_i \cdot p'_i + M_M)$$

$$2. \quad \sum M_{ia} = 0 \quad R_b \cdot l - \sum P_i \cdot p_i + M_M = 0 \Rightarrow R_b = \frac{1}{l} (\sum P_i \cdot p_i - M_M)$$

Kontrola:

$$3. \quad R_z = 0 \Rightarrow R_a + R_b = \sum P_i$$

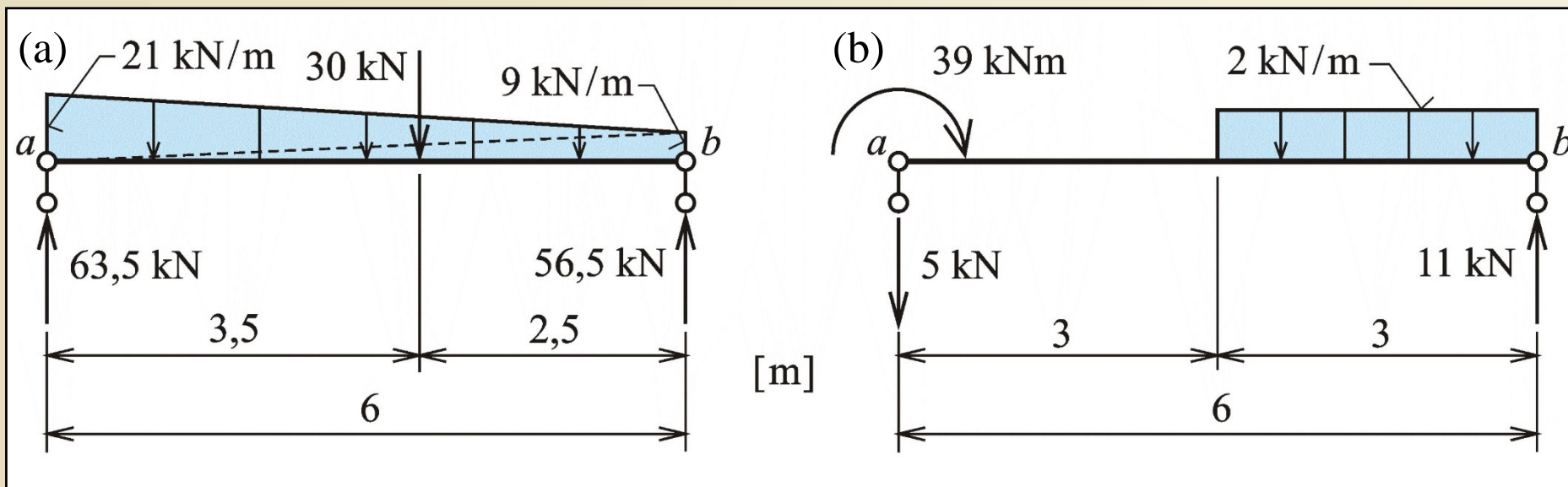


Reakce prostého nosníku a schéma upraveného zatížení

Obr. 7.15. / str. 98

Příklad 4.8

Zadání: určit složky reakcí pro dva zatěžovací stavy téhož nosníku



Zadání a řešení příkladu 4.8

Obr. 7.16. / str. 99

Ukázky prostých nosníků



Prosté nosníky železobetonového skeletu, Albert, Ostrava-Poruba

Ukázky prostých nosníků



Prosté nosníky železobetonového skeletu, Interspar, Ostrava-Poruba

Reakce prostého nosníku s převislými konci

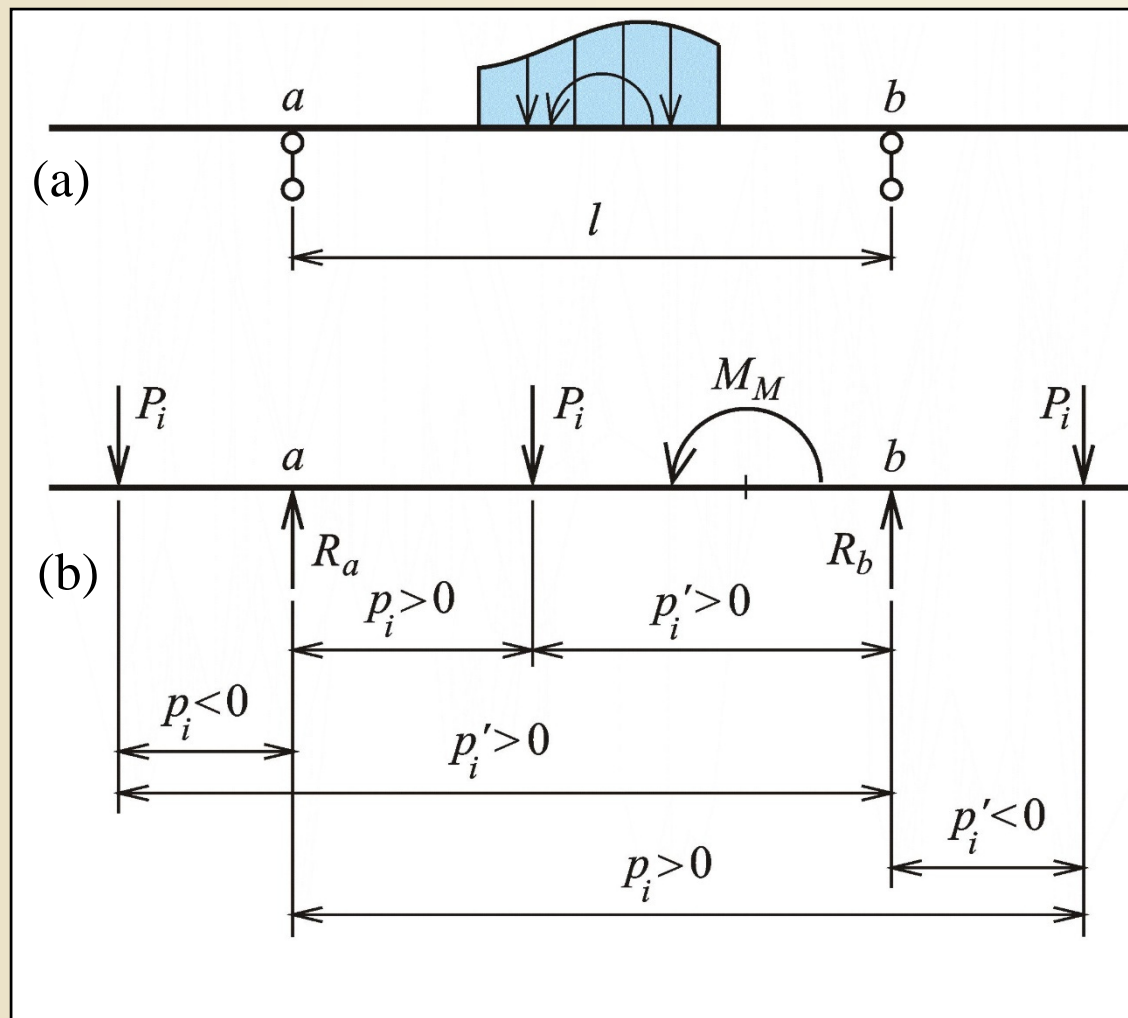
Výpočet reakcí pomocí podmínek rovnováhy stejný jako u nosníku bez převislých konců:

1. $\sum M_{ia} = 0 \Rightarrow R_b$

2. $\sum M_{ib} = 0 \Rightarrow R_a$

3. $R_z = 0$ kontrola

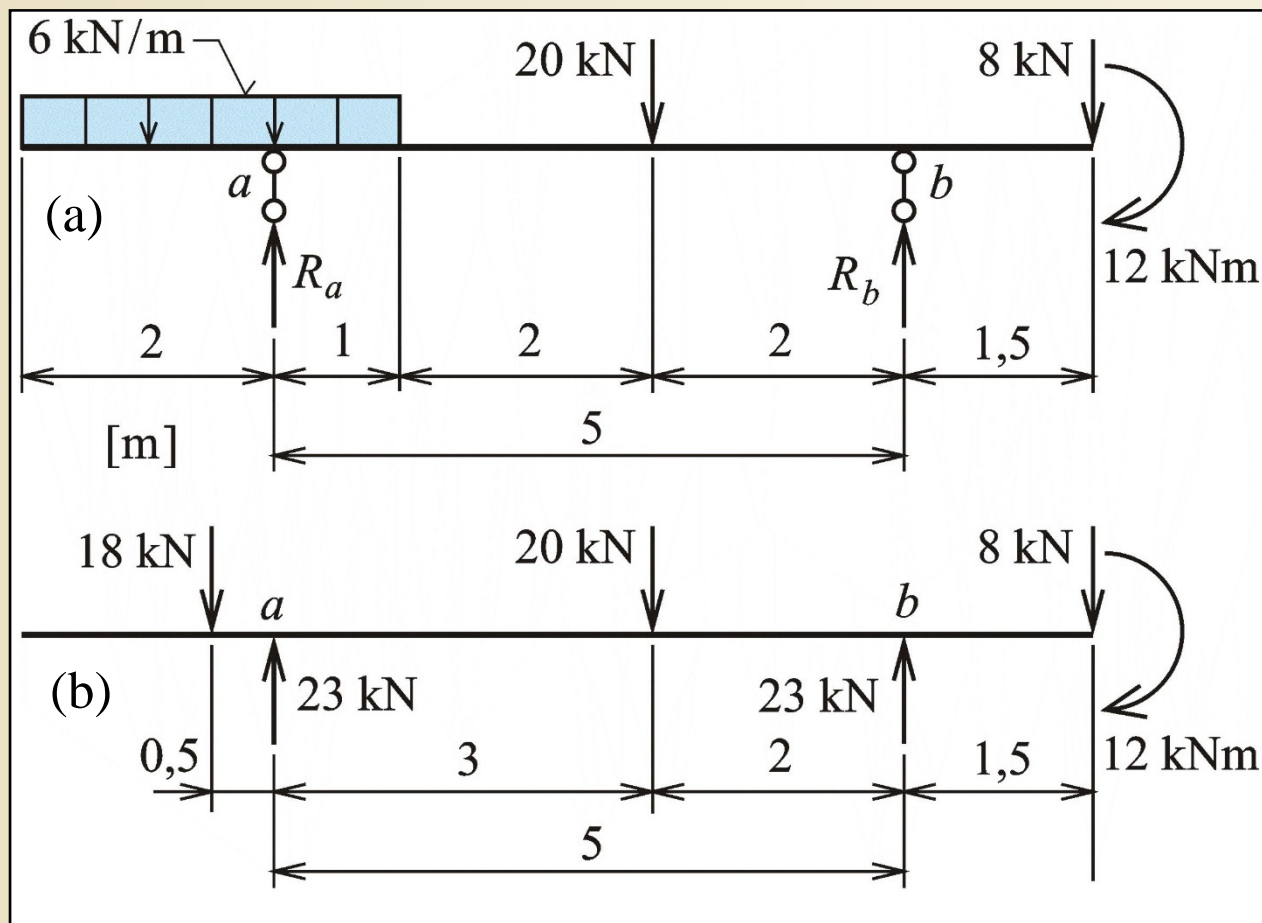
Kladná síla na převislém konci způsobuje k podpoře moment opačného smyslu než kladná síla v poli.



Ramena sil v upraveném zatížení

Příklad 4.9

Zadání: určit složky reakcí



Zadání a řešení příkladu 4.9

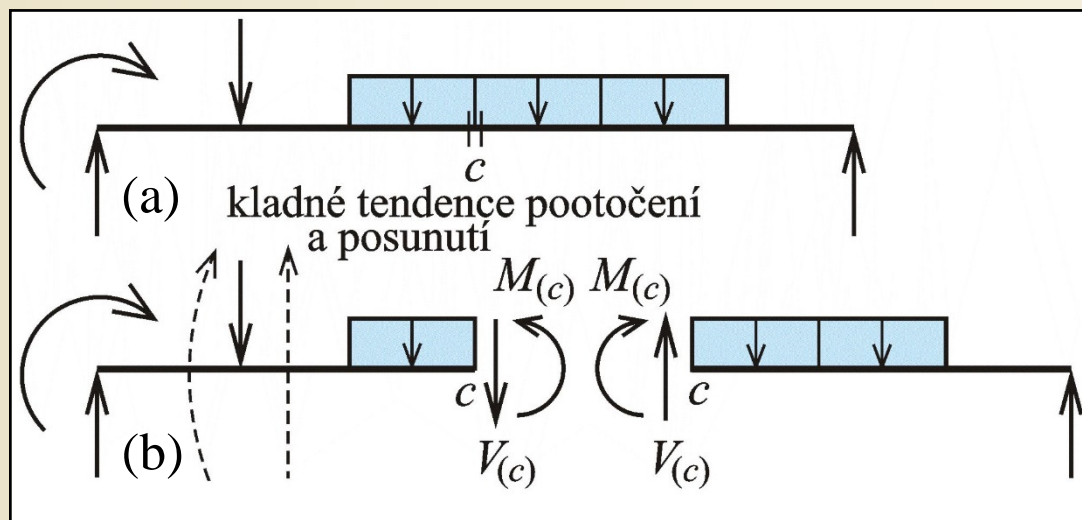
Obr. 7.19. / str. 100

Vnitřní síly přímého nosníku v příčné úloze

V příčné úloze dva druhy vnitřních sil: **posouvající síla** a **ohybový moment**.

Posouvající síla se určí s využitím silové podmínky rovnováhy (ve svislém směru) jedné z obou částí, k výpočtu ohybového momentu se využije momentová podmínka rovnováhy jedné z obou částí.

V praktických případech se vybere část s menším počtem vnějších sil – jednodušší výpočet.

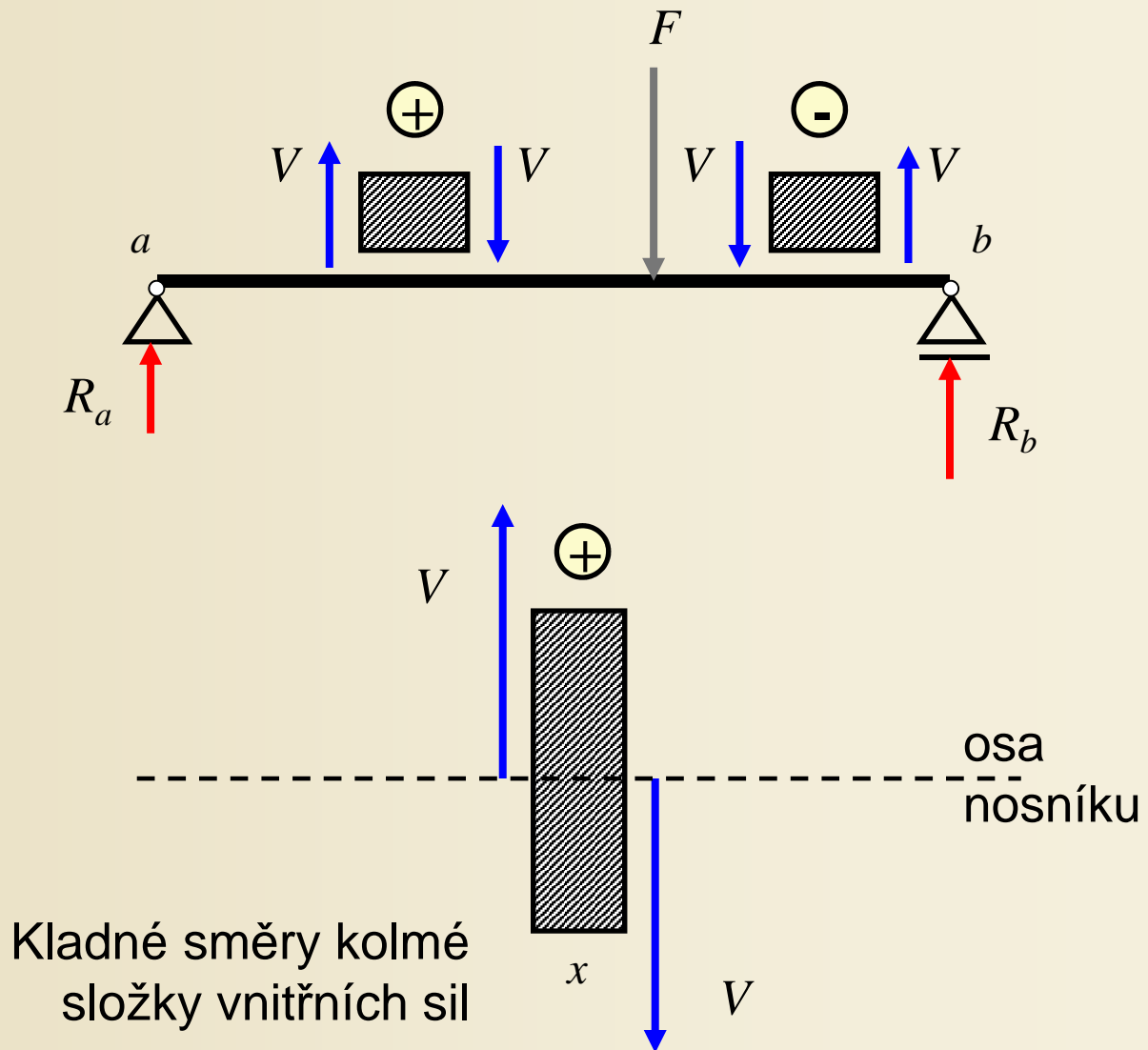


Vnitřní síly v příčné úloze

Obr. 7.20. / str. 101

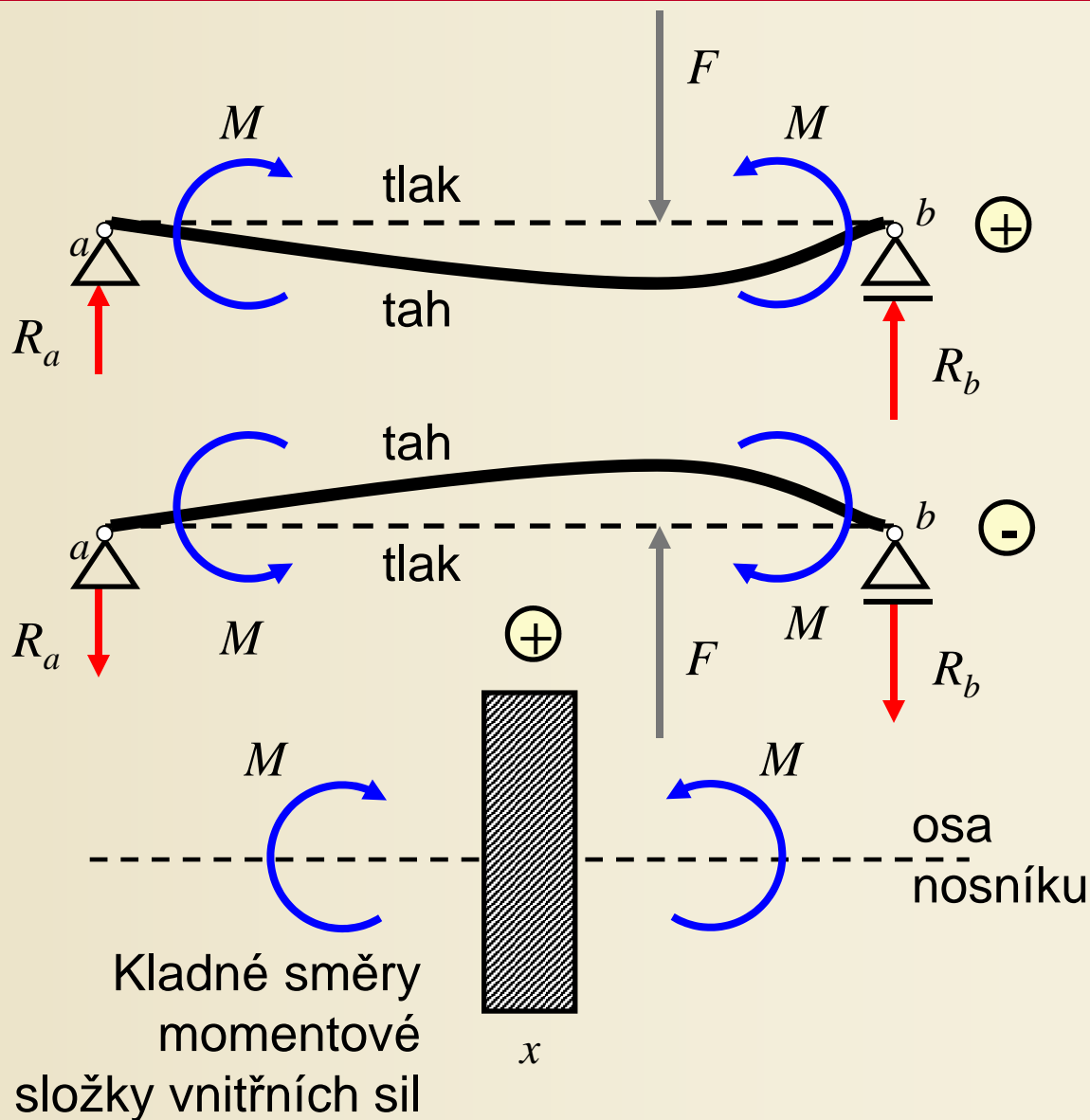
Posouvající síla V

Posouvající sílu v v zadaném průřezu c lze vypočítat jako algebraický součet všech svislých sil po jedné straně průřezu. Postupuje-li se z levé strany, do součtu se zahrnou kladně síly působící zdola nahoru, záporně síly působící shora dolů. Při postupu z pravé strany je to naopak: kladné jsou síly působící shora dolů, záporné směřují zdola nahoru.



Ohybový moment M

Ohybový moment v zadaném průřezu c lze vypočítat jako algebraický součet statických momentů k bodu c všech sil a momentů působících po jedné straně průřezu. Postupuje-li se z levé strany, do součtu se zahrnou kladně momenty působící ve směru chodu hodinových ručiček, záporně momenty otáčející proti ručičkám. Při postupu z pravé strany je to naopak: kladné jsou momenty proti ručičkám, záporné po ručičkách.



Příklad 4.10

Zadání: určit složky reakcí na prostém nosníku s pravým převislým koncem a vnitřní síly v bodu c .

Reakce:

$$R_a = \frac{1}{5} \cdot \begin{pmatrix} -16 + 10 \cdot 7,2 \cdot 1,4 + \\ + 30 \cdot 2 - 20 \cdot 2,2 \end{pmatrix} = 20,16 \text{ kN} (\uparrow)$$

$$R_b = \frac{1}{5} \cdot \begin{pmatrix} +16 + 10 \cdot 7,2 \cdot 3,6 + \\ + 30 \cdot 3 + 20 \cdot 7,2 \end{pmatrix} = 101,84 \text{ kN} (\uparrow)$$

Posouvající síla zleva:

$$V_{(c1)} = 20,16 - 10 \cdot 3 = -9,84 \text{ kN}$$

$$V_{(c2)} = V_{(c1)} - 30 = -39,84 \text{ kN}$$

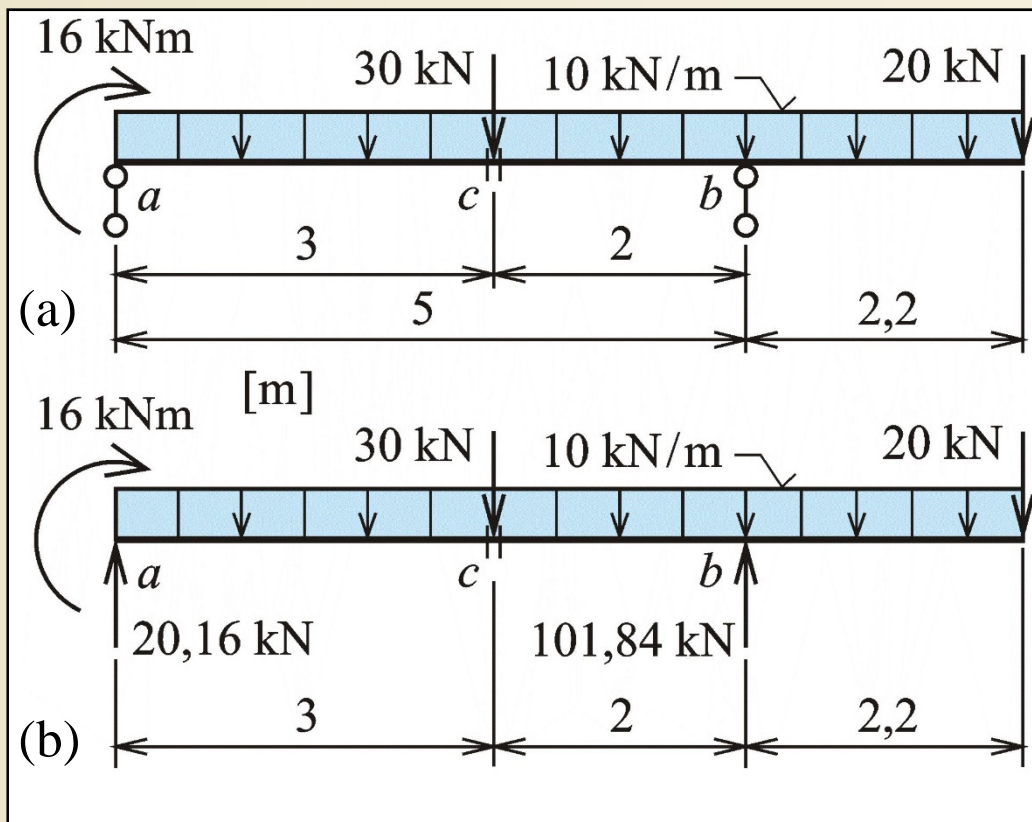
Posouvající síla zprava:

$$V_{(c2)} = 10 \cdot 4,2 - 101,84 + 20 = -39,84 \text{ kN}$$

Ohybový moment zleva a zprava:

$$M_{(c)} = 20,16 \cdot 3 + 16 - 10 \cdot 3 \cdot 1,5 = 31,48 \text{ kNm}$$

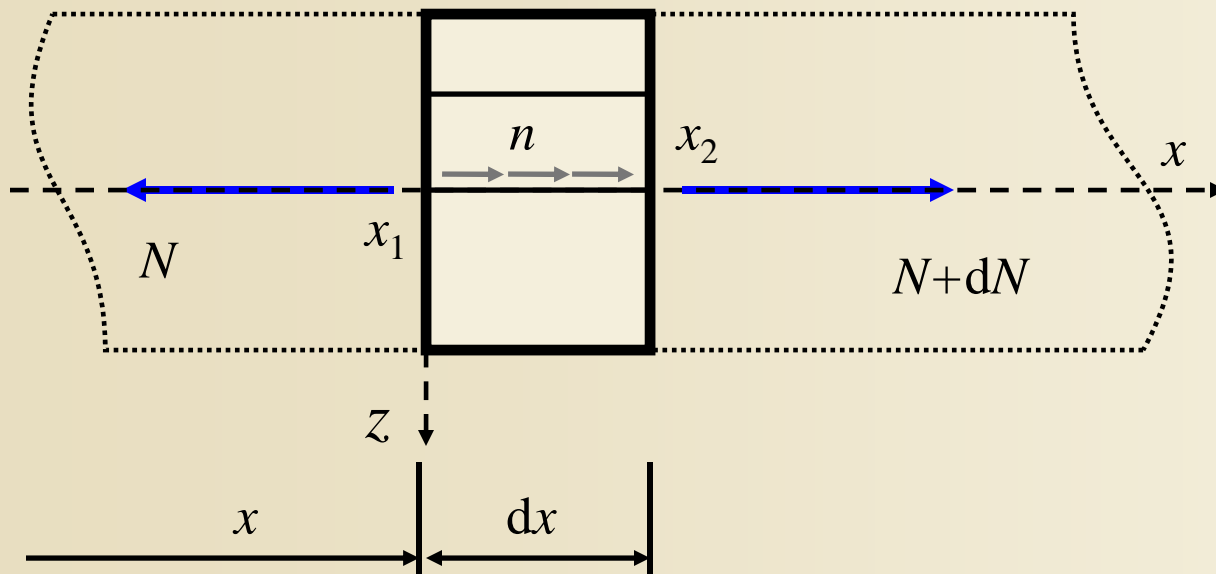
$$M_{(c)} = 101,84 \cdot 2 - 10 \cdot 4,2 \cdot 2,1 - 20 \cdot 4,2 = 31,48 \text{ kNm}$$



Zadání příkladu 4.10

Obr. 7.21. / str. 102

Diferenciální podmínka rovnováhy elementu v osově úloze

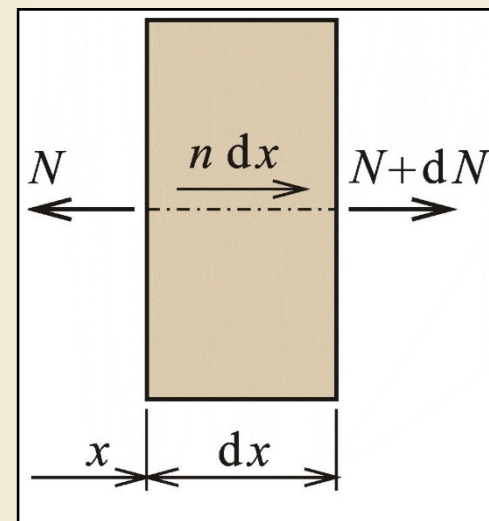


$$R_x = 0:$$

$$-N + (N+dN) + n \cdot dx = 0$$

→

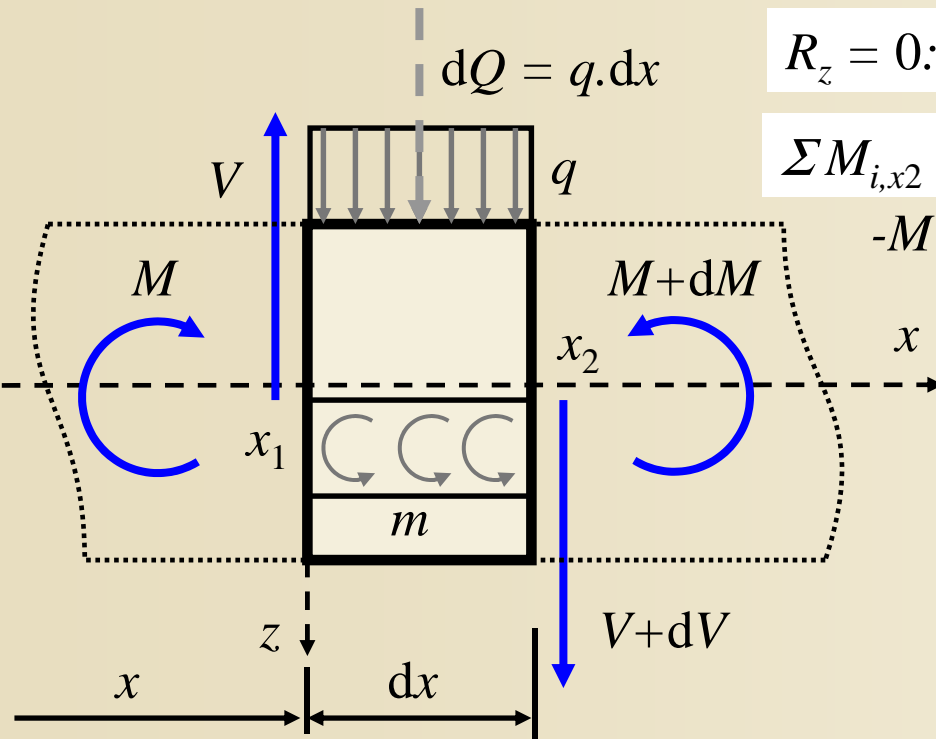
$$\frac{dN}{dx} = -n$$



Rovnováha elementu v osově úloze

Obr. 7.8. / str. 94

Diferenciální podmínky rovnováhy elementu v příčné úloze



$$R_z = 0:$$

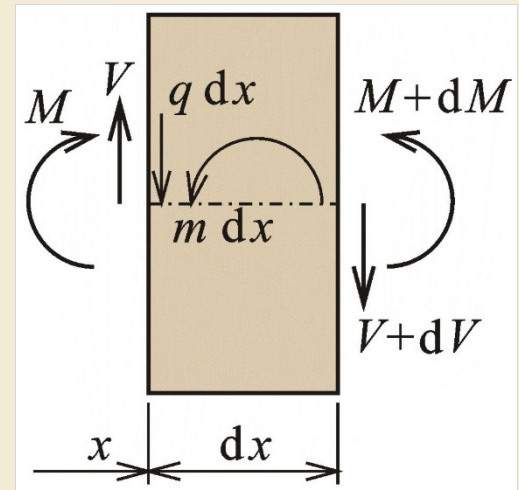
$$-V + (V+dV) + q \cdot dx = 0 \rightarrow \frac{dV}{dx} = -q$$

$$\Sigma M_{i,x2} = 0:$$

$$-M + (M+dM) - V \cdot dx + q \cdot dx \cdot dx/2 + m \cdot dx = 0$$

$$\rightarrow \frac{dM}{dx} = V - m$$

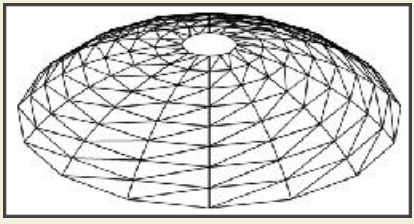
$$\frac{dM}{dx} = V \text{ pro } m = 0$$



Rovnováha elementu
v příčné úloze
Obr. 7.22. / str. 102



Schwedlerovy vztahy
Johann Wilhelm Schwedler
 (1823-1894)
 významný německý inženýr,
 např. Schwedlerova kupole



Diferenciální podmínky rovnováhy elementu v příčné úloze

Závěry:

$$\frac{dV}{dx} = -q = 0$$

→ Extrém V v průřezu, kde $q=0$

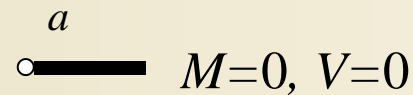
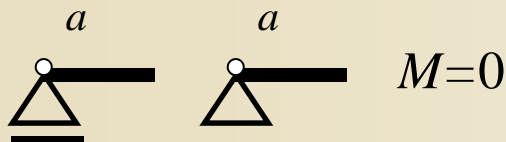
$$V(x) = -\int q(x)dx + C_1$$

$$\frac{dM}{dx} = V - m = 0$$

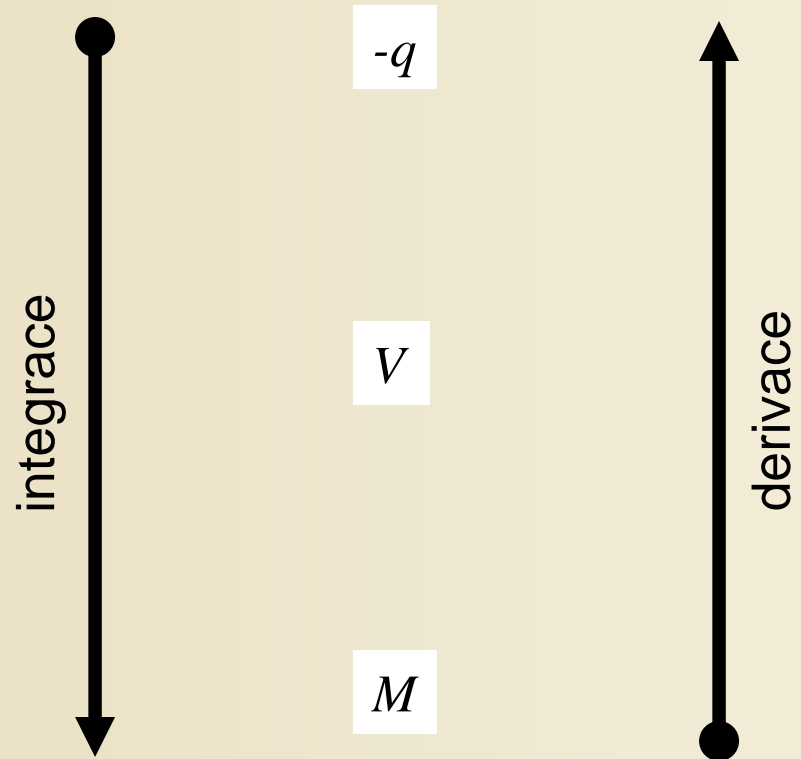
→ Extrém M v průřezu, kde $V=0$, $V=m$, V mění znaménko

$$M(x) = \int V(x)dx + C_2, \quad m(x) = 0$$

C_1, C_2 z okrajových podmínek

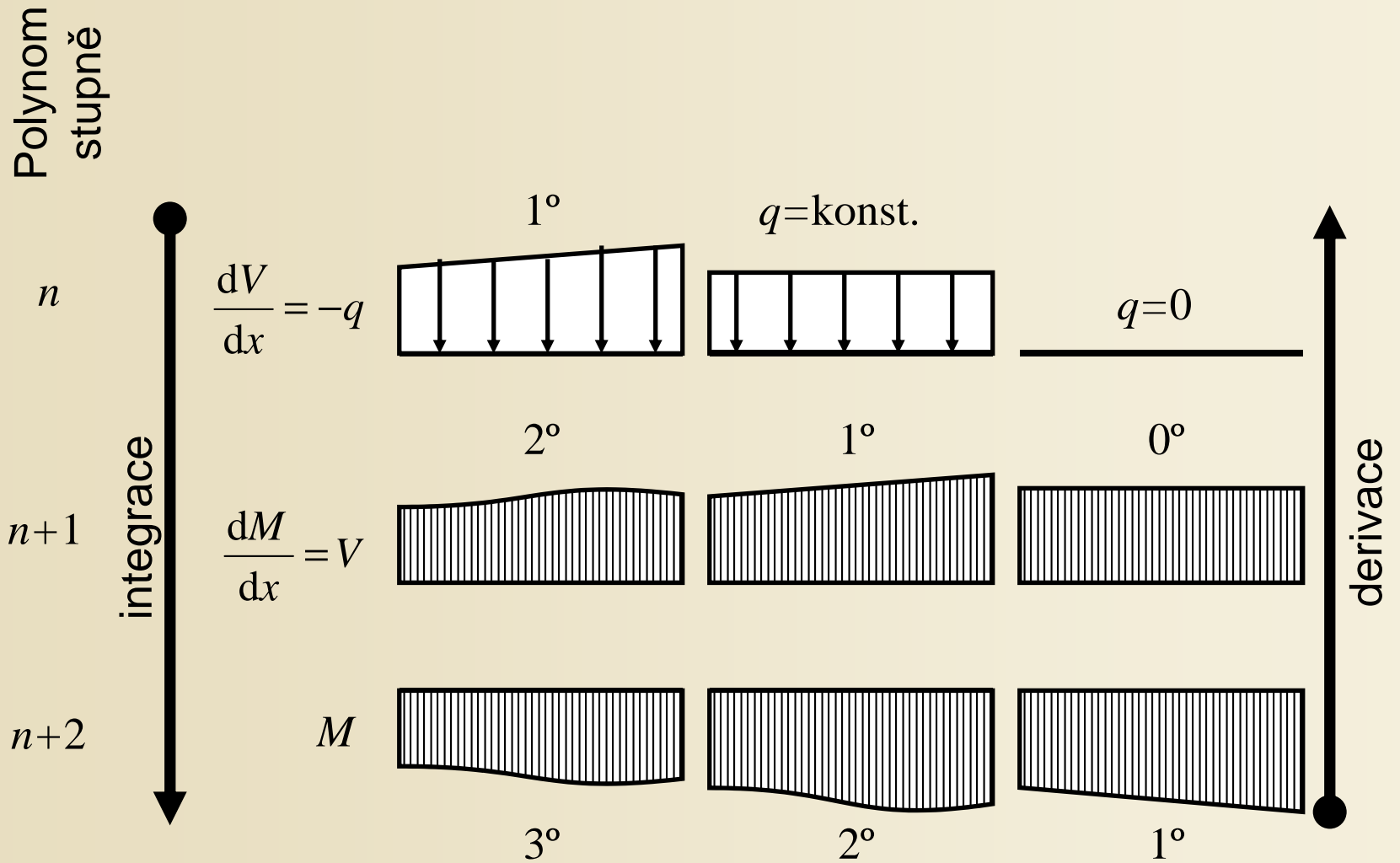


Závěry:



Derivačně – integrační schéma

Diferenciální podmínky rovnováhy elementu v příčné úloze



Souvislost mezi spojitým příčným zatížením a průběhy vnitřních sil

Závěry:

$$\frac{dV}{dx} = -q$$

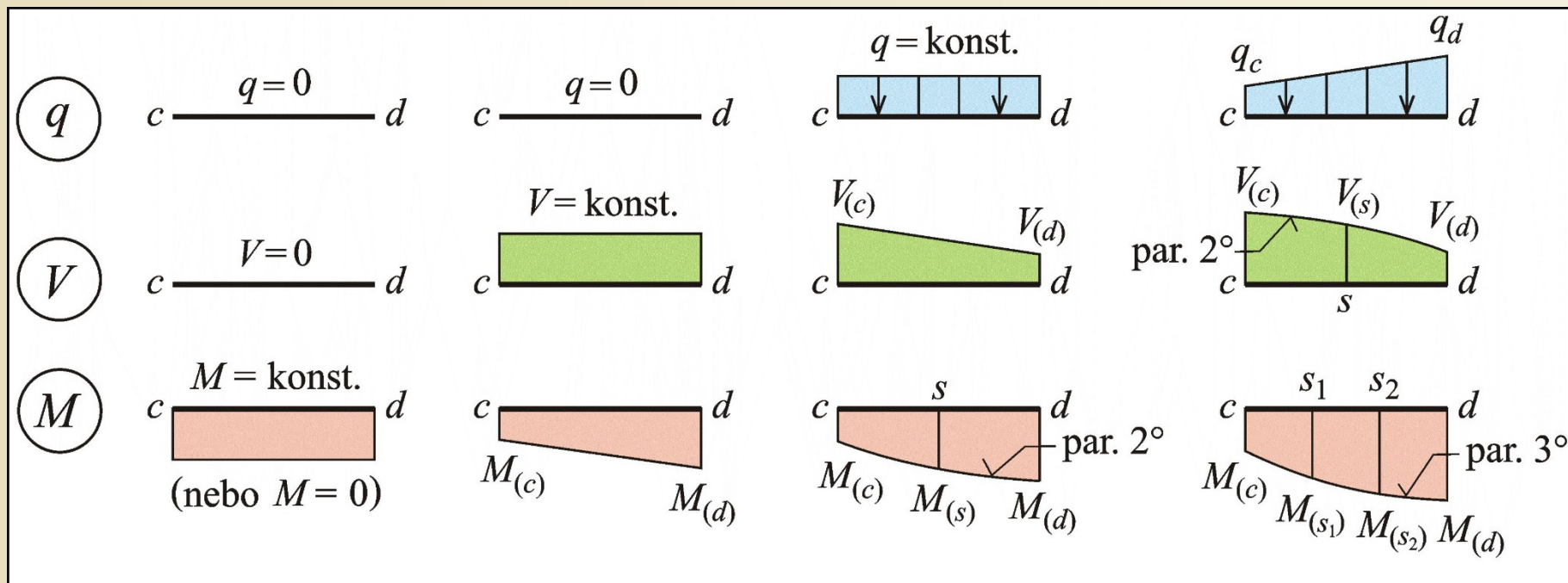
$$\frac{dM}{dx} = V - m$$

$$\frac{d^2M}{dx^2} = \frac{dV}{dx} - \frac{dm}{dx} = -q - \frac{dm}{dx}$$

pro $m=0$:

$$\frac{dM}{dx} = V$$

$$\frac{d^2M}{dx^2} = -q$$



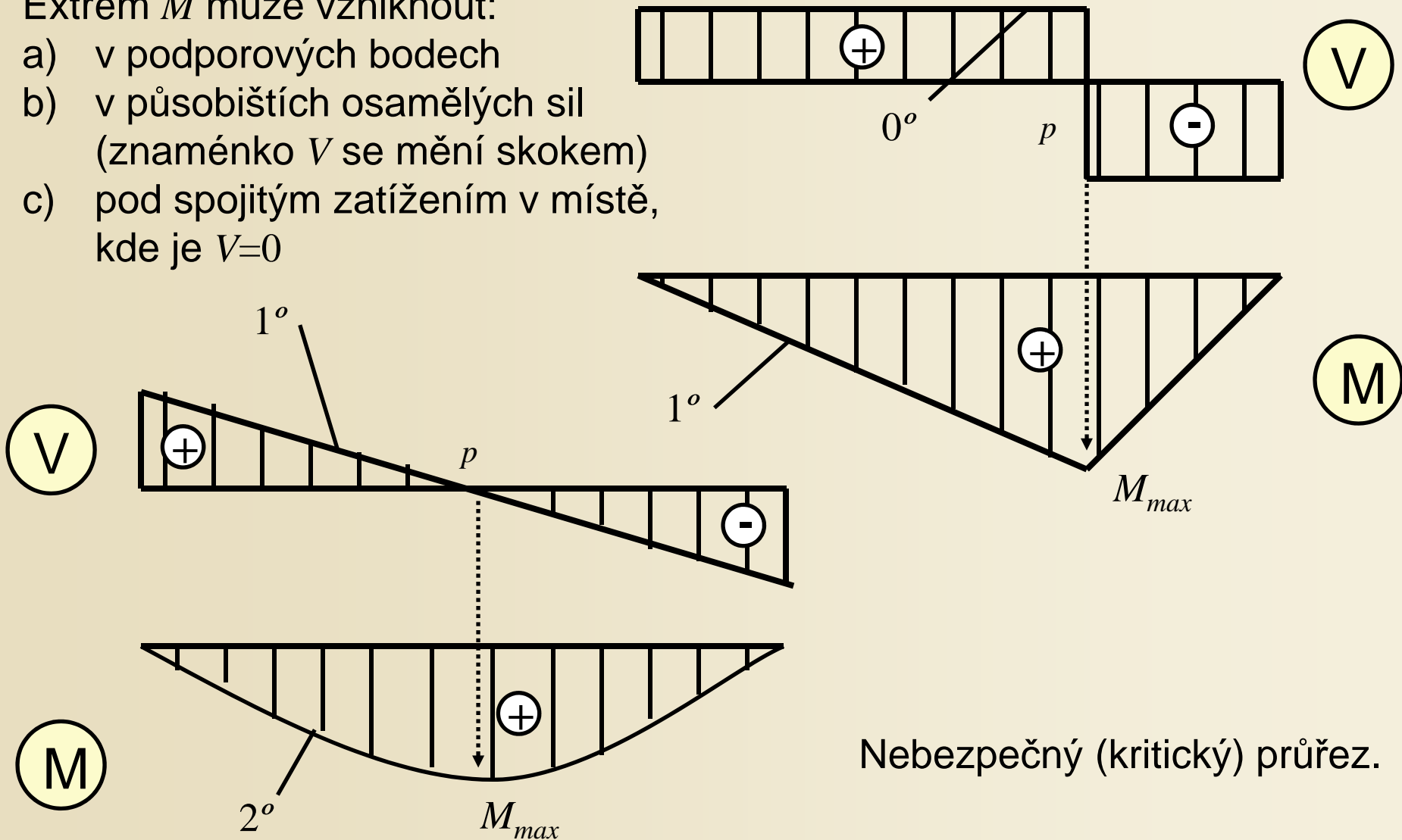
Souvislost mezi spojitým příčným zatížením a průběhy vnitřních sil

Obr. 7.23. / str. 103

Určení extrémních hodnot vnitřních sil

Extrém M může vzniknout:

- a) v podporových bodech
- b) v působištích osamělých sil (znaménko V se mění skokem)
- c) pod spojitým zatížením v místě, kde je $V=0$



Určení extrémních hodnot vnitřních sil

(a)

$$V_{(\bar{x})} = V_{(c)} - q \cdot \bar{x}$$

$$V_{(c)} - q \cdot \bar{x} = 0$$

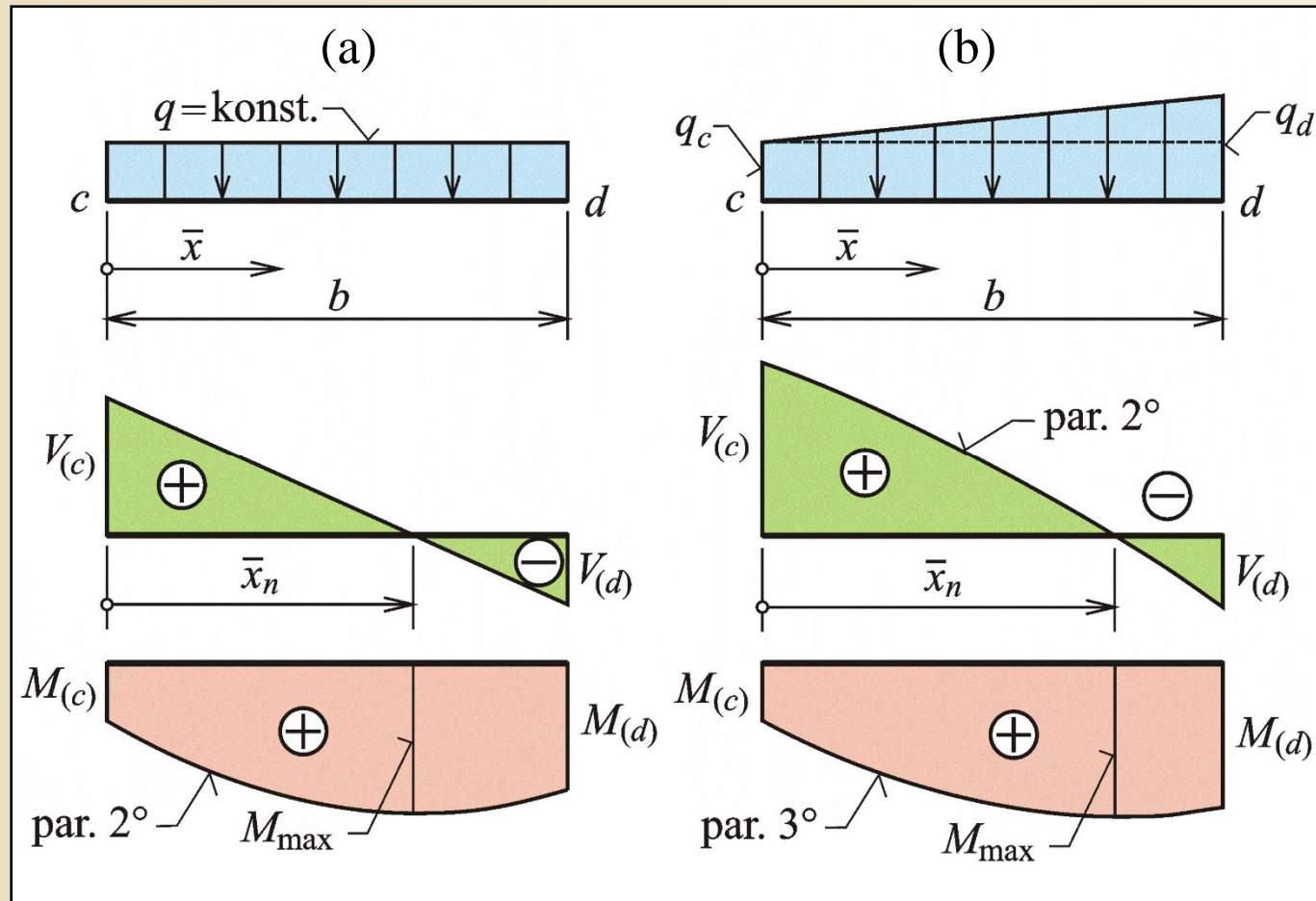
$$\bar{x} = \frac{V_{(c)}}{q}$$

(b)

$$\bar{x}_n = \frac{-q_c + \sqrt{q_c^2 + 4 \cdot Q \cdot V_{(c)}}}{2 \cdot Q}$$

$$Q = \frac{q_d - q_c}{2 \cdot b}$$

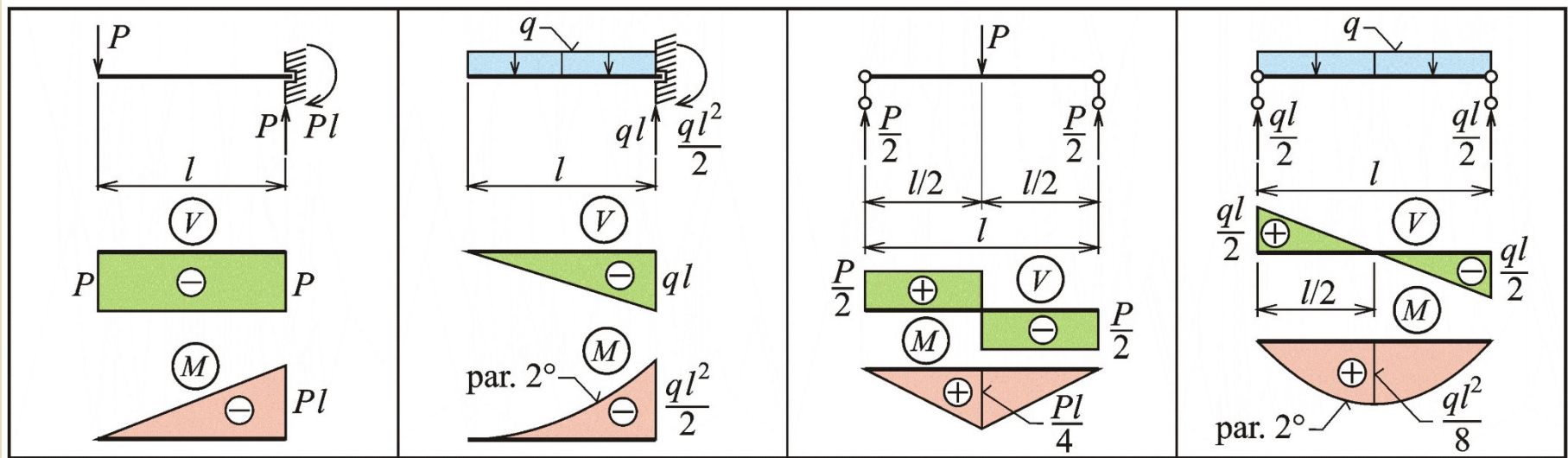
$$V_{(\bar{x})} = V_{(c)} - q_c \cdot \bar{x}_n - \frac{1}{2} \cdot \bar{x}_n \cdot (q_d - q_c) \cdot \frac{\bar{x}_n}{b} = V_{(c)} - q_c \cdot \bar{x}_n - Q \cdot \bar{x}_n^2 = 0$$



Nebezpečný průřez

Obr. 7.27. / str. 106

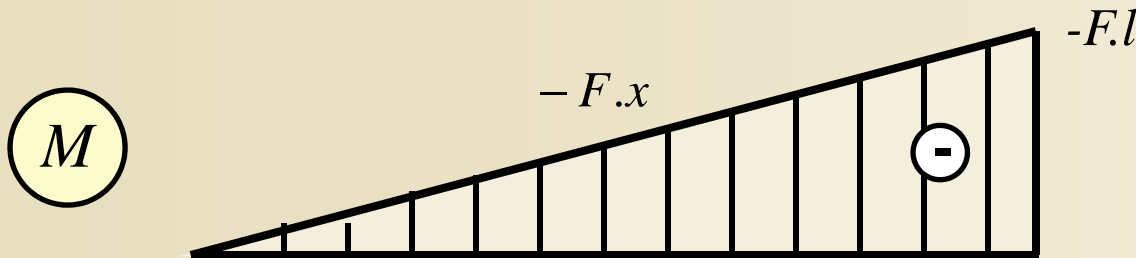
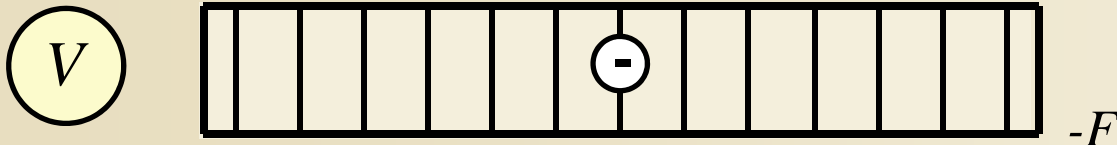
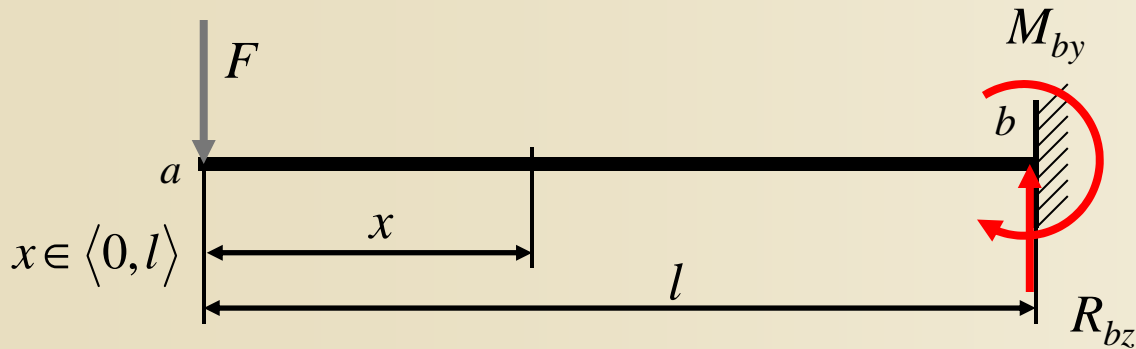
Nejjednodušší zatěžovací stavy konzol a prostých nosníků



Nejjednodušší zatěžovací případy konzoly a prostého nosníku

Obr. 7.37. / str. 114

Nejjednodušší zatěžovací stavy konzoly



Výpočet reakcí

$$R_{bz} = F(\uparrow)$$

$$M_{by} = F.l(\curvearrowleft)$$

Posouvající síla

$$V_{(x)}^L = \text{konst.} = -F$$

$$V_{(a)} = V_{(x=0)} = -F$$

$$V_{(b)} = V_{(x=l)} = -F$$

Ohybový moment

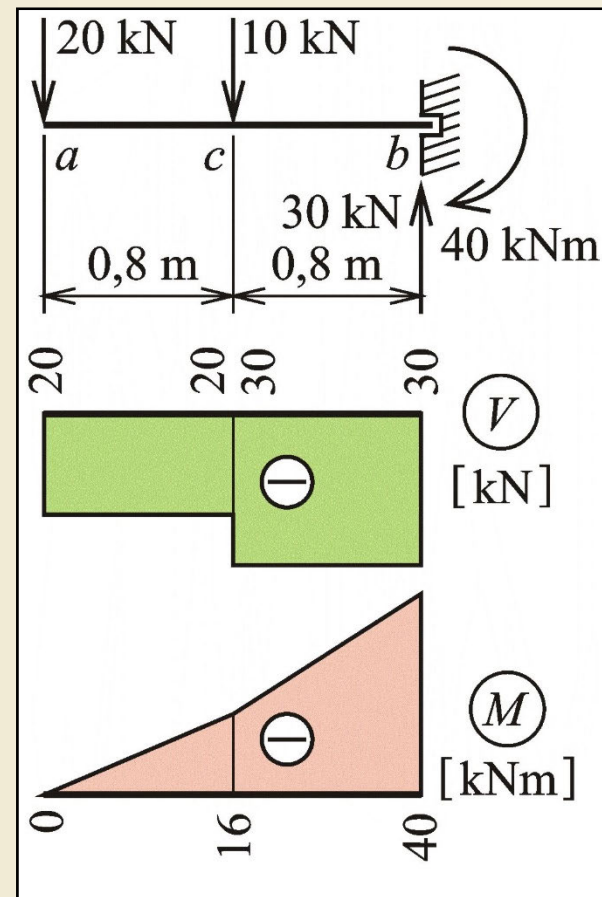
$$M_{(x)}^L = -F.x$$

$$M_{(a)} = M_{(x=0)} = 0$$

$$M_{(b)} = M_{(x=l)} = -F.l$$

Příklad 4.11

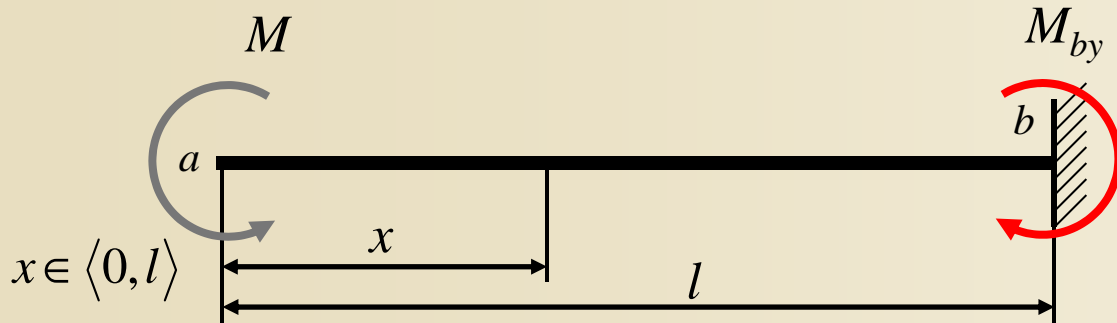
Zadání: určit silovou i momentovou složku reakce konzoly, sestrojit průběhy posouvajících sil a ohybových momentů a určit extrémní hodnoty vnitřních sil.



Zadání a řešení příkladu 4.11

Obr. 7.25. / str. 104

Nejjednodušší zatěžovací stavy konzoly



Výpočet reakcí

$$R_{bz} = 0$$

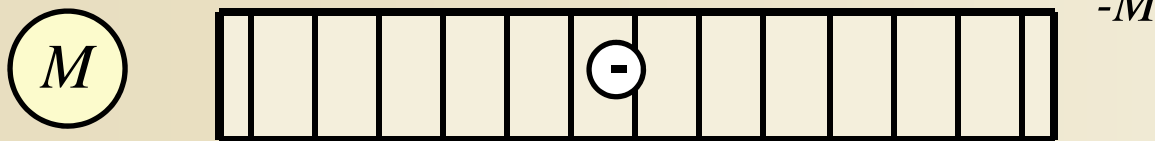
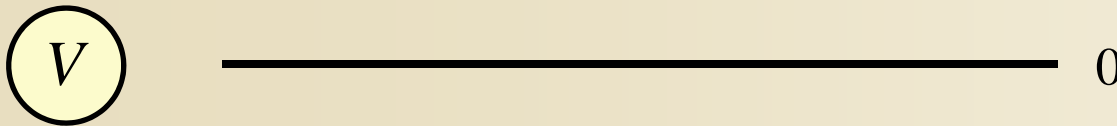
$$M_{by} = M (\curvearrowright)$$

Posouvající síla

$$V_{(x)}^L = 0$$

$$V_{(a)} = V_{(x=0)} = l$$

$$V_{(b)} = V_{(x=l)} = 0$$



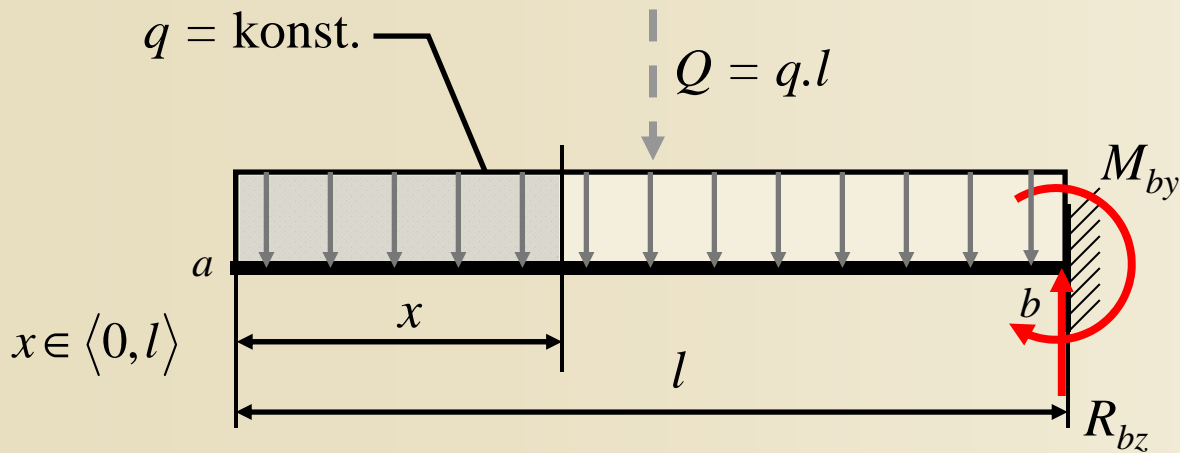
Ohybový moment

$$M_{(x)}^L = -M$$

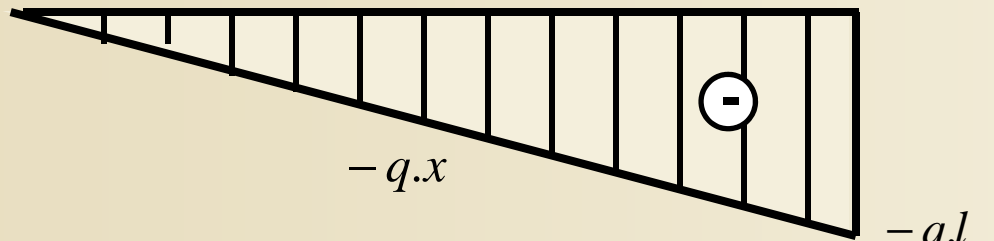
$$M_{(a)} = M_{(x=0)} = -M$$

$$M_{(b)} = M_{(x=l)} = -M$$

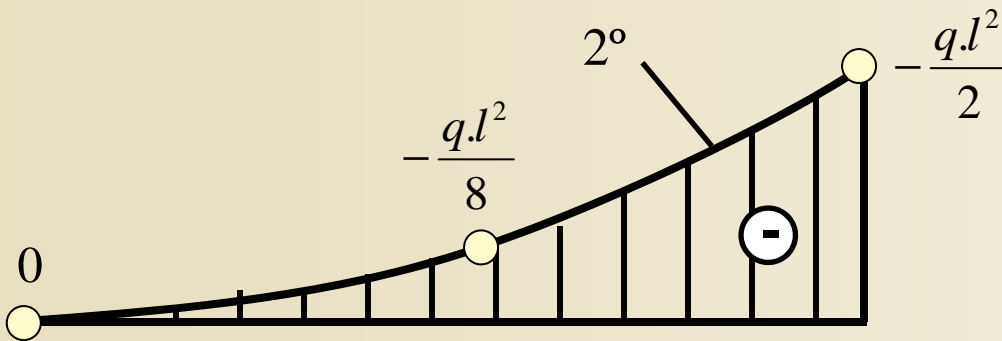
Nejjednodušší zatěžovací stavy konzoly



V



M



Výpočet reakcí

$$R_{bz} = Q = q.l (\uparrow)$$

$$M_{by} = Q \cdot \frac{l}{2} = \frac{q.l^2}{2} (\curvearrowright)$$

Posouvající síla

$$V_{(x)}^L = -q.x$$

$$V_{(a)} = V_{(x=0)} = 0$$

$$V_{(b)} = V_{(x=l)} = -q.l = -R_{bz}$$

Ohybový moment

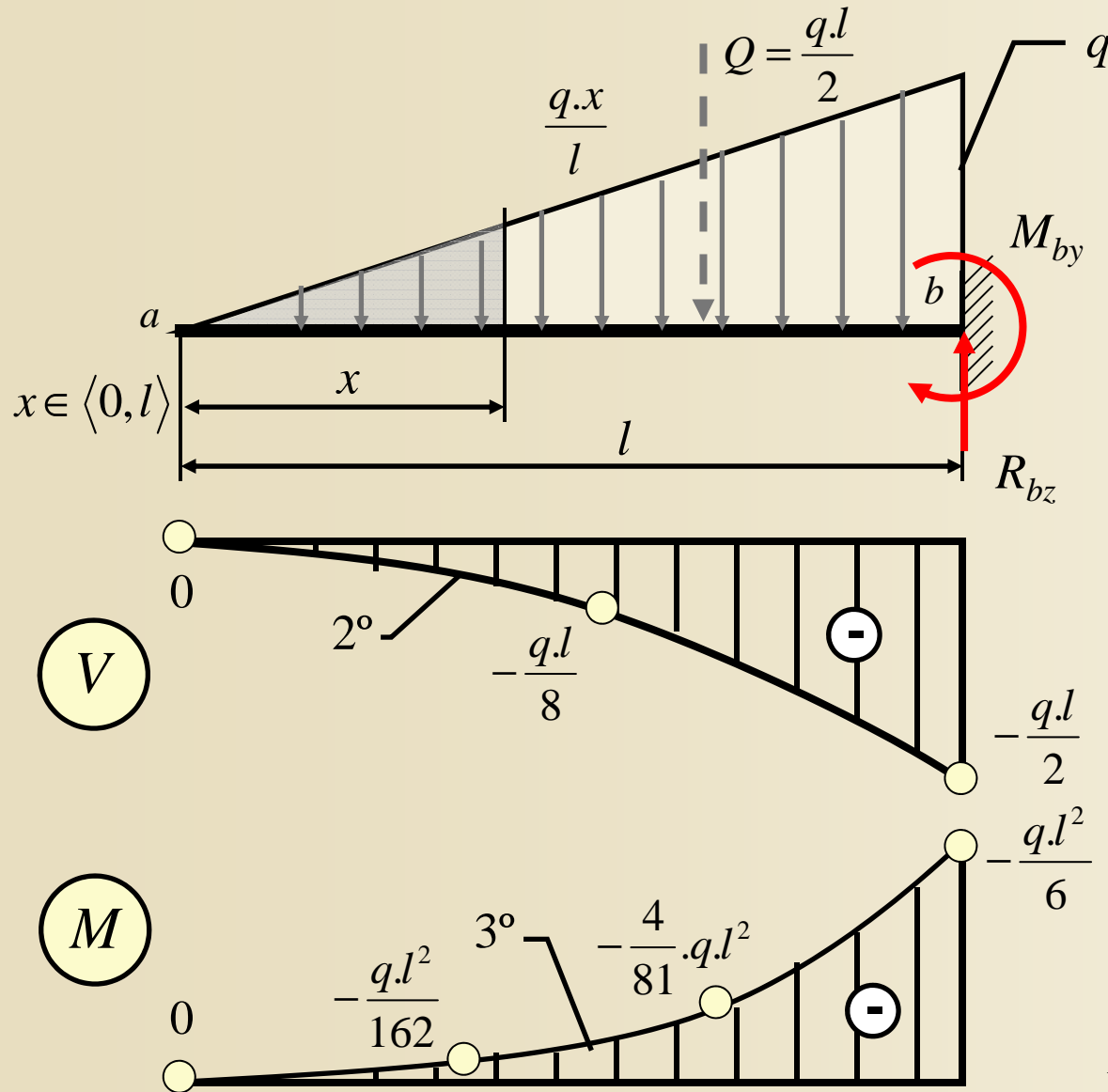
$$M_{(x)}^L = -q.x \cdot \frac{x}{2} = -\frac{q.x^2}{2}$$

$$M_{(a)} = M_{(x=0)} = 0$$

$$M_{(b)} = M_{(x=l)} = -\frac{q.l^2}{2} = -M_{by}$$

$$M_{(x=l/2)} = -\frac{q.l^2}{8}$$

Nejjednodušší zatěžovací stavy konzoly



Výpočet reakcí

$$R_{bz} = Q = \frac{q \cdot l}{2} (\uparrow)$$

$$M_{by} = Q \cdot \frac{l}{3} = \frac{q \cdot l^2}{6} (\curvearrowleft)$$

Posouvající síla

$$V_{(x)}^L = -\frac{q_x \cdot x}{2} = -\frac{q \cdot x \cdot x}{l \cdot 2} = -\frac{q \cdot x^2}{2 \cdot l}$$

$$V_{(a)} = V_{(x=0)} = 0$$

$$V_{(b)} = V_{(x=l)} = -\frac{q \cdot l}{2} = -R_{bz}$$

$$V_{(x=l/2)} = -\frac{q \cdot l}{8}$$

Ohybový moment

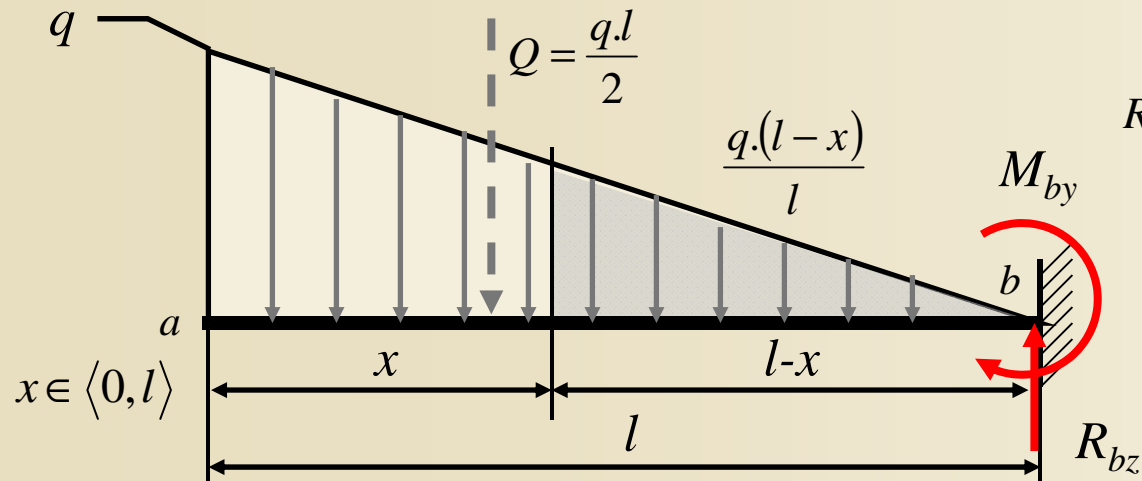
$$M_{(x)}^L = -\frac{q \cdot x^2}{2 \cdot l} \cdot \frac{x}{3} = -\frac{q \cdot x^3}{6 \cdot l}$$

$$M_{(a)} = M_{(x=0)} = 0$$

$$M_{(b)} = M_{(x=l)} = -\frac{q \cdot l^2}{6} = -M_{by}$$

$$M_{(x=l/3)} = -\frac{q \cdot l^2}{162} \quad M_{(x=2/3 \cdot l)} = -\frac{4}{81} \cdot q \cdot l^2$$

Nejjednodušší zatěžovací stavy konzoly



Výpočet reakcí

$$R_{bz} = Q = \frac{ql}{2} (\uparrow) \quad M_{by} = Q \cdot \frac{2}{3} \cdot l = \frac{ql^2}{3} (\curvearrowleft)$$

Posouvající síla

$$V_{(x)}^P = -R_{bz} + \frac{q_x \cdot (l-x)}{2} = -\frac{ql}{2} + \frac{q \cdot (l-x) \cdot (l-x)}{l \cdot 2} = \frac{q \cdot x \cdot (x-2l)}{2l}$$

$$V_{(a)} = V_{(x=0)} = 0 \quad V_{(x=l/2)} = -\frac{3}{8} \cdot ql$$

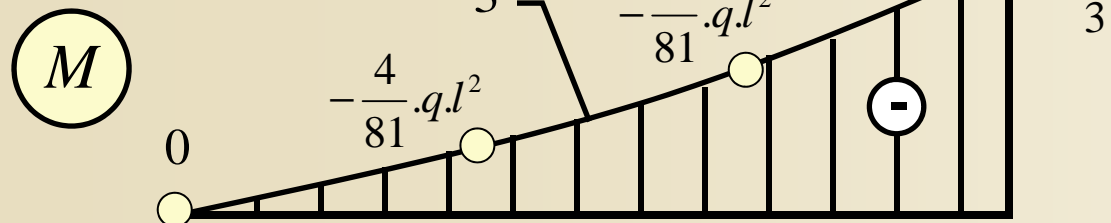
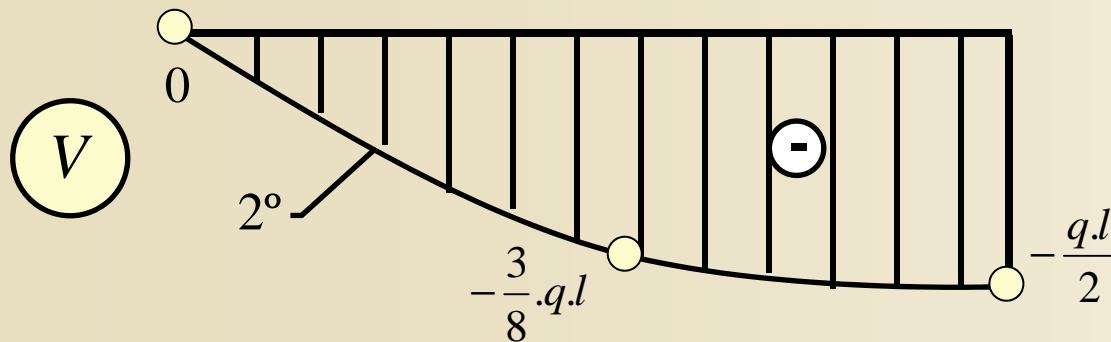
$$V_{(b)} = V_{(x=l)} = -\frac{ql}{2} = -R_{bz}$$

Ohybový moment

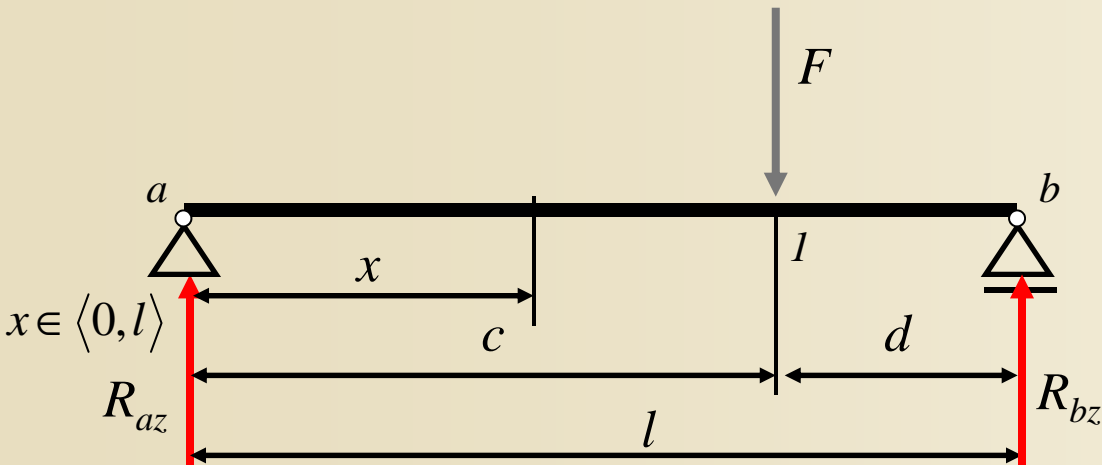
$$M_{(x)}^P = +R_{bz} \cdot (l-x) - M_{by} - \frac{q \cdot (l-x)^2}{l \cdot 2} \cdot \frac{(l-x)}{3} = +\frac{ql}{2} \cdot (l-x) - \frac{ql^2}{3} - \frac{q \cdot (l-x)^3}{6l} = \frac{q \cdot x^2 \cdot (x-3l)}{6l}$$

$$M_{(a)} = 0 \quad M_{(b)} = -\frac{ql^2}{3} = -M_{by}$$

$$M_{(x=l/3)} = -\frac{4}{81} \cdot ql^2 \quad M_{(x=2/3 \cdot l)} = -\frac{14}{81} \cdot ql^2$$



Nejjednodušší zatěžovací stavy prostých nosníků



Výpočet reakcí

$$R_{az} = \frac{F \cdot d}{l} (\uparrow) \quad R_{bz} = \frac{F \cdot c}{l} (\uparrow)$$

Posouvající síla

$$x \in \langle 0, c \rangle \quad V_{(x)}^L = R_{az} \quad V_{(a)} = V_{(x=0)} = R_{az}$$

$$x \in \langle c, l \rangle \quad V_{(x)}^L = R_{az} - F$$

$$V_{(b)} = V_{(x=l)} = R_{az} - F = -R_{bz}$$

Ohybový moment

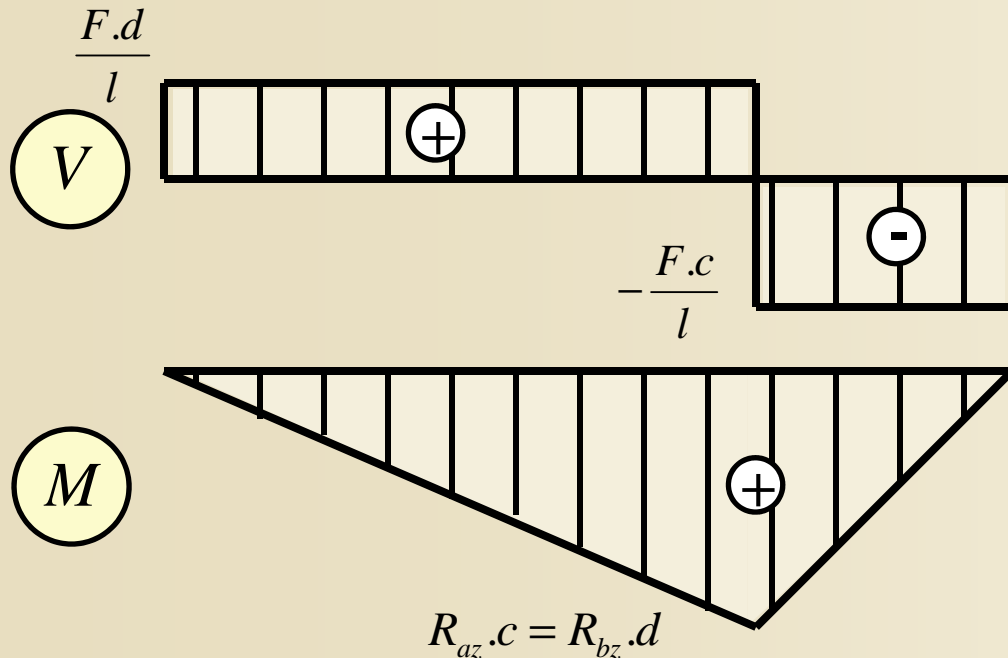
$$x \in \langle 0, c \rangle \quad M_{(x)}^L = R_{az} \cdot x \quad M_{(a)} = M_{(x=0)} = 0$$

$$M_{(1)} = M_{(x=c)} = R_{az} \cdot c$$

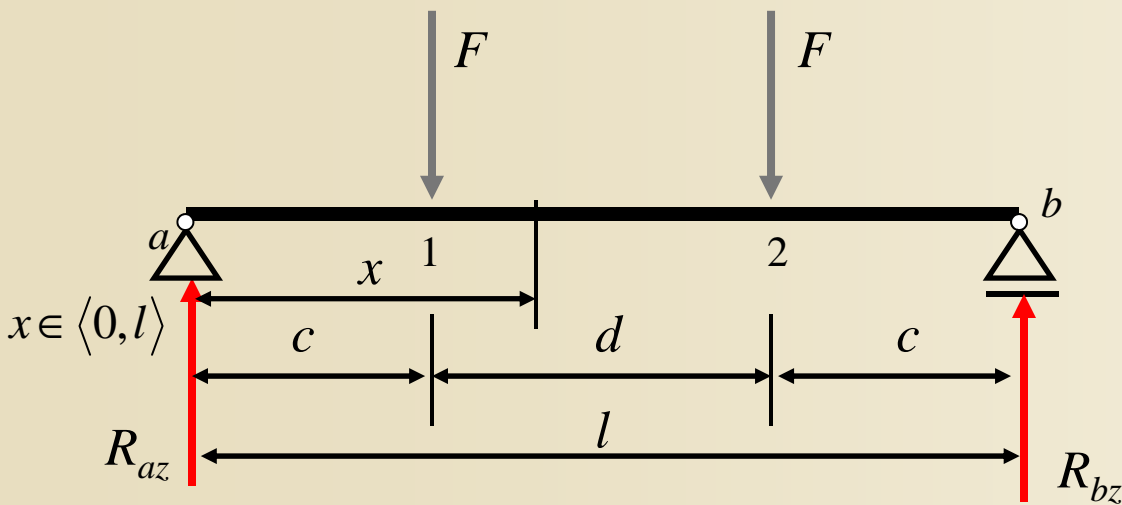
$$x \in \langle c, l \rangle \quad M_{(x)}^L = R_{az} \cdot x - F \cdot (x - c)$$

$$M_{(b)} = M_{(x=l)} = 0 \quad M_{(1)} = M_{(x=c)} = R_{bz} \cdot d$$

$$M_{(x)}^P = R_{bz} \cdot (l - x)$$



Nejjednodušší zatěžovací stavy prostých nosníků



Výpočet reakcí

$$R_{az} = F(\uparrow) \quad R_{bz} = F(\uparrow)$$

Posouvající síla

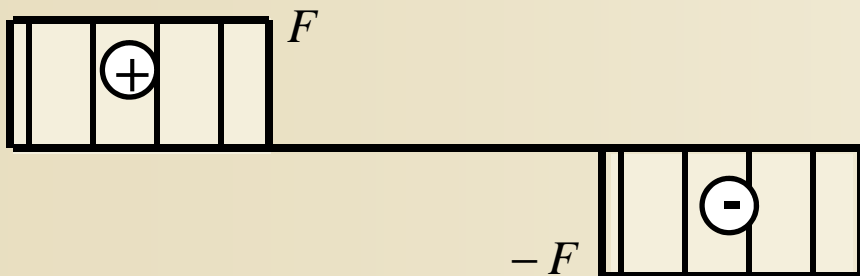
$$x \in \langle 0, c \rangle \quad V_{(x)}^L = R_{az} \quad V_{(a)} = R_{az}$$

$$x \in \langle c, c+d \rangle \quad V_{(x)}^L = R_{az} - F = 0$$

$$x \in \langle c+d, l \rangle \quad V_{(x)}^L = R_{az} - 2.F = -R_{bz}$$

$$V_{(b)} = -R_{bz}$$

V



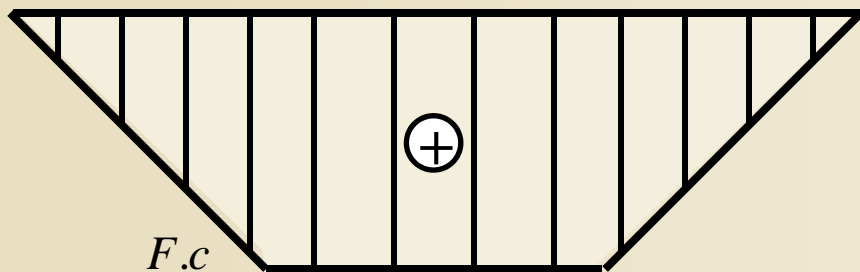
Ohybový moment

$$x \in \langle 0, c \rangle \quad M_{(x)}^L = R_{az} \cdot x \quad M_{(a)} = 0$$

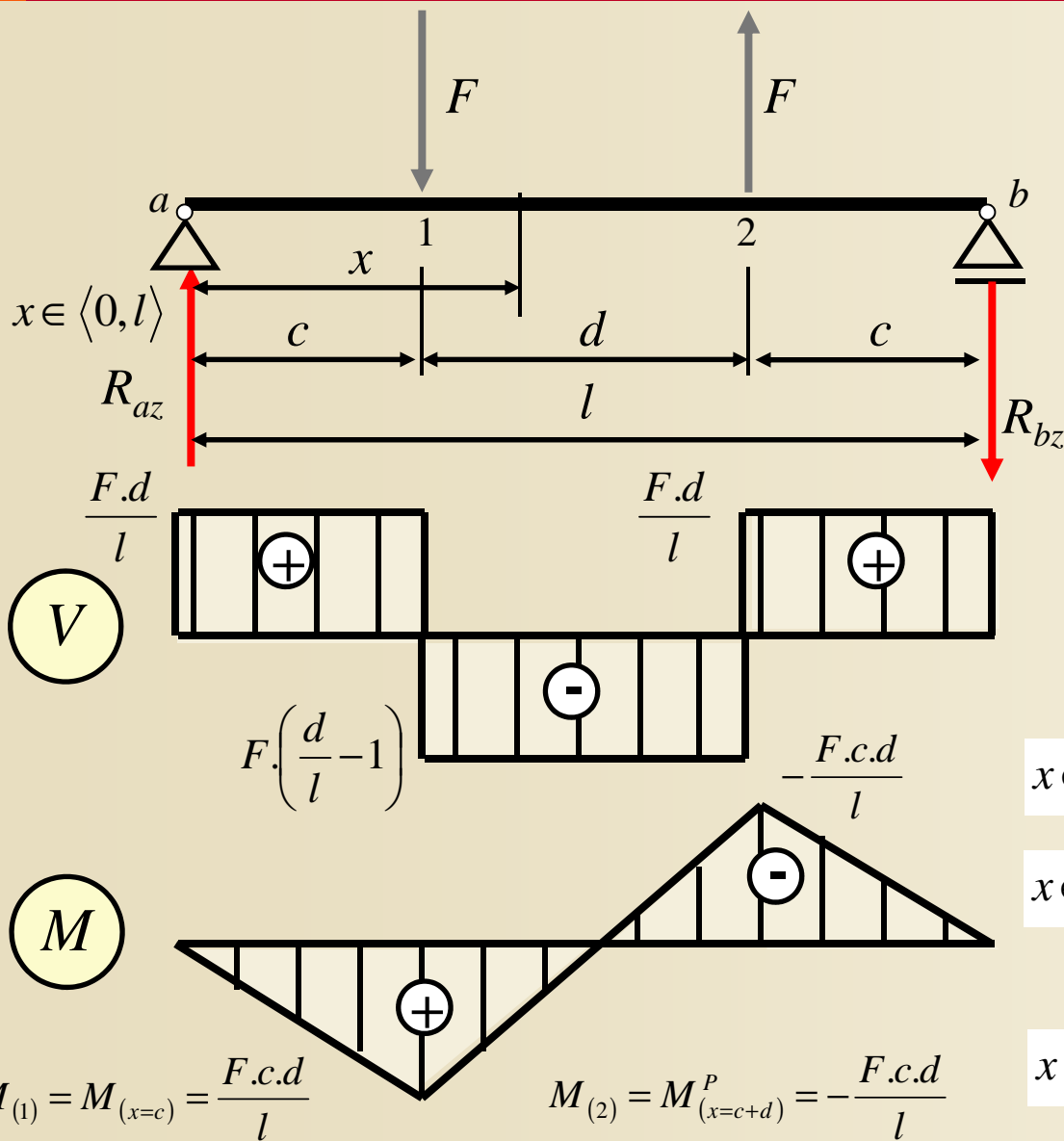
$$x \in \langle c, c+d \rangle \quad M_{(x)}^L = R_{az} \cdot x - F \cdot (x - c) = F \cdot c$$

$$x \in \langle c+d, l \rangle \quad M_{(x)}^P = R_{bz} \cdot (l - x) \quad M_{(b)} = 0$$

M



Nejjednodušší zatěžovací stavy prostých nosníků



Výpočet reakcí

$$R_{az} = \frac{F \cdot d}{l} (\uparrow) \quad R_{bz} = \frac{F \cdot d}{l} (\downarrow)$$

Posouvající síla

$$x \in \langle 0, c \rangle \quad V_{(x)}^L = R_{az} \quad V_{(a)} = R_{az}$$

$$x \in \langle c, c+d \rangle \quad V_{(x)}^L = R_{az} - F = F \cdot \left(\frac{d}{l} - 1\right)$$

$$x \in \langle c+d, l \rangle \quad V_{(x)}^L = R_{az} \quad V_{(b)} = R_{az}$$

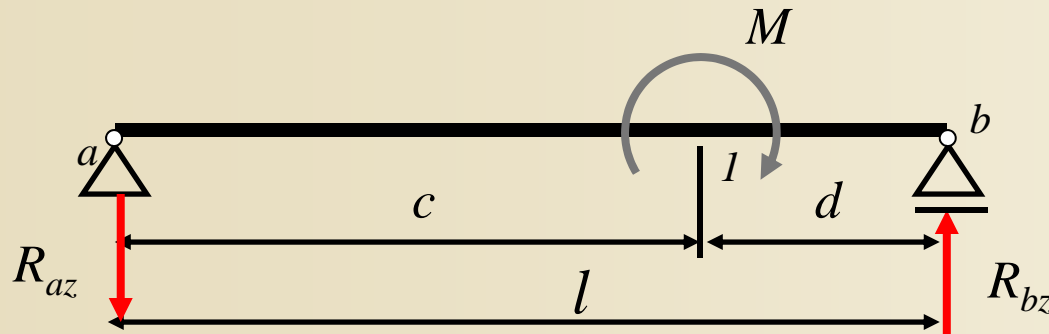
Ohybový moment

$$x \in \langle 0, c \rangle \quad M_{(x)}^L = R_{az} \cdot x \quad M_{(a)} = 0$$

$$x \in \langle c, c+d \rangle \quad M_{(x)}^L = R_{az} \cdot x - F \cdot (x - c) = \frac{F}{l} \cdot (d \cdot x - x \cdot l + c \cdot l)$$

$$x \in \langle c+d, l \rangle \quad M_{(x)}^P = -R_{bz} \cdot (l - x) \quad M_{(b)} = 0$$

Nejjednodušší zatěžovací stavy prostých nosníků



Výpočet reakcí

$$R_{az} = \frac{M}{l} (\downarrow) \quad R_{bz} = \frac{M}{l} (\uparrow)$$

Posouvající síla

$$V_{(x)}^L = \text{konst.} = -R_{az} = -\frac{M}{l}$$

$$V_{(a)} = V_{(x=0)} = -\frac{M}{l}$$

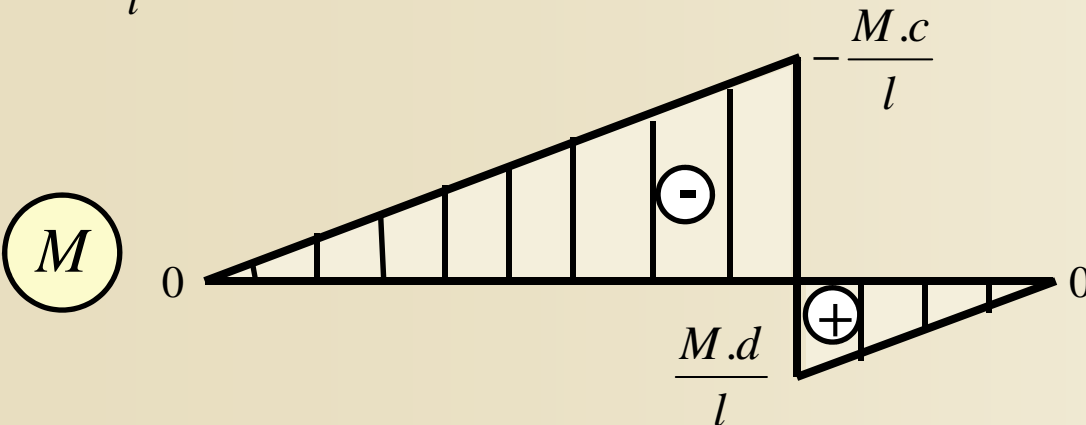
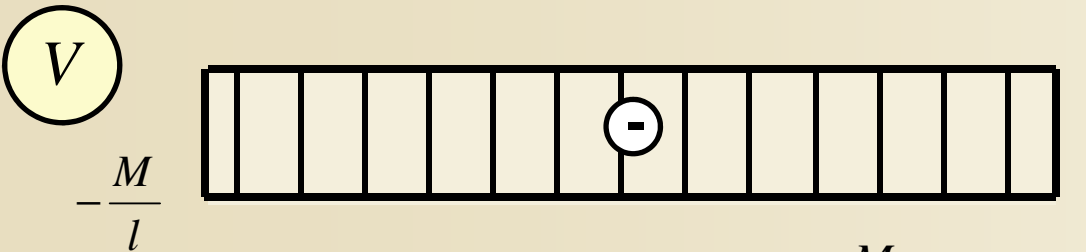
$$V_{(b)} = V_{(x=l)} = -\frac{M}{l}$$

Ohybový moment

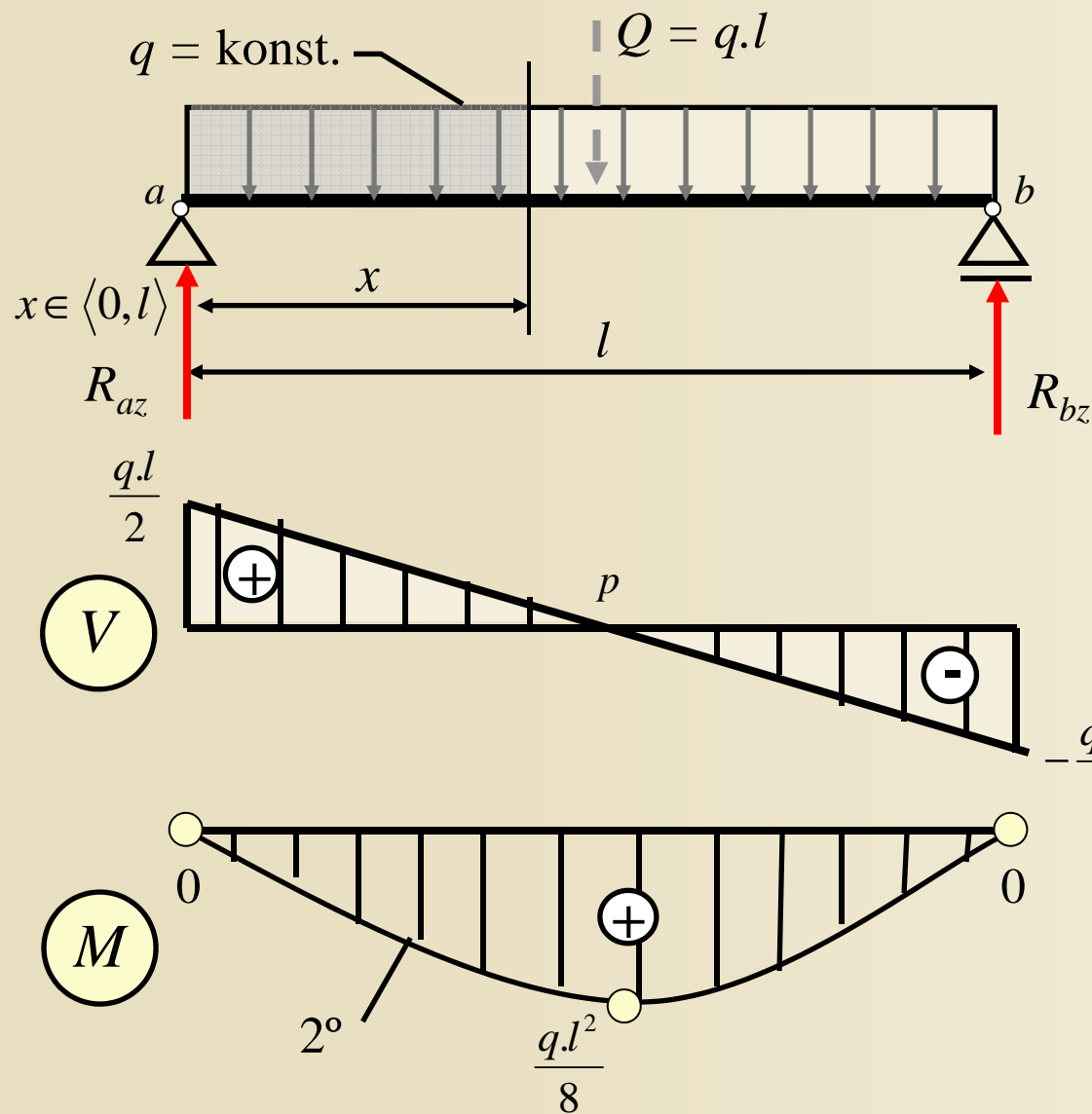
$$x \in \langle 0, c \rangle \quad M_{(x)}^L = -R_{az} \cdot x = -\frac{M \cdot x}{l}$$

$$x \in \langle c, l \rangle \quad M_{(x)}^L = -R_{az} \cdot x + M = \frac{M}{l} \cdot (l - x)$$

$$M_{(x=c1)} = -\frac{M \cdot c}{l} \quad M_{(x=c2)} = \frac{M \cdot d}{l}$$



Nejjednodušší zatěžovací stavy prostých nosníků



Výpočet reakcí

$$R_{az} = \frac{Q}{2} = \frac{q.l}{2} (\uparrow) \quad R_{bz} = \frac{Q}{2} = \frac{q.l}{2} (\uparrow)$$

Posouvající síla

$$V_{(x)}^L = R_{az} - q \cdot x = q \cdot \left(\frac{l}{2} - x \right)$$

$$V_{(a)} = V_{(x=0)} = \frac{q.l}{2}$$

$$V_{(b)} = V_{(x=l)} = -\frac{q.l}{2} = -R_{bz}$$

$$q \cdot \left(\frac{l}{2} - x \right) = 0 \rightarrow x_{\max} = \frac{l}{2}$$

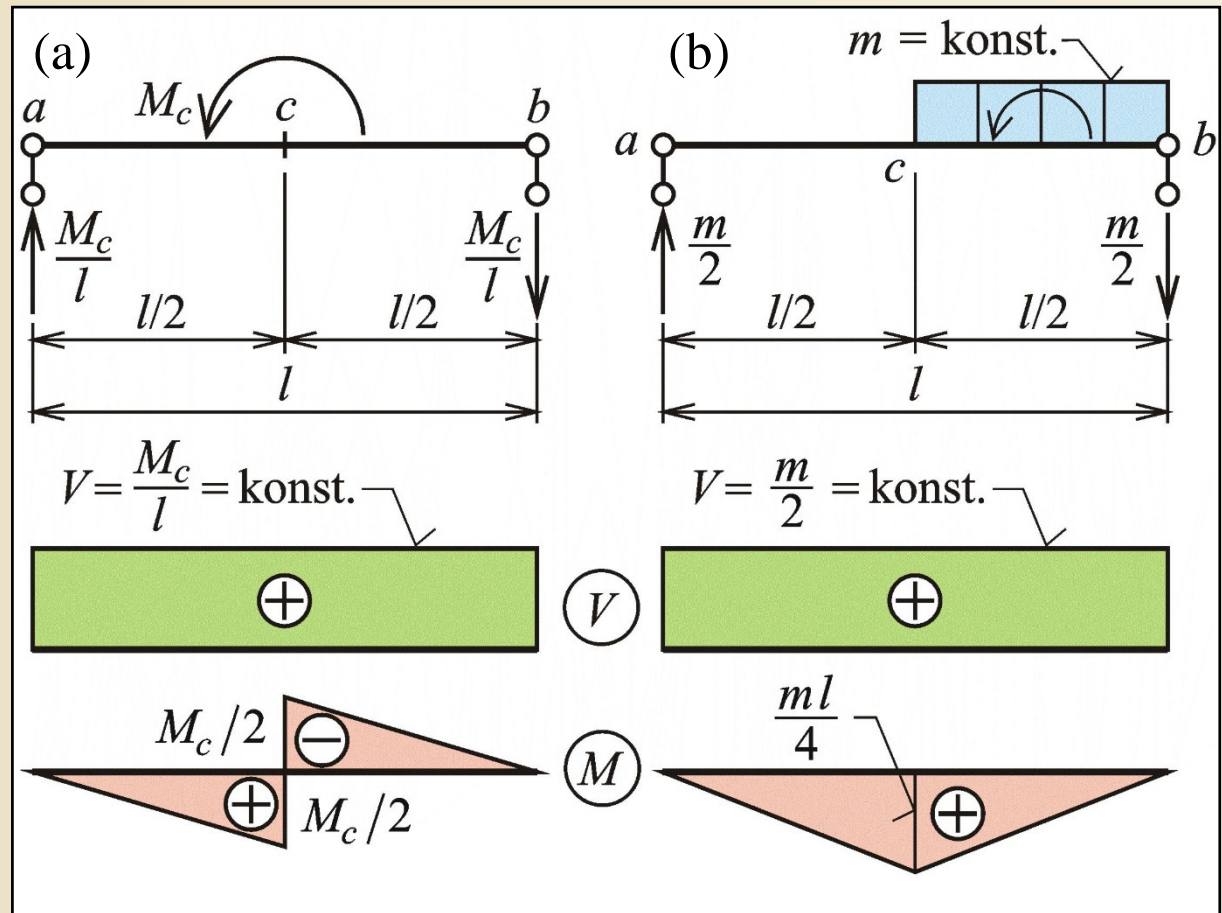
Ohybový moment

$$M_{(x)}^L = R_{az} \cdot x - \frac{q \cdot x^2}{2} = \frac{q}{2} \cdot (l \cdot x - x^2)$$

$$M_{(a)} = M_{(x=0)} = 0 \quad M_{(b)} = M_{(x=l)} = 0$$

$$M_{(x=l/2)} = M_{(x_{\max})} = \frac{q.l^2}{8}$$

Momentové zatížení

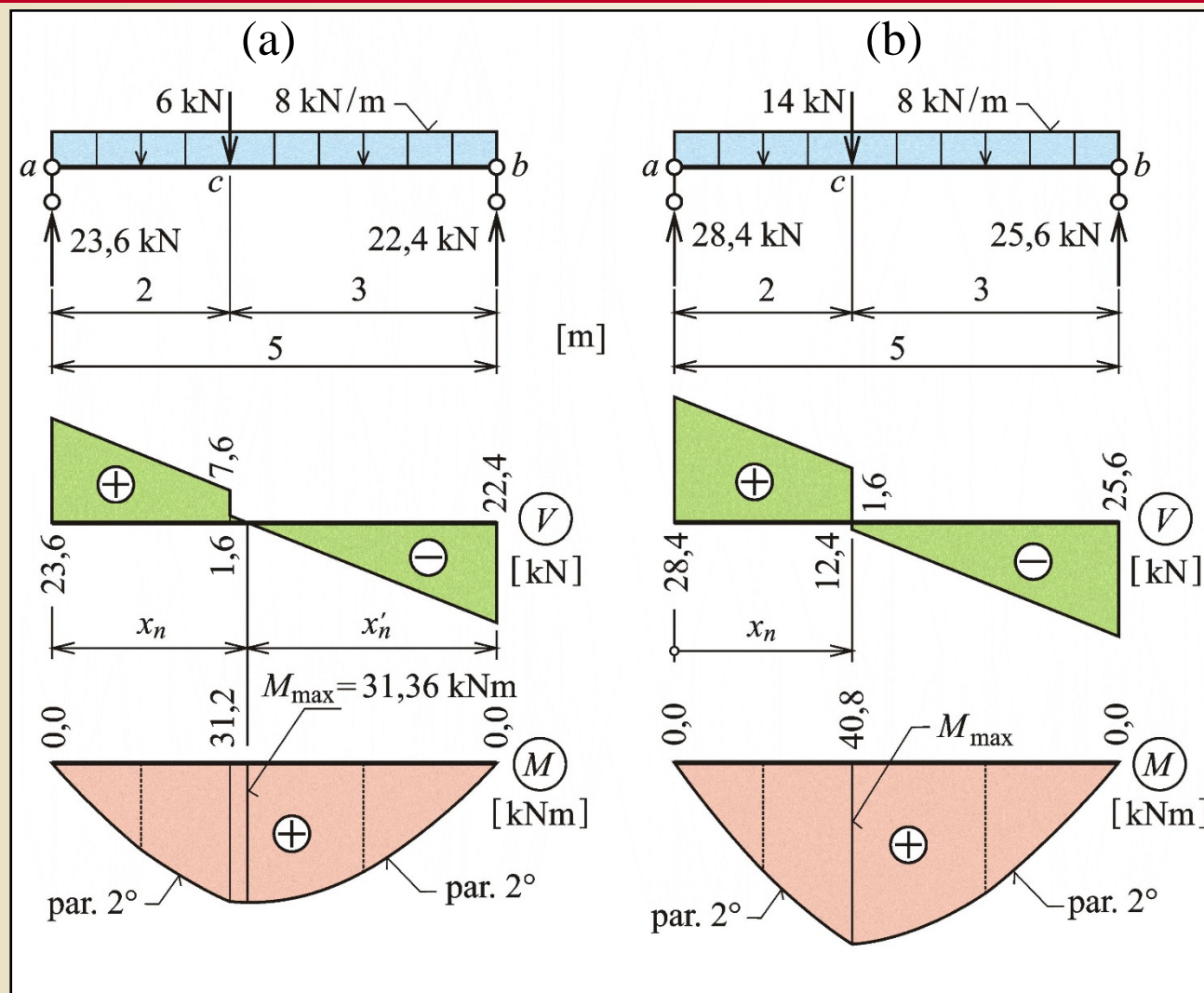


Bodové a rovnoměrné momentové zatížení

Obr. 7.30. / str. 109

Příklad 4.13

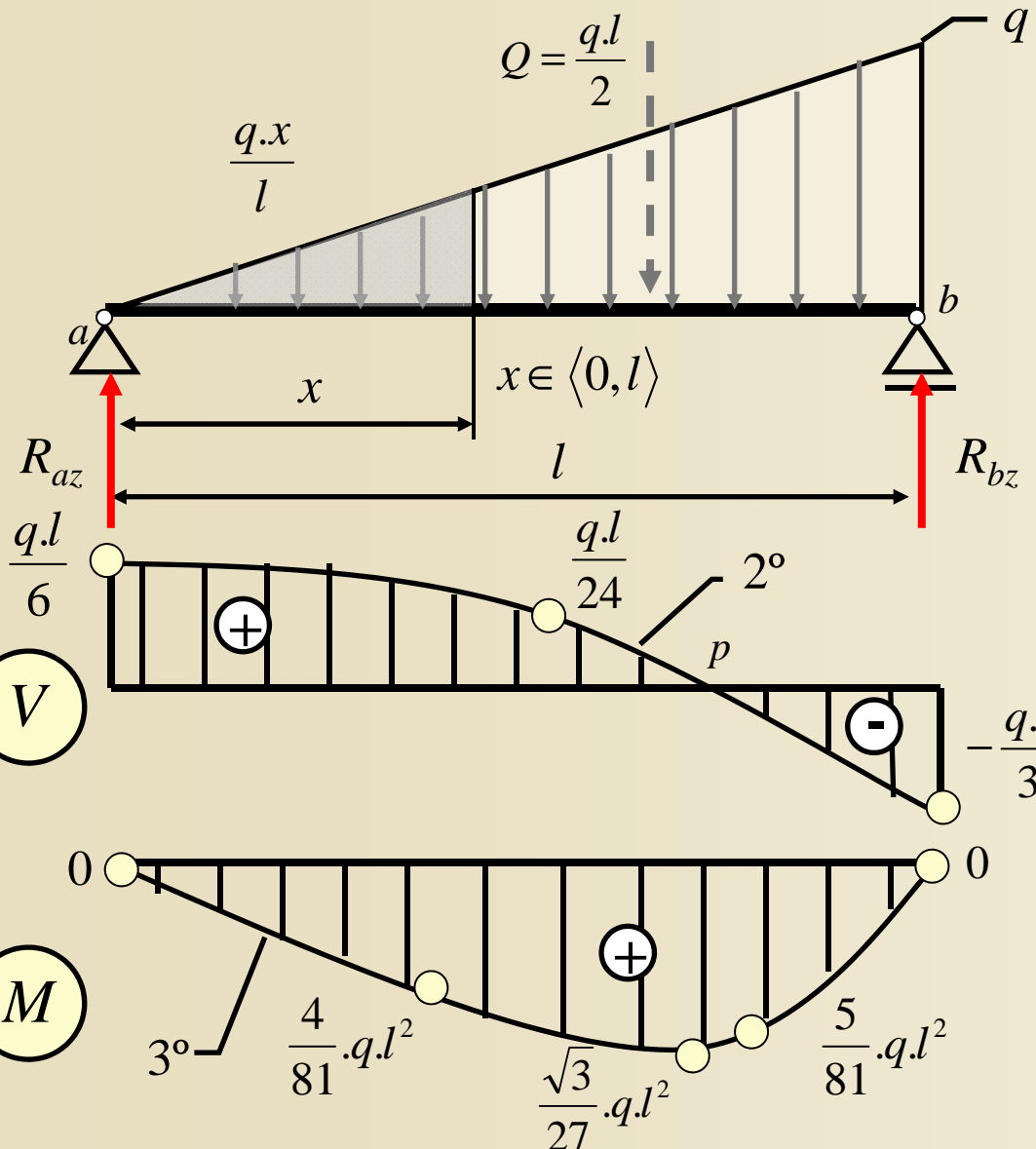
Zadání: pro oba zatěžovací stavy (liší se pouze velikostí osamělé síly) stejného prostého nosníku určit reakce, sestavit průběhy posouvajících sil a ohybových momentů a určit extrémní hodnoty vnitřních sil.



Zadání a řešení příkladu 4.13

Obr. 7.28. / str. 107

Nejjednodušší zatěžovací stavy prostých nosníků



Výpočet reakcí

$$R_{az} = \frac{Q}{3} = \frac{q \cdot l}{6} (\uparrow) \quad R_{bz} = \frac{2}{3} \cdot Q = \frac{q \cdot l}{3} (\uparrow)$$

Posouvající síla

$$V_{(x)}^L = R_{az} - \frac{q \cdot x \cdot x}{2} = \frac{q \cdot l}{6} - \frac{q \cdot x^2}{2 \cdot l} = \frac{q}{6 \cdot l} \cdot (l^2 - 3 \cdot x^2)$$

$$V_{(a)} = V_{(x=0)} = \frac{q \cdot l}{6} \quad V_{(x=l/2)} = \frac{q \cdot l}{24}$$

$$V_{(b)} = V_{(x=l)} = -\frac{q \cdot l}{3} = -R_{bz}$$

$$\frac{q}{6 \cdot l} \cdot (l^2 - 3 \cdot x^2) = 0 \rightarrow x_{\max} = \frac{\sqrt{3}}{3} \cdot l \doteq 0,577350 \cdot l$$

Ohybový moment

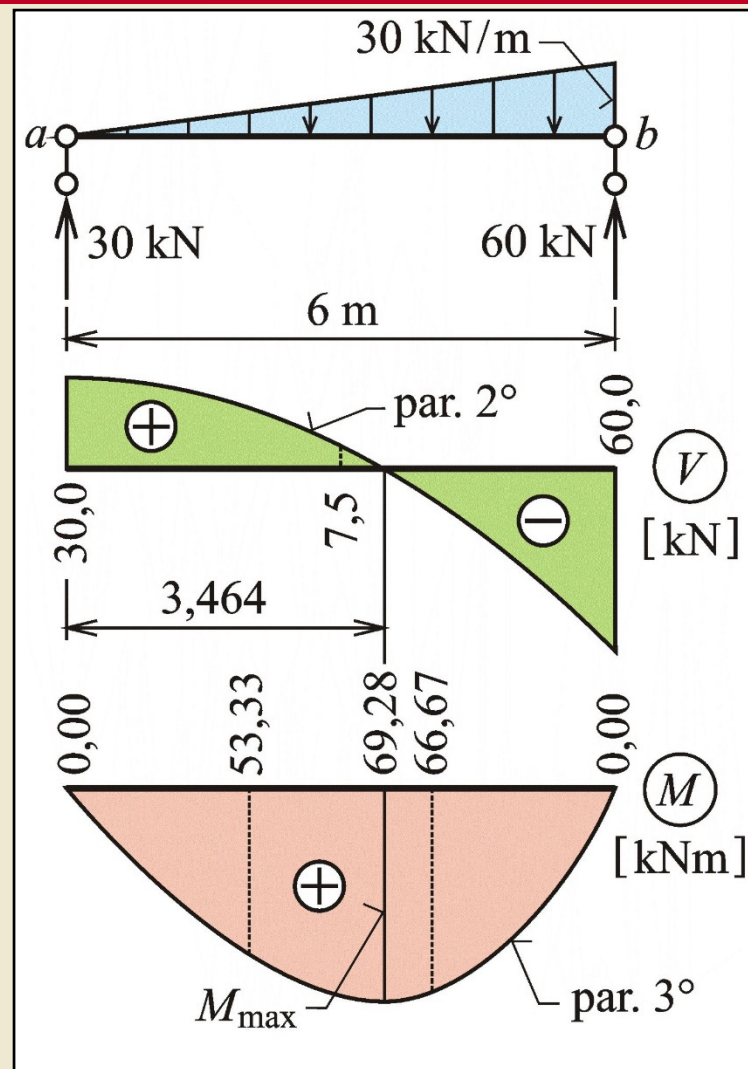
$$M_{(x)}^L = R_{az} \cdot x - \frac{q \cdot x \cdot x}{2} \cdot \frac{x}{3} = \frac{q \cdot l \cdot x}{6} - \frac{q \cdot x^3}{6 \cdot l} =$$

$$= \frac{q \cdot x}{6 \cdot l} \cdot (l^2 - x^2) \quad M_{(x=l/3)} = \frac{4}{81} \cdot q \cdot l^2$$

$$M_{(x_{\max})} = \frac{\sqrt{3}}{27} \cdot q \cdot l^2 \quad M_{(x=2/3 \cdot l)} = \frac{5}{81} \cdot q \cdot l^2$$

Příklad 4.14

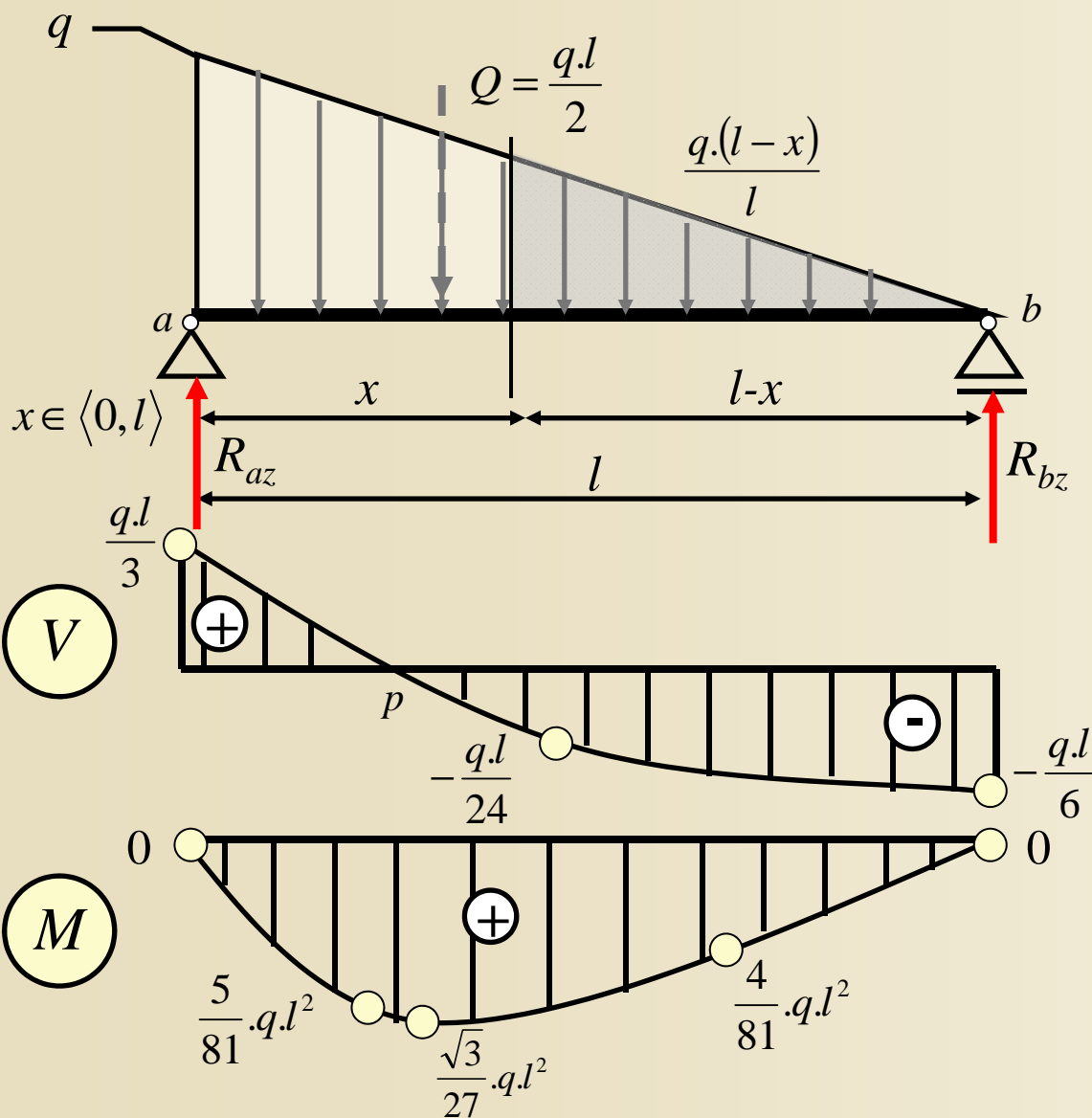
Zadání: určit reakce prostého nosníku, sestrojít průběhy posouvajících sil a ohybových momentů a určit extrémní hodnoty vnitřních sil.



Zadání a řešení příkladu 4.14

Obr. 7.29. / str. 108

Nejjednodušší zatěžovací stavy prostých nosníků



Výpočet reakcí

$$R_{az} = \frac{2}{3} \cdot Q = \frac{ql}{3} (\uparrow) \quad R_{bz} = \frac{Q}{3} = \frac{ql}{6} (\uparrow)$$

Posouvající síla

$$V_{(x)}^P = -R_{bz} + \frac{q_x \cdot (l-x)}{2} = -\frac{ql}{6} + \frac{q \cdot (l-x) \cdot (l-x)}{2} = \frac{q}{6l} \cdot (3x^2 - 6lx + 2l^2)$$

$$V_{(a)} = V_{(x=0)} = \frac{ql}{3} \quad V_{(x=l/2)} = -\frac{ql}{24}$$

$$V_{(b)} = V_{(x=l)} = -\frac{ql}{6} = -R_{bz}$$

$$\frac{q}{6l} \cdot (3x^2 - 6lx + 2l^2) = 0$$

$$x_{\max} = l \cdot \left(1 - \frac{\sqrt{3}}{3}\right) \doteq 0,422649 \cdot l$$

Ohybový moment

$$M_{(x)}^P = +R_{bz} \cdot (l-x) - \frac{q \cdot (l-x)^2}{2l} \cdot \frac{(l-x)}{3} = +\frac{ql}{6} \cdot (l-x) - \frac{q \cdot (l-x)^3}{6l} = \frac{q \cdot x}{6l} \cdot (x-l) \cdot (x-2l)$$

$$M_{(x_{\max})}^P = \frac{\sqrt{3}}{27} \cdot ql^2$$

Nejjednodušší zatěžovací stavy prostých nosníků

$m = \text{konst.}$

Výpočet reakcí

$$R_{az} = \frac{M}{l} = m(\downarrow)$$

$$R_{bz} = \frac{M}{l} = m(\uparrow)$$

Posouvající síla

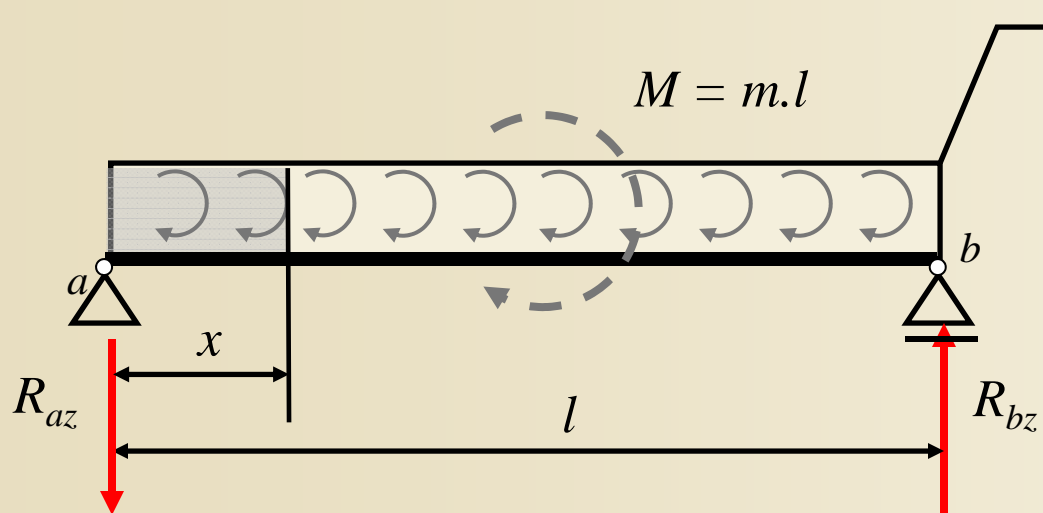
$$V_{(x)}^L = \text{konst.} = -R_{az} = -m$$

$$V_{(a)} = V_{(x=0)} = -m$$

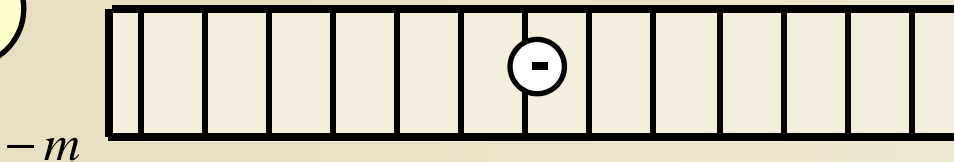
$$V_{(b)} = V_{(x=l)} = -m$$

Ohybový moment

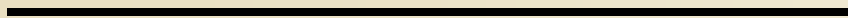
$$M_{(x)}^L = -R_{az} \cdot x + m \cdot x = -m \cdot x + m \cdot x = 0$$



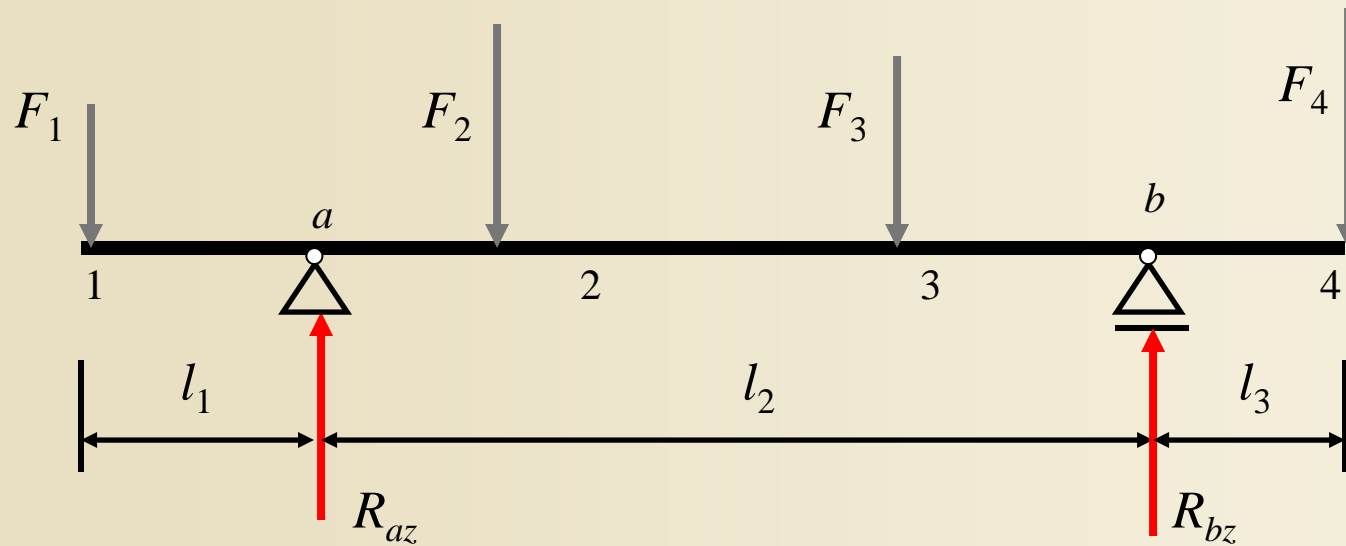
V



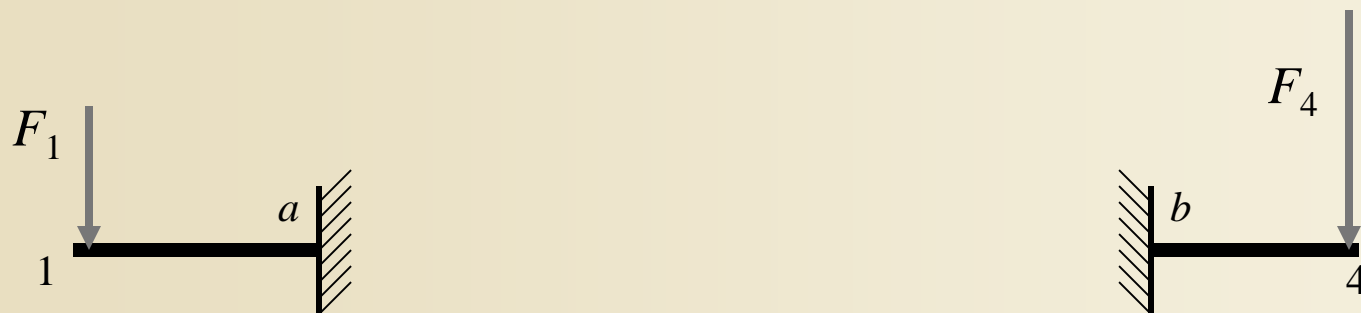
M



Prostý nosník s převislými konci

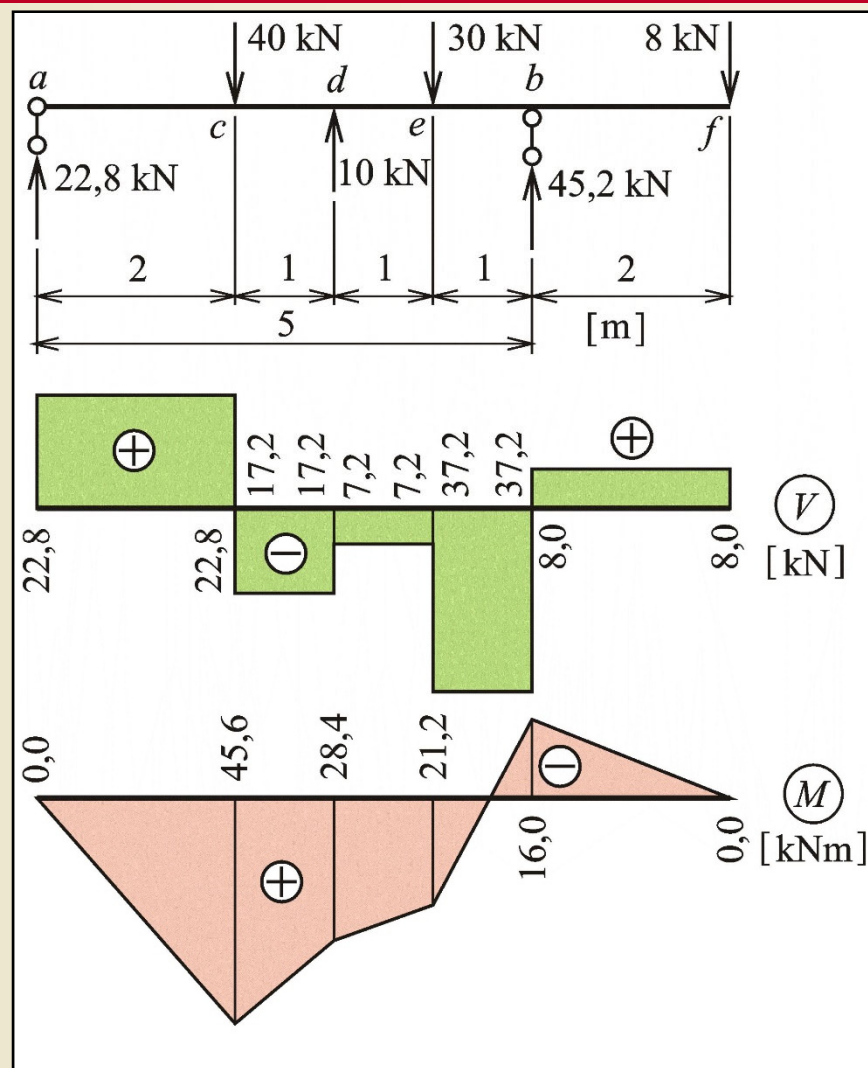


Průběhy na převislých koncích stejné jako:



Příklad 4.12

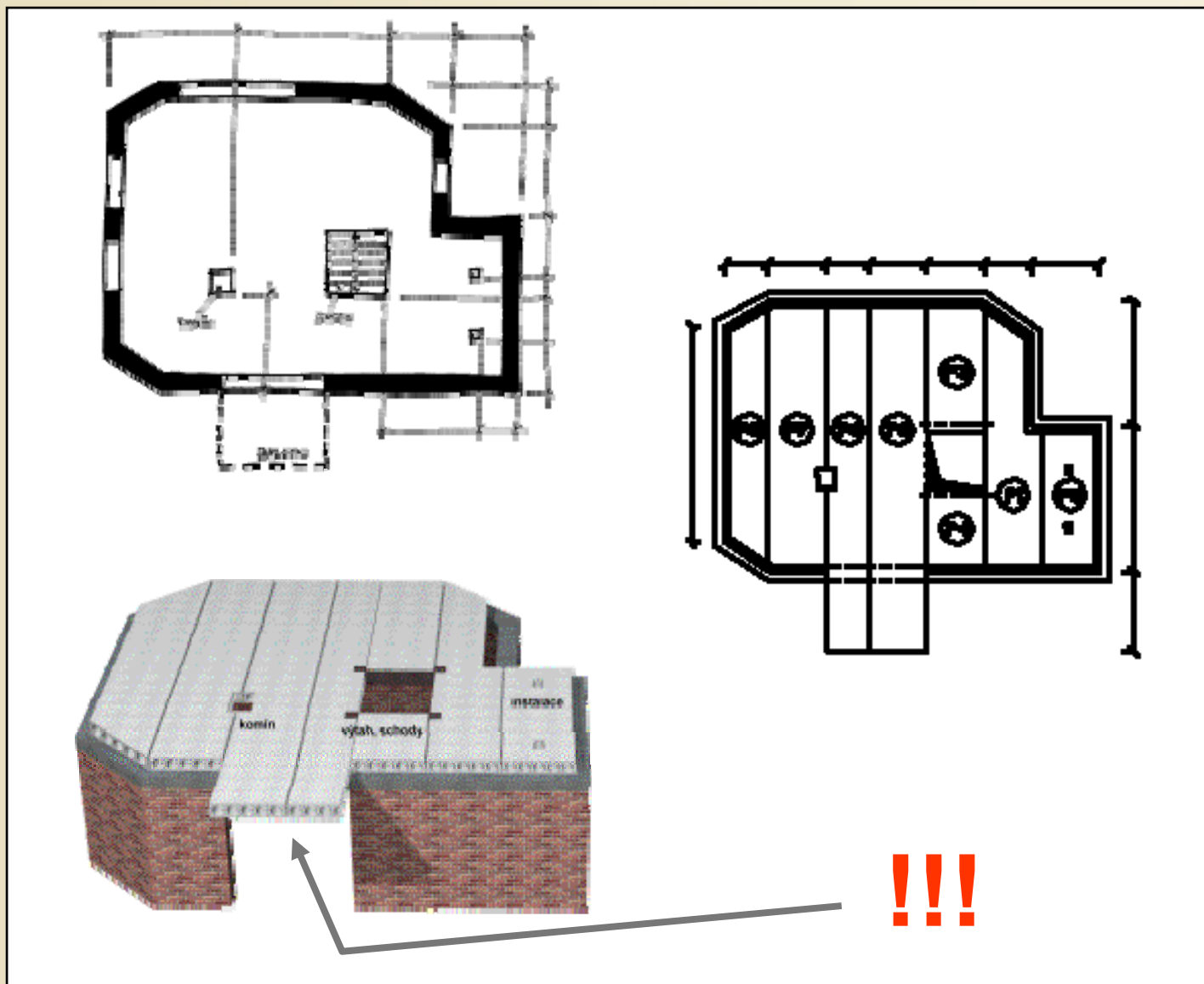
Zadání: určit obě reakce nosníku s převislým koncem vpravo, sestrojít průběhy posouvajících sil a ohybových momentů a určit extrémní hodnoty vnitřních sil.



Zadání a řešení příkladu 4.12

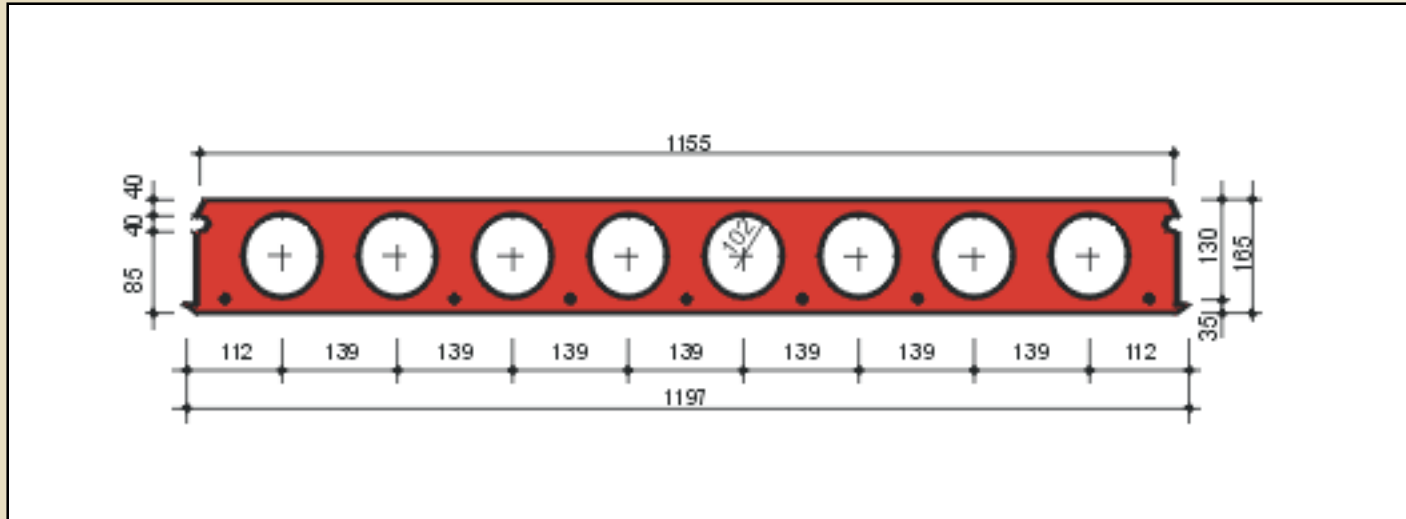
Obr. 7.26. / str. 105

Prostý nosník s převislými konci

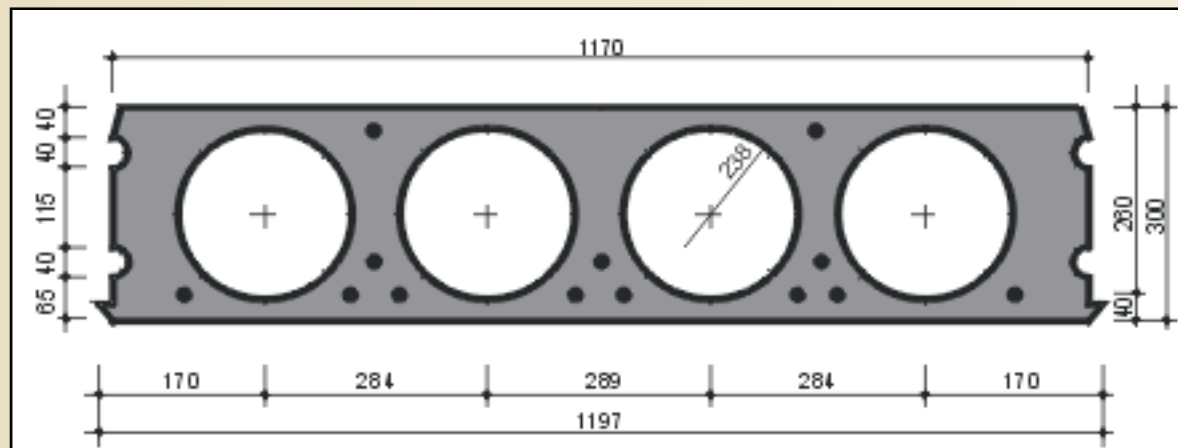


Prostý nosník s převislými konci

Spirol 165



Spirol 300



Ukázka konstrukce s převislými konci



Nosná konstrukce střechy Fakultní dětské nemocnice v Černých Polích, Brno, projekt OKM

Ukázka konstrukce s převislými konci



Nosná konstrukce střechy z lepeného lamelového dřeva, Štýrsko v Rakousku,
foto: prof. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.

Ukázka konstrukce s převislými konci



Nosná konstrukce střechy z lepeného lamelového dřeva, Štýrsko v Rakousku,
foto: prof. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.

Ukázka konstrukce s převislými konci



Převislé konce železobetonového skeletu, supermarket Albert, Ostrava-Poruba

Ukázka konstrukce s převislými konci

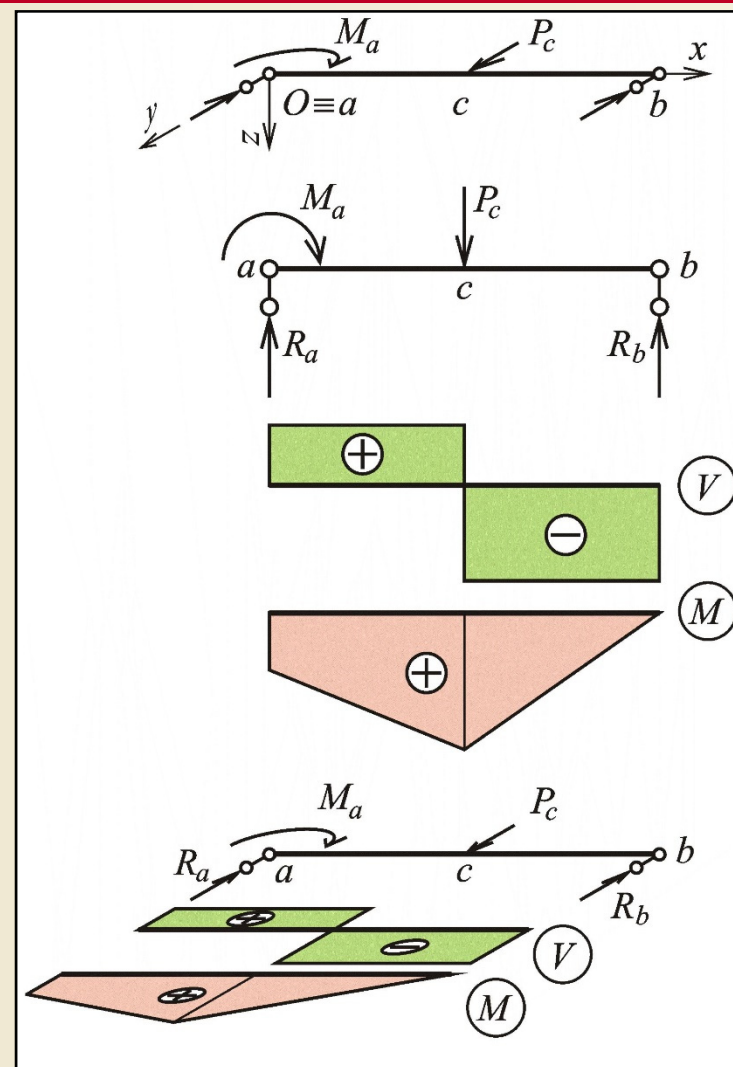


Převislé konce železobetonového skeletu, supermarket Albert, Ostrava-Poruba

Výpočet nosníku v příčné úloze (ve vodorovné hlavní rovině xy)

Řešení:

Obráz nosníku i se zatížením se otočí o 90° kolem osy x tak, že kladný smysl osy y se ztotožní s kladným smyslem osy z . Lze pak řešit stejně jako nosník ve svislé rovině xz . Po vyřešení se vše pootočí zpět do vodorovné roviny xy .



Řešení nosníku v hlavní rovině xy

Obr. 7.38. / str. 114

Výpočet nosníku v krutové úloze

Jedna vnější vazba – jediná složka reakce ($n_v = 1$) z podmínky rovnováhy:

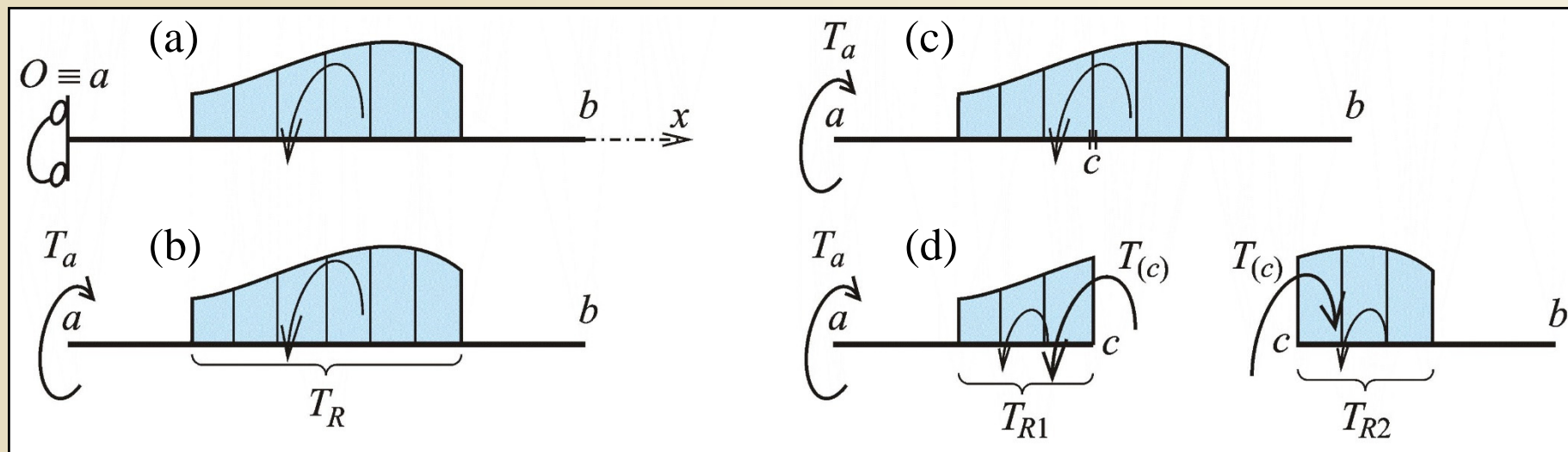
$$T_a - T_R = 0 \Rightarrow T_a = T_R$$

Jediná složka vnitřních sil – **krutící moment** T (torze).

Kladný směr při pohledu **proti** kladnému smyslu osy x se snaží prut otáčet **proti** směru hodinových ručiček (proti-proti, levotočivé kroucení).

$$T_{(c)} = T_a - T_{R1}$$

$$T_{(c)} = T_{R2}$$



Výpočet momentové reakce a krutícího momentu v krutové úloze

Obr. 7.39. / str. 115

Diferenciální podmínky rovnováhy elementu v krutové úloze

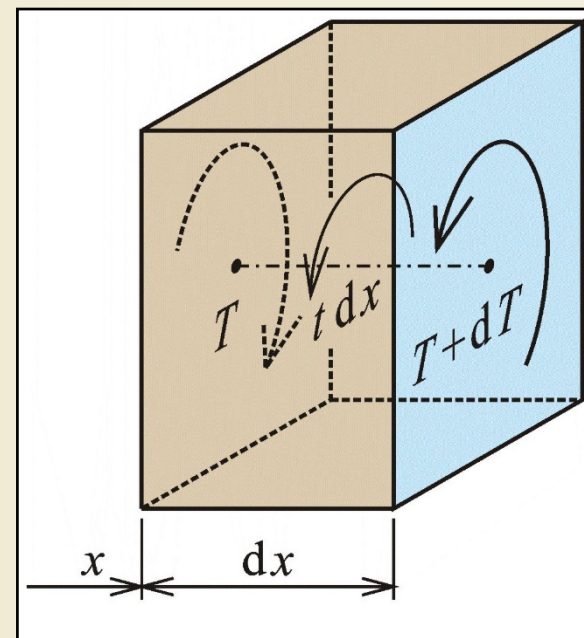
Kroutící moment T krutově namáhaného nosníku v zadaném průřezu je roven algebraickému součtu všech krutových (zkrucujících) momentů, které na nosník působí po jedné straně zadaného průřezu. Postupujeme-li z levé strany, zahrnujeme do součtu kladně ty momenty, které při pohledu proti kladnému smyslu osy x otáčejí po ručičkách, záporně ty momenty, které otáčejí proti ručičkám. Při postupu z pravé strany je to naopak: kladně přispívají momenty otáčející (při pohledu proti kladnému smyslu osy x) proti ručičkám, záporně momenty otáčející po ručičkách.

Diferenciální podmínka rovnováhy:

$$T_R = 0: \quad -T + (T+dT) + t \cdot dx = 0$$

$$\rightarrow \frac{dT}{dx} = -t$$

Obdoba osově úlohy

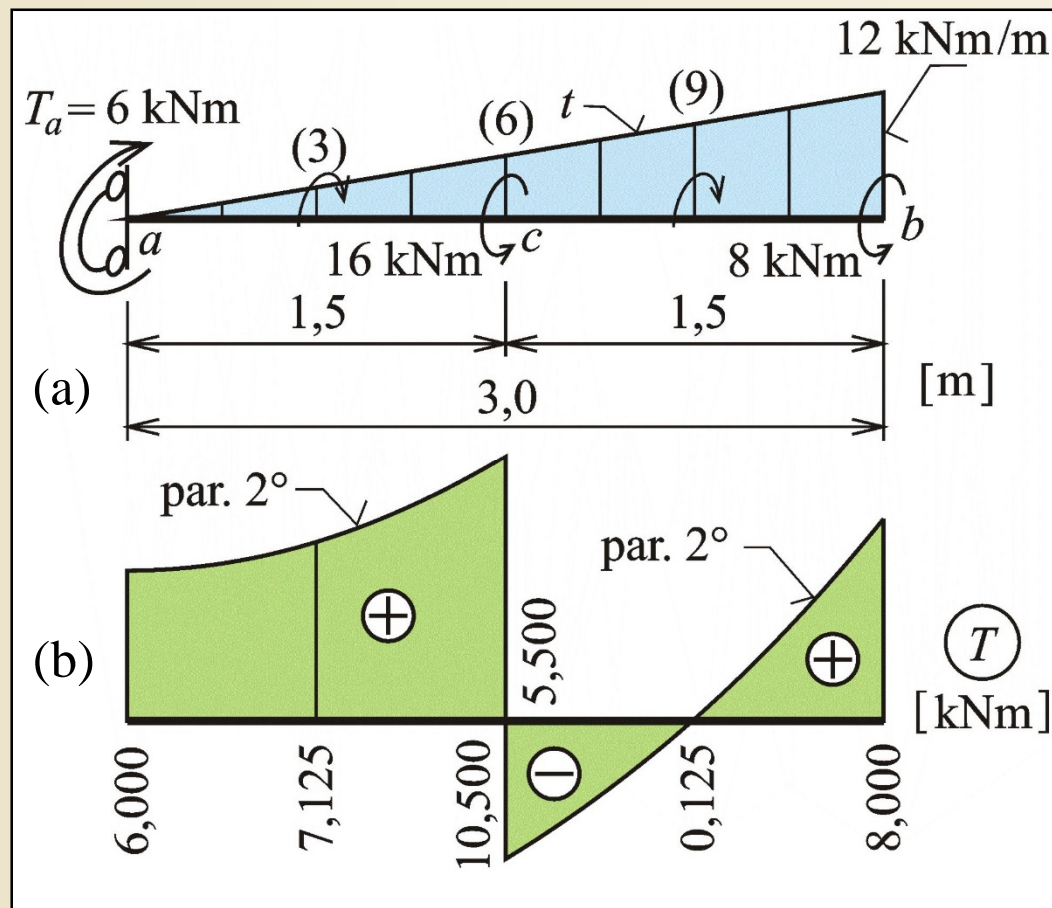


Rovnováha elementu v krutové úloze

Obr. 7.40. / str. 116

Příklad 4.17

Zadání: určit momentovou reakci T_a nosníku v krutové úloze, sestavit průběh kroutících momentů T a jejich extrémy



Zadání a řešení příkladu 4.17

Obr. 7.41. / str. 116

Vodorovný prostý nosník se šikmým zatížením

V rovinné úloze má nepodepřený nosník $n_v=3$, musí být podepřen třemi jednoduchými vnějšími vazbami.

Vodorovný prostý nosník se **šikmým zatížením** má vnější vazby rovnoběžné se souřadnicovými osami x, z , zatížen obecně dle obr.

Řešení:

Veškerá šikmá zatížení lze rozložit na složku svislou a vodorovnou:

$$P_z = P \cdot \sin \alpha$$

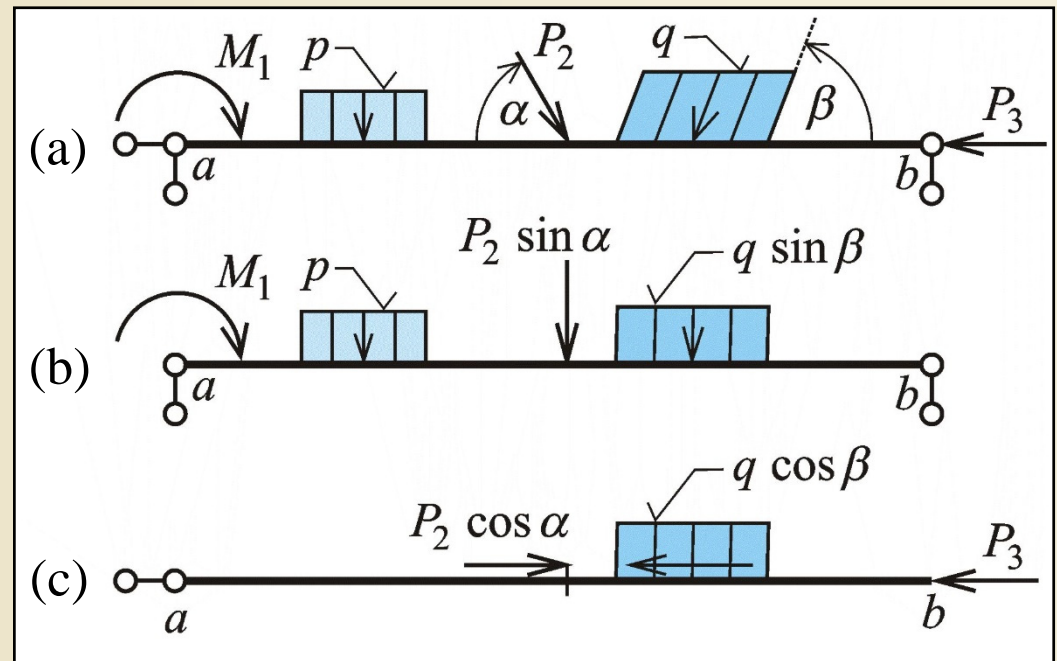
$$P_x = P \cdot \cos \alpha$$

$$q_z = q \cdot \sin \beta$$

$$q_x = q \cdot \cos \beta$$

Důsledek:

Úloha se rozpadne na dvě samostatné – příčnou a OSOVOU.

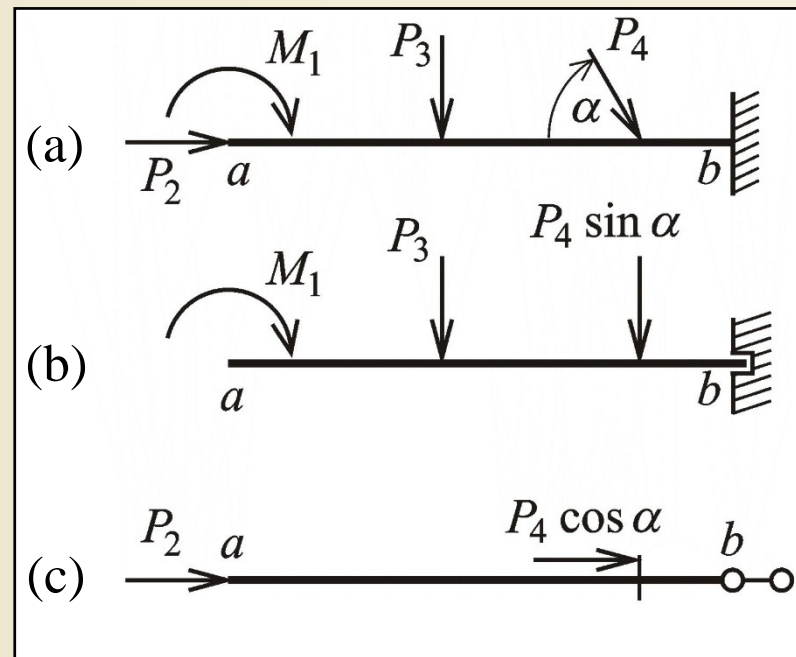


Rozpad rovinné úlohy prostého nosníku na příčnou a osovou

Obr. 7.42. / str. 117

Vodorovná konzola se šikmým zatížením

Pro rozklad zatížení a rozpad rovinné úlohy na příčnou a osovou platí stejné pravidla jako pro prostý nosník.



Rozpad rovinné úlohy konzoly na příčnou a osovou

Obr. 7.43. / str. 117

Příklad 4.18

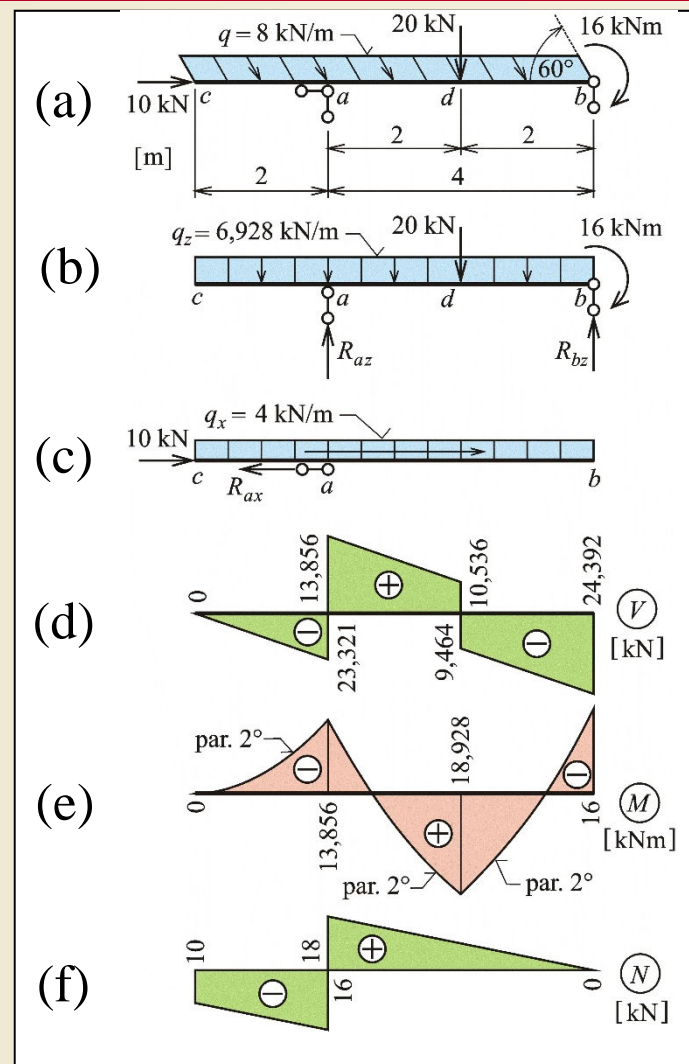
Zadání: určit reakce a průběhy vnitřních sil na prostém nosníku s převislým koncem vlevo s využitím rozkladu rovinné úlohy na příčnou a osovou.

Řešení:

- a) rozklad šikmého rovnoměrného zatížení na svislou a vodorovnou složku

$$q_z = 8 \cdot \sin 60^\circ \quad q_x = 8 \cdot \cos 60^\circ$$

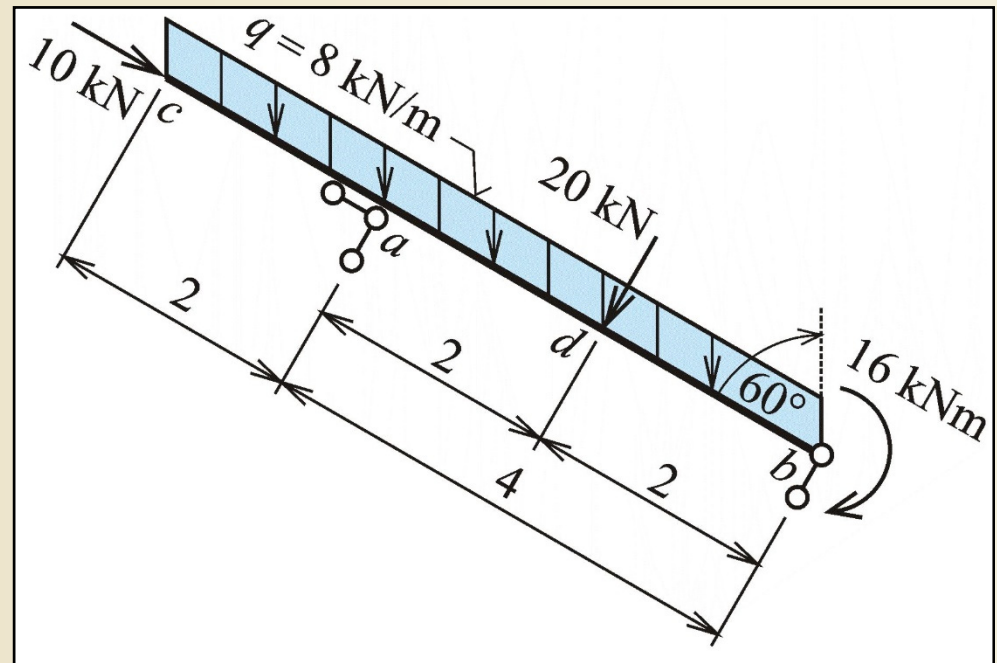
- b) určit reakce dle předchozích postupů pro příčnou a osovou úlohu
 c) stanovit průběhy vnitřních sil odpovídající příčné a osově úloze



Zadání a řešení příkladu 4.18

Vodorovný prostý nosník se šikmým zatížením

V praktických aplikacích je nosník ve stavební konstrukci umístěn šikmo (viz obrázek). Pro usnadnění výpočtu lze i se zatížením a podepřením potočit do vodorovného směru.



Nosník umístěný v konstrukci šikmo

Obr. 7.45. / str. 119

Vodorovný prostý nosník se šikmým podepřením

Rozložení šikmé reakce na svislou a vodorovnou složku:

$$R_{bz} = R_{b\gamma} \cdot \cos \gamma \quad R_{bx} = R_{b\gamma} \cdot \sin \gamma$$

Postup řešení:

a) $\sum M_{ib} = 0 \Rightarrow R_{az}$

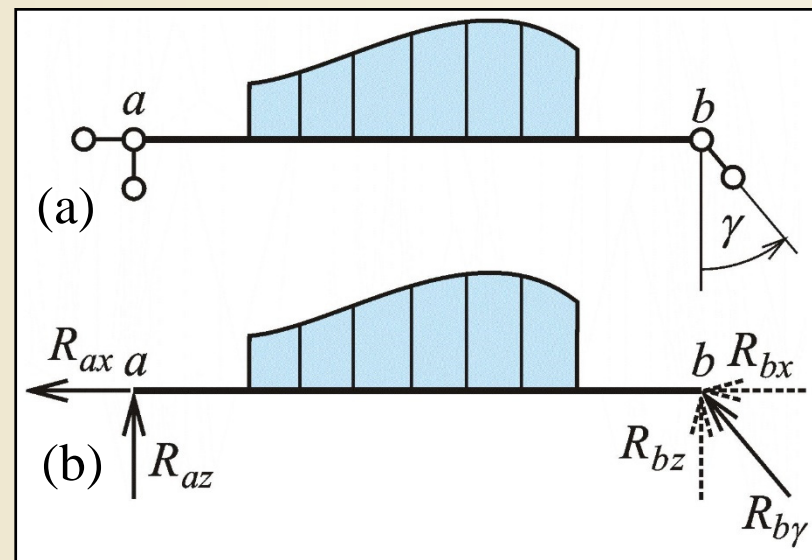
b) $\sum M_{ia} = 0 \Rightarrow R_{bz} \Rightarrow R_{b\gamma} = \frac{R_{bz}}{\cos \gamma}$

c) $R_z = 0$ kontrola

d) $R_{bx} = R_{b\gamma} \cdot \sin \gamma$

e) $R_x = 0 \Rightarrow R_{ax}$

f) Dále řešení příčné a osově úlohy

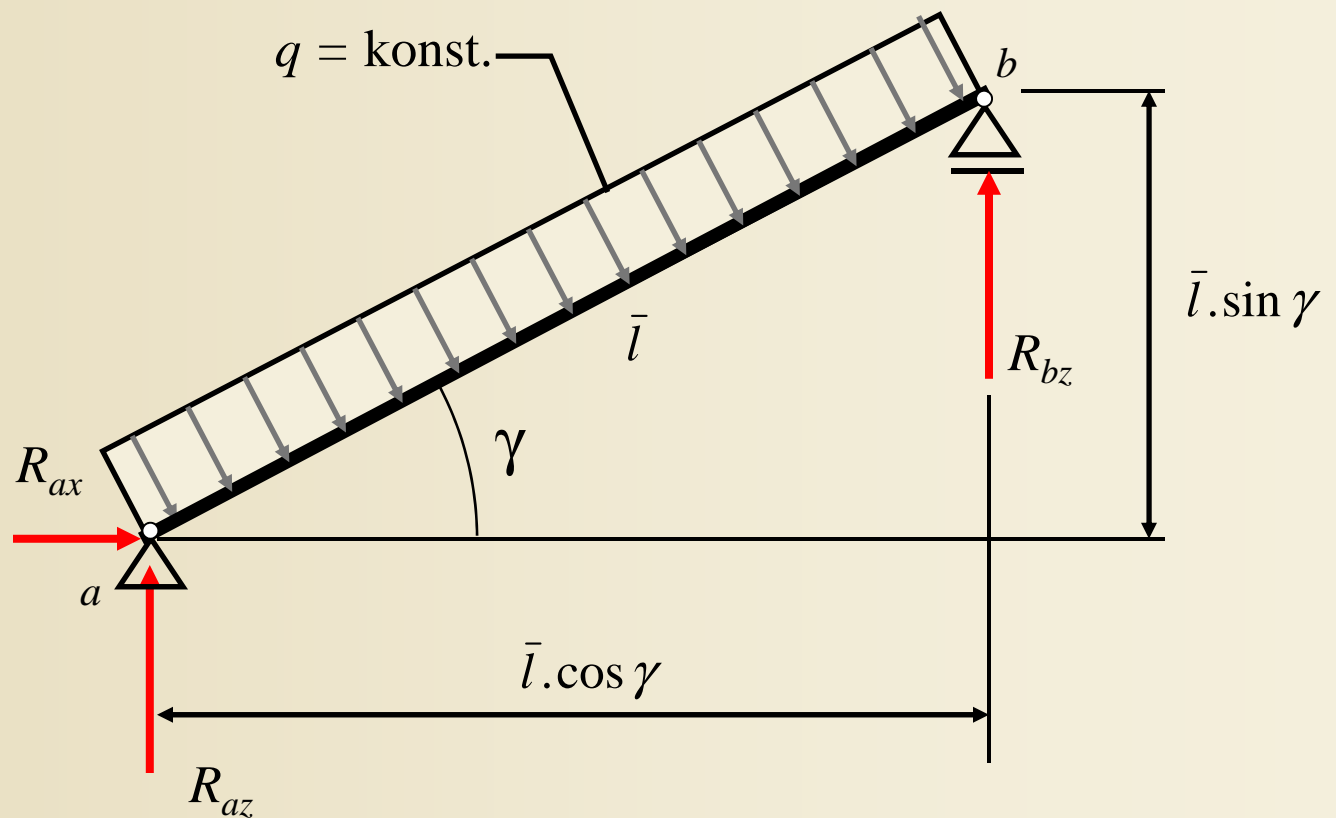


Nosník se šikmou vazbou

Obr. 7.46. / str. 119

Šikmý nosník - zatížení větrem

Spojité zatížení působící kolmo na nosník



Zatížení větrem – charakteristická hodnota

NORMOVÉ ZATÍŽENÍ VĚTREM $w^n = w_0 \cdot k_w \cdot C_w$

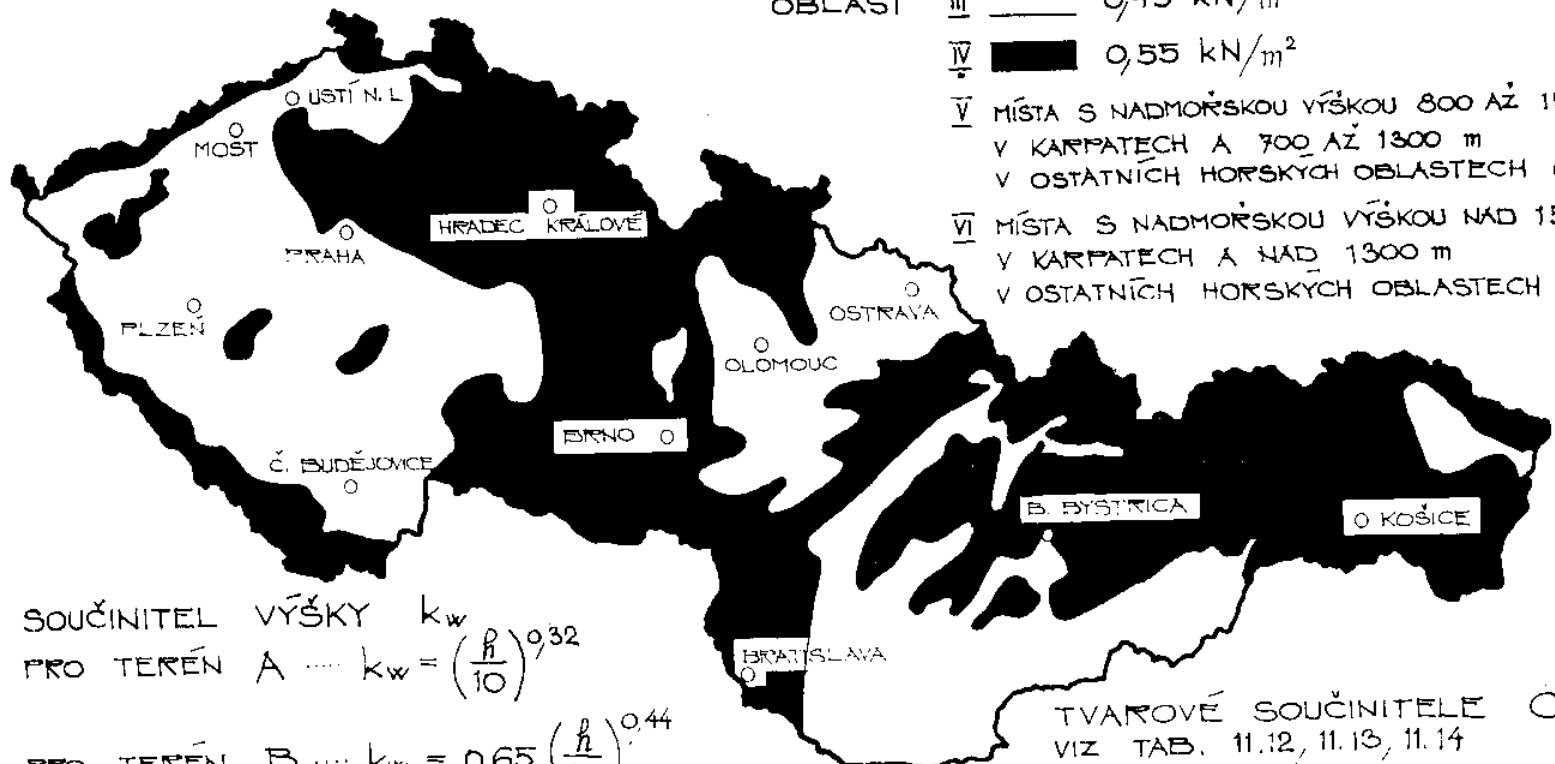
ZÁKLADNÍ TLAK VĚTRU w_0

OBLAST III $0,45 \text{ kN/m}^2$

IV $0,55 \text{ kN/m}^2$

V MÍSTA S NADMOŘSKOU VÝŠKOU 800 AŽ 1500 m
V KARPATECH A 700 AŽ 1300 m
V OSTATNÍCH HORSKÝCH OBLASTECH $0,7 \text{ kN/m}^2$

VI MÍSTA S NADMOŘSKOU VÝŠKOU NAD 1500 m
V KARPATECH A NAD 1300 m
V OSTATNÍCH HORSKÝCH OBLASTECH $0,85 \text{ kN/m}^2$



SOUČINTEL VÝŠKY k_w
PRO TERÉN A $k_w = \left(\frac{h}{10}\right)^{0,32}$

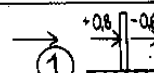
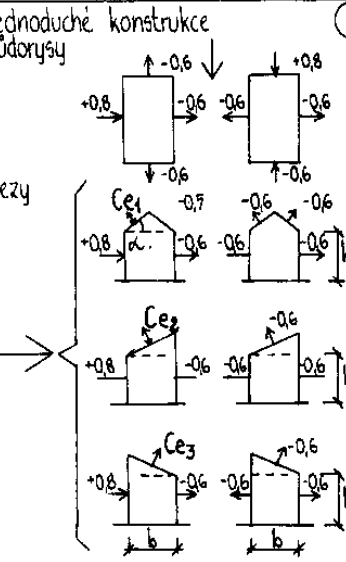
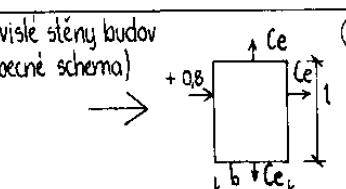
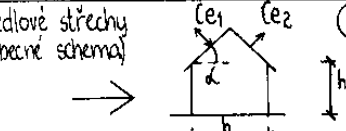
PRO TERÉN B $k_w = 0,65 \left(\frac{h}{10}\right)^{0,44}$

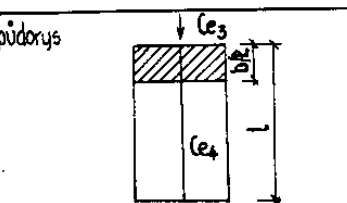
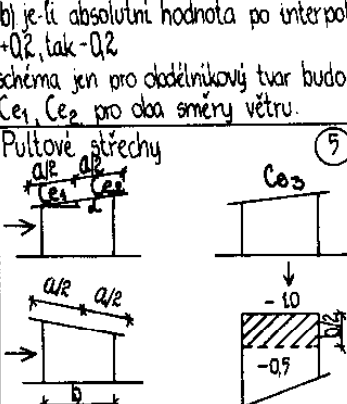
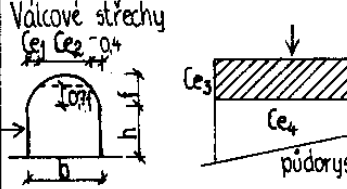
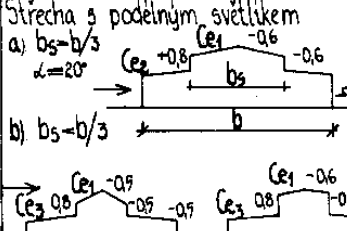
TVAROVÉ SOUČINITELE C_s
VIZ TAB. 11.12, 11.13, 11.14

OBLASTI I, II A VII SE NA ÚZEMÍ ČSSR NEVYSKYTUJÍ

Zatížení větrem – charakteristická hodnota

TAB. 11.12. TVAROVÍ SOUČINĚTELE PRO VNĚJŠÍ PLOCHY KONSTRUKCÍ

Schema konstrukce a působení větru	Hodnoty součinitele C_e ^{+tlak} _{-sání}																									
Samostatně volně stojící stěny, ploty a pod 	strana návětrná $C_e = +0.8$ strana zavětrná $C_e = -0.6$																									
Jednoduché konstrukce půdorysy 	<p>Konstrukce uvedených tvarů musí splňovat současně tyto podmínky: výška $h = 20m$ poměr $h/b \approx 2$ Největší půdorysný rozměr nepřesahuje 50m. U konstrukcí, které nespĺňují uvedené požadavky se užije schémata obecné platnosti:</p> <table border="1"> <tr> <td>α</td> <td>0°</td> <td>20°</td> <td>30°</td> <td>$\approx 60^\circ$</td> </tr> <tr> <td>C_{e1}</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>≈ 0.2</td> <td>+0.8</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td>α</td> <td>0°</td> <td>20°</td> <td>$\approx 30^\circ$</td> </tr> <tr> <td>C_{e2}</td> <td>-0.8</td> <td>-0.7</td> <td>= 0.3</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td>α</td> <td>$< 20^\circ$</td> <td>$\approx 20^\circ$</td> </tr> <tr> <td>C_{e3}</td> <td>-0.8</td> <td>-0.6</td> </tr> </table> <p>Meziúhodné hodnoty C_e se interpolují. Interpolovat lze jen hodnoty C_e stejného znaménka (při interpolaci kladných hodnot C_{e2} se uvažuje pro $\alpha = 20^\circ$ $C_{e2} = 0$) Znaménko součinitele C_e pro $\alpha = 30^\circ$ se volí tak, aby účinek byl co nejnepriznivější.</p>	α	0°	20°	30°	$\approx 60^\circ$	C_{e1}	-0.8	-0.8	≈ 0.2	+0.8	α	0°	20°	$\approx 30^\circ$	C_{e2}	-0.8	-0.7	= 0.3	α	$< 20^\circ$	$\approx 20^\circ$	C_{e3}	-0.8	-0.6	
α	0°	20°	30°	$\approx 60^\circ$																						
C_{e1}	-0.8	-0.8	≈ 0.2	+0.8																						
α	0°	20°	$\approx 30^\circ$																							
C_{e2}	-0.8	-0.7	= 0.3																							
α	$< 20^\circ$	$\approx 20^\circ$																								
C_{e3}	-0.8	-0.6																								
Svislé stěny budov (obecné schéma) 	<p>C_e <table border="1"> <tr> <td>h/b</td> <td>≈ 0.5</td> <td>1</td> <td>≈ 2</td> </tr> <tr> <td>C_e</td> <td>-1</td> <td>-0.4</td> <td>-0.7</td> </tr> <tr> <td></td> <td>-0.7</td> <td>-0.6</td> <td>-0.6</td> </tr> </table> h - výška budovy počkap nebo horní hranu atiky b - půdorysný rozměr, rovnoběžný se směrem větru l - půdorysný rozměr kolmý na směr větru</p>	h/b	≈ 0.5	1	≈ 2	C_e	-1	-0.4	-0.7		-0.7	-0.6	-0.6													
h/b	≈ 0.5	1	≈ 2																							
C_e	-1	-0.4	-0.7																							
	-0.7	-0.6	-0.6																							
Šedlové střechy (obecné schéma) 	<p>C_{e1} <table border="1"> <tr> <td>h/b</td> <td>0</td> <td>0.5</td> <td>1</td> <td>≈ 2</td> </tr> <tr> <td>0°</td> <td>0.0</td> <td>-0.6</td> <td>-0.7</td> <td>-0.8</td> </tr> <tr> <td>20°</td> <td>+0.2</td> <td>-0.4</td> <td>-0.7</td> <td>-0.8</td> </tr> <tr> <td>40°</td> <td>+0.4</td> <td>+0.3</td> <td>-0.2</td> <td>-0.4</td> </tr> <tr> <td>$\approx 60^\circ$</td> <td>+0.8</td> <td>+0.8</td> <td>+0.8</td> <td>+0.8</td> </tr> </table></p>	h/b	0	0.5	1	≈ 2	0°	0.0	-0.6	-0.7	-0.8	20°	+0.2	-0.4	-0.7	-0.8	40°	+0.4	+0.3	-0.2	-0.4	$\approx 60^\circ$	+0.8	+0.8	+0.8	+0.8
h/b	0	0.5	1	≈ 2																						
0°	0.0	-0.6	-0.7	-0.8																						
20°	+0.2	-0.4	-0.7	-0.8																						
40°	+0.4	+0.3	-0.2	-0.4																						
$\approx 60^\circ$	+0.8	+0.8	+0.8	+0.8																						

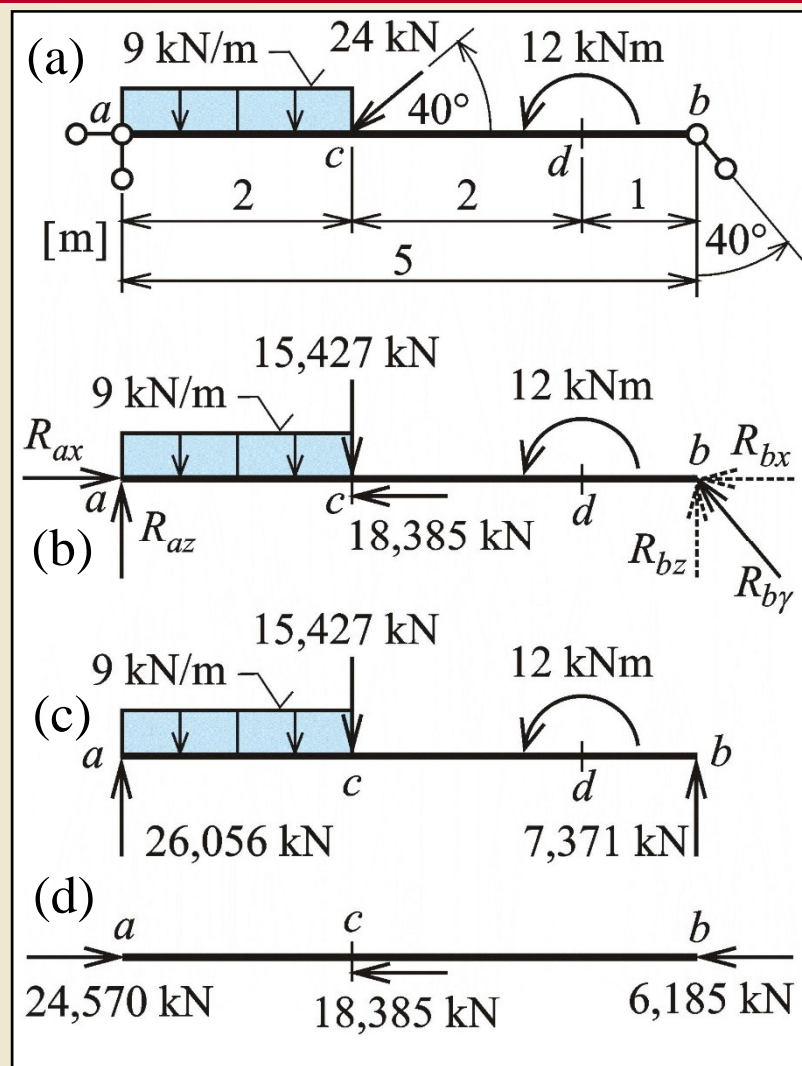
<p>půdorys </p>	<table border="1"> <tr> <td>h/b</td> <td>0</td> <td>0.5</td> <td>1.0</td> <td>≈ 2.0</td> </tr> <tr> <td>C_{e3}</td> <td>-0.4</td> <td>-0.4</td> <td>-0.7</td> <td>-0.8</td> </tr> <tr> <td>C_{e4}</td> <td>-0.7</td> <td>-0.7</td> <td>-0.9</td> <td>-1.0</td> </tr> <tr> <td>C_{e4}</td> <td>-0.4</td> <td>-0.5</td> <td>-0.9</td> <td>-0.8</td> </tr> </table> <p>1. K interpolování hodnot C_e: a) je-li mezi sousedními hodnotami rozdíl jen 0,1, uvažuje se vyšší absol. hodnota b) je-li absolutní hodnota po interpolaci menší než 0,2, uvažuje se alternativivně jak +0,2, tak -0,2 2. Pokud je sklon $\alpha = 0^\circ$, platí půdorysné schéma jen pro obdélníkový tvar budovy; při čtvercovém půdorysu použije se hodnot C_{e1}, C_{e2} pro oba směry větru.</p>	h/b	0	0.5	1.0	≈ 2.0	C_{e3}	-0.4	-0.4	-0.7	-0.8	C_{e4}	-0.7	-0.7	-0.9	-1.0	C_{e4}	-0.4	-0.5	-0.9	-0.8													
h/b	0	0.5	1.0	≈ 2.0																														
C_{e3}	-0.4	-0.4	-0.7	-0.8																														
C_{e4}	-0.7	-0.7	-0.9	-1.0																														
C_{e4}	-0.4	-0.5	-0.9	-0.8																														
<p>Pultové střechy </p>	<table border="1"> <tr> <td>α</td> <td>5°</td> <td>10°</td> <td>20°</td> <td>$\approx 30^\circ$</td> </tr> <tr> <td>C_{e1}</td> <td>-1.0</td> <td>-1.0</td> <td>+1.0</td> <td>-0.7</td> </tr> <tr> <td>C_{e2}</td> <td>-0.5</td> <td>-0.4</td> <td>+0.2</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>C_{e3}</td> <td>-</td> <td>0.0</td> <td>+0.2</td> <td>+0.4</td> </tr> </table> <p>1. Pro $\alpha = 0^\circ$ platí č. 4 2. Pokud jsou uvedeny 2 alternativy, uvažujeme obě, eventuálně tu nepriznivější.</p>	α	5°	10°	20°	$\approx 30^\circ$	C_{e1}	-1.0	-1.0	+1.0	-0.7	C_{e2}	-0.5	-0.4	+0.2	0.0	C_{e3}	-	0.0	+0.2	+0.4													
α	5°	10°	20°	$\approx 30^\circ$																														
C_{e1}	-1.0	-1.0	+1.0	-0.7																														
C_{e2}	-0.5	-0.4	+0.2	0.0																														
C_{e3}	-	0.0	+0.2	+0.4																														
<p>Válcové střechy </p>	<table border="1"> <tr> <td>h/b</td> <td>f/b</td> <td>≈ 0.1</td> <td>0.2</td> <td>0.3</td> <td>0.4</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">C_{e1}</td> <td>0.0</td> <td>+0.1</td> <td>+0.2</td> <td>+0.4</td> <td>+0.6</td> <td>+0.7</td> </tr> <tr> <td>0.2</td> <td>-0.2</td> <td>-0.1</td> <td>+0.2</td> <td>+0.5</td> <td>+0.7</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">C_{e2}</td> <td>≈ 1.0</td> <td>-0.6</td> <td>-0.7</td> <td>-0.3</td> <td>+0.3</td> <td>+0.7</td> </tr> <tr> <td></td> <td>-0.6</td> <td>-0.9</td> <td>-1.0</td> <td>-1.1</td> <td>-1.2</td> </tr> </table> <p>Součinitele C_{e3} a C_{e4} se určí podle č. 4 pro poměr h/b</p>	h/b	f/b	≈ 0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	C_{e1}	0.0	+0.1	+0.2	+0.4	+0.6	+0.7	0.2	-0.2	-0.1	+0.2	+0.5	+0.7	C_{e2}	≈ 1.0	-0.6	-0.7	-0.3	+0.3	+0.7		-0.6	-0.9	-1.0	-1.1	-1.2
h/b	f/b	≈ 0.1	0.2	0.3	0.4	0.5																												
C_{e1}	0.0	+0.1	+0.2	+0.4	+0.6	+0.7																												
	0.2	-0.2	-0.1	+0.2	+0.5	+0.7																												
C_{e2}	≈ 1.0	-0.6	-0.7	-0.3	+0.3	+0.7																												
		-0.6	-0.9	-1.0	-1.1	-1.2																												
<p>Střecha s podélným světlíkem </p> <p>a) $b_s = b/3$ $\alpha = 20^\circ$</p> <p>b) $b_s = b/3$</p>	<table border="1"> <tr> <td>h/b</td> <td>1.2</td> <td>1.4</td> <td>1.6</td> <td>1.8</td> <td>2.0</td> <td>2.5</td> <td>3.0</td> <td>≈ 4.0</td> </tr> <tr> <td>C_{e2}</td> <td>-0.7</td> <td>-0.3</td> <td>-0.1</td> <td>≈ 0.1</td> <td>+0.2</td> <td>+0.4</td> <td>+0.6</td> <td>+0.8</td> </tr> </table> <p>1. C_{e1} se uvažuje dle č. 4 pro $h/b \approx 2$ 2. Pro čela světlíků se uvažuje $C_e = -0.6$ 3. C_{e3} se určí dle č. 4 nebo č. 2 (z hodnot uvedených pro C_{e1} pro výšku h).</p>	h/b	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	≈ 4.0	C_{e2}	-0.7	-0.3	-0.1	≈ 0.1	+0.2	+0.4	+0.6	+0.8															
h/b	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	≈ 4.0																										
C_{e2}	-0.7	-0.3	-0.1	≈ 0.1	+0.2	+0.4	+0.6	+0.8																										

Příklad 4.19

Zadání: určit reakce a provést rozklad úlohy na příčnou a osovou.

Řešení:

- rozklad šikmé síly na svislou a vodorovnou složku
- určit reakce dle předchozího postupu
- stanovit průběhy vnitřních sil odpovídající příčné a osově úloze



Zadání a řešení příkladu 4.19

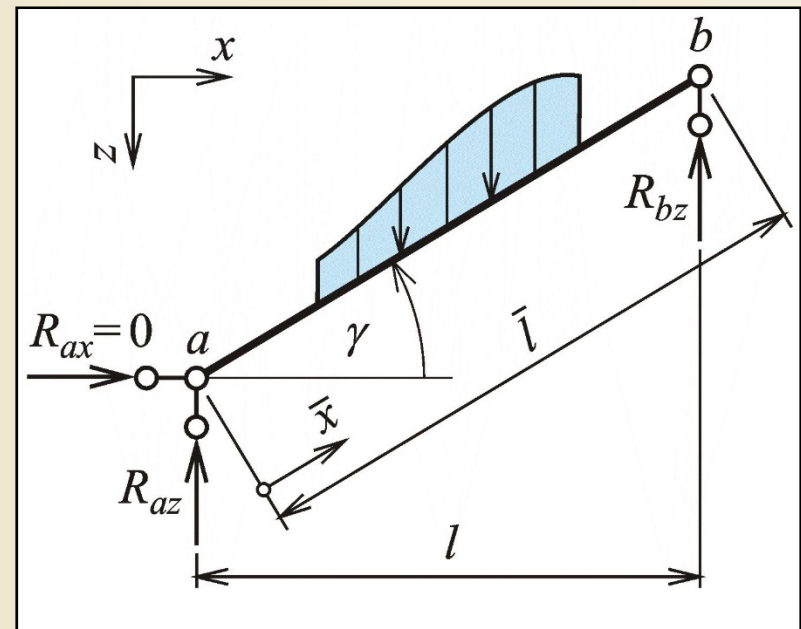
Obr. 7.47. / str. 120

Šikmý nosník

Geometrie: nosník leží v souřadnicové rovině xz skloněn oproti vodorovné ose x pod úhlem γ , šikmá délka \bar{l} , vodorovný průmět délky $l = \bar{l} \cdot \cos \gamma$

Podepření: na obou koncích podepření třemi jednoduchými vazbami proti posunům rovnoběžnými s osami x a z .

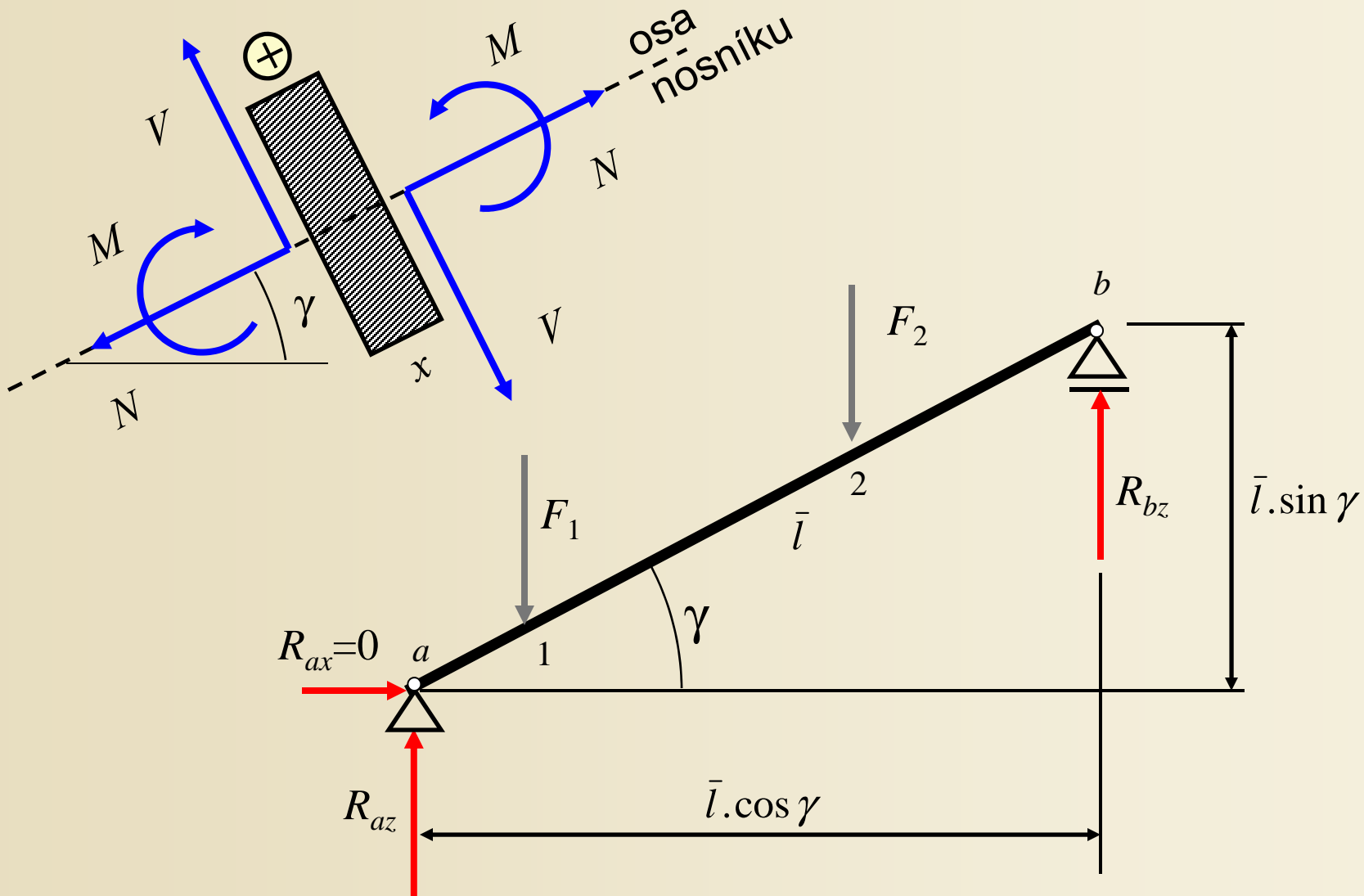
Zatížení: předpoklad pouze svislého zatížení, vodorovná složka reakce tedy nulová a platí $n_v=2$.



Šikmý nosník se svislým zatížením

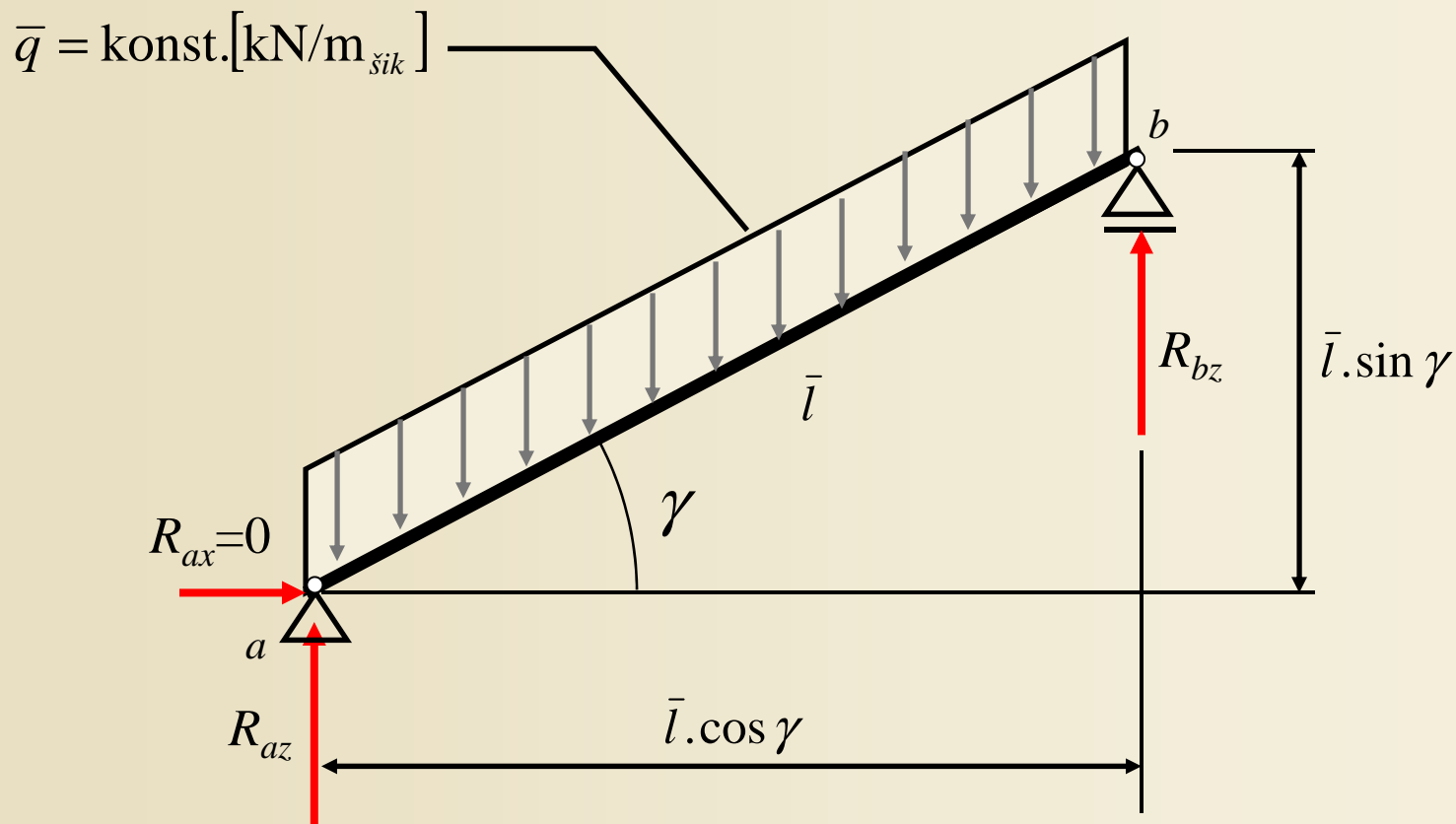
Obr. 7.48. / str. 120

Šikmý nosník



Šikmý nosník – zatížení vlastní tíhou

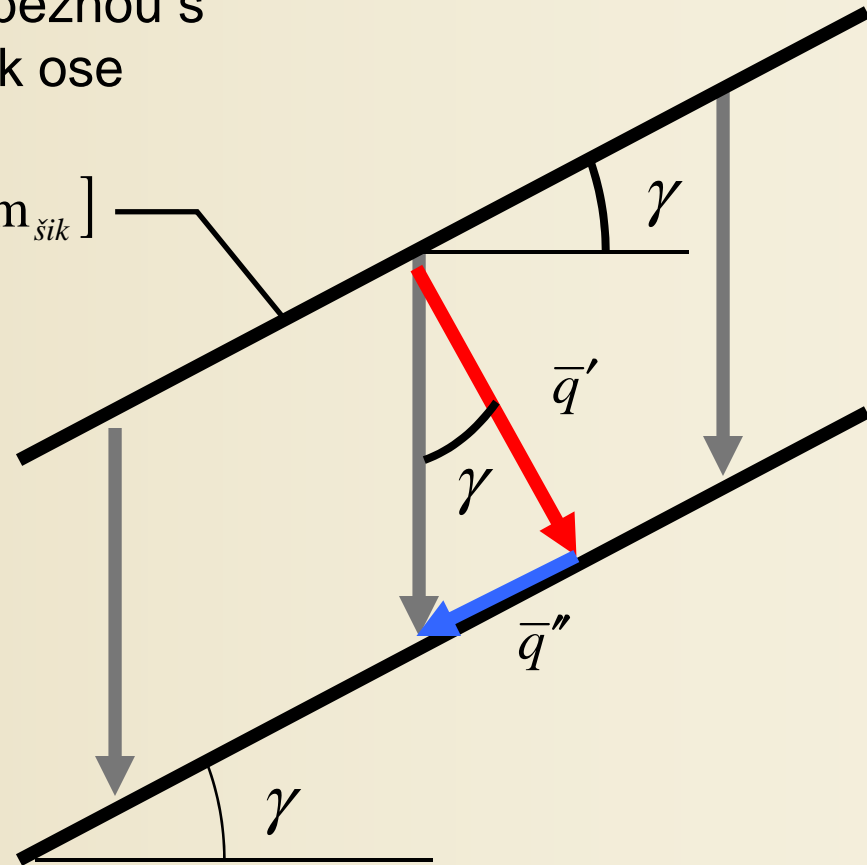
Spojité zatížení působící svisle podél střednice nosníku – na jednotku šikmé délky



Šikmý nosník – zatížení vlastní tíhou

Rozklad zatížení na složku rovnoběžnou s osou nosníku a kolmou (příčnou) k ose nosníku

$$\bar{q} = \text{konst.} [\text{kN/m}_{\text{šik}}]$$

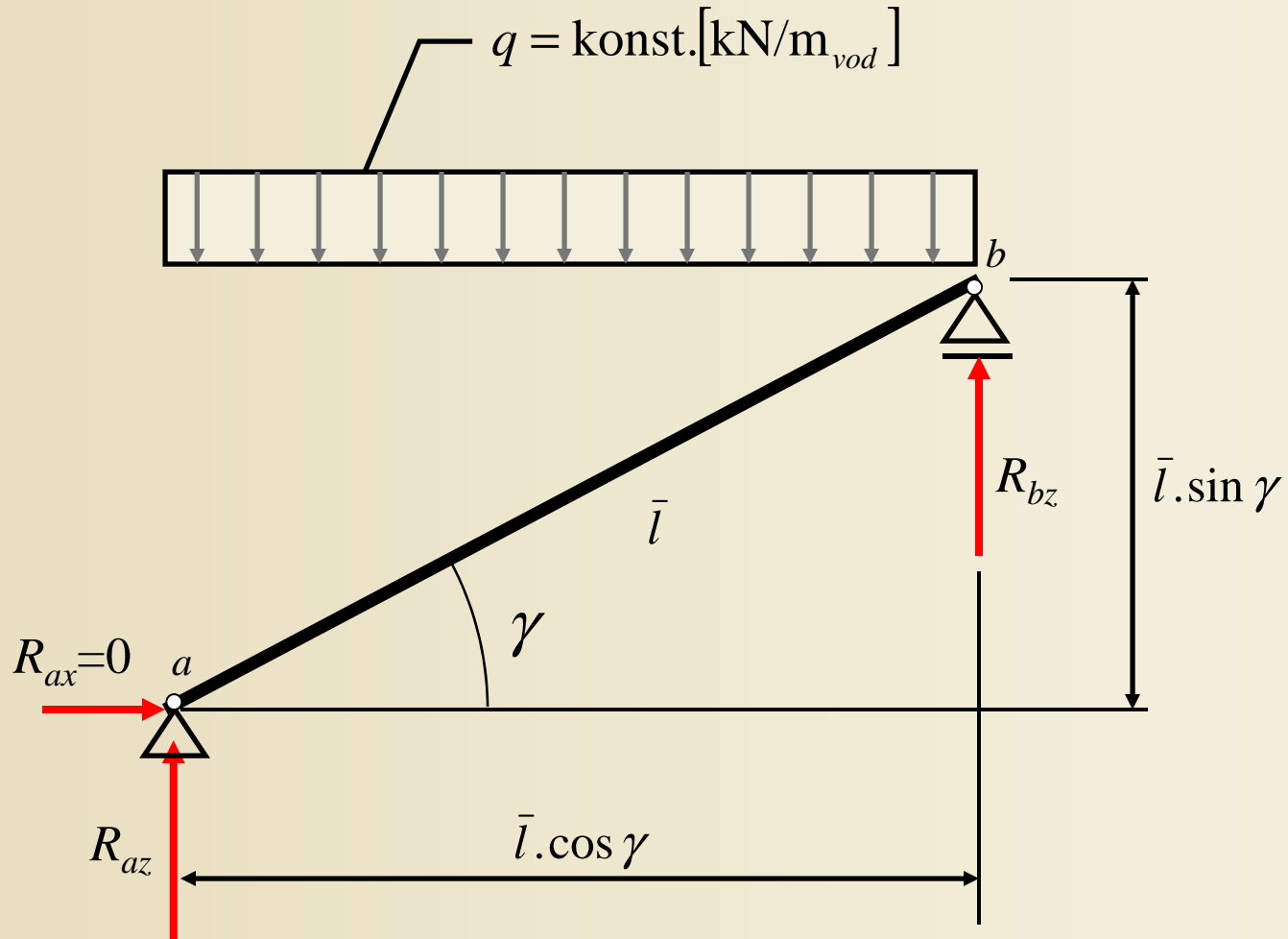


$$\bar{q}' = \bar{q} \cdot \cos \gamma$$

$$\bar{q}'' = \bar{q} \cdot \sin \gamma$$

Šikmý nosník – zatížení sněhem

Spojité zatížení působící na vodorovný (půdorysný) průmět nosníku



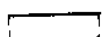
Zatížení sněhem – charakteristická hodnota


TAB 11.9 MAPA SNĚHOVÝCH OBLASTÍ NA ÚZEMÍ ČSSR


NORMOVÉ ZATÍŽENÍ SNĚHEM


$$s^n = s_0 \cdot C_s \cdot k$$


ZÁKLADNÍ TÍHA SNĚHU s_0

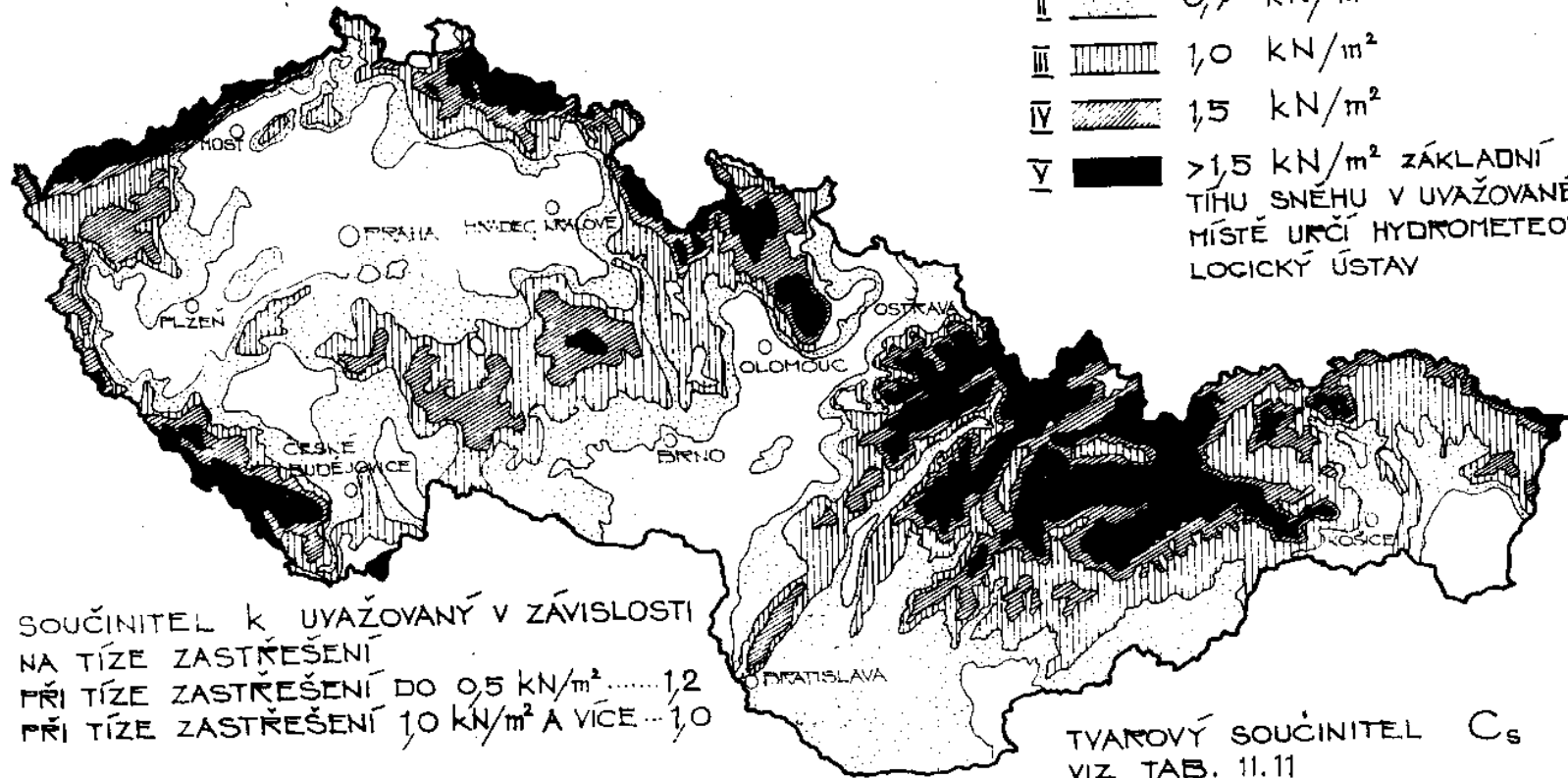
OBLAST I  0,5 kN/m²

II  0,7 kN/m²

III  1,0 kN/m²

IV  1,5 kN/m²

V  >1,5 kN/m² ZÁKLADNÍ TÍHU SNĚHU V UVAŽOVANÉM MÍSTĚ URČÍ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV

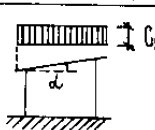
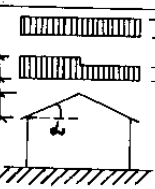
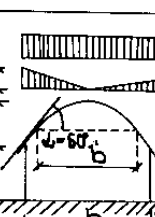
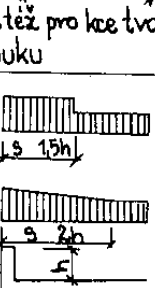


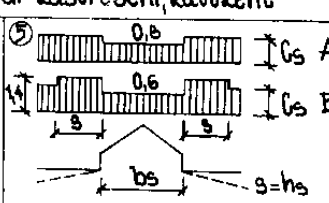
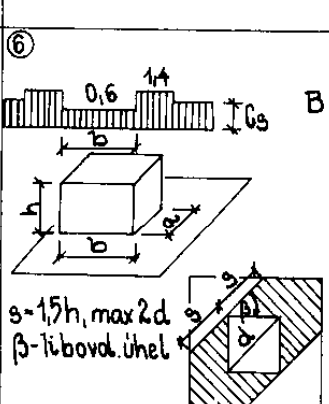
SOUČINITEL k UVAŽOVANÝ V ZÁVISLOSTI NA TÍZE ZASTŘEŠENÍ
 PŘI TÍZE ZASTŘEŠENÍ DO 0,5 kN/m² 1,2
 PŘI TÍZE ZASTŘEŠENÍ 1,0 kN/m² A VÍCE 1,0

TVAROVÝ SOUČINITEL C_s
 VIZ TAB. 11.11

Zatížení sněhem – charakteristická hodnota

Tab. 11.11. SOUČINITELE C_s PRO ZATÍŽENÍ SNĚHEM

Tvar zastřešení, zatížení	Ustanovení						
<p>① </p>	<p>C_s pro sněhové oblasti I až V.</p> <table border="1"> <tr> <td>$\alpha \leq 2,5^\circ$</td> <td>$\geq 60^\circ$</td> </tr> <tr> <td>C_s 1,0</td> <td>0,0</td> </tr> </table> <p>Mezilehlé hodnoty interpolujeme</p>	$\alpha \leq 2,5^\circ$	$\geq 60^\circ$	C_s 1,0	0,0		
$\alpha \leq 2,5^\circ$	$\geq 60^\circ$						
C_s 1,0	0,0						
<p>② </p>	<p>Sněhové oblasti I až V - případ A</p> <table border="1"> <tr> <td>$\alpha \leq 2,5^\circ$</td> <td>$\geq 60^\circ$</td> </tr> <tr> <td>C_s 1,0</td> <td>0,0</td> </tr> </table> <p>Sněhové oblasti IV a V - mimo A uvažujeme i B v případě, kdy $20^\circ \leq \alpha \leq 35^\circ$</p>	$\alpha \leq 2,5^\circ$	$\geq 60^\circ$	C_s 1,0	0,0		
$\alpha \leq 2,5^\circ$	$\geq 60^\circ$						
C_s 1,0	0,0						
<p>③ </p>	<p>Sněhové oblasti I až V - případ A</p> <p>$C_s = \frac{f}{b} \leq 1,0$ nejméně $C_s = 0,4$ nejvíce $C_s = 1,0$</p> <p>Sněhové oblasti IV a V - mimo A uvažujeme i B v případě, kdy $\frac{f}{b} \geq \frac{1}{8}$</p> <table border="1"> <tr> <td>f/b 0,125</td> <td>0,167</td> <td>$\leq 1,5$</td> </tr> <tr> <td>C_s 1,6</td> <td>2,0</td> <td>2,2</td> </tr> </table> <p>mezilehlé hodnoty interpolujeme</p> <p>V úsecích, kde $\alpha > 60^\circ$ je $C_s = 0$</p> <p>Pro šib. desky C_s nejvíce 1,4</p>	f/b 0,125	0,167	$\leq 1,5$	C_s 1,6	2,0	2,2
f/b 0,125	0,167	$\leq 1,5$					
C_s 1,6	2,0	2,2					
<p>④ </p>	<p>Sněhové oblasti I až III - platí C_s A pro předchozí případy</p> <p>Sněhové oblasti IV a V - platí navíc:</p> <p>a - platí, když $h = 1,5m$, $h = \frac{3s}{2}$</p> <p>Hodnota C_s se uvažuje jako u A odpovídajícího zastřešení</p> <p>b - platí, když $h = 1,5m$, $h = \frac{3s}{2}$</p> <p>$C_{s1} = \frac{2h}{3s}$ nejvíce: obl. IV. $C_{s1} = 3,0$ obl. V. $C_{s1} = 4,0$</p>						

Tvar zastřešení, zatížení	Ustanovení
<p>⑤ </p>	<p>Sněhová oblast I až III - C_s dle ①</p> <p>② ③ - A</p> <p>Sněhová oblast IV a V - C_s dle ① ②</p> <p>③ - A - podélný světlík A i B - příčný světlík</p> <p>Všechny světlíky B uvažujeme pruh šířky 1,5 m a délce $(2s + bs)$ $C_s = 1,4$</p>
<p>⑥ </p>	<p>Pro sněhovou obl. I až III dle ⑤ A</p> <p>Sněhová oblast IV a V - A i B</p> <p>B - C_s dle ① ② ③ - A B</p>

So - základní tíha sněhu v kN/m^2 , h se dosazuje v metrech

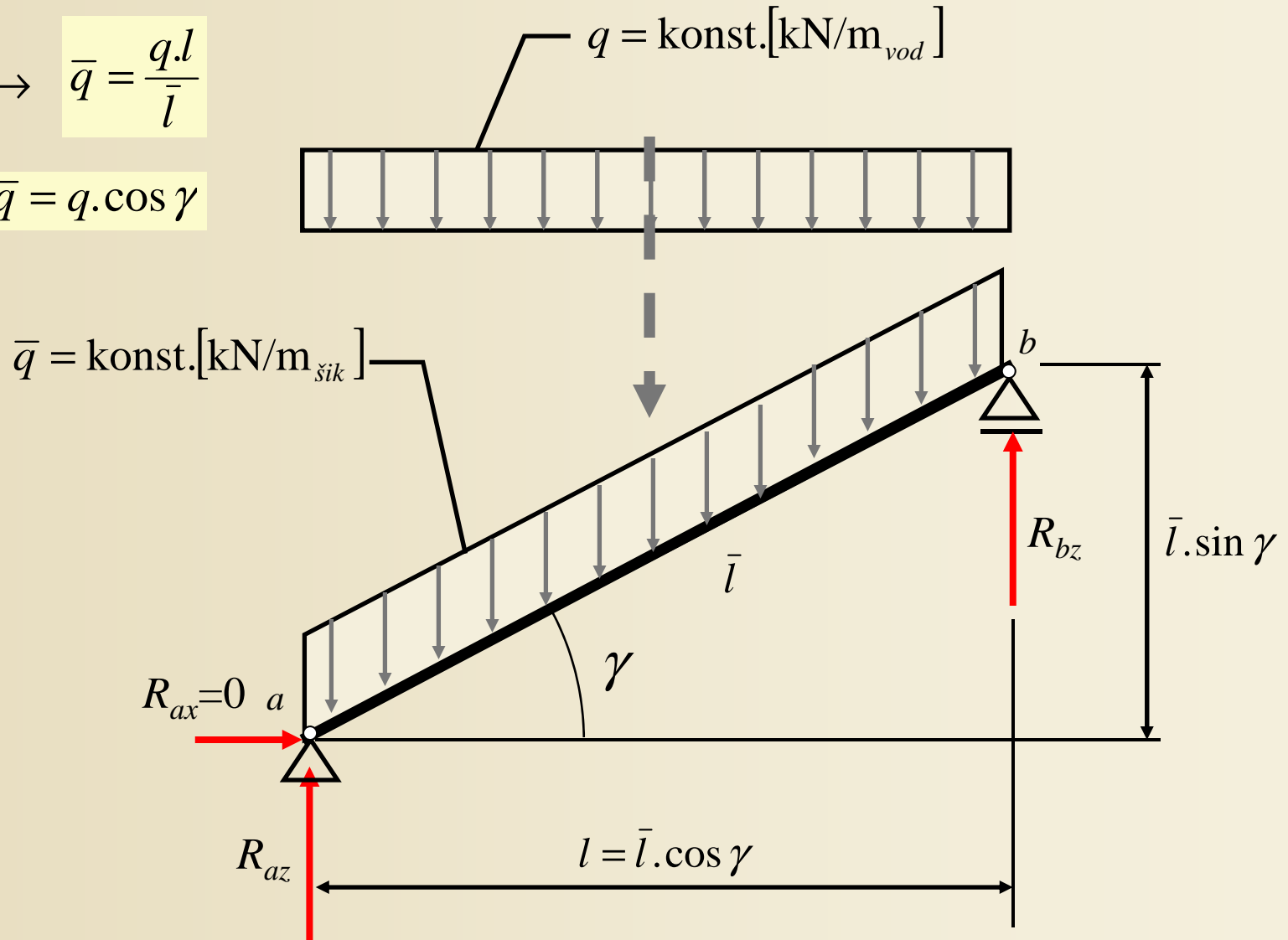
Je-li $h = \frac{5s}{2}$, schémata se neuvažují

Schéma zatížení a součinitele C_s volíme tak, aby účinky zatížení sněhem byly pro výpočet kce nebo její části co nejnepříznivější

Šikmý nosník – úprava zatížení sněhem

$$q \cdot l = \bar{q} \cdot \bar{l} \quad \rightarrow \quad \bar{q} = \frac{q \cdot l}{\bar{l}}$$

nebo $\bar{q} = q \cdot \cos \gamma$



Šikmý nosník

Postup řešení:

a) $\sum M_{ia} = 0 \Rightarrow R_{bz}$

b) $\sum M_{ib} = 0 \Rightarrow R_{az}$

c) $R_z = 0$ kontrola

d) Je-li zadáno q , pak $\bar{q} = q \cdot \cos \gamma$

e) Rozklad reakcí na příčné a osově složky

$$R'_a = R_{az} \cdot \sin \gamma \quad R''_b = R_{bz} \cdot \sin \gamma$$

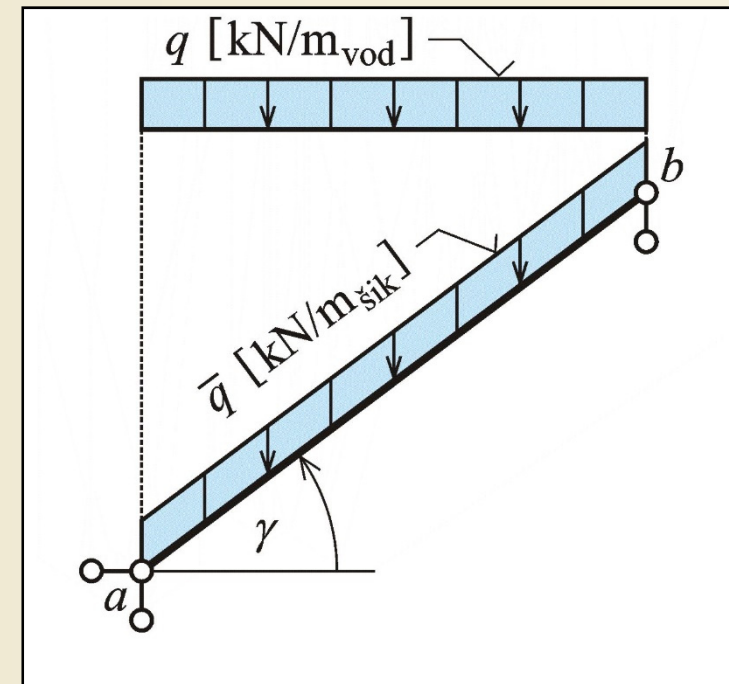
$$R'_a = R_{az} \cdot \cos \gamma \quad R'_b = R_{bz} \cdot \cos \gamma$$

f) Rozklad zatížení na příčné a osově složky

$$\bar{q}' = \bar{q} \cdot \cos \gamma \quad \bar{q}'' = \bar{q} \cdot \sin \gamma$$

$$P' = P \cdot \cos \gamma \quad P'' = P \cdot \sin \gamma$$

g) Dále řešení příčné a osově úlohy



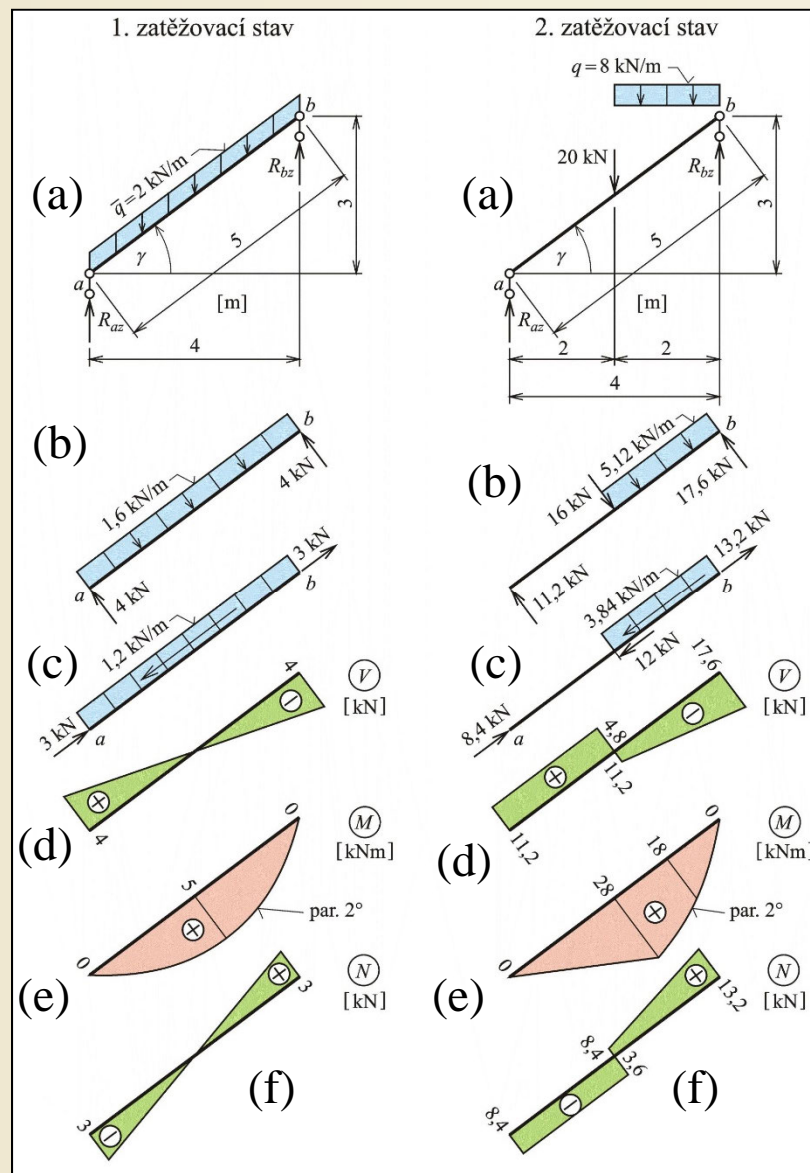
Dva způsoby grafického znázornění intenzity spojitěho zatížení na šikmém nosníku

Obr. 7.49. / str. 121

Příklad 4.20

Zadání: pro oba zatěžovací stavy téhož šikmého nosníku určit svislé reakce, rozložit rovinnou úlohu na příčnou a osovou a stanovit průběhy vnitřních sil.

Zadání a řešení příkladu 4.20
Obr. 7.50. / str. 122



Ukázky nosníků v rovinné úložce



Nosná konstrukce střechy základní školy, Brumov – Bylnice, projekt OKM

Ukázky nosníků v rovinné úloze



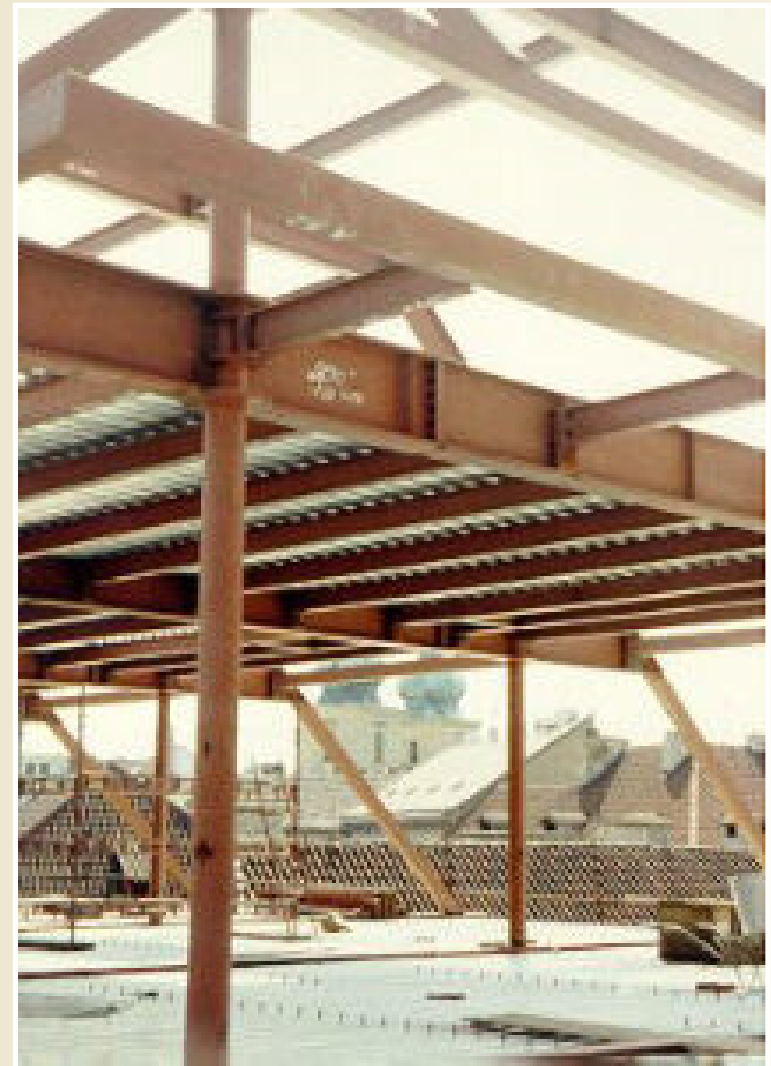
Nosná konstrukce střechy základní školy, Brumov – Bylnice, projekt OKM

Ukázky nosníků v rovinné úloze



Nosná konstrukce střechy základní školy, Brumov – Bylnice, projekt OKM

Ukázky nosníků v rovinné úloze



Nosná konstrukce střechy kostelu sv. Michala, Praha, projekt OKM

Ukázky nosníků v rovinné úloze



Nosná konstrukce radnice Ostrava – Krásné pole, projekt OKM

Ukázky nosníků v rovinné úloze



Konstrukce ocelových světlíků, Ikea-Avion Shopping Park, Ostrava-Zábřeh

Ukázky nosníků v rovinné úloze



Konstrukce ocelových světlíků, Ikea-Avion Shopping Park, Ostrava-Zábřeh

Ukázky nosníků v rovinné úloze



Konstrukce ocelových světlíků, Ikea-Avion Shopping Park, Ostrava-Zábřeh

Ukázky nosníků v rovinné úloze



Konstrukce ocelových světlíků, Ikea-Avion Shopping Park, Ostrava-Zábřeh

Okruhy problémů k ústní části zkoušky

1. Výpočet nosníku v osové úloze
2. Výpočet nosníku v příčné úloze (ve svislé hlavní rovině xz)
3. Prostý nosník s převislými konci
4. Výpočet nosníku v příčné úloze (ve vodorovné hlavní rovině xy)
5. Výpočet nosníku v krutové úloze
6. Výpočet nosníku v rovinné úloze - vodorovný nosník se šikmým zatížením
7. Výpočet nosníku v rovinné úloze - vodorovný nosník se šikmým podepřením
8. Výpočet nosníku v rovinné úloze - šikmý nosník se svislým zatížením
9. Výpočet nosníku v prostorové úloze
10. Diferenciální podmínky rovnováhy elementu přímého nosníku, Schwedlerova věta, využití