

Téma 6

Rovinné nosníkové soustavy

- **Spojité nosník s vloženými klouby**
- **Trojkloubový rám a oblouk**
- **Trojkloubový rám a oblouk s táhlem**

Zajištění nehybnosti rovinné kloubové prutové soustavy

Viz téma č. 3

$$2.b + 3.p = a_1 + 2.a_2 + 3.a_3 + 2. \sum_{n=3,4,\dots} (n-1).k_n$$



počet statických podmínek rovnováhy,
počet stupňů volnosti n_v

počet vnějších a vnitřních vazeb
 $v = v_e + v_i$

b ... počet hmotných bodů

p ... počet tuhých prutů (desek)

a_1 ... počet jednonásobných vazeb

a_2 ... počet dvojnásobných vazeb

(i vnitřní kloub spojující 2 tuhé pruty - desky)

a_3 ... počet trojnásobných vazeb

k_n ... počet vnitřních kloubů, spojujících $n > 2$ tuhých prutů (desek)

$n_v = v$ kinematicky určitá soustava

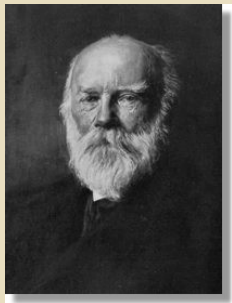
$n_v < v$ kinematicky přeuročitá soustava

$n_v > v$ kinematicky neurčitá soustava

Základní typy nosníkových soustav v rovině xz

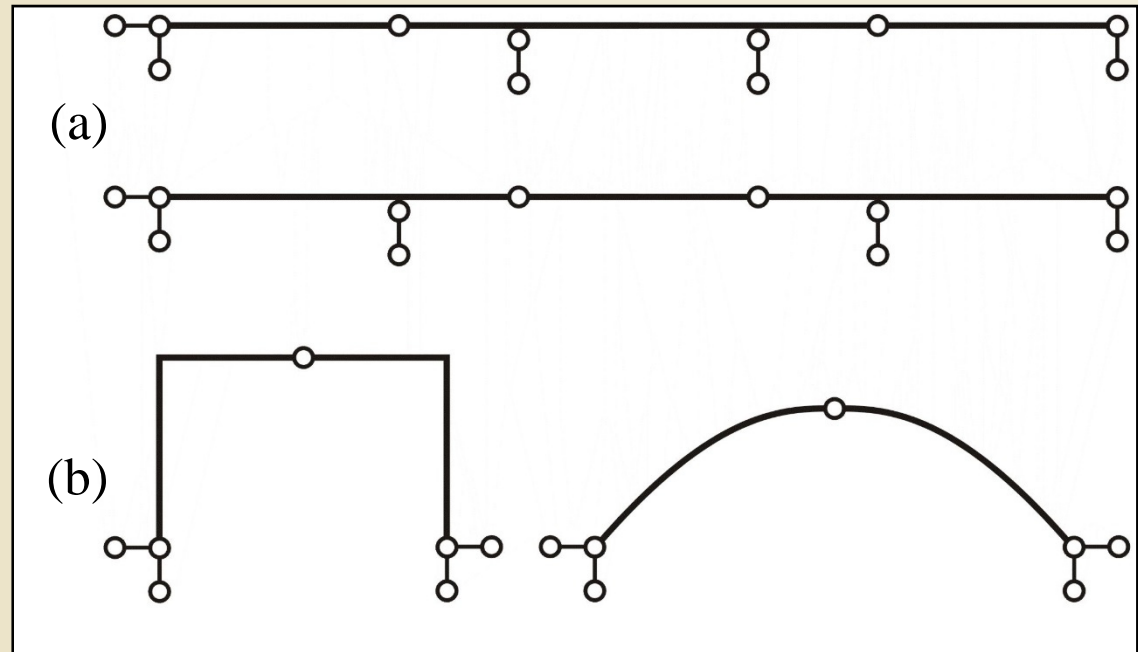
Viz téma č. 3

a) Spojitý nosník s vloženými klouby (tzv. Gerberův nosník)



Heinrich Gerber
(1832 - 1912)
významný německý
konstruktér
ocelových mostů

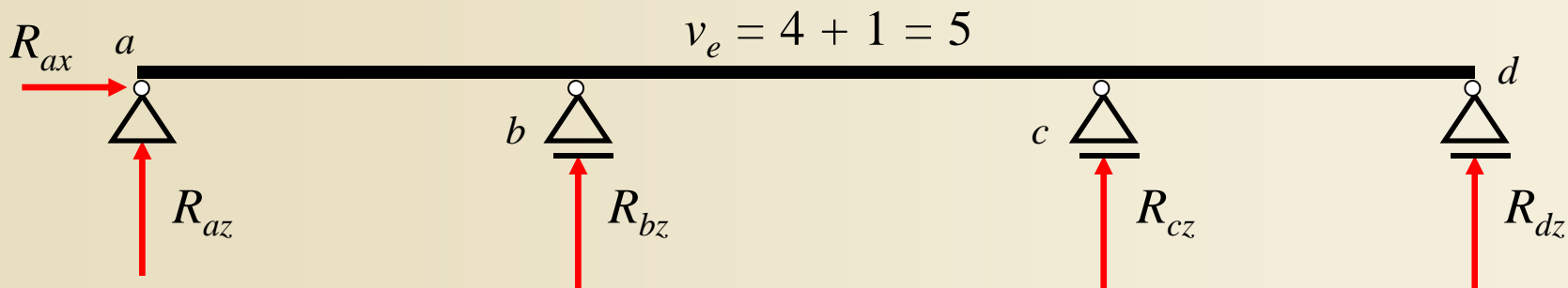
b) Trojkloubový rám nebo oblouk



Základní typy kinematically určitých rovinných kloubových soustav

Obr. 6.22. / str. 87

Vlastnosti spojitého nosníku s vloženými klouby



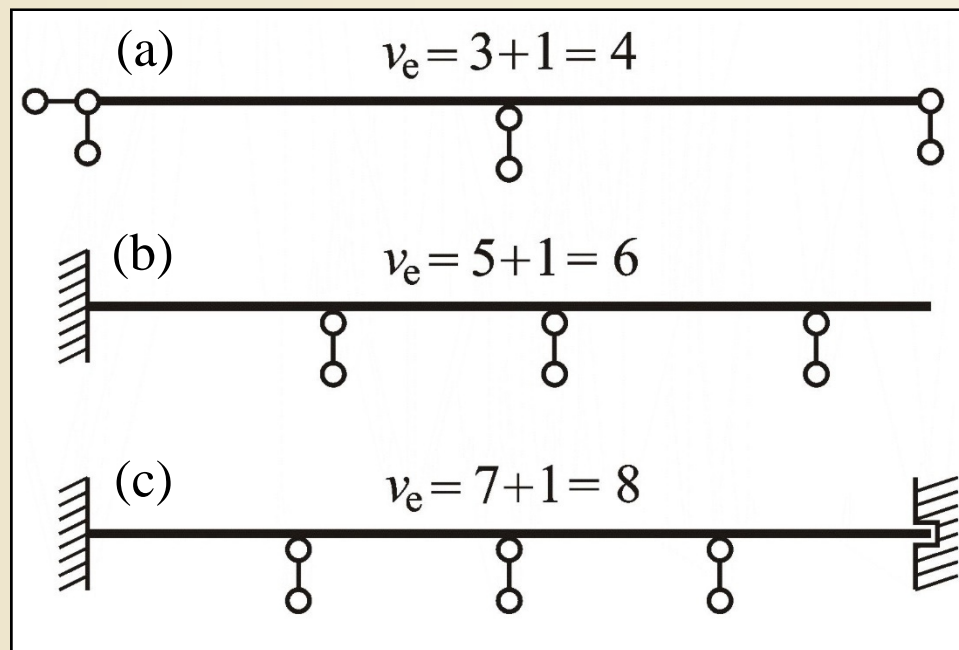
Statické schéma **spojitého nosníku** 3 polích (4 podporách)

Konstrukce staticky neurčitá

Pouze 1 vazba proti vodorovnému posunutí, více než 2 svislé podpory

Podpory **krajní** a **vnitřní**

Pole – část nosníku mezi 2 sousedními podporami (krajní a vnitřní)



Příklady spojitých nosníků

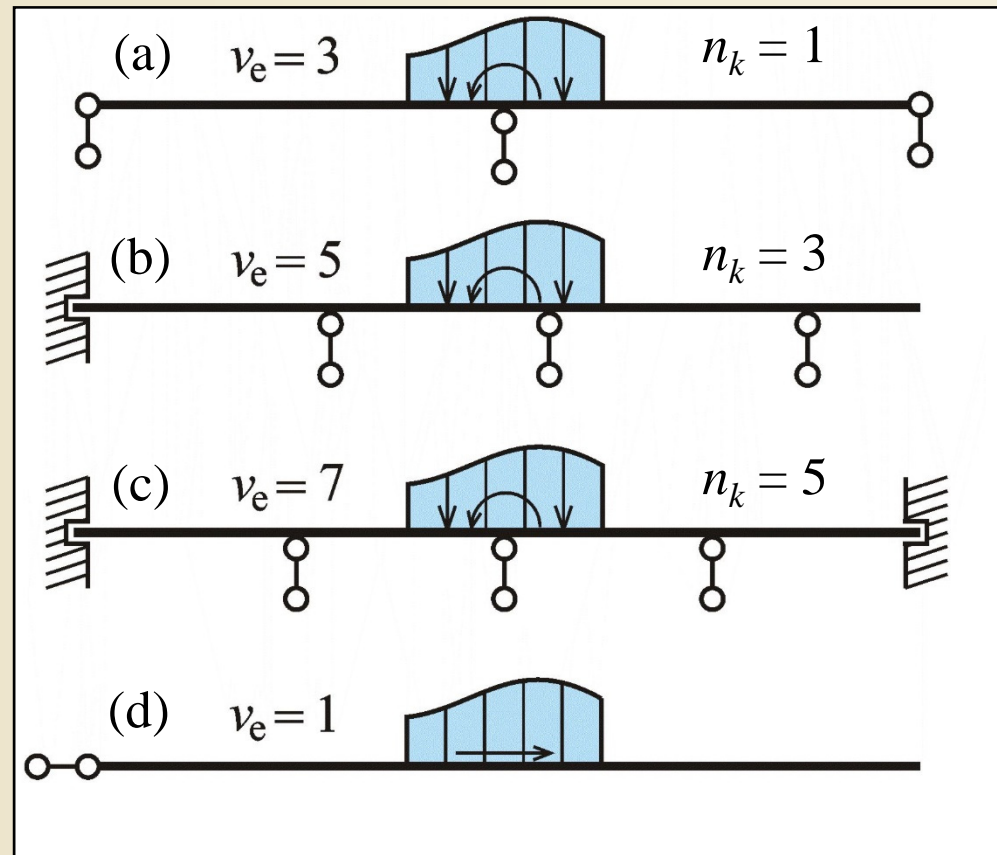
Obr. 9.1. / str. 145

Rozklad spojitého nosníku v rovinné úloze

Osová úloha – 1 vazba proti vodorovnému posunutí a vodorovné zatížení, staticky určitá úloha, vložením kloubů se nemění.

Příčná úloha – více než 2 svislé vazby, zatížení příčné, staticky neurčitá úloha. Kompenzace vložením kloubů: $n_k = v_e - 2$

Do staticky neurčitého spojitého nosníku je nutno vložit tolik kloubů, kolik činí počet vnitřních podpor nosníku zvětšený o jedničku za každé případné vetknutí konce.



Rozklad spojitého nosníku v rovinné úloze na úlohu osovou a příčnou

Obr. 9.2. / str. 146

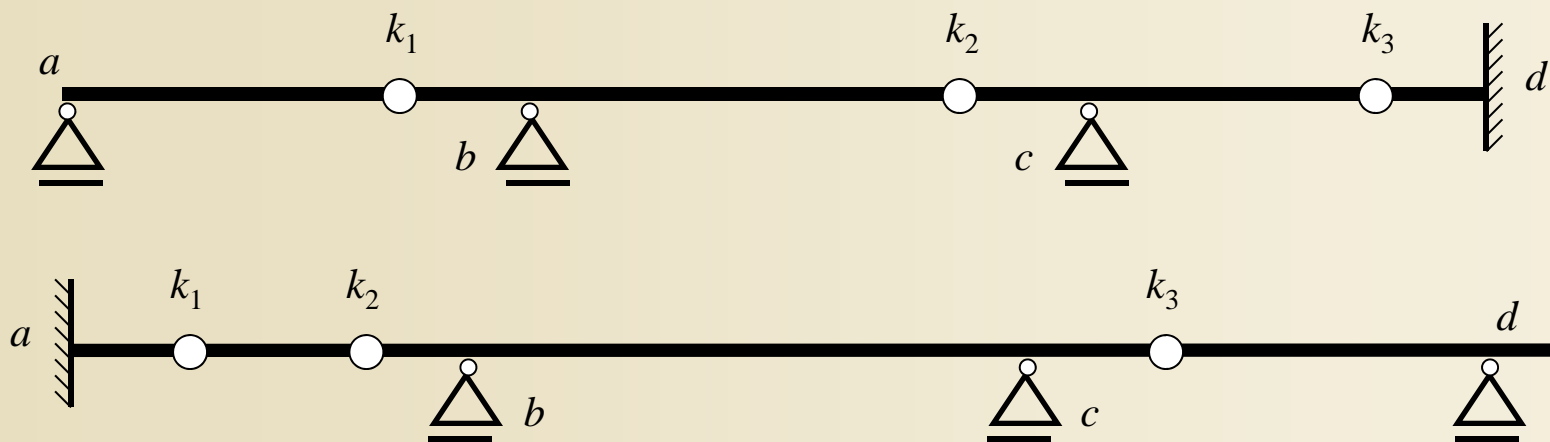
Správné rozvržení kloubů na spojitého nosníku

Platí následující pravidla:

- a) v krajním poli s kloubově podepřeným nebo převislým koncem smí být nejvýše 1 kloub

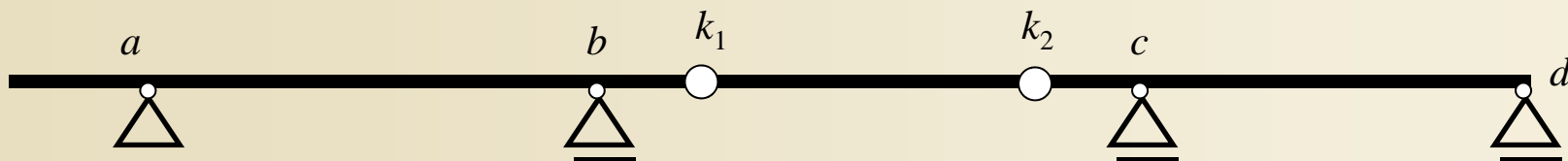


- b) v krajním poli s vetknutým koncem musí být alespoň 1 a smí být nejvýše 2 klouby



Správné rozvržení kloubů na spojitěho nosníku

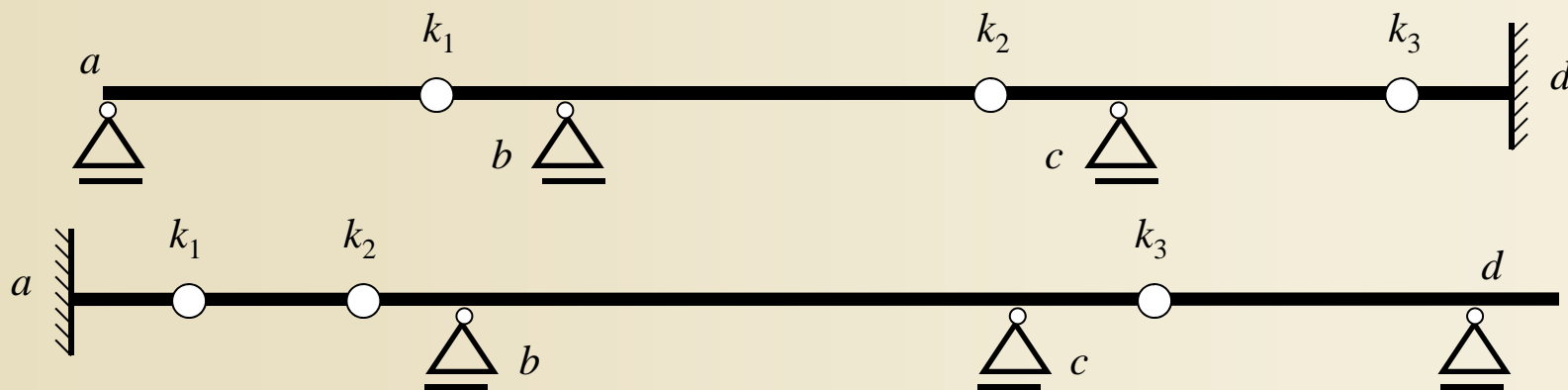
c) ve vnitřním poli smí být nejvýše 2 klouby



d) ve dvojici sousedních polí musí být alespoň 1 kloub
(nesmí sousedit 2 pole bez vložených kloubů)

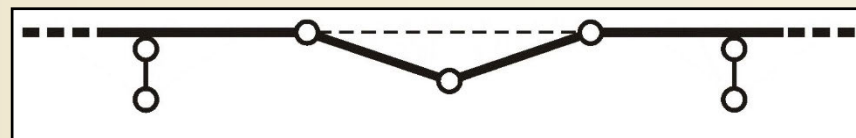
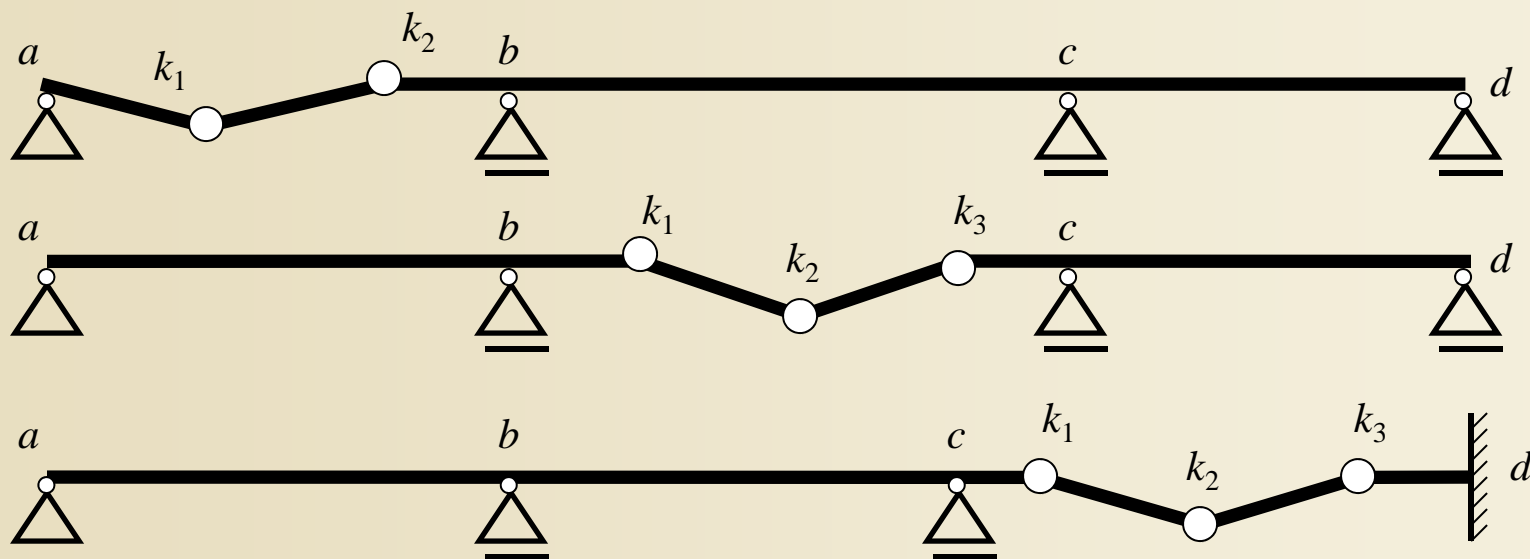


e) ve dvojici sousedních polí, z nichž jedno je krajní s vetknutým koncem, musí být alespoň 2 klouby



Pohyblivý mechanismus – výjimečné případy

Na nosníku nesmí vzniknout nestabilní část – **pohyblivý mechanismus**.
Vzniká v důsledku nedodržení předchozích pravidel.

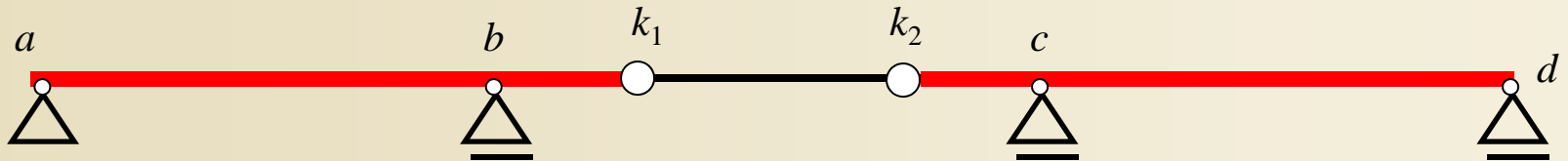


Pohyblivý mechanismus

Obr. 9.3. / str. 146

Typické způsoby rozvržení kloubů v konstrukci

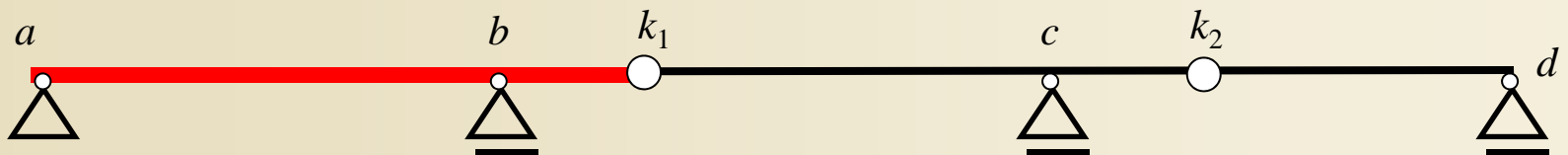
a) krajní pole bez kloubů, vnitřní pole s 2 klouby



b) krajní pole s 1 kloubem, vnitřní bez kloubů



c) první (krajní) pole bez kloubu, v ostatních polích po 1 kloubu



Nosníky **nesoucí** (červená tlustá čára) a **nesené** (černá tenká čára).

Krajní pole bez kloubu, v ostatních polích po 1 kloubu



Centrum pokročilých technologií, VŠB-TU Ostrava, realizace 2007

Krajní pole bez kloubu, v ostatních polích po 1 kloubu



Centrum pokročilých technologií, VŠB-TU Ostrava, realizace 2007

Krajní pole bez kloubu, v ostatních polích po 1 kloubu



Centrum pokročilých technologií, VŠB-TU Ostrava, realizace 2007

Krajní pole bez kloubu, v ostatních polích po 1 kloubu



Centrum pokročilých technologií, VŠB-TU Ostrava, realizace 2007

Krajní pole bez kloubu, v ostatních polích po 1 kloubu



Centrum pokročilých technologií, VŠB-TU Ostrava, realizace 2007

Krajní pole bez kloubu, v ostatních polích po 1 kloubu



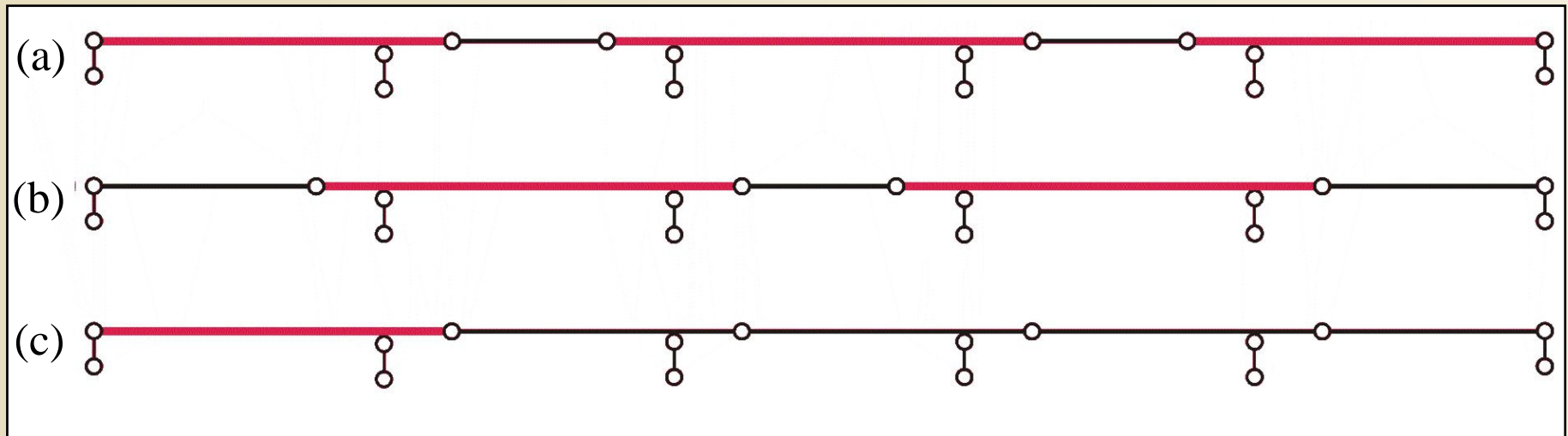
Centrum pokročilých technologií, VŠB-TU Ostrava, realizace 2007

Typické způsoby rozvržení kloubů v konstrukci

Nesoucí nosníky (červená tlustá čára) – dostatečně podepřeny vnějšími vazbami, nosná funkce zachována i při odstranění nesených nosníků.

Nesené nosníky (černá tenká čára) – podepřeny také konci nosníků nesoucích, bez nich není nosná funkce zaručena.

Případ (c) nedoporučuje, při vyřazení jediného nesoucího nosníku hrozí řetězové zhroucení celé konstrukce.



Tři typické způsoby rozvržení vložených kloubů ve spojitém nosníku

Obr. 9.4. / str. 147

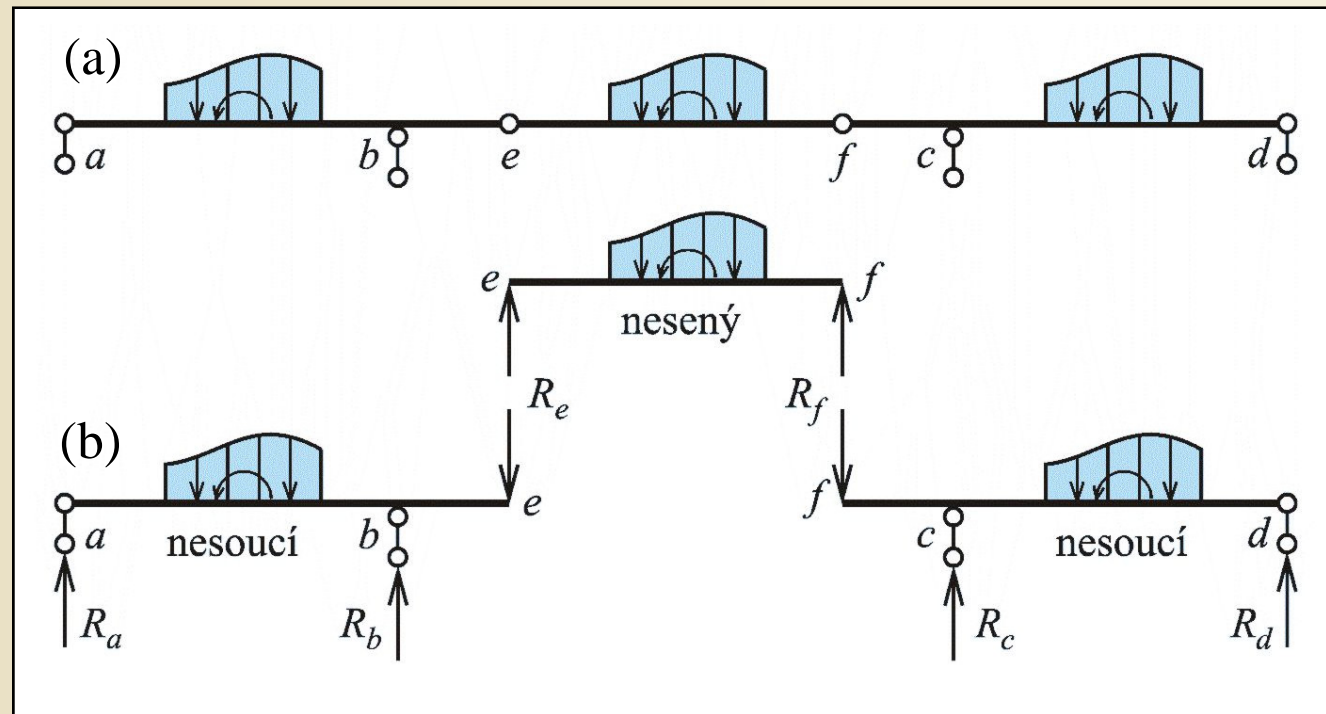
Postup při řešení spojitého nosníku s vloženými klouby

- a)** V místě vložených kloubů zrušit vnitřní vazbu proti svislému posunutí (rozdělení spojitého nosníku na nosníky nesoucí a nesené).
- b)** Zavedení svislých silových interakcí R – na neseném nosníku reakce (zdola nahoru), na nesoucím akce (shora dolů).

c) Ve vnějších vazbách svislé reakce R (zdola nahoru), ve větknutí momentová reakce.

d) Z momentových podmínek rovnováhy k podporovým bodům určit reakce neseného nosníku

e) Každý nesoucí nosník zatížit akcemi nesených nosníků, z podmínek rovnováhy určit reakce

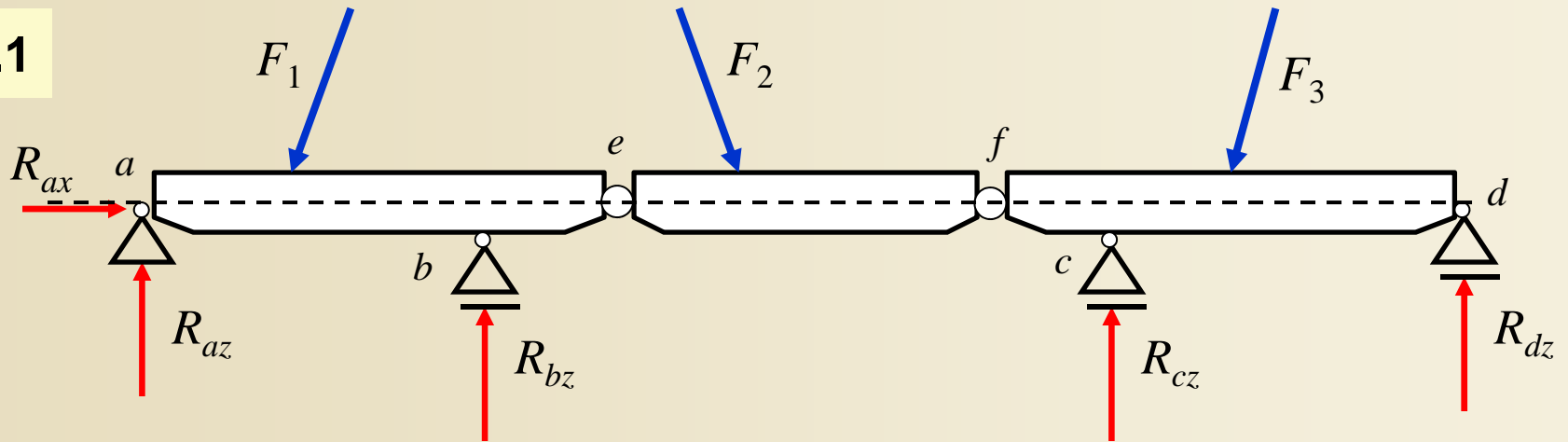


Rozklad spojitého nosníku s klouby na nosníky nesoucí a nesené

Obr. 9.5. / str. 147

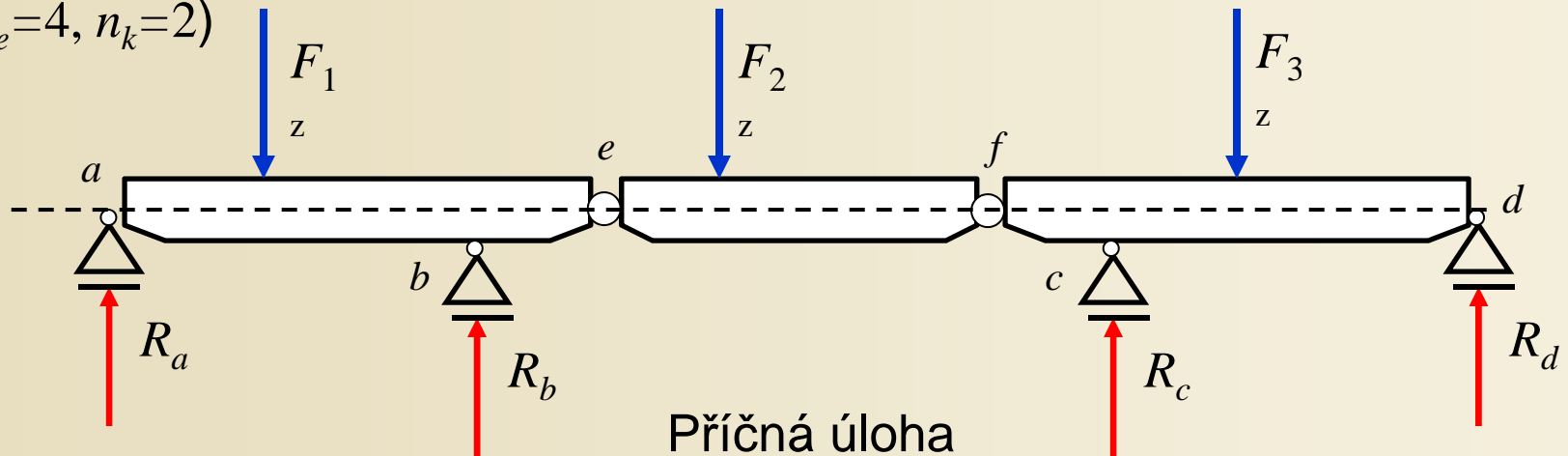
Postup při řešení spojitého nosníku s vloženými klouby

Př.1



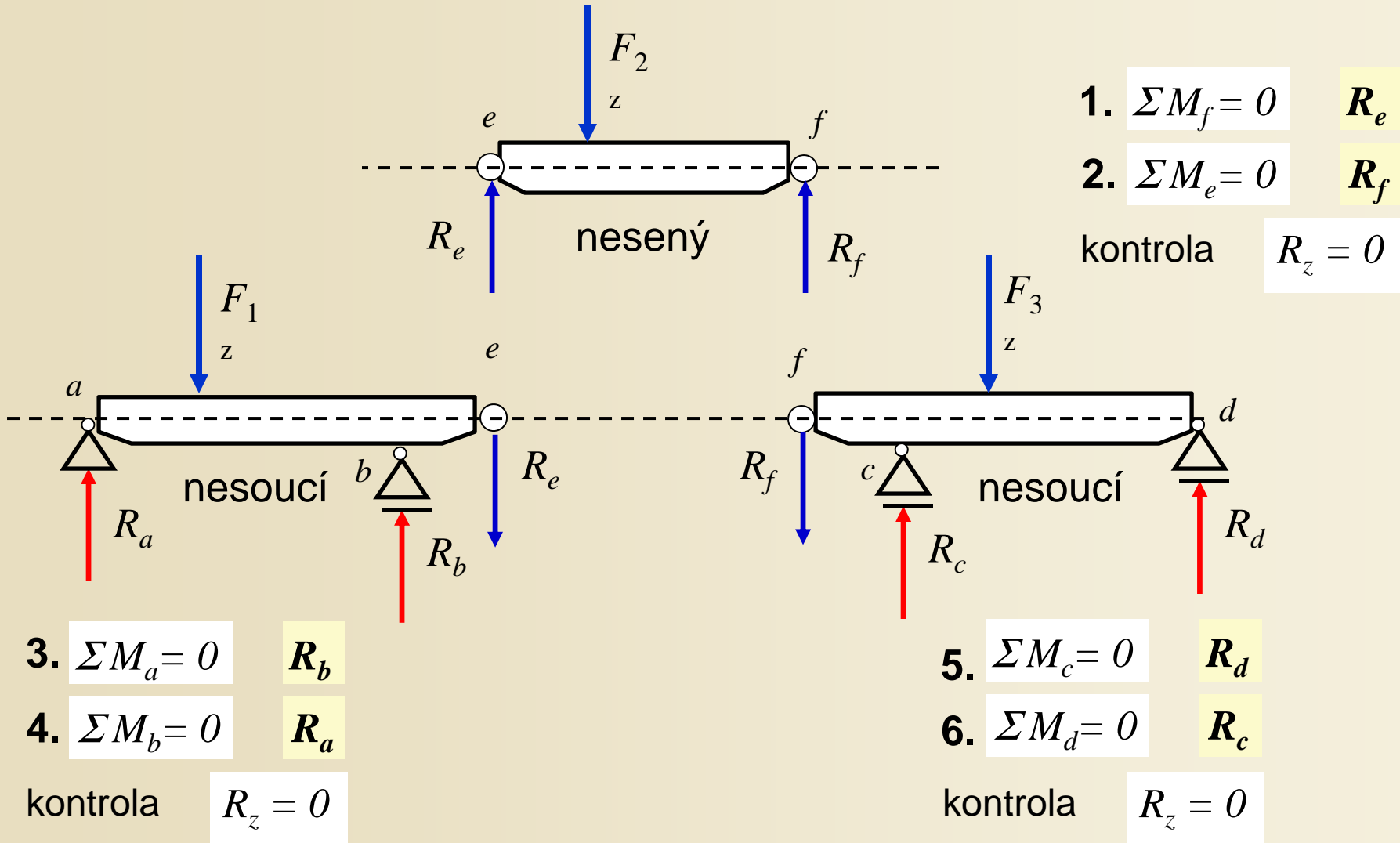
a) Počáteční analýza: $3 \cdot p = a_1 + 2 \cdot a_2 = 9$ $p=3$, $a_1=3$, $a_2=3$

b) Rozklad na úlohu **osovou** ($v_e=1$, vodorovné zatížení přebírá R_{ax}) a **příčnou** ($v_e=4$, $n_k=2$)



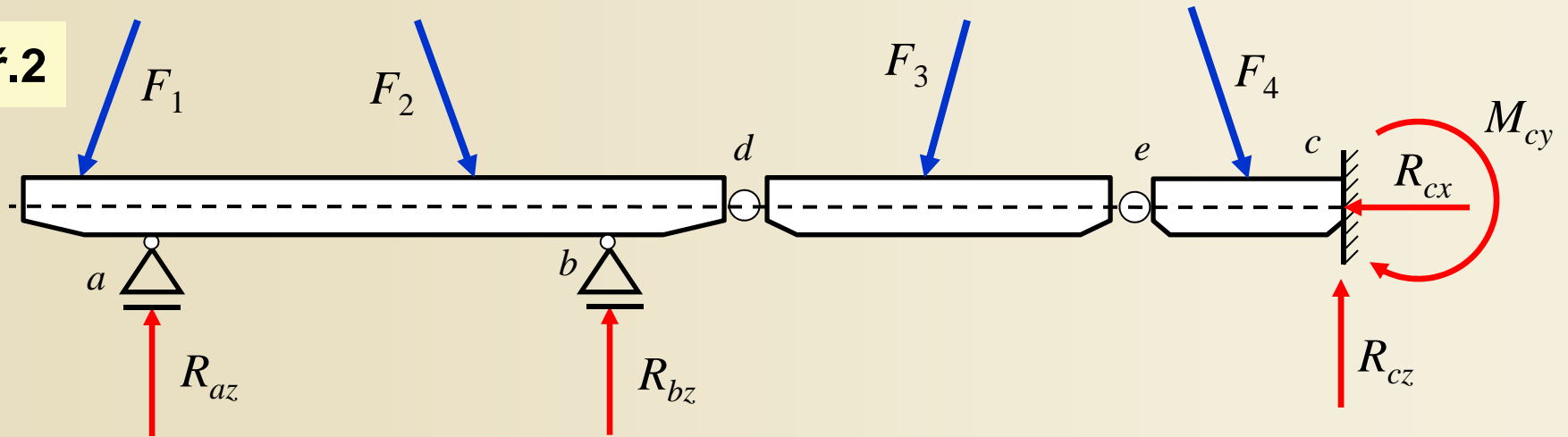
Postup při řešení spojitého nosníku s vloženými klouby

c) Rozklad na nosníky nesené a nesoucí, určení reakcí z podmínek rovnováhy



Postup při řešení spojitého nosníku s vloženými klouby

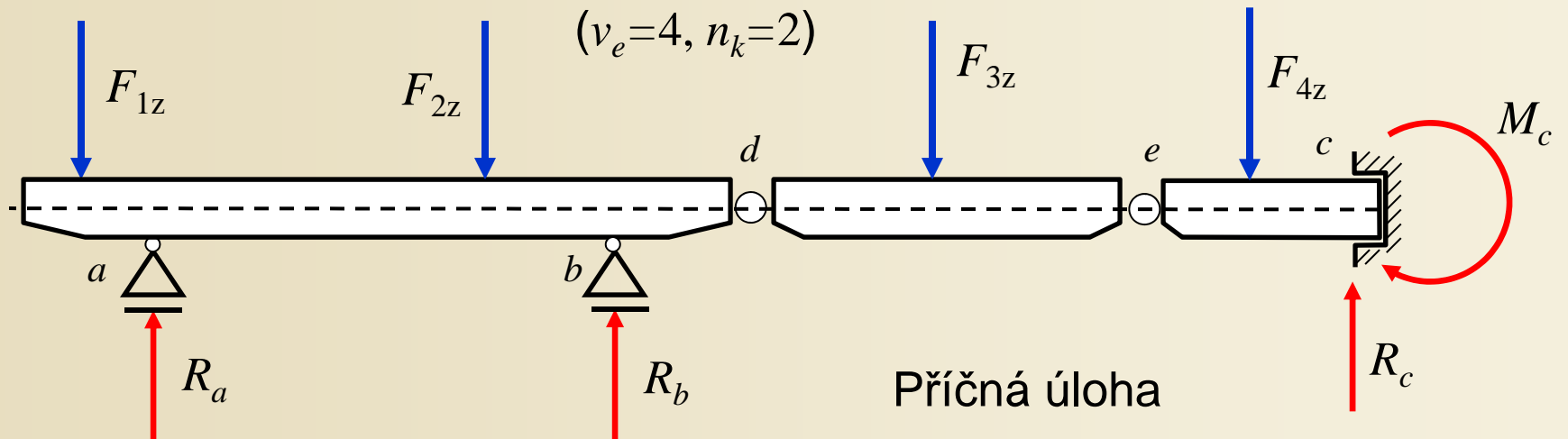
Př.2



a) Počáteční analýza: $3 \cdot p = a_1 + 2 \cdot a_2 + 3 \cdot a_3 = 9$ $p=3, a_1=2, a_2=2, a_3=1$

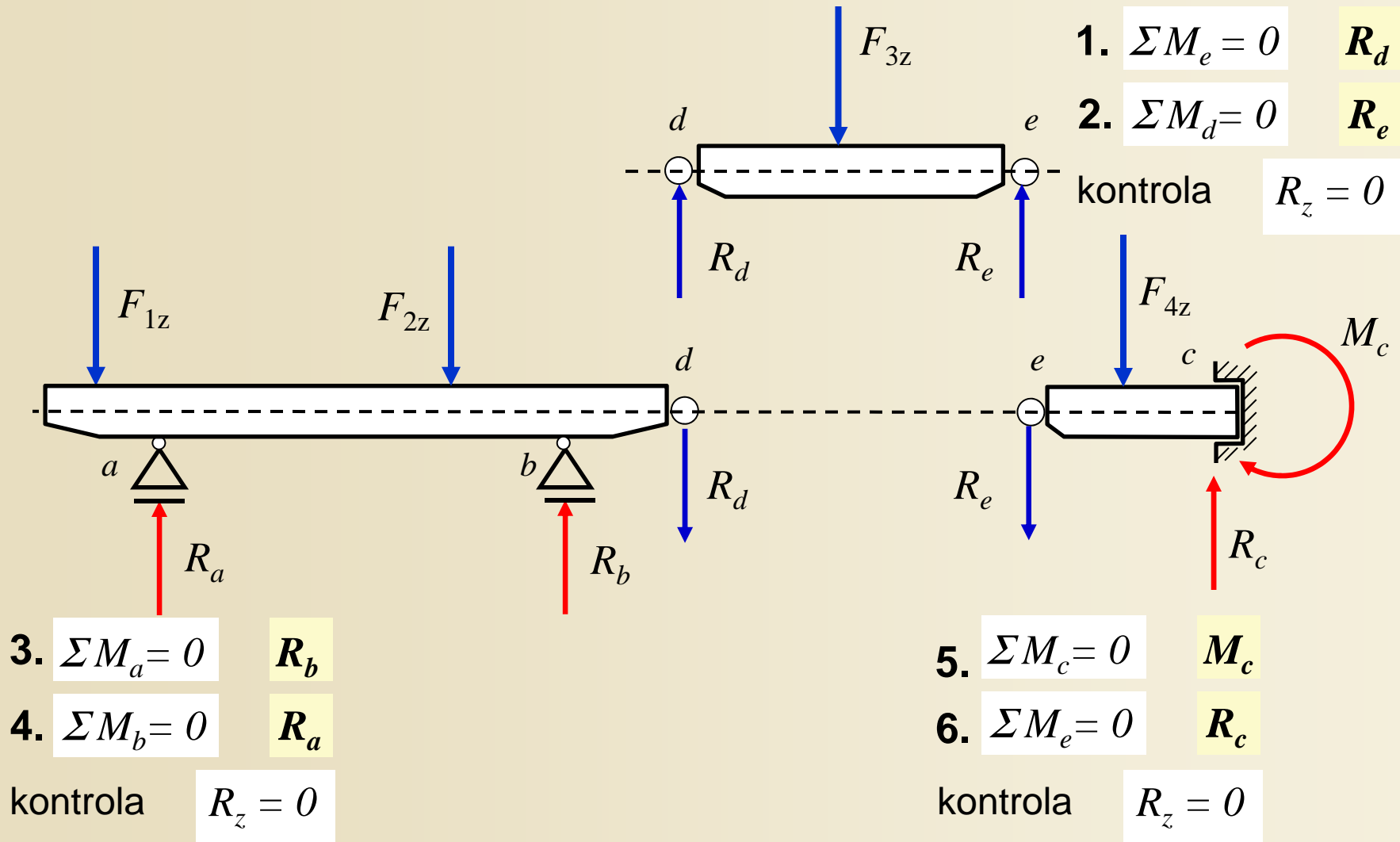
b) Rozklad na úlohu **osovou** ($v_e=1$, vodorovné zatížení přebírá R_{cx}) a **příčnou**

($v_e=4, n_k=2$)



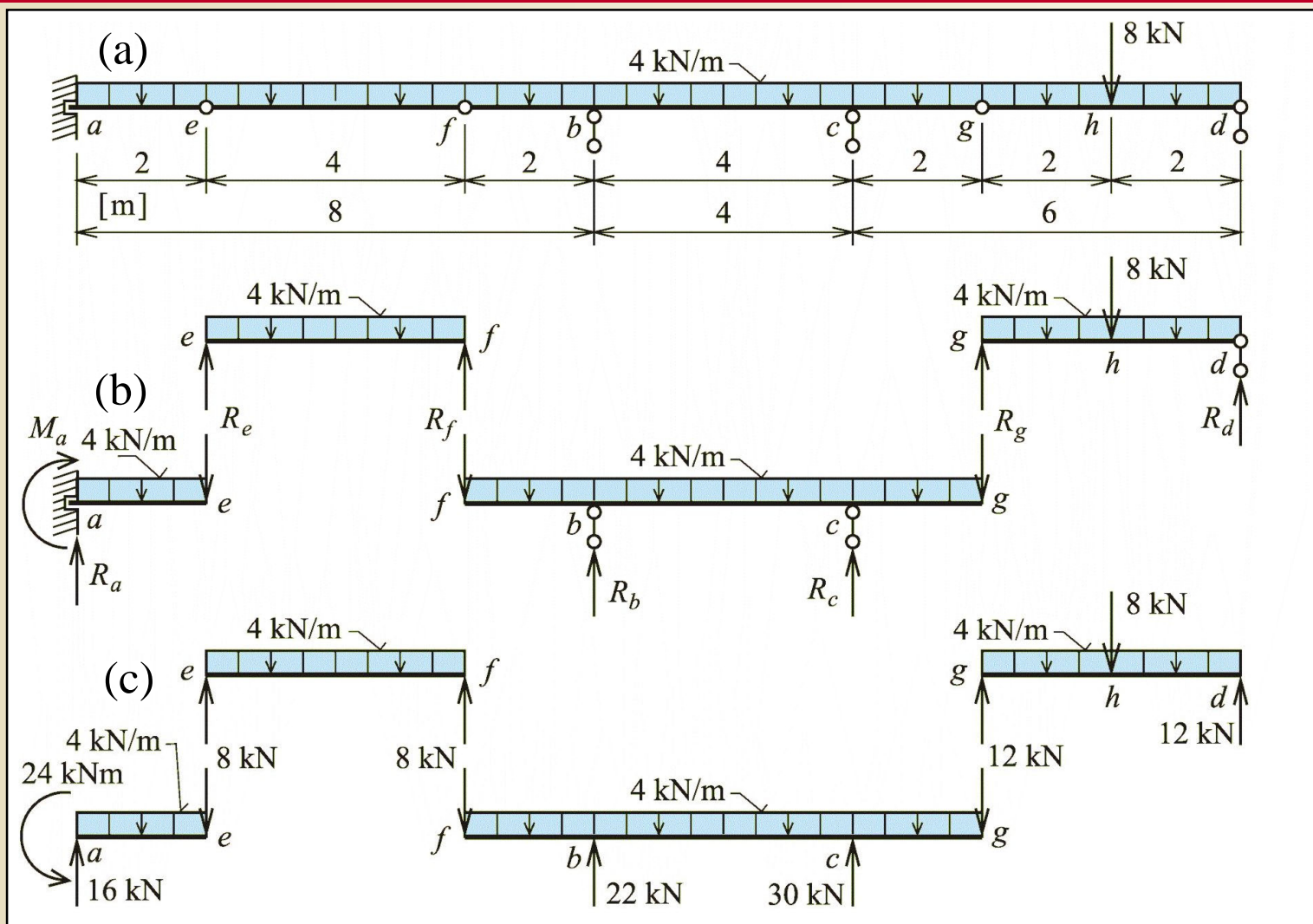
Postup při řešení spojitého nosníku s vloženými klouby

c) Rozklad na nosníky nesené a nesoucí, určení reakcí z podmínek rovnováhy



Příklad 6.1 – reakce a interakce

Obdobně:

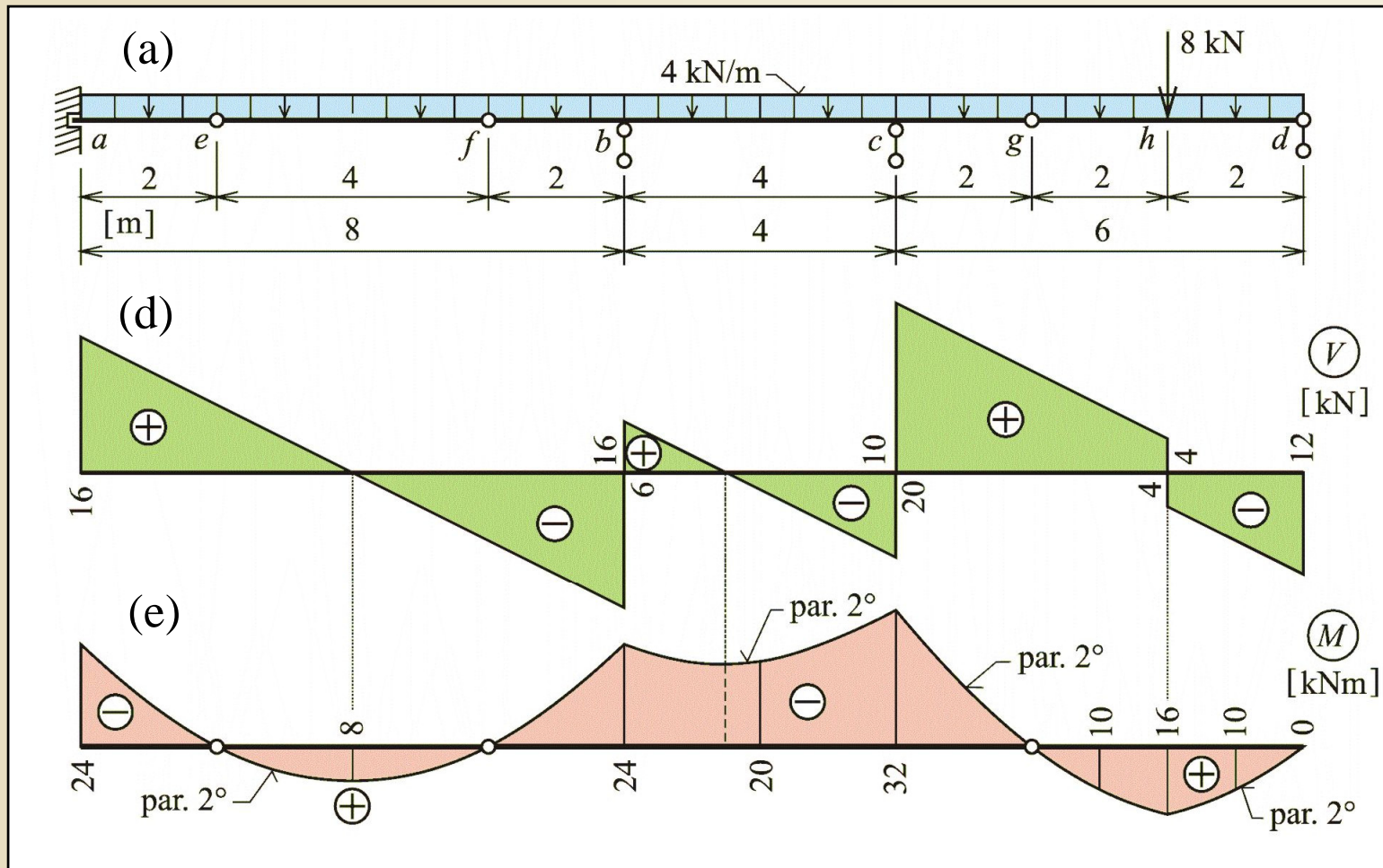


Zadání příkladu 6.1 a výpočet reakcí

Obr. 9.6. / str. 149

Příklad 6.1 – průběh vnitřních sil

Průběhy vnitřních sil – nesené a nesoucí nosníky již působí jako celek.



M ve vložených kloubech nulový.

Zadání a řešení příkladu 6.1

Obr. 9.6. / str. 149

Umístění vložených kloubů uvnitř pole spojitého nosníku

Snaha o vyrovnané extrémní ohybové momenty: $M_{\max} = |M_{\min}|$

Pro případ stejně dlouhých polí se střídavě vloženými klouby tak, že pole s 2 klouby sousedí s polem bez kloubů, a s plným rovnoměrným zatížením:

$$M_{\max} = \frac{1}{8} \cdot q \cdot (l - 2 \cdot c)^2$$

$$M_{\min} = -\frac{1}{2} \cdot q \cdot (l - 2 \cdot c) \cdot c$$

$$\rightarrow \gamma = \frac{c}{l} \rightarrow$$

$$M_{\max} = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2 \cdot (1 - 4 \cdot \gamma + 4 \cdot \gamma^2)$$

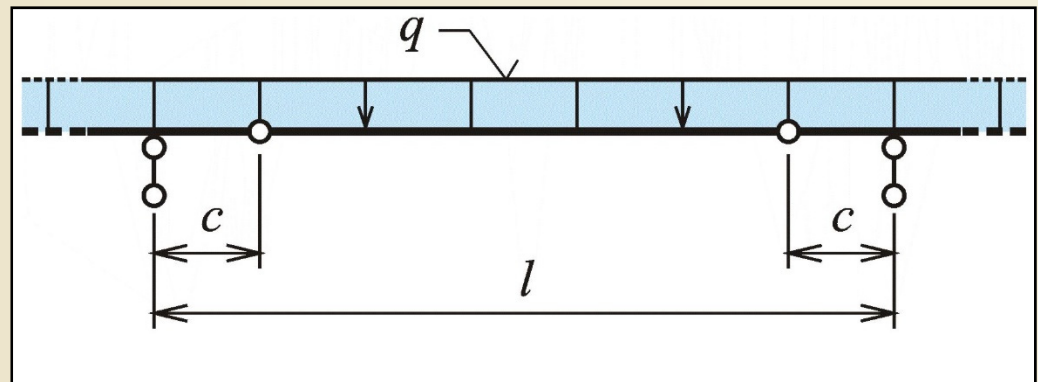
$$M_{\min} = -\frac{1}{2} \cdot q \cdot l^2 \cdot (\gamma - \gamma^2)$$

$$M_{\max} = |M_{\min}| \rightarrow 8 \cdot \gamma^2 - 8 \cdot \gamma + 1 = 0$$

Řešení:

$$\gamma \doteq 0,146 \approx \frac{1}{7}$$

Závěr: nejúčinnější umístění kloubů v sedminách rozpětí pole od nejbližší podpory



Optimální umístění kloubů

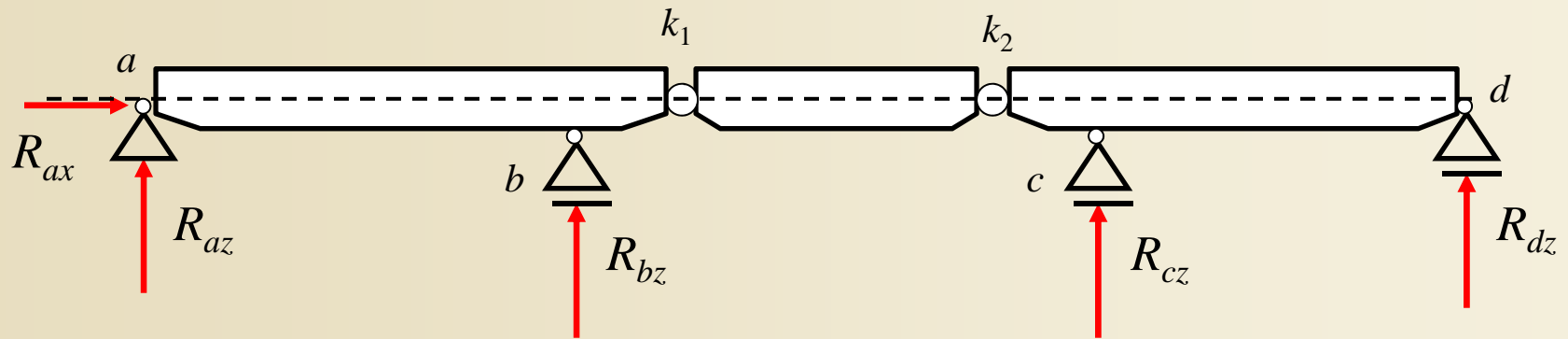
Obr. 9.7. / str. 150

Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby

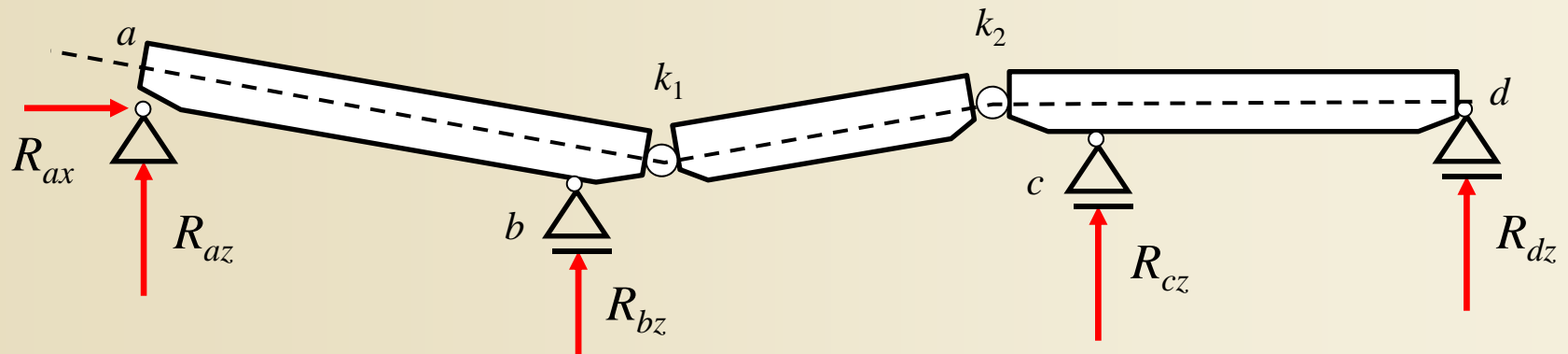


Most přes železniční trať z roku 1980, Ostrava – Svinov, délka 130 m, hmotnost 2.840 t

Schéma statického systému mostu



Příklad poklesu vlivem poddolování



Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby



Most přes železniční trať z roku 1980, Ostrava – Svinov, délka 130 m, hmotnost 2.840 t

Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby



Most přes železniční trať z roku 1980, Ostrava – Svinov, délka 130 m, hmotnost 2.840 t

Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby



Most přes železniční trať z roku 1980, Ostrava – Svinov, délka 130 m, hmotnost 2.840 t

Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby



Most přes železniční trať z roku 1980, Ostrava – Svinov, délka 130 m, hmotnost 2.840 t

Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby



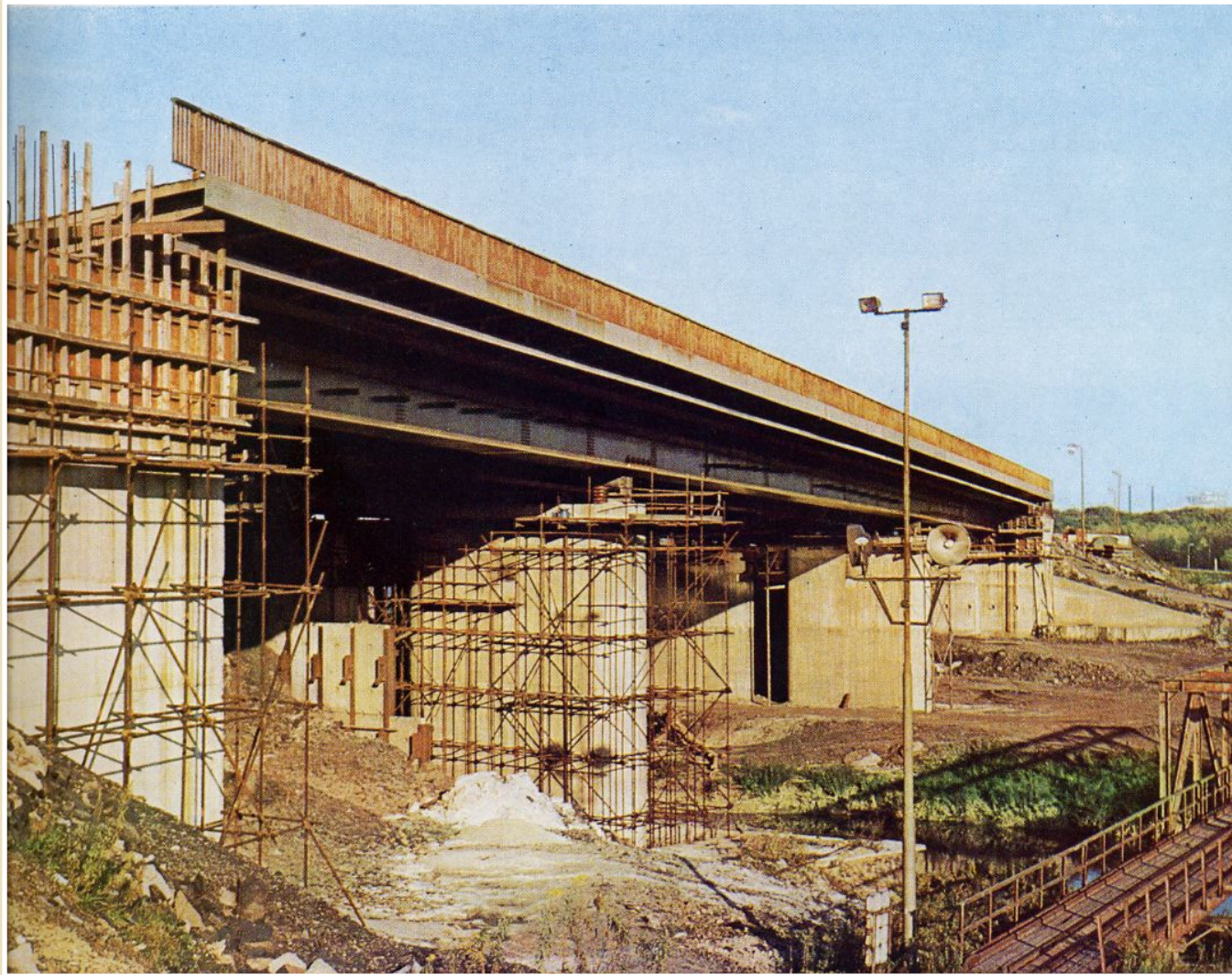
Ocelový most přes řeku Odru z roku 1980, délka 130 m, hmotnost 2.840 t, Ostrava - Svinov

Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby



Ocelový most přes řeku Odru z roku 1980, délka 130 m, hmotnost 2.840 t, Ostrava - Svinov

Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby



Ocelový most přes řeku Odru z roku 1980, délka 130 m, hmotnost 2.840 t, Ostrava - Svinov

Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby



Ocelový most přes řeku Odru z roku 1980, délka 130 m, hmotnost 2.840 t, Ostrava - Svinov

Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby



Ocelový most přes řeku Odru z roku 1980, délka 130 m, hmotnost 2.840 t, Ostrava - Svinov

Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby



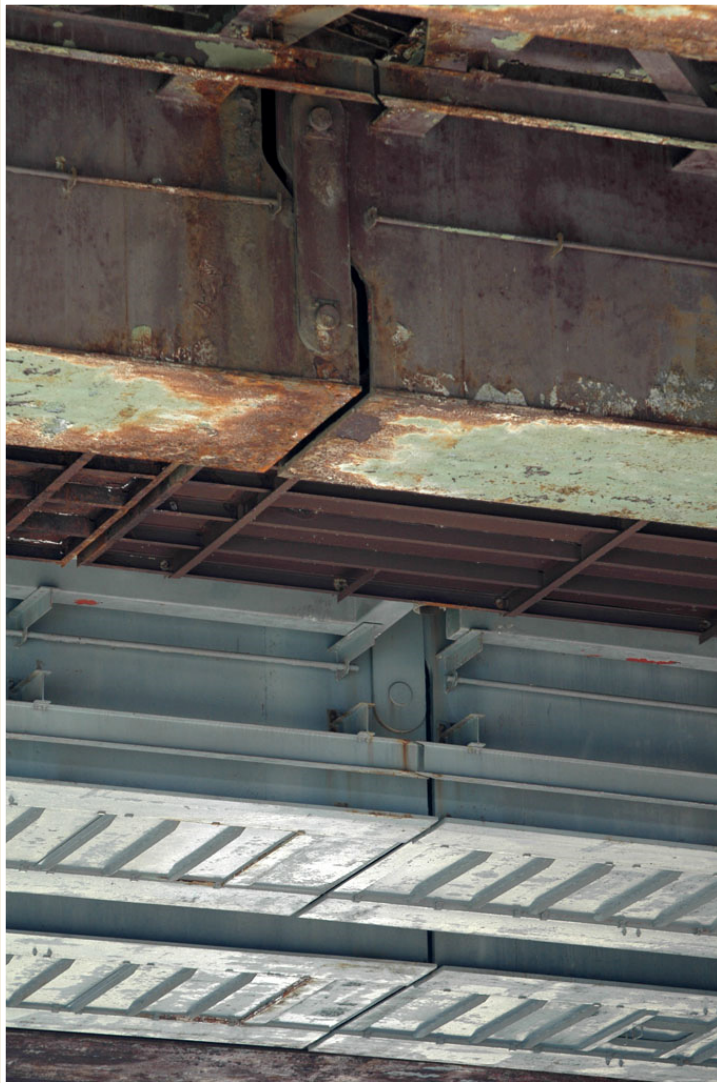
Ocelový most přes řeku Odru z roku 1980, délka 130 m, hmotnost 2.840 t, Ostrava - Svinov

Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby



Ocelový most přes řeku Odru z roku 1980, délka 130 m, hmotnost 2.840 t, Ostrava - Svinov

Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby



Ocelový most přes řeku Odru z roku 1980, délka 130 m, hmotnost 2.840 t, Ostrava - Svinov

Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby



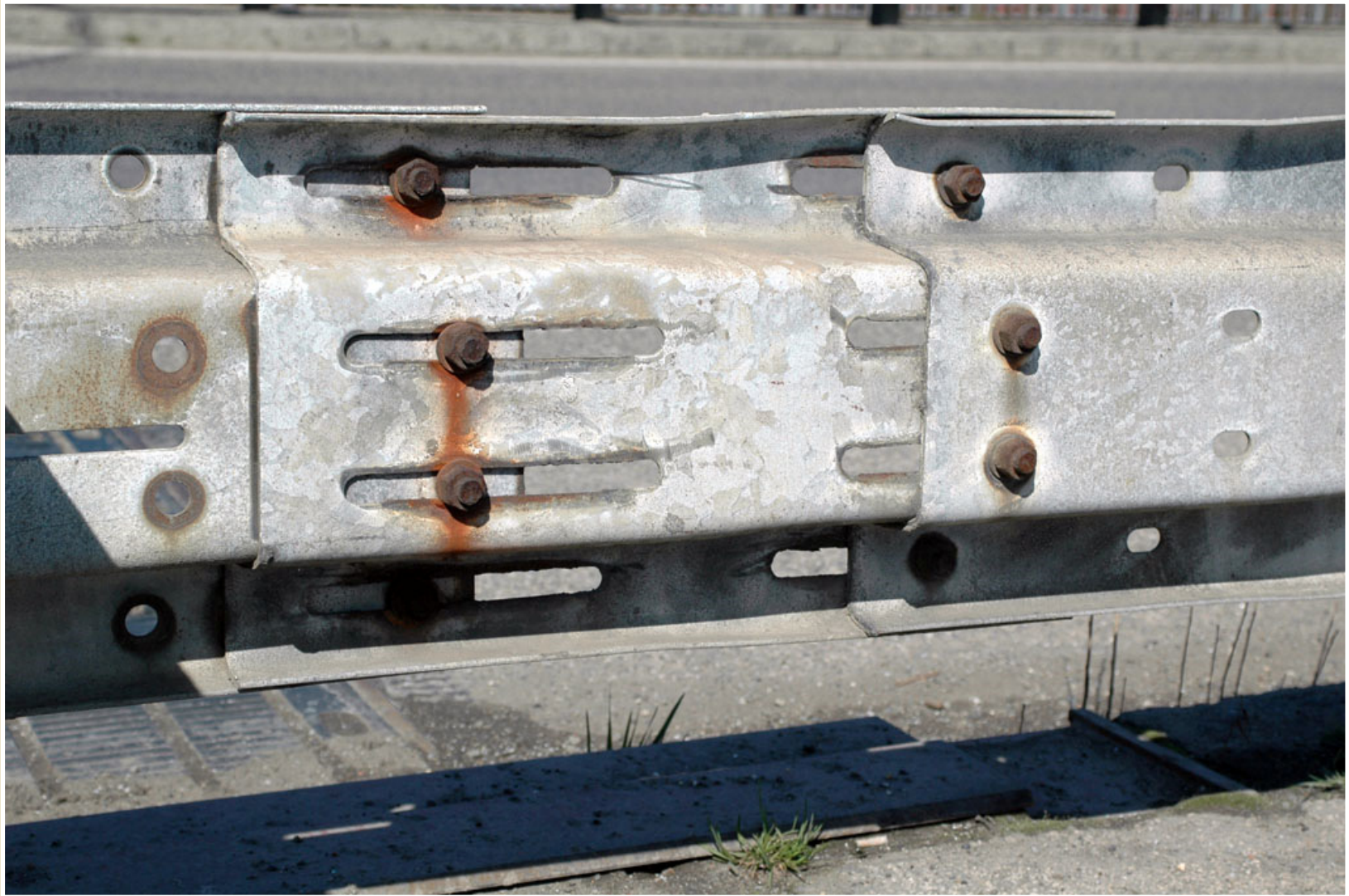
Ocelový most přes řeku Odru z roku 1980, délka 130 m, hmotnost 2.840 t, Ostrava - Svinov

Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby



Ocelový most přes řeku Odru z roku 1980, délka 130 m, hmotnost 2.840 t, Ostrava - Svinov

Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby



Ocelový most přes řeku Odru z roku 1980, délka 130 m, hmotnost 2.840 t, Ostrava - Svinov

Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby



Ocelový most přes řeku Odru z roku 1980, délka 130 m, hmotnost 2.840 t, Ostrava - Svinov

Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby



Ocelový most přes řeku Odru z roku 1980, délka 130 m, hmotnost 2.840 t, Ostrava - Svinov

Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby



Ocelový most přes řeku Odru z roku 1980, délka 130 m, hmotnost 2.840 t, Ostrava - Svinov

Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby



Ocelový most přes řeku Odru z roku 1980, délka 130 m, hmotnost 2.840 t, Ostrava - Svinov

Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby



Most přes řeku Ostravici, 2 pole, 1 vnitřní kloub, oboustranný převislý konec, Černá louka, Ostrava

Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby



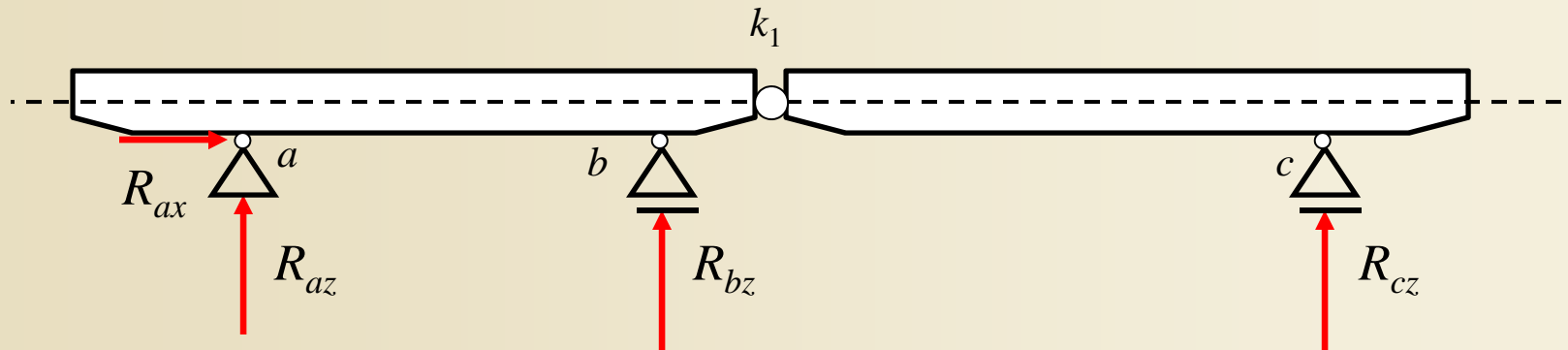
Most přes řeku Ostravici, 2 pole, 1 vnitřní kloub, oboustranný převislý konec, Černá louka, Ostrava

Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby

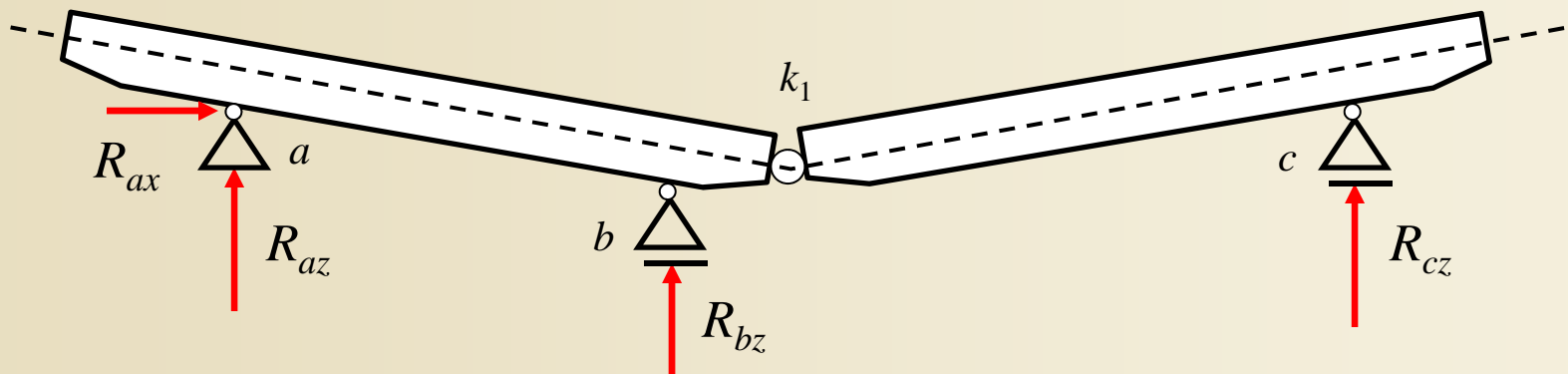


Most přes řeku Ostravici, 2 pole, 1 vnitřní kloub, oboustranný převislý konec, Černá louka, Ostrava

Schéma statického systému mostu



Příklad poklesu vlivem poddolování



Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby



Most přes řeku Ostravici, 2 pole, 1 vnitřní kloub, oboustranný převislý konec, Černá louka, Ostrava

Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby



Most přes řeku Ostravici, 3 pole, 2 vnitřní klouby, Černá louka, Ostrava

Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby



Most přes řeku Ostravici, 3 pole, 2 vnitřní klouby, Černá louka, Ostrava

Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby



Most přes řeku Ostravici, 3 pole, 2 vnitřní klouby, Černá louka, Ostrava

Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby



Most přes řeku Ostravici, 3 pole, 2 vnitřní klouby, Černá louka, Ostrava

Ukázky spojitého nosníku s vloženými klouby



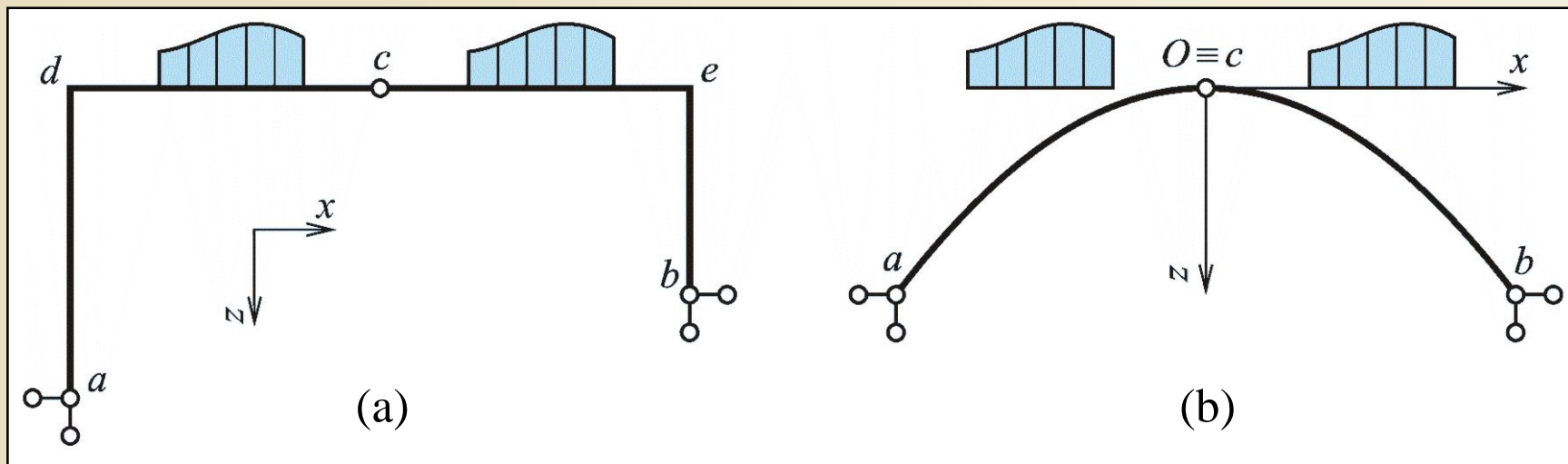
Most přes řeku Ostravici, detail uložení, Černá louka, Ostrava

Vlastnosti trojkloubového rámu a oblouku

Trojkloubový rám (oblouk) :

a) dva rovinně lomené (zakřivené) nosníky v rovinné úloze s kloubovým spojením a podepřením dvěma kloubovými vodorovně i svisle neposuvnými podporami

b) rovinně lomený (zakřivený) nosník v rovinné úloze se dvěma kloubovými vodorovně i svisle neposuvnými podporami – **dvojkloubový rám (oblouk)**, je kinematically přeurlčitý a 1x staticky neurčitý. Vložním 1 kloubu vznikne soustava kinematically i staticky určitá.

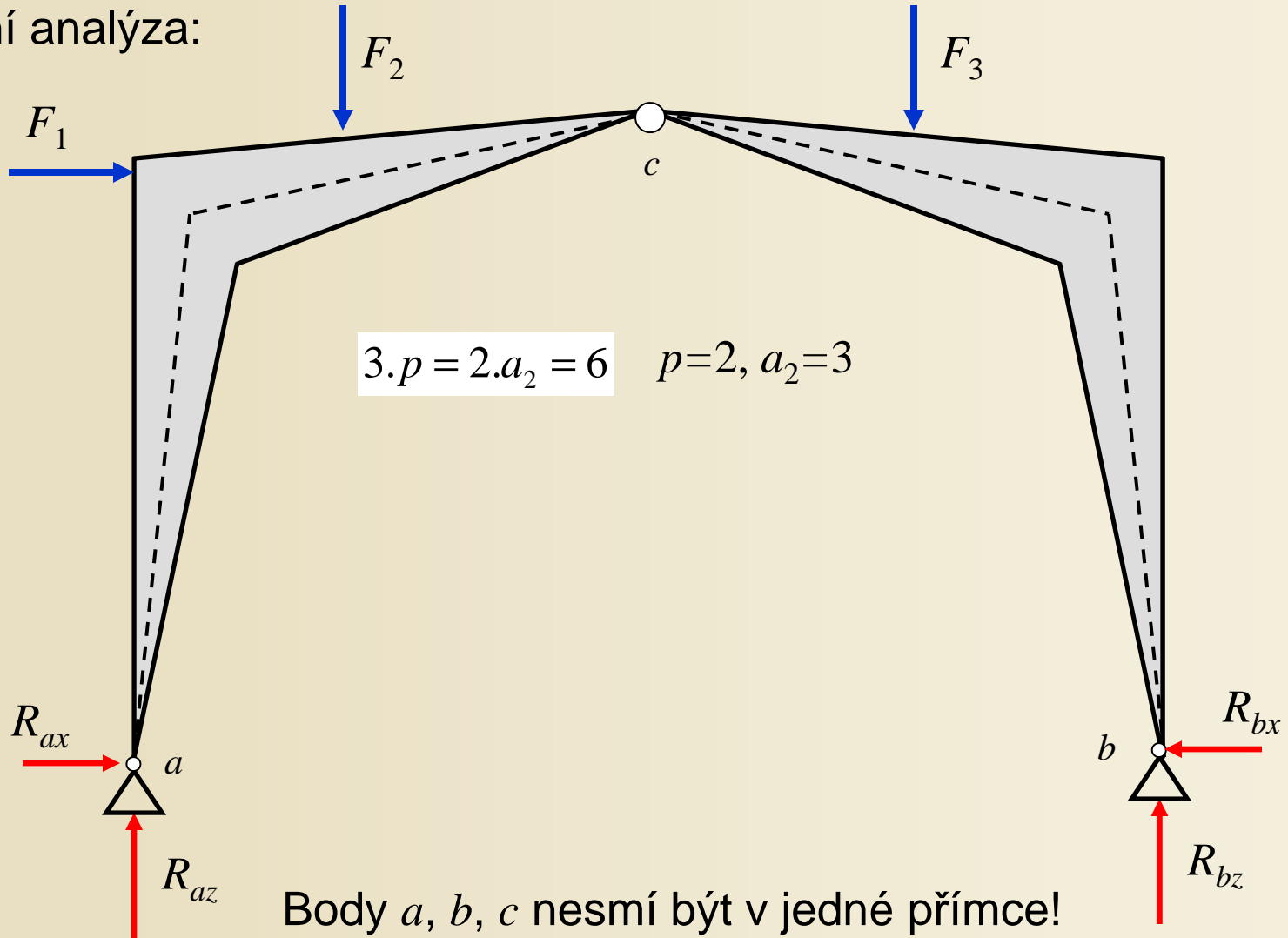


Trojkloubový rám a oblouk

Obr. 9.8. / str. 151

Vlastnosti trojkloubového rámu a oblouku

Počáteční analýza:



Postup při výpočtu složek reakcí trojkloubového rámu nebo oblouku

Výpočet čtyř složek reakcí: 3 podmínky rovnováhy + podmínka $M_c^L = M_c^P = 0$

Postup: 1. $\sum M_a = 0$

2. $M_c^P = 0$

3. $\sum M_b = 0$

4. $M_c^L = 0$

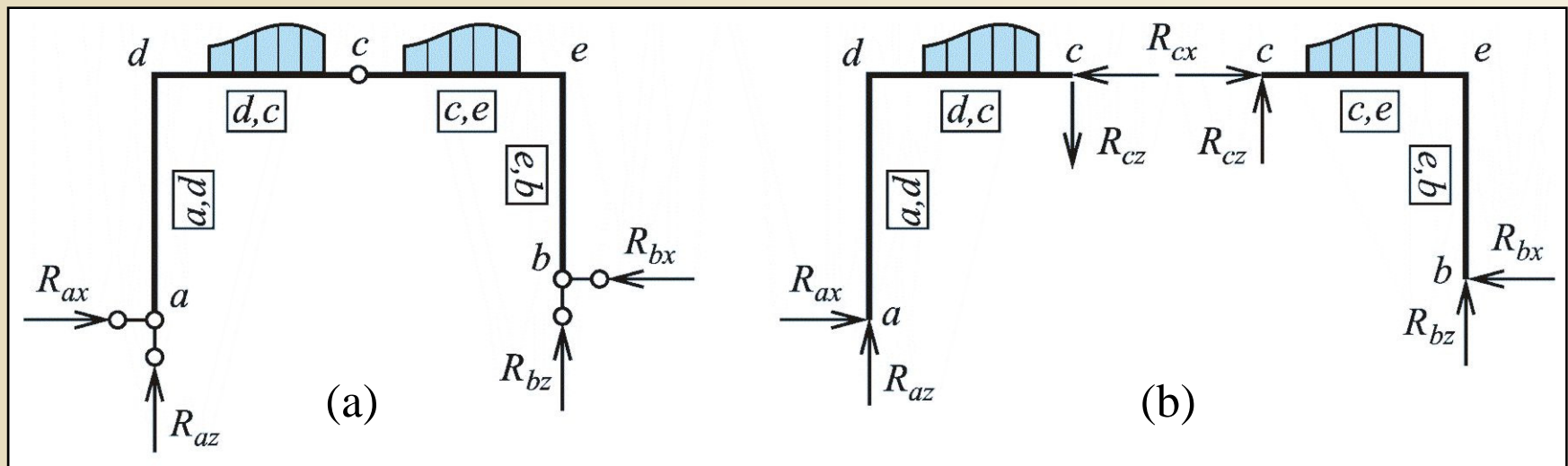
R_{bx}, R_{bz}

R_{ax}, R_{az}

Kontrola: 5. $R_x = 0$

6. $R_z = 0$

Složky interakce ve vnitřních vazbách kloubu z podmínek na levé nebo pravé části rámu (oblouku).



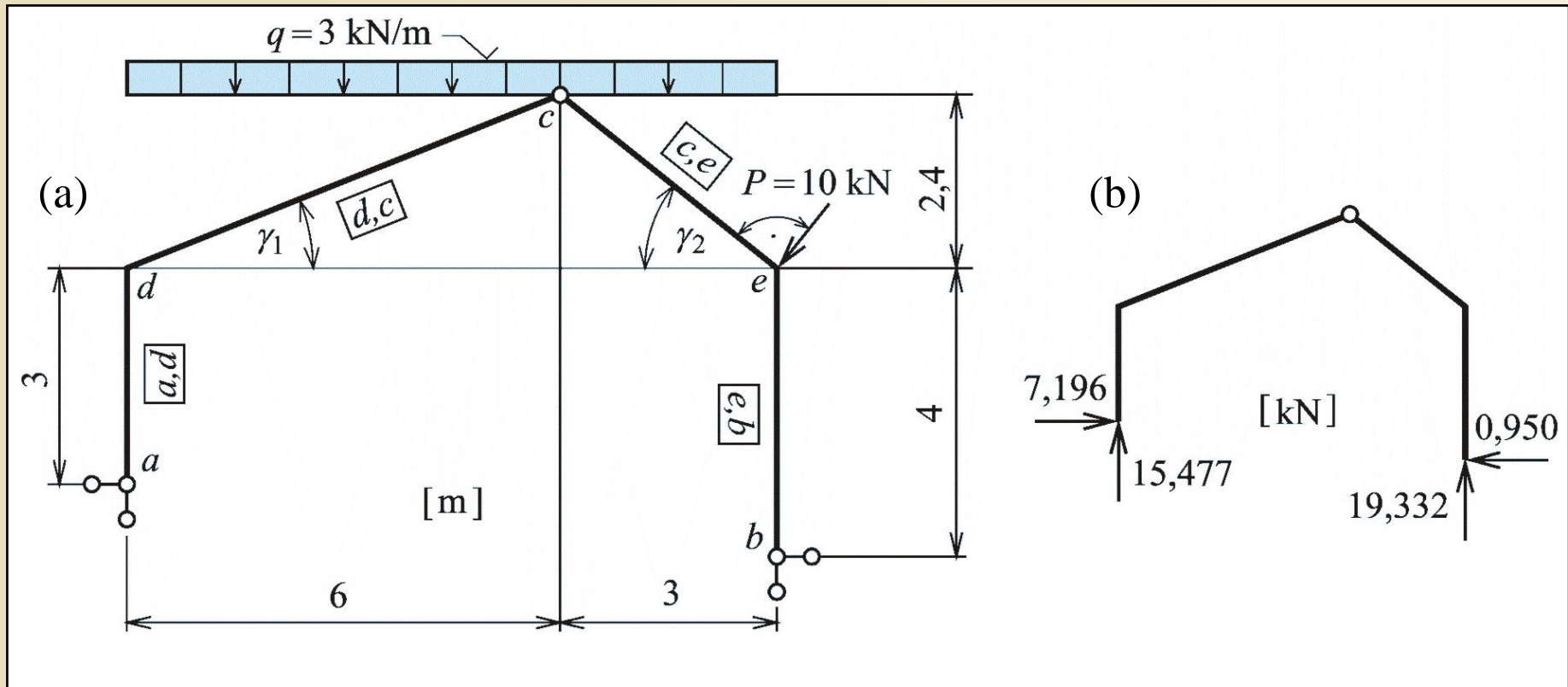
Složky reakcí a interakce trojkloubového rámu

Obr. 9.9. / str. 151

Příklad 6.2

Zadání: Trojkloubový rám o nestejně výškové úrovni podpor

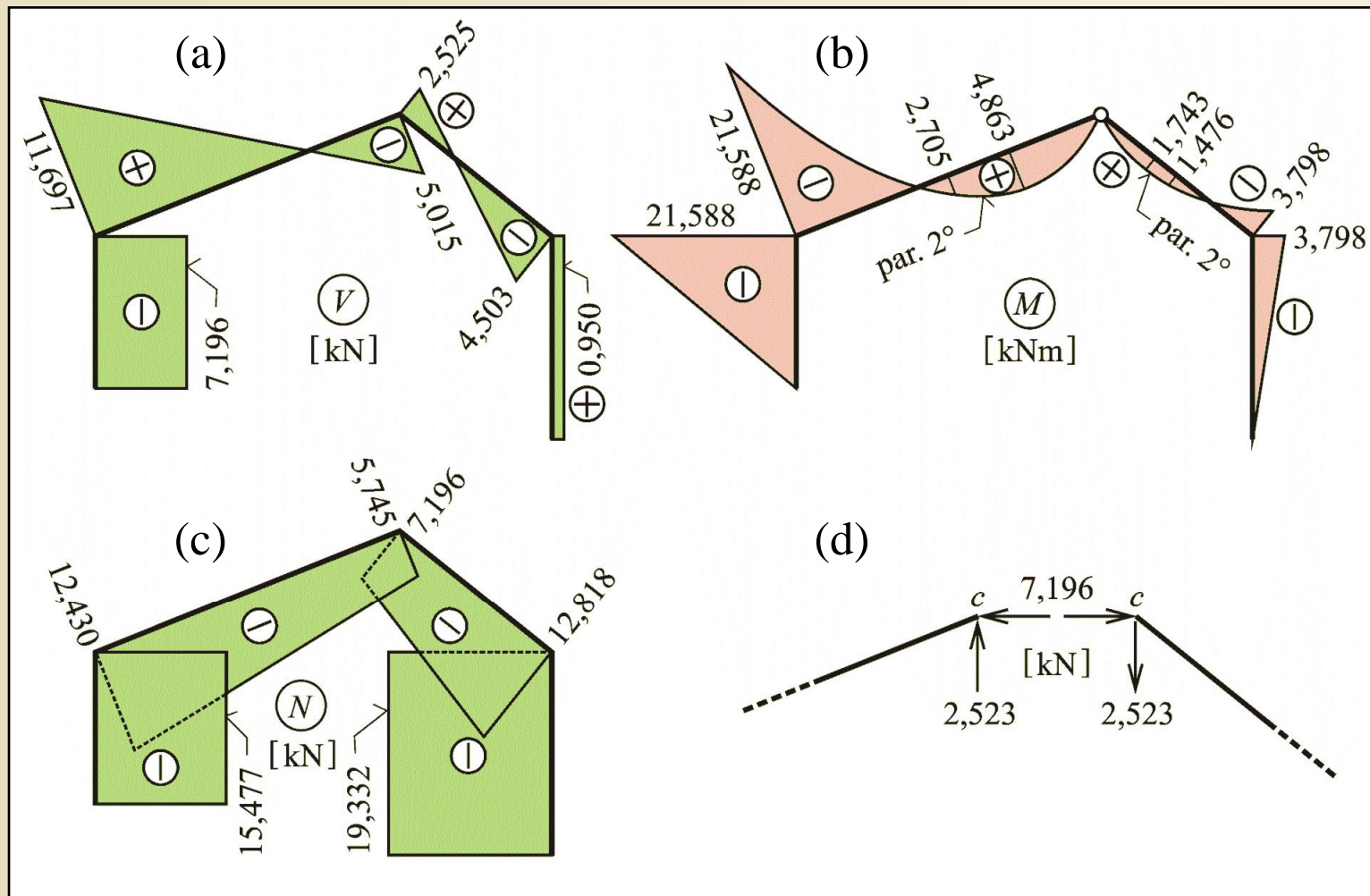
Předmět výpočtu: Složky reakcí a interakce v kloubu rámu, průběh vnitřních sil



Zadání příkladu 6.2 a vypočtené reakce

Obr. 9.10. / str. 153

Příklad 6.2



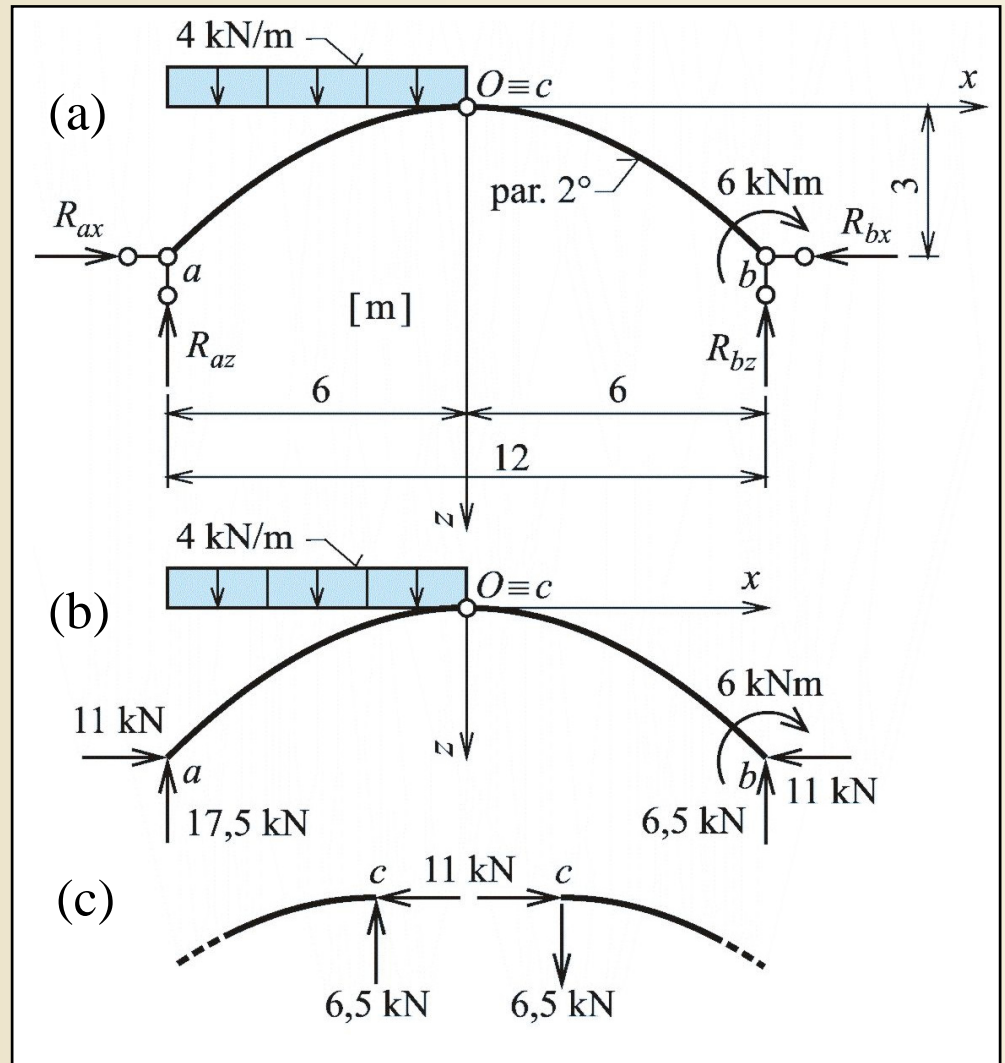
Řešení příkladu 6.2

Obr. 9.11. / str. 153

Příklad 6.3

Zadání: Parabolický trojkloubový oblouk

Předmět výpočtu: Složky reakcí a interakce v kloubu oblouku, průběh vnitřních sil

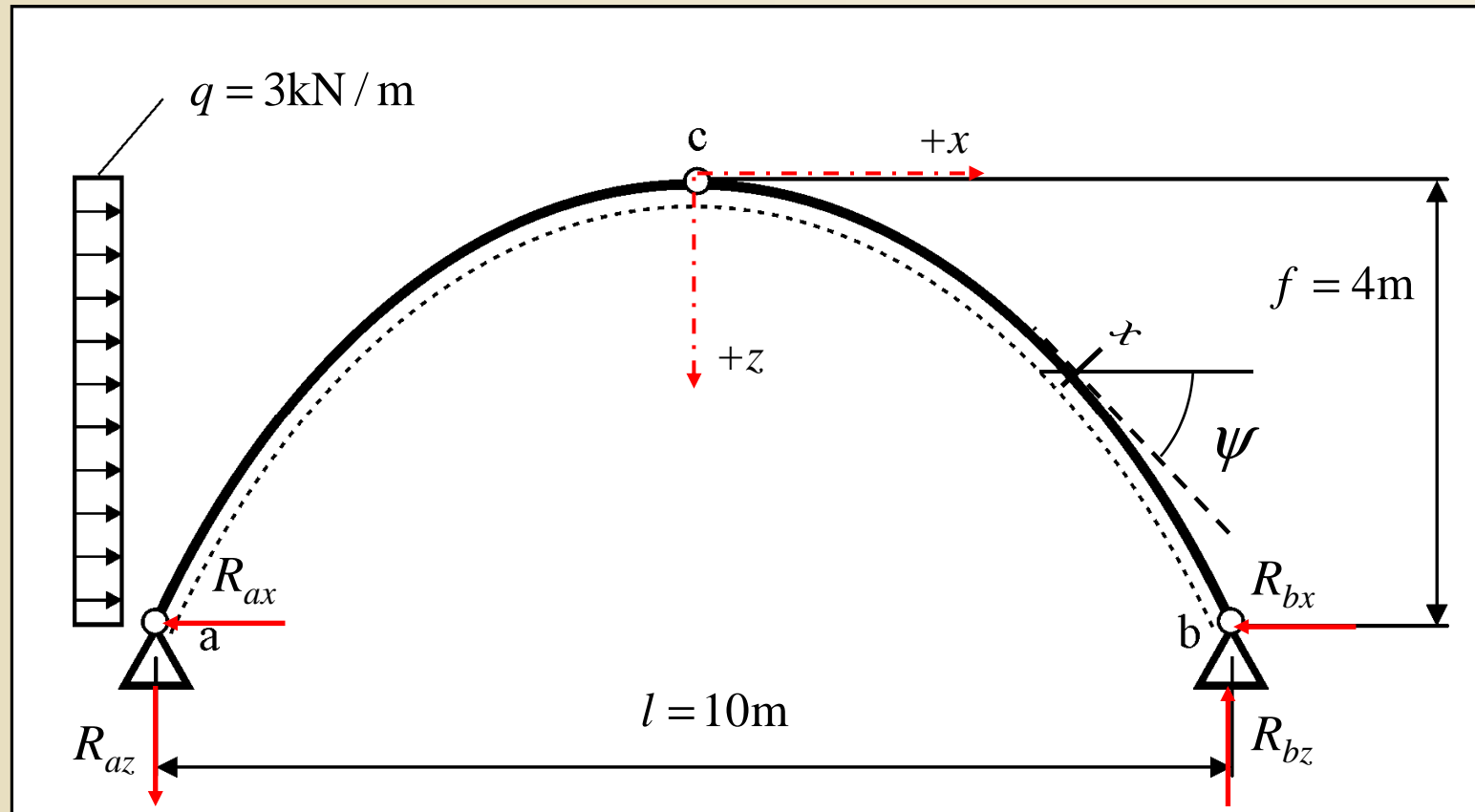


Zadání a řešení příkladu 6.3

Obr. 9.12. / str. 154

Příklad výpočtu trojkloubového oblouku

Výpočet s pomocí tabulkového procesoru



$$z(x) = k \cdot x^2$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{dz}{dx} = [k \cdot x^2]' = 2 \cdot k \cdot x$$

Příklad - tvar, tečna



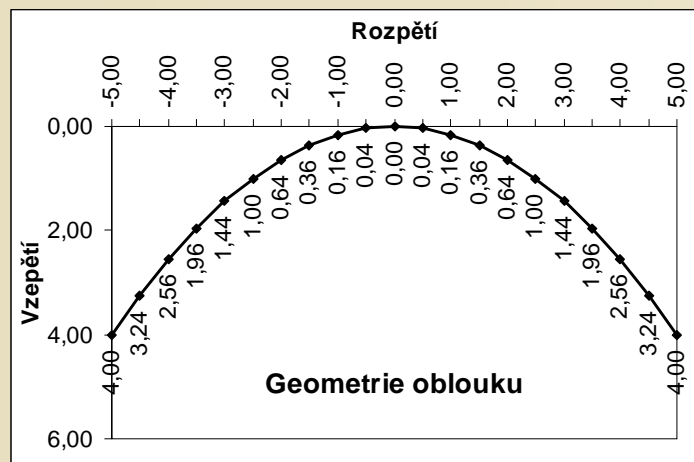
Tabulkový výpočet (Excel)

$$z(x) = k \cdot x^2$$

$$\operatorname{tg} \psi = 2 \cdot k \cdot x$$

$$\cos \psi = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \psi}}$$

$$\sin \psi = \frac{\operatorname{tg} \psi}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \psi}}$$



x	z	tg ψ	ψ [rad]	ψ [deg]	cos ψ	sin ψ
-5,00	4,00	-1,600000	-1,012197	-57,994617	0,529999	-0,847998
-4,50	3,24	-1,440000	-0,963809	-55,222169	0,570396	-0,821370
-4,00	2,56	-1,280000	-0,907593	-52,001268	0,615644	-0,788024
-3,50	1,96	-1,120000	-0,841942	-48,239700	0,666016	-0,745938
-3,00	1,44	-0,960000	-0,764993	-43,830861	0,721387	-0,692532
-2,50	1,00	-0,800000	-0,674741	-38,659808	0,780869	-0,624695
-2,00	0,64	-0,640000	-0,569313	-32,619243	0,842271	-0,539054
-1,50	0,36	-0,480000	-0,447520	-25,641006	0,901523	-0,432731
-1,00	0,16	-0,320000	-0,309703	-17,744672	0,952424	-0,304776
-0,50	0,04	-0,160000	-0,158655	-9,090277	0,987441	-0,157991
0,00	0,00	0,000000	0,000000	0,000000	1,000000	0,000000
0,50	0,04	0,160000	0,158655	9,090277	0,987441	0,157991
1,00	0,16	0,320000	0,309703	17,744672	0,952424	0,304776
1,50	0,36	0,480000	0,447520	25,641006	0,901523	0,432731
2,00	0,64	0,640000	0,569313	32,619243	0,842271	0,539054
2,50	1,00	0,800000	0,674741	38,659808	0,780869	0,624695
3,00	1,44	0,960000	0,764993	43,830861	0,721387	0,692532
3,50	1,96	1,120000	0,841942	48,239700	0,666016	0,745938
4,00	2,56	1,280000	0,907593	52,001268	0,615644	0,788024
4,50	3,24	1,440000	0,963809	55,222169	0,570396	0,821370
5,00	4,00	1,600000	1,012197	57,994617	0,529999	0,847998

Příklad výpočtu trojkloubového oblouku

Výpočet složek reakcí pomocí podmínek rovnováhy

1. $R_x = 0$ R_{ax}, R_{bx}

$$q \cdot f - R_{ax} - R_{bx} = 0$$

2. $\Sigma M_a = 0$ R_{bz}

$$-\frac{q \cdot f^2}{2} + R_{bz} \cdot l = 0$$

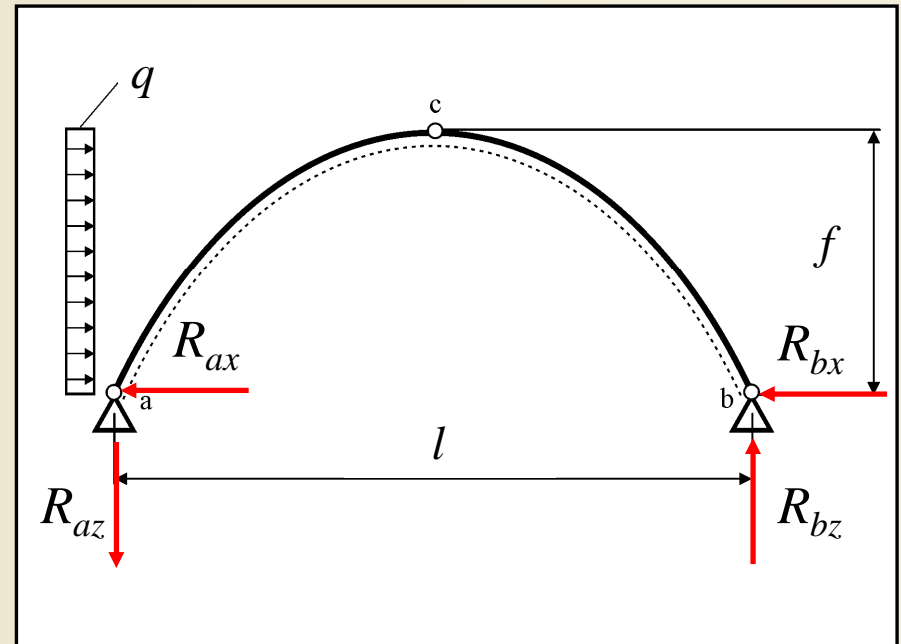
$$R_{bz} = \frac{q \cdot f^2}{2 \cdot l} = 2,40 \text{ kN} (\uparrow)$$

3. $\Sigma M_b = 0$ R_{az}

$$R_{az} = \frac{q \cdot f^2}{2 \cdot l} = 2,40 \text{ kN} (\downarrow)$$

4. $R_z = 0$ Kontrola

$$-R_{az} + R_{bz} = 0$$

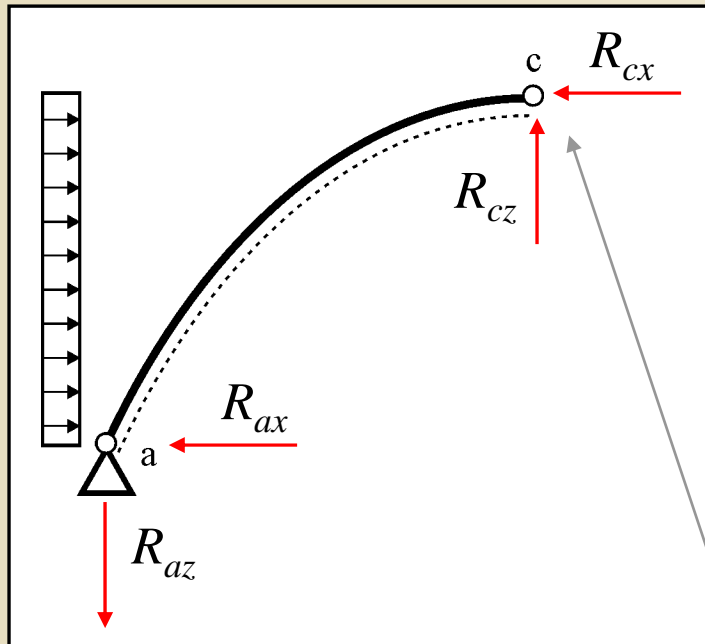


Podpory ve stejné výšce
představují jednodušší výpočet!

Příklad výpočtu trojkloubového oblouku

Výpočet složek reakcí pomocí podmínek rovnováhy

Levá část oblouku

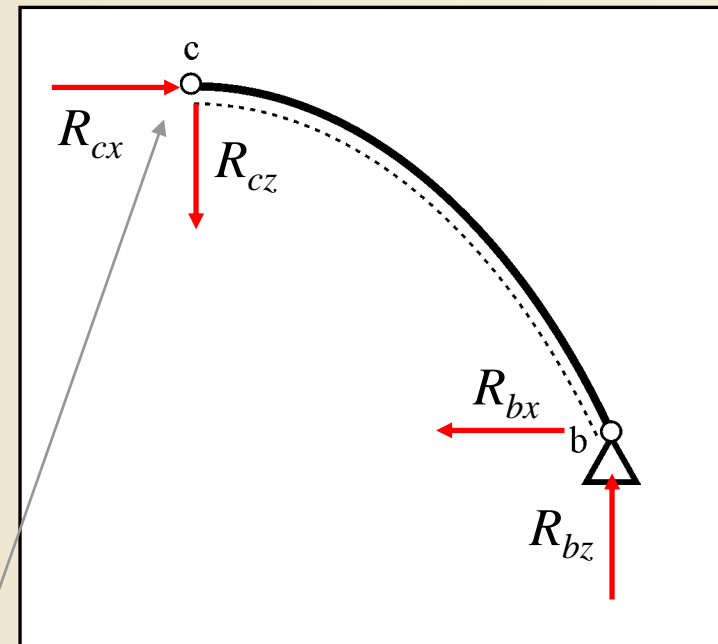


$${}^L R_x = 0$$

$${}^L R_z = 0$$

$${}^L \sum M_a = 0$$

Pravá část oblouku



$${}^P R_x = 0$$

$${}^P R_z = 0$$

$${}^P \sum M_b = 0$$

Složky interakcí

6 stupňů volnosti

6 neznámých – 6 podmínek rovnováhy

Příklad výpočtu trojkloubového oblouku

Výpočet složek reakcí pomocí podmínek rovnováhy

Výhodnější způsob:

1. $\sum M_b = 0$ celý oblouk

$$R_{az} = 2,40\text{kN}(\downarrow)$$

2. $M_c^L = 0$ levá část

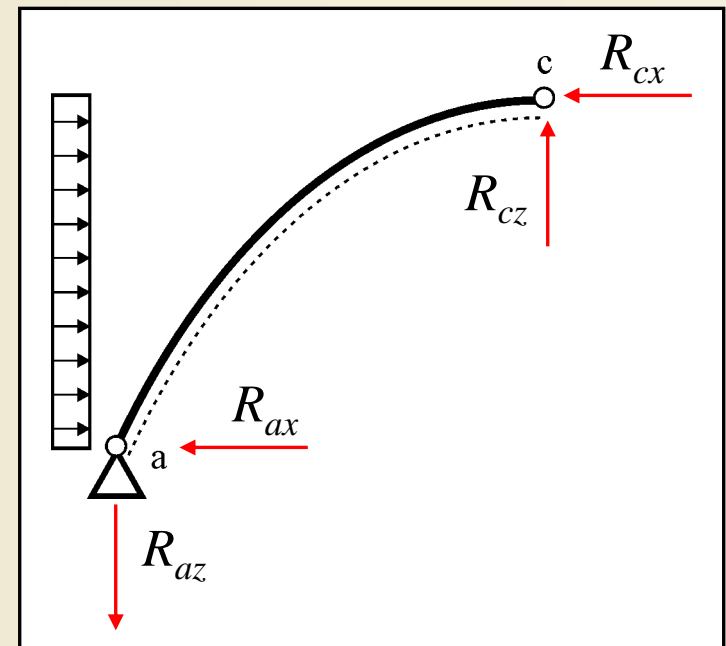
$$R_{ax} \cdot f - R_{az} \cdot \frac{l}{2} - \frac{q \cdot f^2}{2} = 0$$

$$R_{ax} = 9,00\text{kN}(\leftarrow)$$

3. ${}^L R_x = 0$ $R_{cx} = q \cdot f - R_{ax} = 3,00\text{kN}(\leftarrow)$

4. ${}^L R_z = 0$ $R_{cz} = 2,40\text{kN}(\uparrow)$

Levá část oblouku



Příklad výpočtu trojkloubového oblouku

Výpočet složek reakcí pomocí podmínek rovnováhy

Výhodnější způsob:

1. $\sum M_a = 0$ celý oblouk

$$R_{bz} = 2,40\text{kN}(\uparrow)$$

2. $M_c^P = 0$ pravá část

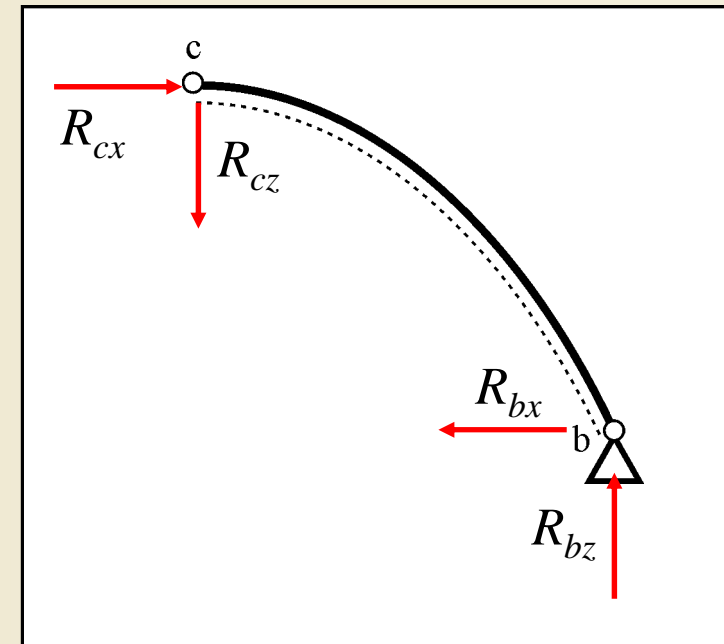
$$-R_{bx} \cdot f + R_{bz} \cdot \frac{l}{2} = 0$$

$$R_{bx} = 3,00\text{kN}(\leftarrow)$$

3. ${}^P R_x = 0$ $R_{cx} = R_{bx} = 3,00\text{kN}(\rightarrow)$

4. ${}^P R_z = 0$ $R_{cz} = R_{bz} = 2,40\text{kN}(\downarrow)$

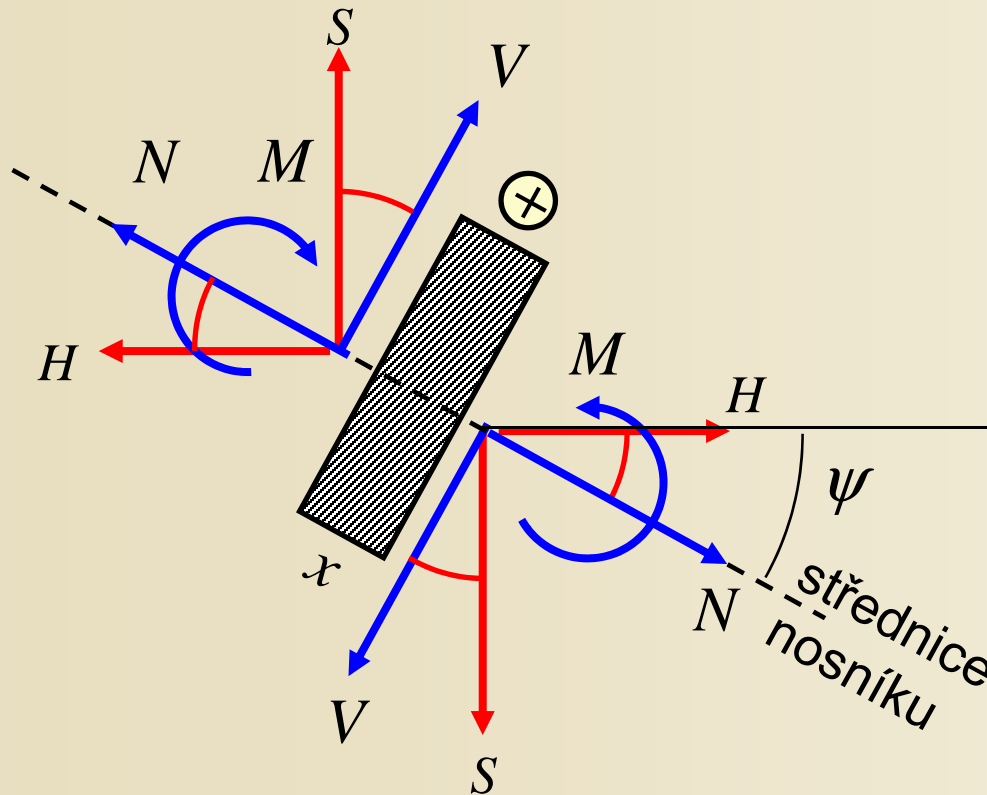
Pravá část oblouku



Příklad – normálové a posouvající síly

Téma č. 5

Rozklad sil na složky rovnoběžné a kolmé k tečně



$$\operatorname{tg} \psi = 2.k.x$$

$$N = H \cdot \cos \psi + S \cdot \sin \psi$$

$$V = -H \cdot \sin \psi + S \cdot \cos \psi$$

$$\cos \psi = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \psi}}$$

$$\sin \psi = \frac{\operatorname{tg} \psi}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \psi}}$$

Příklad – normálové a posouvající síly



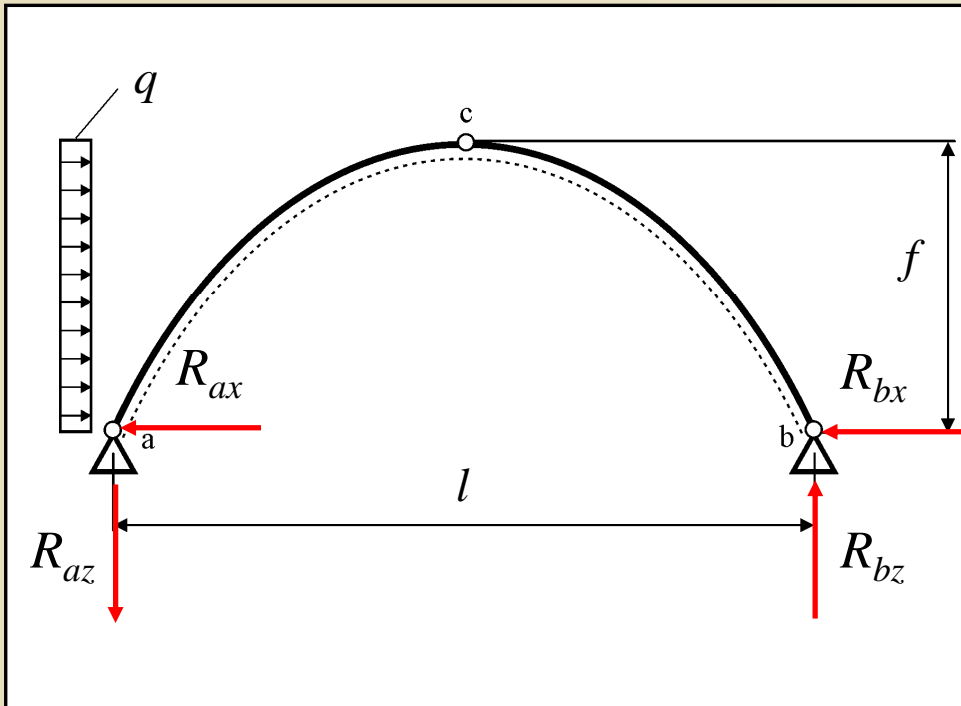
$$H = R_{ax} - q \cdot (f - z) \quad \text{levá polovina}$$

$$H = R_{ax} - q \cdot f = 0 \quad \text{pravá polovina}$$

$$S = -R_{az}$$

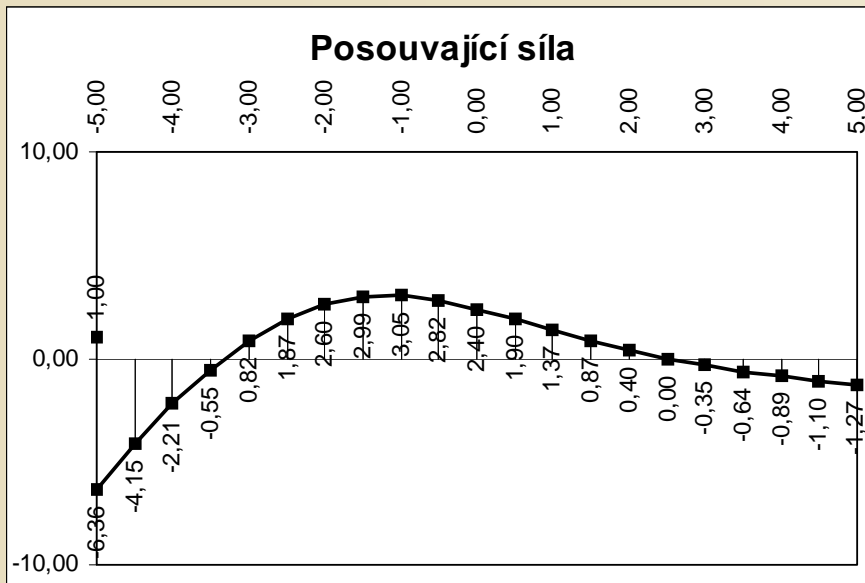
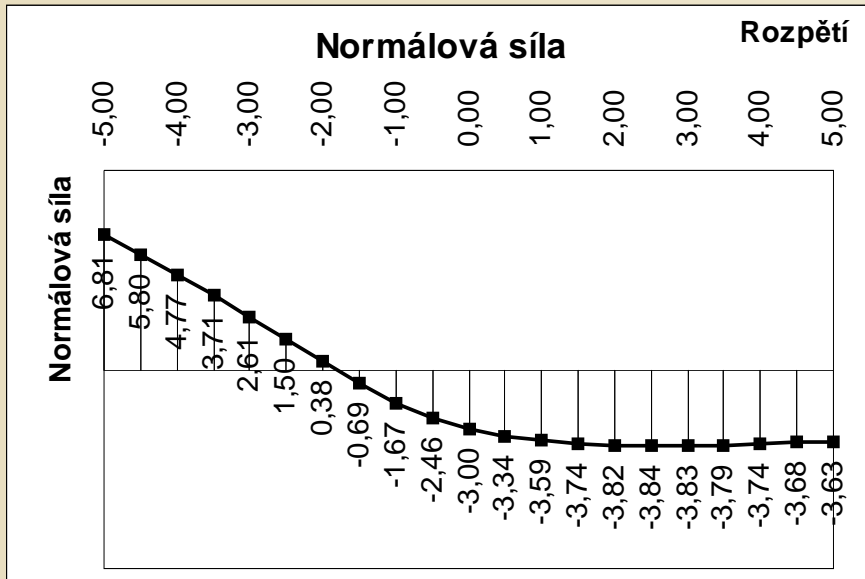
$$N = H \cdot \cos \psi + S \cdot \sin \psi$$

$$V = -H \cdot \sin \psi + S \cdot \cos \psi$$



H [kN]	S [kN]	N [kN]	V [kN]
9,000000	-2,400000	6,805186	-6,359987
6,720000	-2,400000	5,804348	-4,150656
4,680000	-2,400000	4,772473	-2,210408
2,880000	-2,400000	3,708376	-0,549863
1,320000	-2,400000	2,614308	0,817188
0,000000	-2,400000	1,499268	1,874085
-1,080000	-2,400000	0,384076	2,603629
-1,920000	-2,400000	-0,692370	2,994499
-2,520000	-2,400000	-1,668647	3,053853
-2,880000	-2,400000	-2,464652	2,824870
-3,000000	-2,400000	-3,000000	2,400000
-3,000000	-2,400000	-3,341499	1,895886
-3,000000	-2,400000	-3,588734	1,371491
-3,000000	-2,400000	-3,743124	0,865462
-3,000000	-2,400000	-3,820543	0,404290
-3,000000	-2,400000	-3,841875	0,000000
-3,000000	-2,400000	-3,826238	-0,346266
-3,000000	-2,400000	-3,788298	-0,639375
-3,000000	-2,400000	-3,738191	-0,886527
-3,000000	-2,400000	-3,682475	-1,095160
-3,000000	-2,400000	-3,625193	-1,271997

Příklad – normálové a posouvající síly



H [kN]	S [kN]	N [kN]	V [kN]
9,000000	-2,400000	6,805186	-6,359987
6,720000	-2,400000	5,804348	-4,150656
4,680000	-2,400000	4,772473	-2,210408
2,880000	-2,400000	3,708376	-0,549863
1,320000	-2,400000	2,614308	0,817188
0,000000	-2,400000	1,499268	1,874085
-1,080000	-2,400000	0,384076	2,603629
-1,920000	-2,400000	-0,692370	2,994499
-2,520000	-2,400000	-1,668647	3,053853
-2,880000	-2,400000	-2,464652	2,824870
-3,000000	-2,400000	-3,000000	2,400000
-3,000000	-2,400000	-3,341499	1,895886
-3,000000	-2,400000	-3,588734	1,371491
-3,000000	-2,400000	-3,743124	0,865462
-3,000000	-2,400000	-3,820543	0,404290
-3,000000	-2,400000	-3,841875	0,000000
-3,000000	-2,400000	-3,826238	-0,346266
-3,000000	-2,400000	-3,788298	-0,639375
-3,000000	-2,400000	-3,738191	-0,886527
-3,000000	-2,400000	-3,682475	-1,095160
-3,000000	-2,400000	-3,625193	-1,271997

Příklad – ohybové momenty



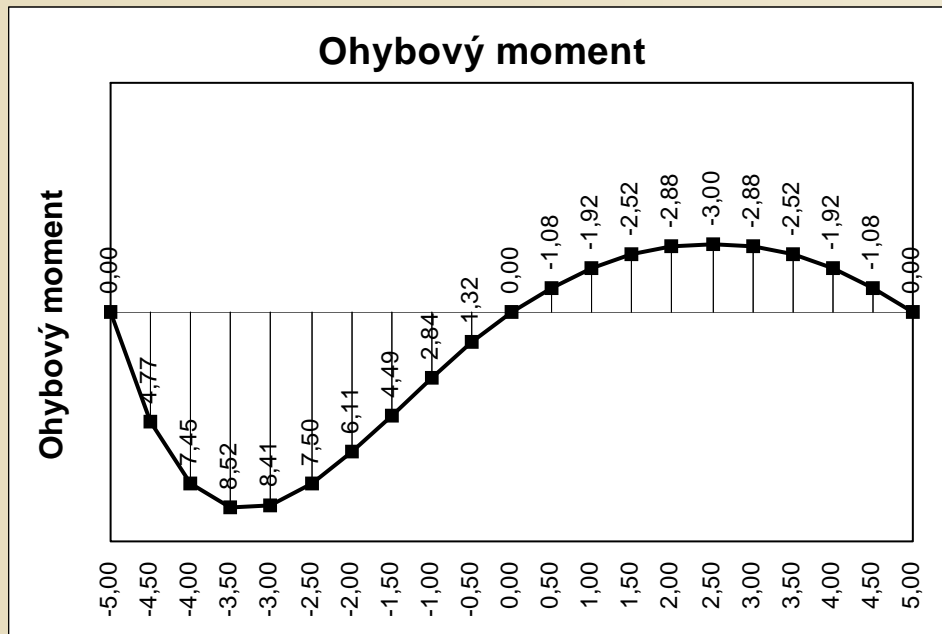
levá polovina

$$M = R_{ax} \cdot (f - z) - R_{az} \cdot \left(\frac{l}{2} + x \right) - \frac{q \cdot (f - z)^2}{2}$$

$$M = R_{ax} \cdot (f - z) - R_{az} \cdot \left(\frac{l}{2} + x \right) + q \cdot f \cdot \left(\frac{f}{2} - z \right)$$

pravá polovina

$-R_{az} \cdot (l/2+x)$	$+R_{ax} \cdot (f-z)$	$-q/2 \cdot (f-z)^2$	M [kNm]
0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
-1,200000	6,840000	-0,866400	4,773600
-2,400000	12,960000	-3,110400	7,449600
-3,600000	18,360000	-6,242400	8,517600
-4,800000	23,040000	-9,830400	8,409600
-6,000000	27,000000	-13,500000	7,500000
-7,200000	30,240000	-16,934400	6,105600
-8,400000	32,760000	-19,874400	4,485600
-9,600000	34,560000	-22,118400	2,841600
-10,800000	35,640000	-23,522400	1,317600
-12,000000	36,000000	-24,000000	0,000000
-13,200000	35,640000	-23,520000	-1,080000
-14,400000	34,560000	-22,080000	-1,920000
-15,600000	32,760000	-19,680000	-2,520000
-16,800000	30,240000	-16,320000	-2,880000
-18,000000	27,000000	-12,000000	-3,000000
-19,200000	23,040000	-6,720000	-2,880000
-20,400000	18,360000	-0,480000	-2,520000
-21,600000	12,960000	6,720000	-1,920000
-22,800000	6,840000	14,880000	-1,080000
-24,000000	0,000000	24,000000	0,000000
		$-q \cdot f \cdot (f/2 - z)$	

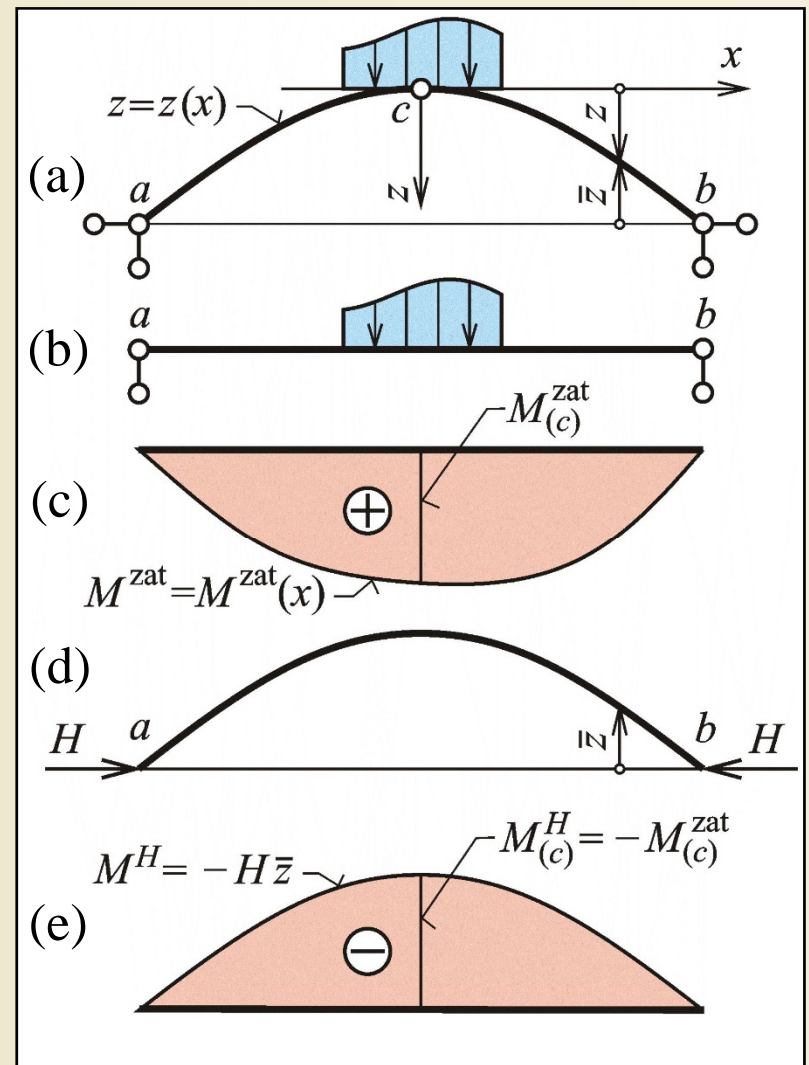


Klenbový účinek v trojkloubovém oblouku

K jakémukoliv svislému zatížení působícímu na oblouk lze teoreticky najít takový tvar střednice oblouku, při němž zatížení vyvolá v oblouku jen tlakové normálové síly, zatímco ohybové momenty a posouvající síly jsou v celém oblouku rovny nule.

Výhoda: menší rozměry průřezu

Klenbový účinek ve trojkloubovém oblouku vznikne tehdy, je-li střednice oblouku geometricky podobná křivce popisující průběh ohybových momentů na prostém nosníku, který je vodorovným průmětem oblouku a je zatížen tímž svislým zatížením (udaným na jednotku délky vodorovného průmětu) jako oblouk.



Vznik klenbového účinku

Obr. 9.13. / str. 155

Klenbový účinek v historických objektech



Viadukt u Filisur, výstavba 1901–2, délka 142 m, rozpětí klenby 20 m, výška 65 m, Švýcarsko

Klenbový účinek v historických objektech



Kamenný klenbový most

Klenbový účinek v historických objektech



Kamenný klenbový most

Klenbový účinek v historických objektech

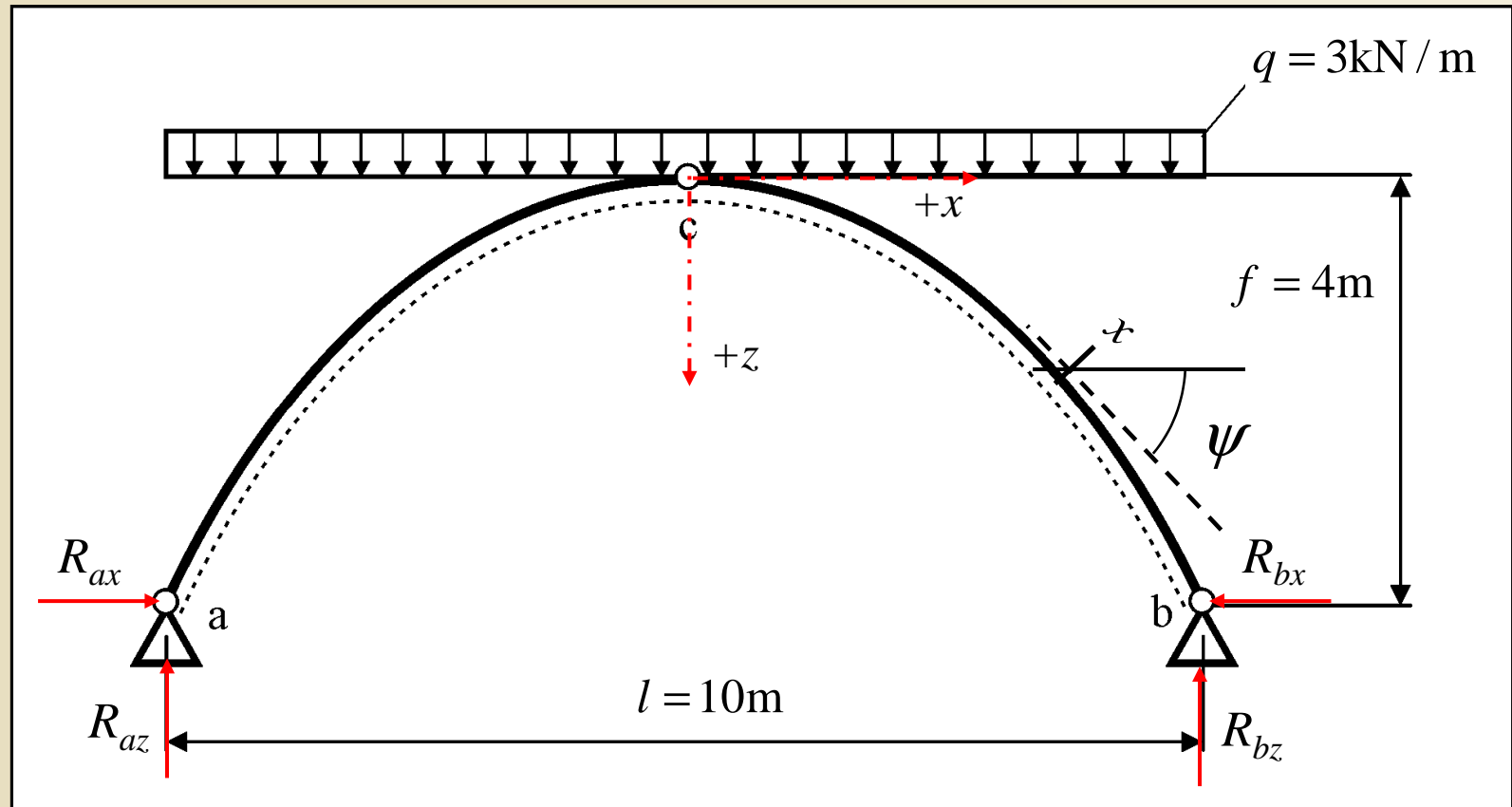


Kamenné klenbové mosty



Příklad - klenbový účinek v trojkloubovém oblouku

Výpočet s pomocí tabulkového procesoru



$$z(x) = k \cdot x^2$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{dz}{dx} = [k \cdot x^2]' = 2 \cdot k \cdot x$$

$$\cos \psi = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \psi}}$$

$$\sin \psi = \frac{\operatorname{tg} \psi}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \psi}}$$

Příklad - klenbový účinek v trojkloubovém oblouku

Výpočet složek reakcí pomocí podmínek rovnováhy

Výhodnější způsob:

1. $\sum M_b = 0$ celý oblouk

$$R_{az} = \frac{q \cdot l}{2} = 15,0 \text{ kN}(\uparrow)$$

2. $M_c^L = 0$ levá část

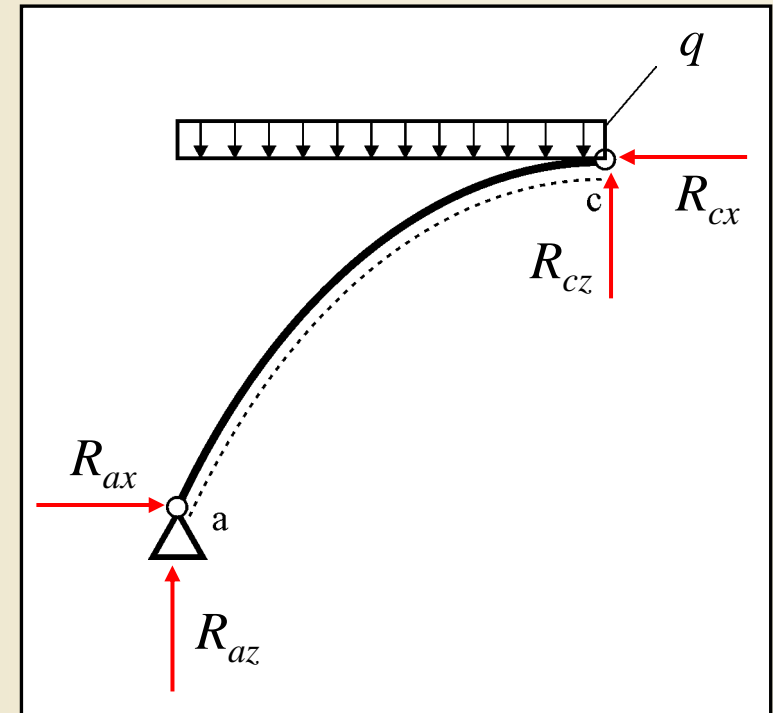
$$-R_{ax} \cdot f + R_{az} \cdot \frac{l}{2} - \frac{q \cdot \left(\frac{l}{2}\right)^2}{2} = 0$$

$$R_{ax} = 9,38 \text{ kN}(\rightarrow)$$

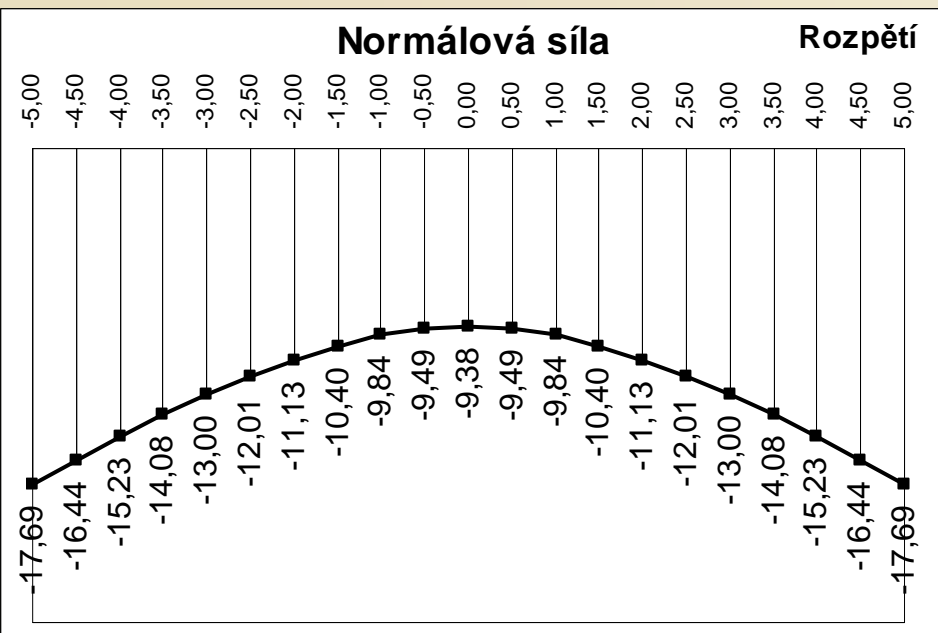
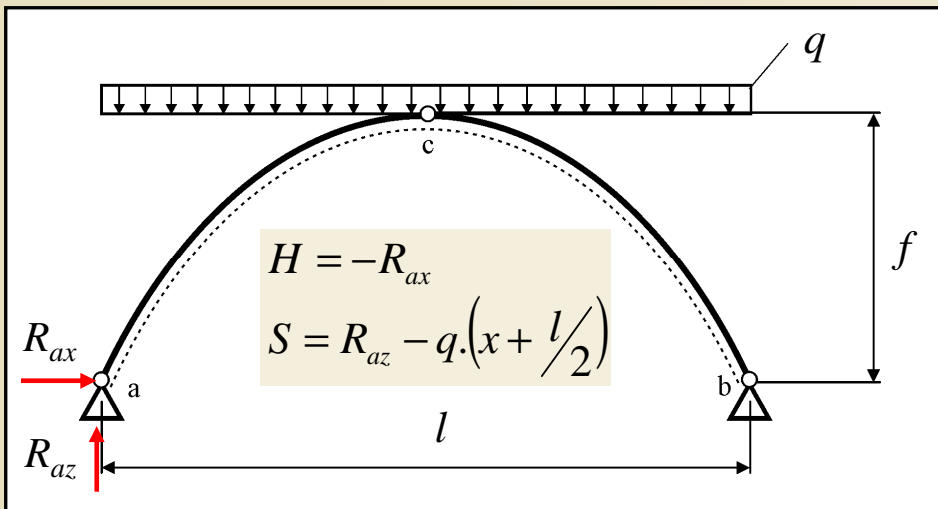
3. ${}^L R_x = 0$ $R_{cx} = R_{ax} = 9,38 \text{ kN}(\leftarrow)$

4. ${}^L R_z = 0$ $R_{cz} = R_{az} - \frac{q \cdot l}{2} = 0$

Levá část oblouku

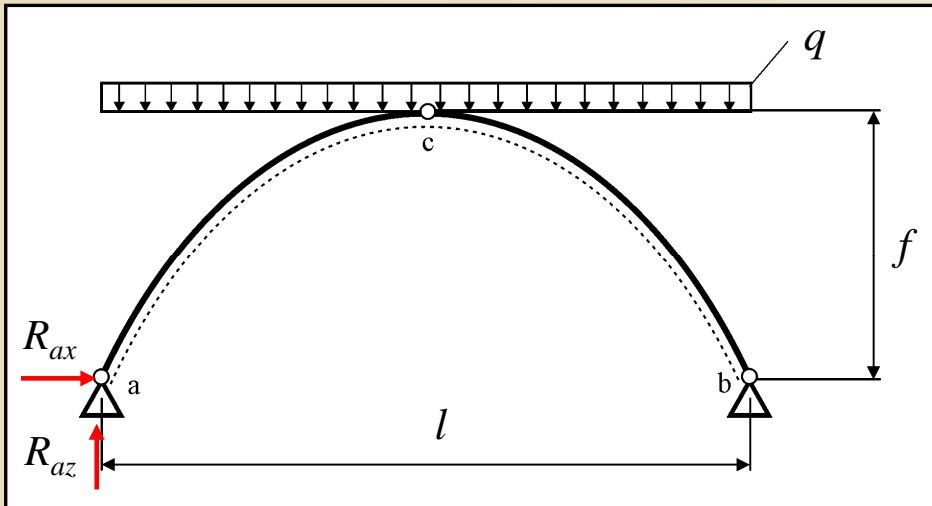


Příklad - klenbový účinek a výpočet N a V



H [kN]	S [kN]	N [kN]	V [kN]
-9,375000	15,000000	-17,688715	0,000000
-9,375000	13,500000	-16,435955	0,000000
-9,375000	12,000000	-15,227955	0,000000
-9,375000	10,500000	-14,076243	0,000000
-9,375000	9,000000	-12,995793	0,000000
-9,375000	7,500000	-12,005858	0,000000
-9,375000	6,000000	-11,130617	0,000000
-9,375000	4,500000	-10,399068	0,000000
-9,375000	3,000000	-9,843304	0,000000
-9,375000	1,500000	-9,494242	0,000000
-9,375000	0,000000	-9,375000	0,000000
-9,375000	-1,500000	-9,494242	0,000000
-9,375000	-3,000000	-9,843304	0,000000
-9,375000	-4,500000	-10,399068	0,000000
-9,375000	-6,000000	-11,130617	0,000000
-9,375000	-7,500000	-12,005858	0,000000
-9,375000	-9,000000	-12,995793	0,000000
-9,375000	-10,500000	-14,076243	0,000000
-9,375000	-12,000000	-15,227955	0,000000
-9,375000	-13,500000	-16,435955	0,000000
-9,375000	-15,000000	-17,688715	0,000000

Příklad - klenbový účinek a výpočet N a V



$$M = R_{az} \cdot \left(x + \frac{l}{2}\right) - R_{ax} \cdot (f - z) - \frac{q \cdot \left(x + \frac{l}{2}\right)^2}{2}$$

$R_{az} \cdot (l/2+x)$	$-R_{ax} \cdot (f-z)$	$-q/2 \cdot (x+l/2)^2$	M [kNm]
0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
7,500000	-7,125000	-0,375000	0,000000
15,000000	-13,500000	-1,500000	0,000000
22,500000	-19,125000	-3,375000	0,000000
30,000000	-24,000000	-6,000000	0,000000
37,500000	-28,125000	-9,375000	0,000000
45,000000	-31,500000	-13,500000	0,000000
52,500000	-34,125000	-18,375000	0,000000
60,000000	-36,000000	-24,000000	0,000000
67,500000	-37,125000	-30,375000	0,000000
75,000000	-37,500000	-37,500000	0,000000
82,500000	-37,125000	-45,375000	0,000000
90,000000	-36,000000	-54,000000	0,000000
97,500000	-34,125000	-63,375000	0,000000
105,000000	-31,500000	-73,500000	0,000000
112,500000	-28,125000	-84,375000	0,000000
120,000000	-24,000000	-96,000000	0,000000
127,500000	-19,125000	-108,375000	0,000000
135,000000	-13,500000	-121,500000	0,000000
142,500000	-7,125000	-135,375000	0,000000
150,000000	0,000000	-150,000000	0,000000

Ukázky trojkloubového oblouku



Maloměřický most z roku 1928, 3 oblouky o rozpětí 33 m s průřezem 1 m², mezilehlá mostovka, Brno

Ukázky trojkloubového oblouku



Maloměřický most z roku 1928, 3 oblouky o rozpětí 33 m s průřezem 1 m², mezilehlá mostovka, Brno

Ukázky trojkloubového oblouku



Maloměřický most z roku 1928, 3 oblouky o rozpětí 33 m s průřezem 1 m², mezilehlá mostovka, Brno

Ukázky trojkloubového oblouku



Maloměřický most z roku 1928, 3 oblouky o rozpětí 33 m s průřezem 1 m², mezilehlá mostovka, Brno

Ukázky trojkloubového oblouku



Maloměřický most z roku 1928, 3 oblouky o rozpětí 33 m s průřezem 1 m², mezilehlá mostovka, Brno

Ukázky trojkloubového oblouku



Most z lepeného lamelového dřeva Wennerbruecke přes řeku Mur, St. Georgen, Murau, Rakousko, 4 parabolické trojkloubové oblouky o rozpětí 45 m a vzepětí 12,5 m, foto: prof. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.

Ukázky trojkloubového oblouku



Most z lepeného lamelového dřeva Wennerbruecke přes řeku Mur, St. Georgen, Murau, Rakousko, 4 parabolické trojkloubové oblouky o rozpětí 45 m a vzepětí 12,5 m, foto: prof. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.

Ukázky trojkloubového oblouku



Most z lepeného lamelového dřeva Wennerbruecke přes řeku Mur, St. Georgen, Murau, Rakousko, 4 parabolické trojkloubové oblouky o rozpětí 45 m a vzepětí 12,5 m, foto: prof. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.

Ukázky trojkloubového oblouku



Most z lepeného lamelového dřeva, Obertauern, Rakousko

Ukázky trojkloubového oblouku



Most z lepeného lamelového dřeva, Obertauern, Rakousko

Ukázky trojkloubového oblouku



Most z lepeného lamelového dřeva, Obertauern, Rakousko

Ukázky trojkloubového oblouku



Most z lepeného lamelového dřeva, Obertauern, Rakousko

Ukázky trojkloubového oblouku



Most z lepeného lamelového dřeva, Obertauern, Rakousko

Ukázky trojkloubového oblouku



Most z lepeného lamelového dřeva, Obertauern, Rakousko

Ukázky trojkloubového oblouku



Most z lepeného lamelového dřeva,
Obertauern, Rakousko

Ukázky trojkloubového oblouku



Most z lepeného lamelového dřeva, Katschberg, Rakousko

Ukázky trojkloubového oblouku



Most z lepeného lamelového dřeva, Katschberg, Rakousko

Ukázky trojkloubového oblouku



Most z lepeného lamelového dřeva,
Katschberg, Rakousko

Ukázky trojkloubového oblouku



Most z lepeného lamelového dřeva, Katschberg, Rakousko

Ukázky trojkloubového oblouku



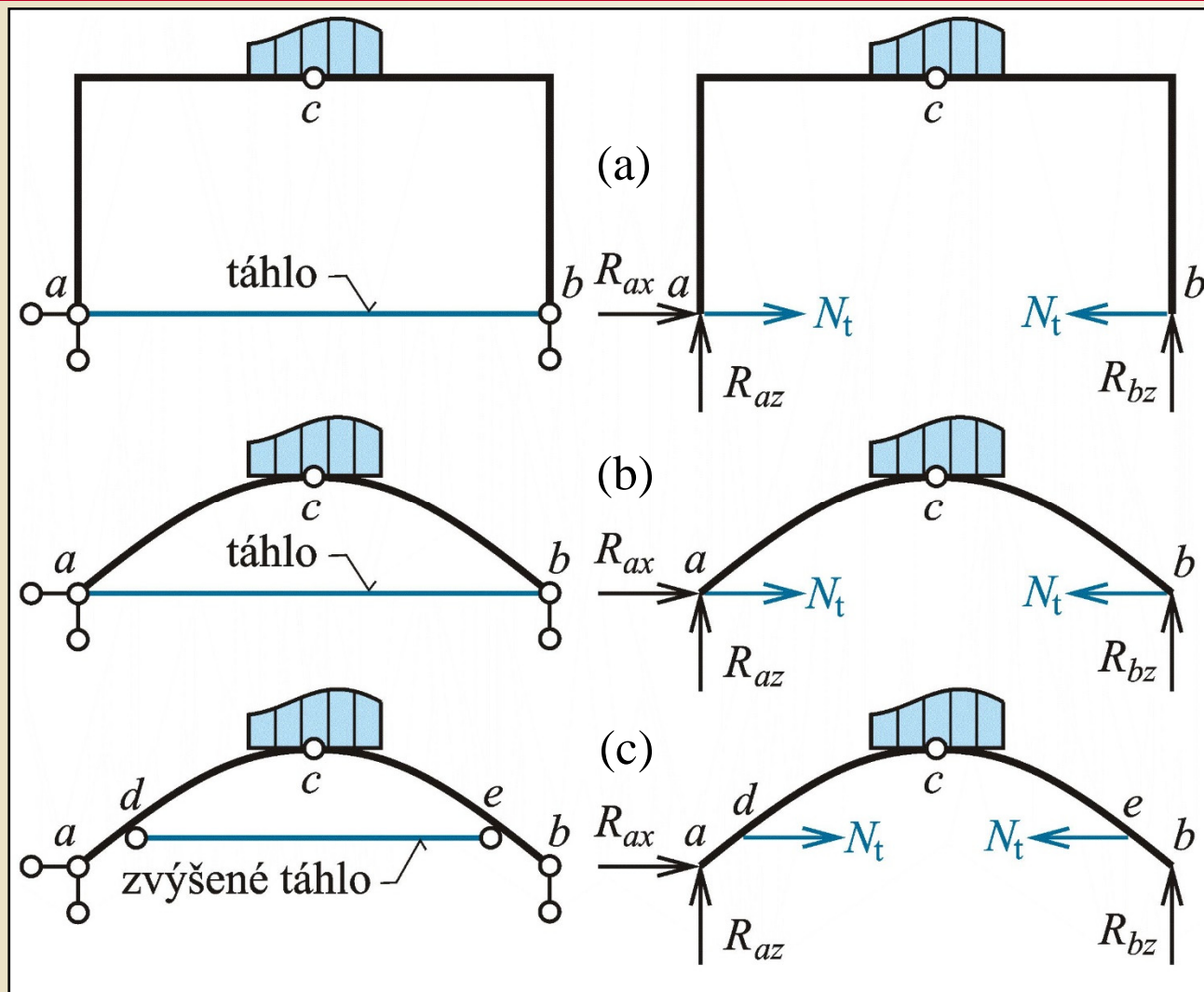
Most z lepeného lamelového dřeva, Katschberg, Rakousko

Trojkloubový rám a oblouk s táhlem

U trojkloubového rámu nebo oblouku vznikají vodorovné složky reakcí (jsou větší čím menší je převýšení kloubu oproti spojnici podporových bodů).

Zachycení je někdy obtížné – oblouk uložen na zdech nebo štíhlých sloupech.

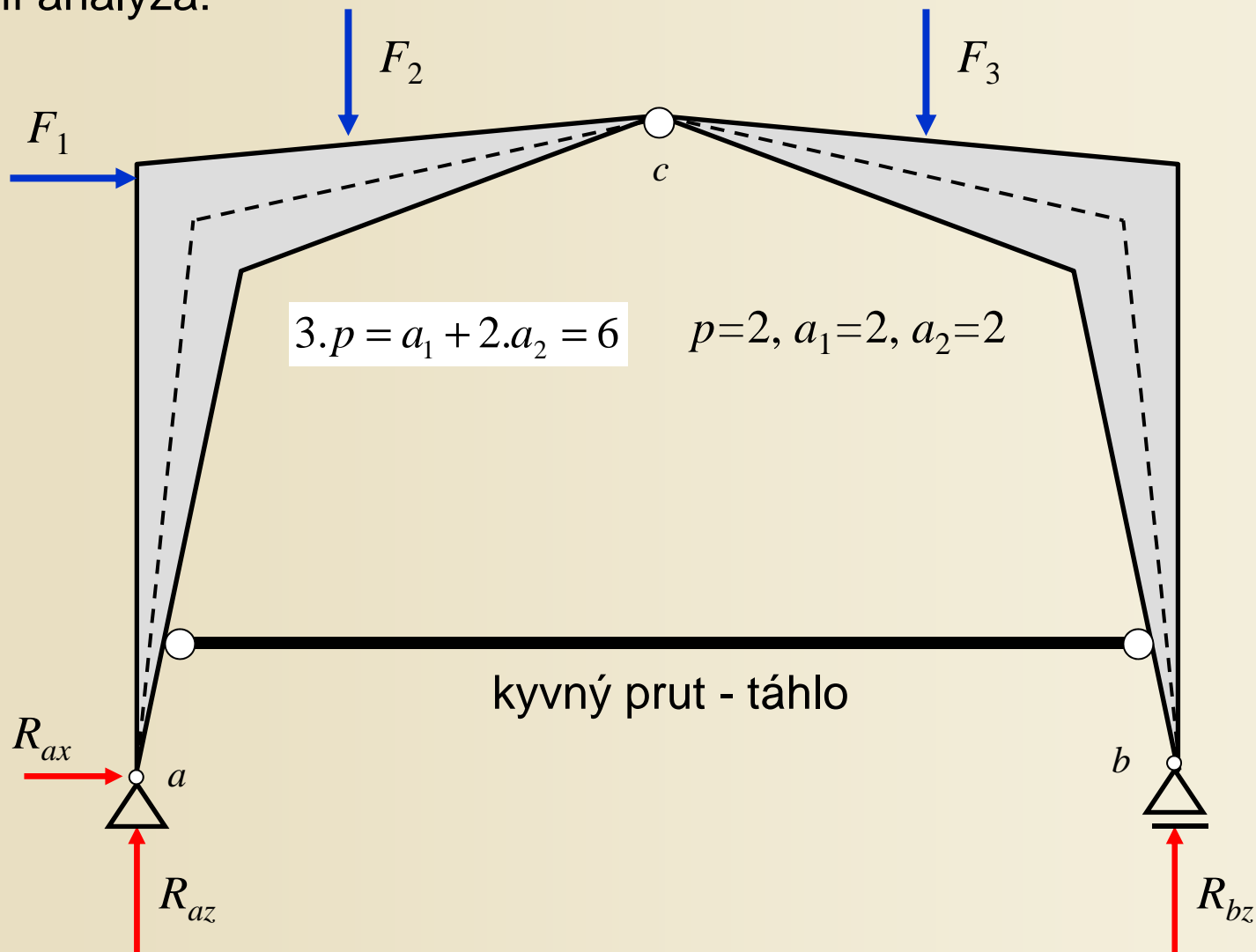
Řešení: použití táhla



Trojkloubový rám a oblouk s táhlem

Trojkloubový rám a oblouk s táhlem

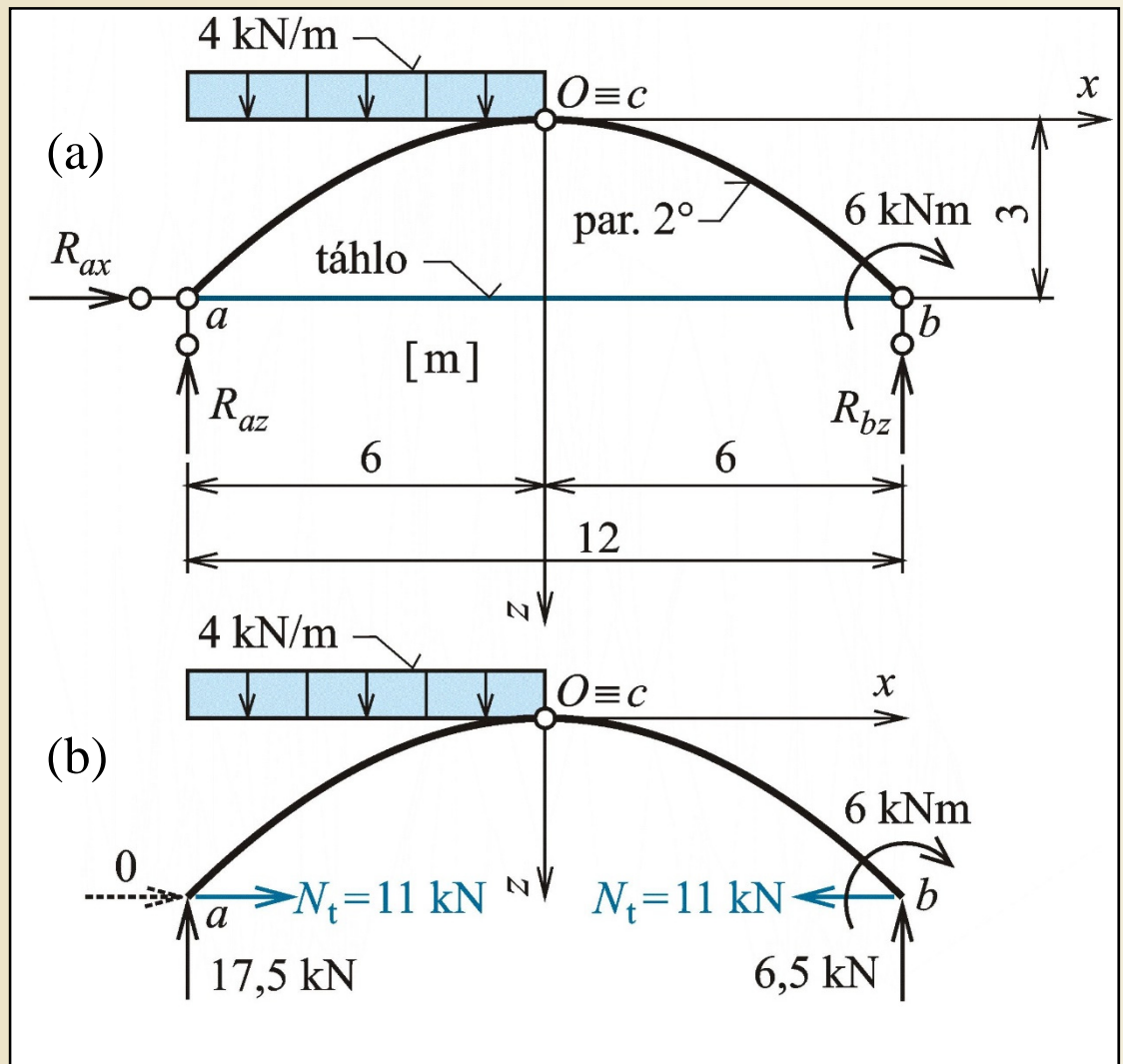
Počáteční analýza:



Příklad 6.4

Zadání: Parabolický trojkloubový oblouk s táhlem

Předmět výpočtu: Složky reakcí a interakce v kloubu oblouku, síla v táhle, průběh vnitřních sil

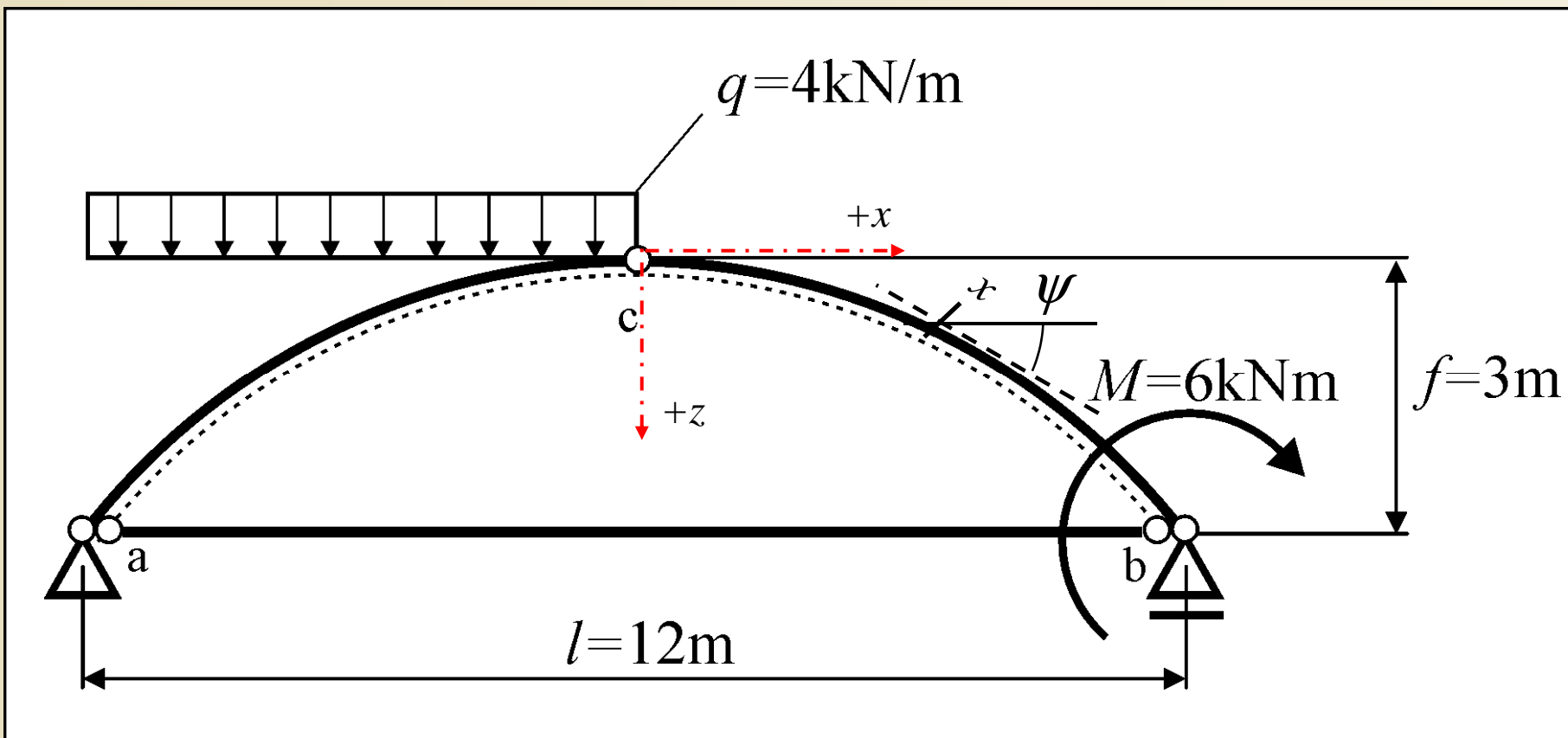


Zadání a výsledky příkladu 6.4

Obr. 9.15. / str. 157

Příklad výpočtu trojkloubového oblouku s táhlem

Výpočet s pomocí tabulkového procesoru



$$z(x) = k \cdot x^2$$

$$\text{tg } \psi = \frac{dz}{dx} = [k \cdot x^2]' = 2 \cdot k \cdot x$$

Příklad - tvar, tečna



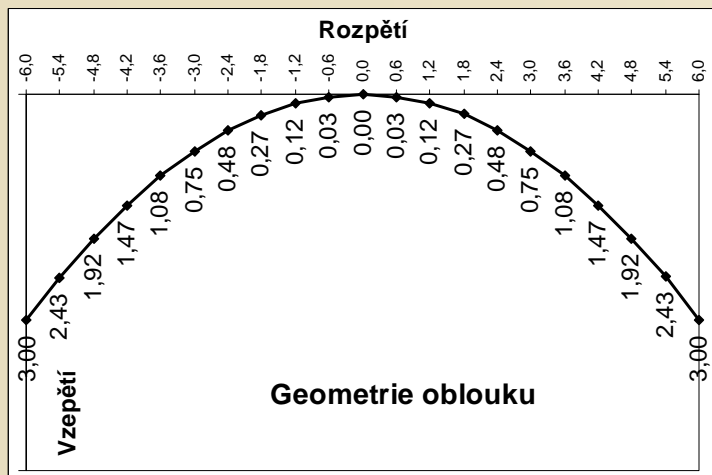
Tabulkový výpočet (Excel)

$$z(x) = k \cdot x^2$$

$$\operatorname{tg} \psi = 2 \cdot k \cdot x$$

$$\cos \psi = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \psi}}$$

$$\sin \psi = \frac{\operatorname{tg} \psi}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \psi}}$$



x	z	tg ψ	ψ [rad]	ψ [deg]	cos ψ	sin ψ
-6,00	3,00	-1,000000	-0,785398	-45,000000	0,707107	-0,707107
-5,40	2,43	-0,900000	-0,732815	-41,987212	0,743294	-0,668965
-4,80	1,92	-0,800000	-0,674741	-38,659808	0,780869	-0,624695
-4,20	1,47	-0,700000	-0,610726	-34,992020	0,819232	-0,573462
-3,60	1,08	-0,600000	-0,540420	-30,963757	0,857493	-0,514496
-3,00	0,75	-0,500000	-0,463648	-26,565051	0,894427	-0,447214
-2,40	0,48	-0,400000	-0,380506	-21,801409	0,928477	-0,371391
-1,80	0,27	-0,300000	-0,291457	-16,699244	0,957826	-0,287348
-1,20	0,12	-0,200000	-0,197396	-11,309932	0,980581	-0,196116
-0,60	0,03	-0,100000	-0,099669	-5,710593	0,995037	-0,099504
0,00	0,00	0,000000	0,000000	0,000000	1,000000	0,000000
0,60	0,03	0,100000	0,099669	5,710593	0,995037	0,099504
1,20	0,12	0,200000	0,197396	11,309932	0,980581	0,196116
1,80	0,27	0,300000	0,291457	16,699244	0,957826	0,287348
2,40	0,48	0,400000	0,380506	21,801409	0,928477	0,371391
3,00	0,75	0,500000	0,463648	26,565051	0,894427	0,447214
3,60	1,08	0,600000	0,540420	30,963757	0,857493	0,514496
4,20	1,47	0,700000	0,610726	34,992020	0,819232	0,573462
4,80	1,92	0,800000	0,674741	38,659808	0,780869	0,624695
5,40	2,43	0,900000	0,732815	41,987212	0,743294	0,668965
6,00	3,00	1,000000	0,785398	45,000000	0,707107	0,707107

Příklad výpočtu trojkloubového oblouku s táhlem

Výpočet složek reakcí pomocí podmínek rovnováhy

1. $R_x = 0$ R_{ax}

$$R_{ax} = 0 \text{ kN}$$

2. $\Sigma M_a = 0$ R_{bz}

$$-\frac{q \cdot \left(\frac{l}{2}\right)^2}{2} - M + R_{bz} \cdot l = 0$$

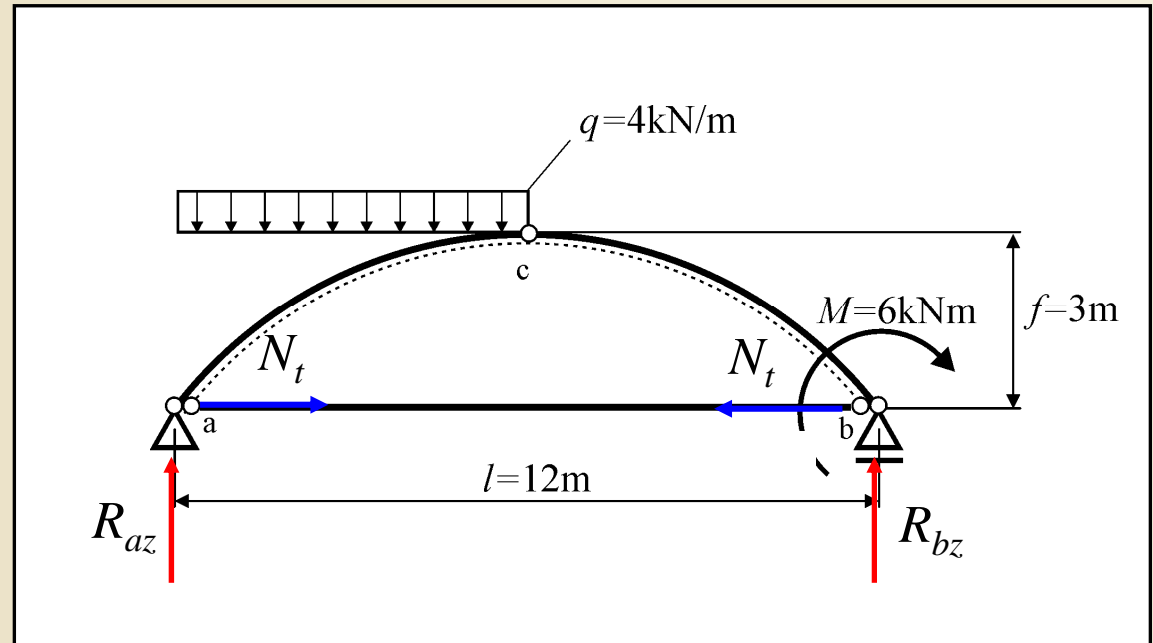
$$R_{bz} = \frac{1}{l} \cdot \left(M + \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2 \right) = 6,5 \text{ kN}(\uparrow)$$

3. $\Sigma M_b = 0$ R_{az}

$$R_{az} = \frac{1}{l} \cdot \left(\frac{3}{8} \cdot q \cdot l^2 - M \right) = 17,5 \text{ kN}(\uparrow)$$

4. $R_z = 0$ Kontrola

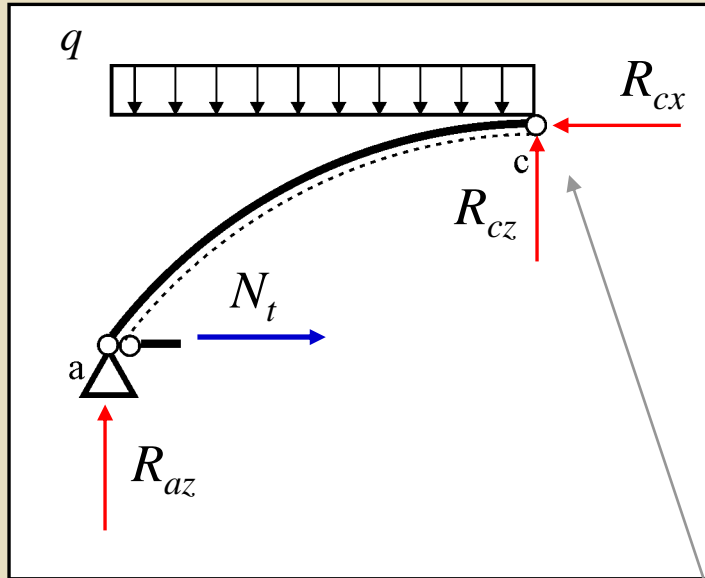
$$R_{az} + R_{bz} = q \cdot \frac{l}{2} = 24 \text{ kN}$$



Příklad výpočtu trojkloubového oblouku s táhlem

Výpočet složek reakcí pomocí podmínek rovnováhy

Levá část oblouku

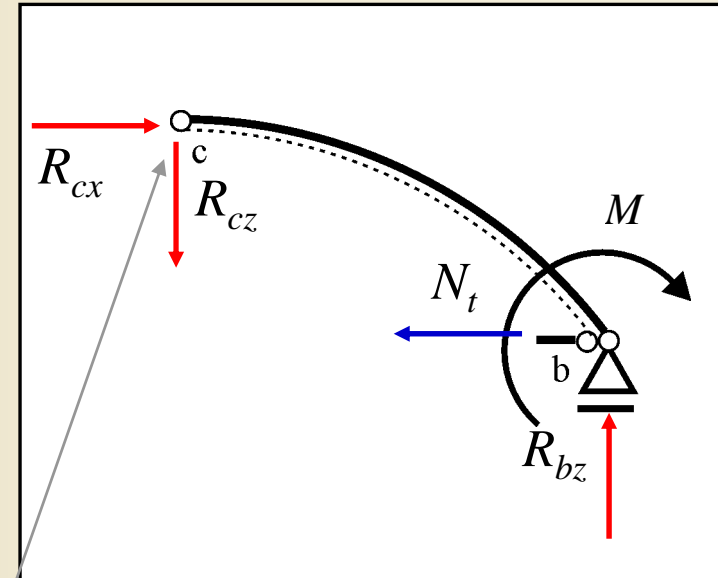


$${}^L R_x = 0$$

$${}^L R_z = 0$$

$${}^L \sum M_a = 0$$

Pravá část oblouku



$${}^P R_x = 0$$

$${}^P R_z = 0$$

$${}^P \sum M_b = 0$$

Složky interakcí
6 stupňů volnosti
6 neznámých – 6 podmínek rovnováhy

Příklad výpočtu trojkloubového oblouku s táhlem

Výpočet složek reakcí pomocí podmínek rovnováhy

Výhodnější způsob:

1. $\sum M_b = 0$ celý oblouk

$$R_{az} = 17,5 \text{ kN} (\uparrow)$$

2. $M_c^L = 0$ levá část

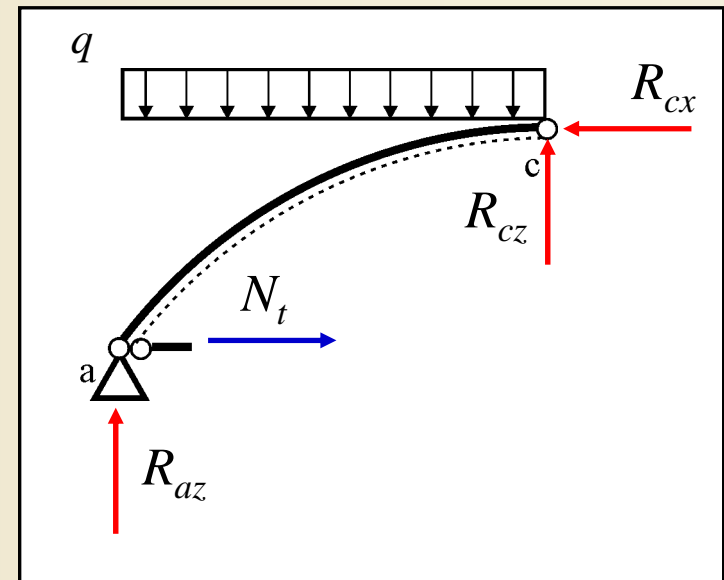
$$R_{az} \cdot \frac{l}{2} - N_t \cdot f - \frac{q \cdot \left(\frac{l}{2}\right)^2}{2} = 0$$

$$N_t = \frac{1}{f} \cdot \left(R_{az} \cdot \frac{l}{2} - \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2 \right) = 11,0 \text{ kN (tah)}$$

3. ${}^L R_x = 0$ $R_{cx} = N_t - R_{cx} = 11,0 \text{ kN} (\leftarrow)$

4. ${}^L R_z = 0$ $R_{cz} = q \cdot \frac{l}{2} - R_{az} = 6,5 \text{ kN} (\uparrow)$

Levá část oblouku



Příklad výpočtu trojkloubového oblouku s táhlem

Výpočet složek reakcí pomocí podmínek rovnováhy

Výhodnější způsob:

1. $\sum M_a = 0$ celý oblouk

$$R_{bz} = 6,5\text{kN}(\uparrow)$$

2. $M_c^P = 0$ pravá část

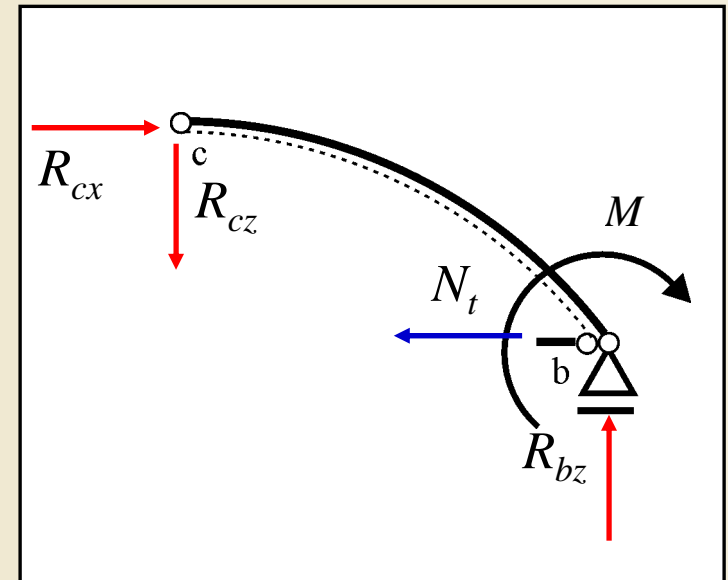
$$-N_t \cdot f + R_{bz} \cdot \frac{l}{2} - M = 0$$

$$N_t = 11,0\text{kN}(\text{tah})$$

3. ${}^P R_x = 0$ $R_{cx} = N_t = 11,0\text{kN}(\rightarrow)$

4. ${}^P R_z = 0$ $R_{cz} = R_{bz} = 6,5\text{kN}(\downarrow)$

Pravá část oblouku



Příklad – normálové a posouvající síly



$$H = -N_t$$

$$S = R_{az} - q \cdot \left(x + \frac{l}{2}\right)$$

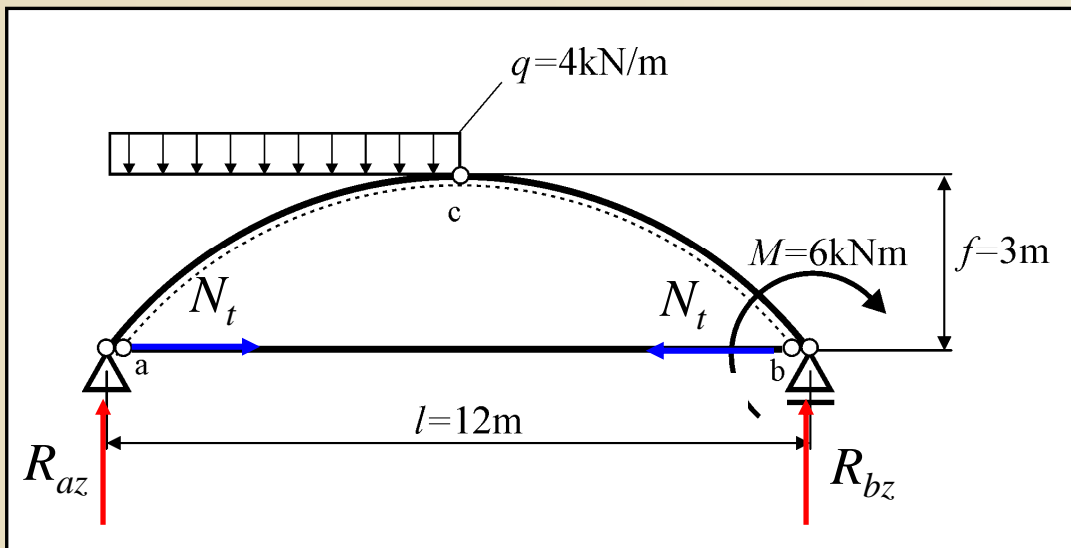
$$S = R_{az} - q \cdot \frac{l}{2}$$

levá polovina

pravá polovina

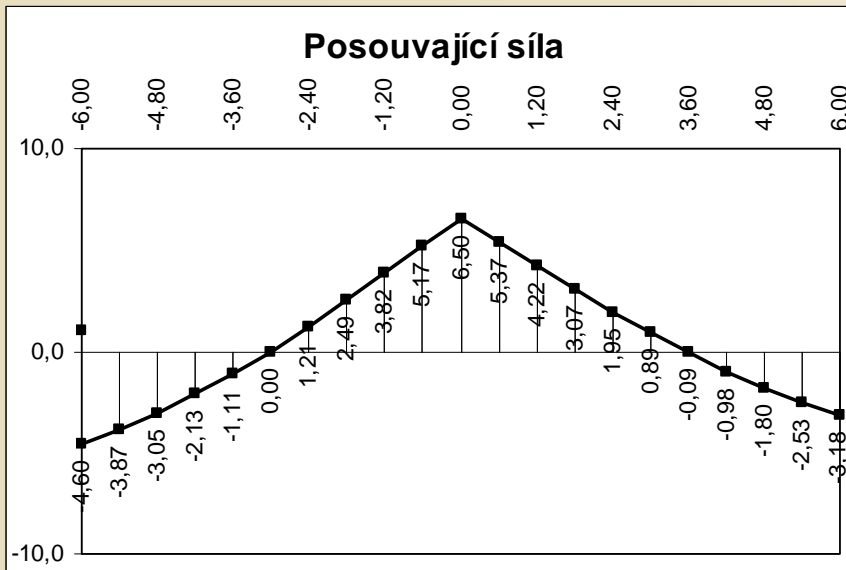
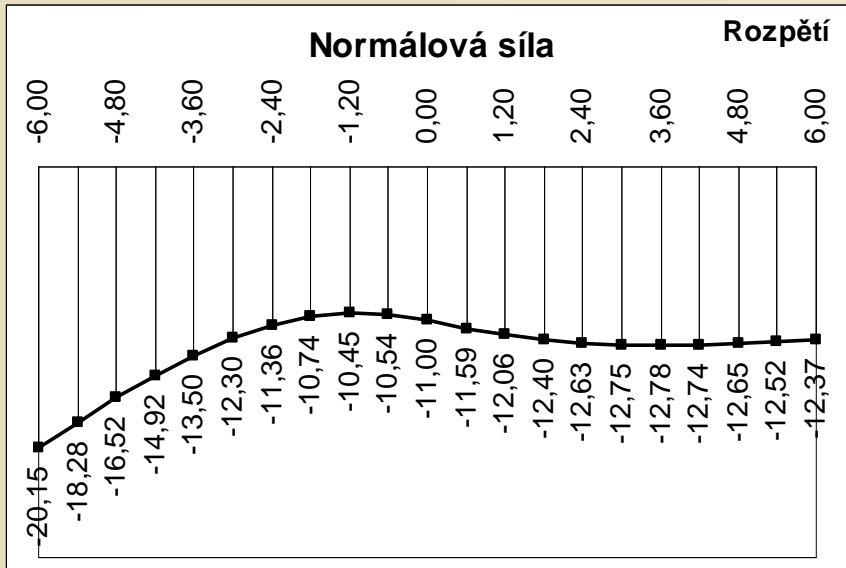
$$N = H \cdot \cos \psi + S \cdot \sin \psi$$

$$V = -H \cdot \sin \psi + S \cdot \cos \psi$$



H [kN]	S [kN]	N [kN]	V [kN]
-11,000000	17,500000	-20,152543	-4,596194
-11,000000	15,100000	-18,277603	-3,865130
-11,000000	12,700000	-16,523184	-3,045388
-11,000000	10,300000	-14,918213	-2,130003
-11,000000	7,900000	-13,496939	-1,114741
-11,000000	5,500000	-12,298374	0,000000
-11,000000	3,100000	-11,364555	1,207020
-11,000000	0,700000	-10,737233	2,490348
-11,000000	-1,700000	-10,452990	3,824265
-11,000000	-4,100000	-10,537444	5,174193
-11,000000	-6,500000	-11,000000	6,500000
-11,000000	-6,500000	-11,592183	5,373201
-11,000000	-6,500000	-12,061142	4,216497
-11,000000	-6,500000	-12,403850	3,065044
-11,000000	-6,500000	-12,627283	1,949801
-11,000000	-6,500000	-12,745587	0,894427
-11,000000	-6,500000	-12,776645	-0,085749
-11,000000	-6,500000	-12,739056	-0,983078
-11,000000	-6,500000	-12,650075	-1,795998
-11,000000	-6,500000	-12,524506	-2,527200
-11,000000	-6,500000	-12,374369	-3,181981

Příklad – normálové a posouvající síly



H [kN]	S [kN]	N [kN]	V [kN]
-11,000000	17,500000	-20,152543	-4,596194
-11,000000	15,100000	-18,277603	-3,865130
-11,000000	12,700000	-16,523184	-3,045388
-11,000000	10,300000	-14,918213	-2,130003
-11,000000	7,900000	-13,496939	-1,114741
-11,000000	5,500000	-12,298374	0,000000
-11,000000	3,100000	-11,364555	1,207020
-11,000000	0,700000	-10,737233	2,490348
-11,000000	-1,700000	-10,452990	3,824265
-11,000000	-4,100000	-10,537444	5,174193
-11,000000	-6,500000	-11,000000	6,500000
-11,000000	-6,500000	-11,592183	5,373201
-11,000000	-6,500000	-12,061142	4,216497
-11,000000	-6,500000	-12,403850	3,065044
-11,000000	-6,500000	-12,627283	1,949801
-11,000000	-6,500000	-12,745587	0,894427
-11,000000	-6,500000	-12,776645	-0,085749
-11,000000	-6,500000	-12,739056	-0,983078
-11,000000	-6,500000	-12,650075	-1,795998
-11,000000	-6,500000	-12,524506	-2,527200
-11,000000	-6,500000	-12,374369	-3,181981

Příklad – ohybové momenty



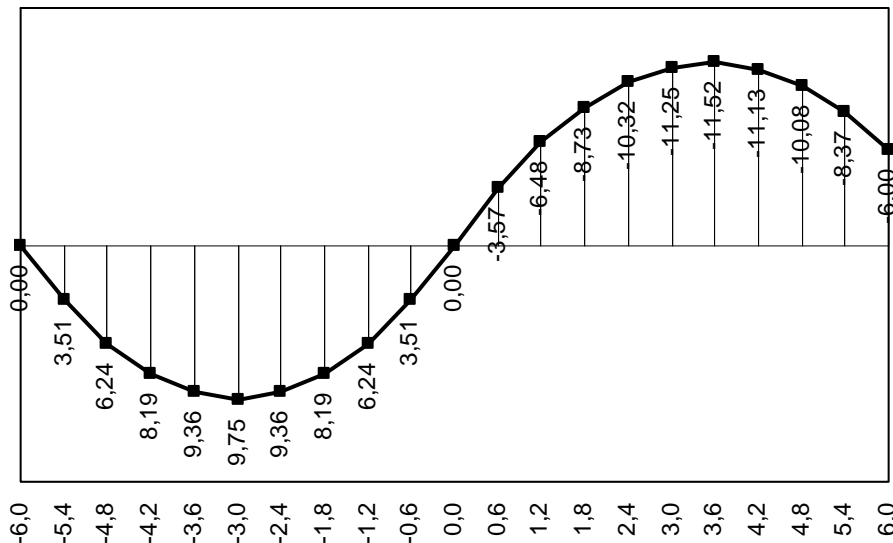
levá polovina

$$M = R_{az} \cdot \left(\frac{l}{2} + x \right) - N_t \cdot (f - z) - \frac{q \cdot \left(\frac{l}{2} + x \right)^2}{2}$$

$$M = R_{az} \cdot \left(\frac{l}{2} + x \right) - N_t \cdot (f - z) - \frac{q \cdot l}{2} \cdot \left(\frac{l}{4} + x \right)$$

pravá polovina

Ohybový moment



$R_{az} \cdot (l/2+x)$	$-N_t \cdot (f-z)$	$-q/2 \cdot (l/2+x)^2$	M [kNm]
0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
10,500000	-6,270000	-0,720000	3,510000
21,000000	-11,880000	-2,880000	6,240000
31,500000	-16,830000	-6,480000	8,190000
42,000000	-21,120000	-11,520000	9,360000
52,500000	-24,750000	-18,000000	9,750000
63,000000	-27,720000	-25,920000	9,360000
73,500000	-30,030000	-35,280000	8,190000
84,000000	-31,680000	-46,080000	6,240000
94,500000	-32,670000	-58,320000	3,510000
105,000000	-33,000000	-72,000000	0,000000
115,500000	-32,670000	-86,400000	-3,570000
126,000000	-31,680000	-100,800000	-6,480000
136,500000	-30,030000	-115,200000	-8,730000
147,000000	-27,720000	-129,600000	-10,320000
157,500000	-24,750000	-144,000000	-11,250000
168,000000	-21,120000	-158,400000	-11,520000
178,500000	-16,830000	-172,800000	-11,130000
189,000000	-11,880000	-187,200000	-10,080000
199,500000	-6,270000	-201,600000	-8,370000
210,000000	0,000000	-216,000000	-6,000000
		$-q \cdot l/2 \cdot (l/4+x)$	

Ukázky oblouku s táhlem



Konstrukce obloukové nosné konstrukce s táhlem, výzkumné energetické centrum VŠB-TU Ostrava

Ukázky oblouku s táhlem



Konstrukce obloukové nosné konstrukce s táhlem, výzkumné energetické centrum VŠB-TU Ostrava

Ukázky oblouku s táhlem



Konstrukce obloukové nosné konstrukce s táhlem, výzkumné energetické centrum VŠB-TU Ostrava

Ukázky oblouku s táhlem



Konstrukce obloukové nosné konstrukce s táhlem, výzkumné energetické centrum VŠB-TU Ostrava

Ukázky oblouku s táhlem



Konstrukce obloukové nosné konstrukce s táhlem, Pavilon G1, Brněnské výstaviště

Ukázky oblouku s táhlem



Konstrukce obloukové nosné konstrukce s táhlem, Pavilon G1, Brněnské výstaviště

Ukázky oblouku s táhlem



Kloubové připojení táhla k tuhému oblouku, Pavilon G1, Brněnské výstaviště

Ukázky klenbové konstrukce s táhlem



Klenba Chrámu sv. Víta, Praha

Ukázky klenbové konstrukce s táhlem



Klenba Chrámu sv. Víta, Praha

Ukázky klenbové konstrukce s táhlem



Klenba Chrámu sv. Víta, Praha

Ukázky klenbové konstrukce s táhlem



Klenba Chrámu sv. Víta, Praha

Ukázky klenbové konstrukce s táhlem



Klenba Chrámu sv. Víta, Praha

Ukázky klenbové konstrukce s táhlem



Klenba Chrámu sv. Víta, Praha

Ukázky klenbové konstrukce s táhlem



Klenba Vladislavského sálu, Praha

Ukázky klenbové konstrukce s táhlem



Klenba Vladislavského sálu, Praha

Ukázky klenbové konstrukce s táhlem



Klenba Vladislavského sálu, Praha

Okruhy problémů k ústní části zkoušky

1. Podmínka statické určitosti spojitého nosníku s vloženými klouby
2. Způsoby rozvržení vložených kloubů ve spojitém nosníku, vhodné umístění vložených kloubů uvnitř pole spojitého nosníku
3. Výpočet spojitého nosníku s vloženými klouby
4. Výpočet trojkloubového rámu a oblouku
5. Klenbový účinek v trojkloubovém oblouku
6. Výpočet trojkloubového rámu s táhlem a oblouku s táhlem