

Obecná deformační metoda (ODM)

Postup výpočtu

1. Úprava modelu, očíslování uzlů, určení minimálního stupně přetvárné neurčitosti \mathbf{n}_p
2. Vypsání neznámých parametrů deformací do globálního vektoru deformací a sestavení globálního vektoru uzlových zatížení (tj. síly a momenty ve směrech a v místech neznámých parametrů deformací). Počet řádků obou vektorů je shodný s \mathbf{n}_p

$$\{\mathbf{r}\} \text{ a } \{\mathbf{S}\}$$

3. Rozdělení konstrukce na jednotlivé pruty (--- ---o o--- o---o), výpočet lokálních matic tuhosti a lokálních vektorů primárních koncových sil jednotlivých prutů v lokálních souřadnicích (ozn. *)

$$[\mathbf{K}_{i,k}^*] \text{ a } \{\bar{\mathbf{R}}_{i,k}^*\}$$

4. U prutů, které nemají lokální souřadnice shodné s globálními souřadnicemi výpočet lokálních matic tuhosti a lokálních vektorů primárních koncových sil v globálních souřadnicích (*pruty, které mají lokální souřadnice shodné s globální souřadnicemi, mají shodné také matice a vektory v lokálních i globálních souřadnicích*)

$$[\mathbf{K}_{i,k}] \text{ a } \{\bar{\mathbf{R}}_{i,k}\}$$

5. Sestavení globální matice tuhosti a globálního vektoru primárních koncových sil celé konstrukce (v glob. souřadnicích). Počet sloupců matice a počty řádků matice a vektoru jsou shodné s \mathbf{n}_p

$$[\mathbf{K}] \text{ a } \{\bar{\mathbf{R}}\}$$

6. Sestavení zatěžovacího vektoru, následné sestavení soustavy rovnic a výpočet neznámých parametrů deformací ze soustavy

$$\{\mathbf{F}\} = \{\mathbf{S}\} - \{\bar{\mathbf{R}}\}$$

$$[\mathbf{K}] \cdot \{\mathbf{r}\} = \{\mathbf{F}\}$$

7. Sestavení lokálních vektorů deformací prutů v globálních souřadnicích a u prutů, které nemají lokální souřadnice shodné s globálními souřadnicemi výpočet lokálních vektorů deformací prutů v lokálních souřadnicích

$$\{\mathbf{r}_{i,k}\} = \{\mathbf{r}_{i,k}^*\} \text{ a popř. } \{\mathbf{r}_{i,k}\} \Rightarrow \{\mathbf{r}_{i,k}^*\}$$

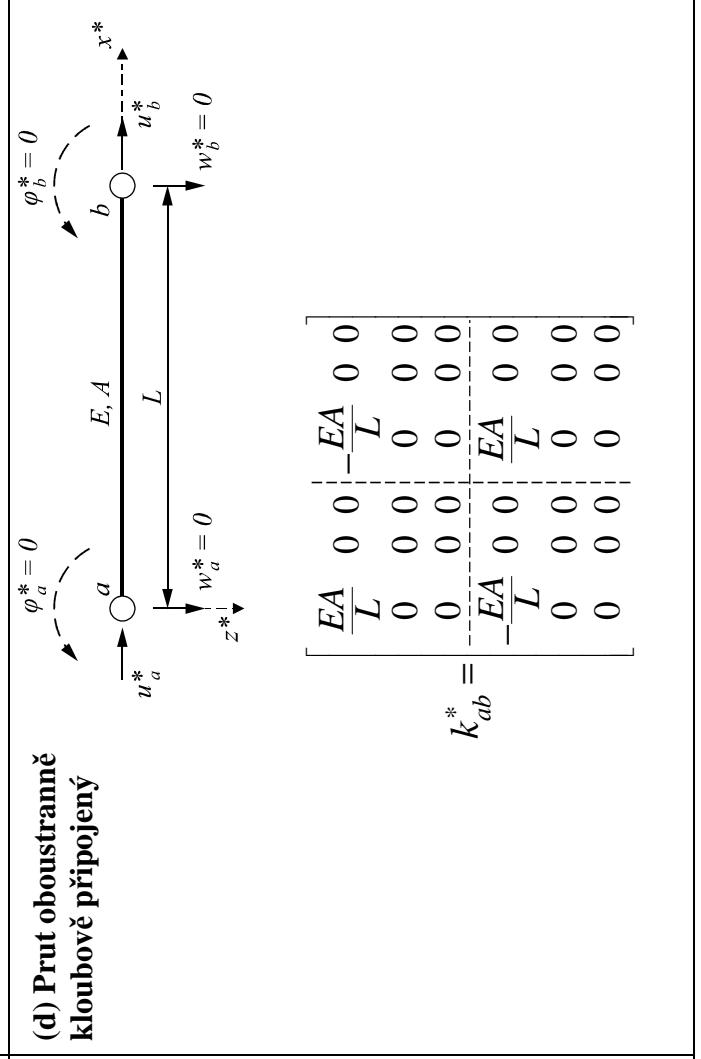
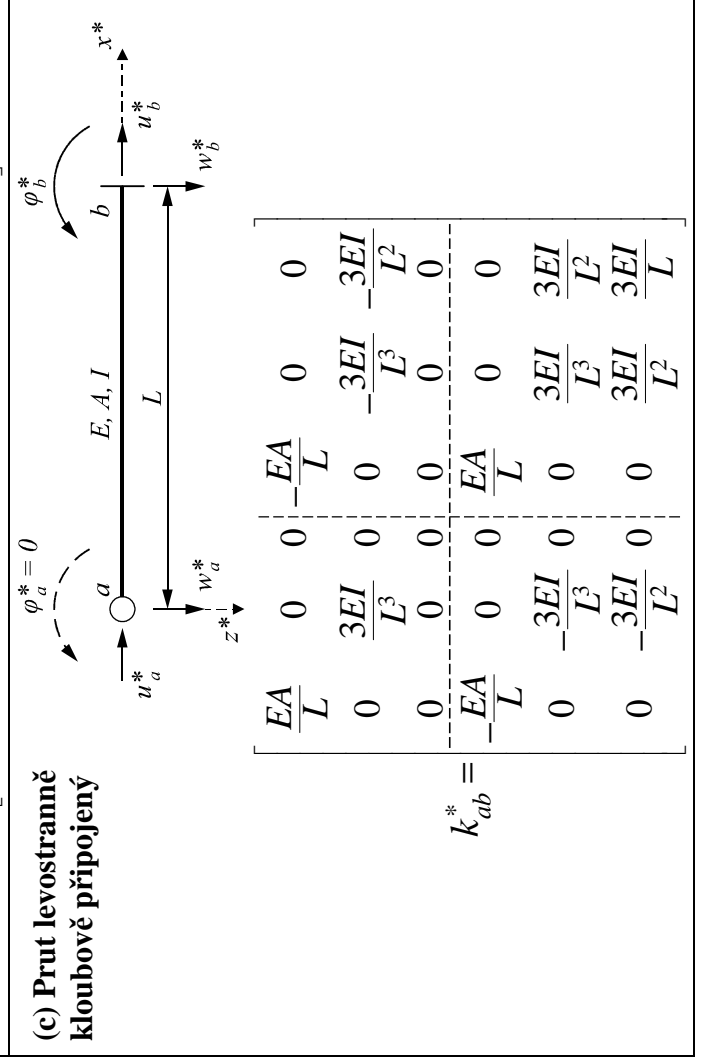
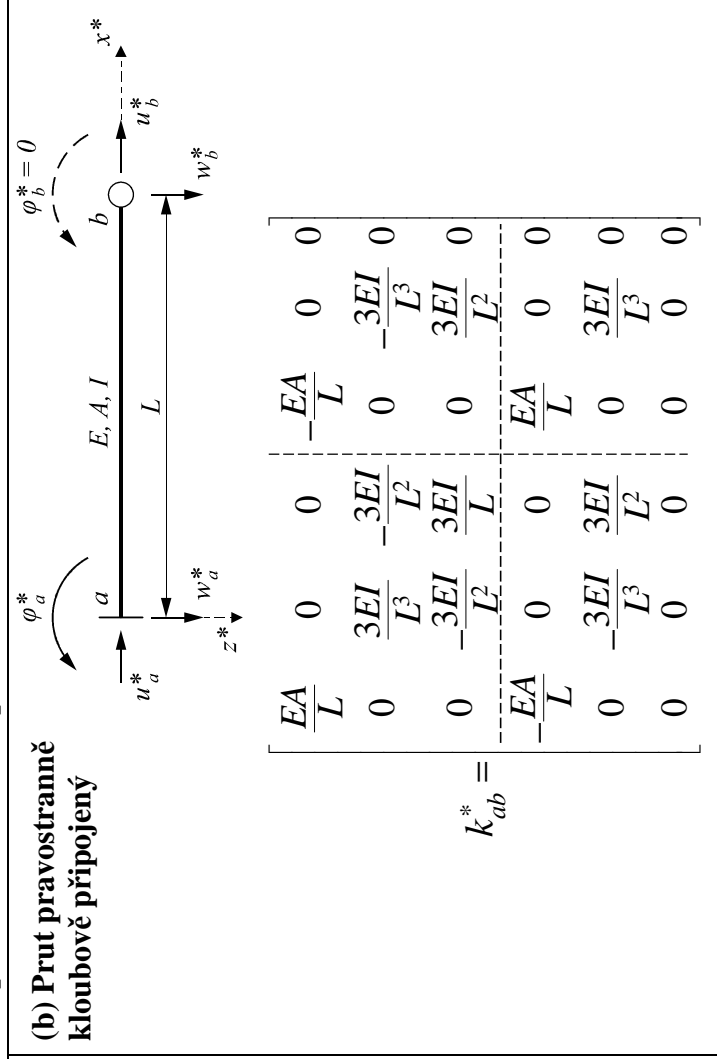
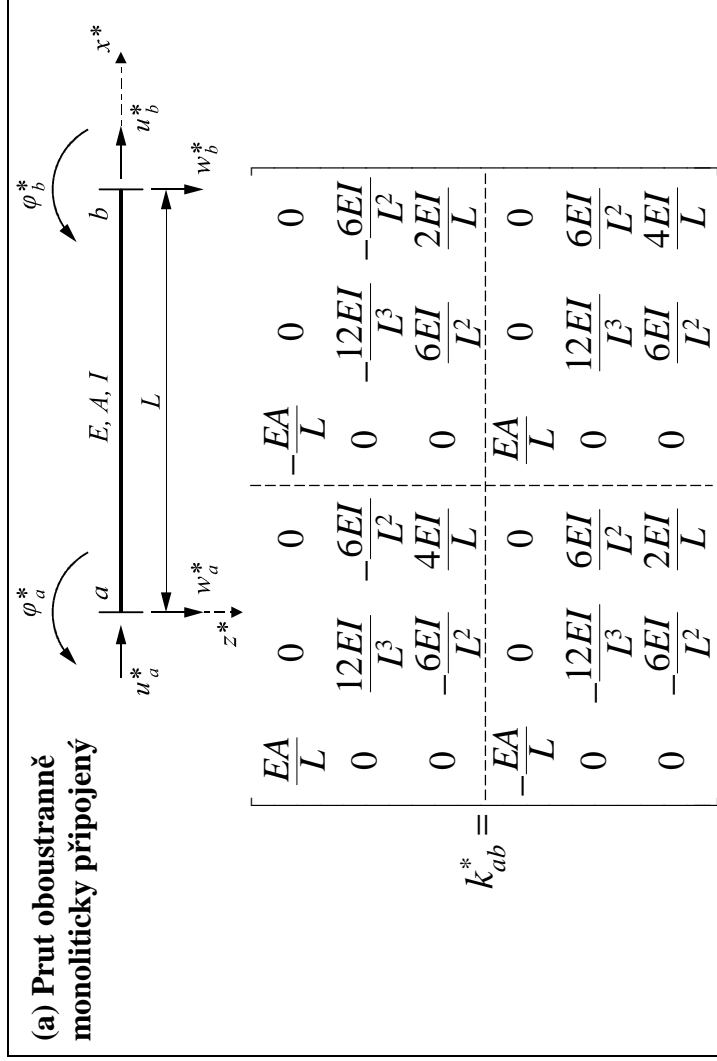
8. Výpočet lokálních vektorů sekundárních koncových sil a lokálních vektorů výsledných koncových sil jednotlivých prutů

$$\{\hat{\mathbf{R}}_{i,k}^*\} = [\mathbf{K}_{i,k}^*] \cdot \{\mathbf{r}_{i,k}^*\}$$

$$\{\mathbf{R}_{i,k}^*\} = \{\bar{\mathbf{R}}_{i,k}^*\} + \{\hat{\mathbf{R}}_{i,k}^*\}$$

9. Vykreslení průběhů vnitřních sil

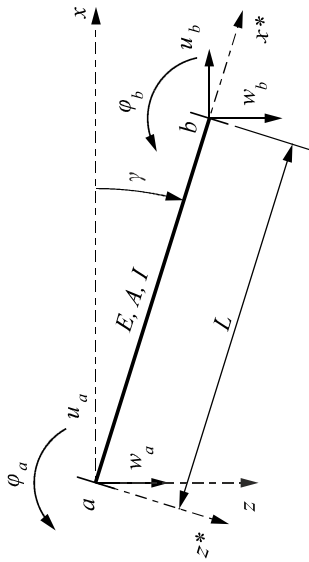
Tabulka 11.3. Lokální matice tuhosti prutu konstantního průřezu



Tabulka 11.4. Globální matice tuhosti prutu konstantního průřezu

(a) Prut oboustranně monoliticky připojený

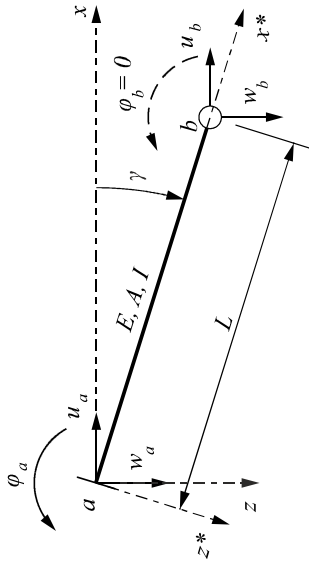
$c = \cos \gamma$
 $s = \sin \gamma$



$$k_{ab} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L}c^2 + \frac{12EI}{L^3}s^2 & \left(\frac{EA}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right)cs & \frac{6EI}{L^2}s & -\left(\frac{EA}{L}c^2 + \frac{12EI}{L^3}s^2\right) & \left(\frac{EA}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right)cs & \frac{6EI}{L^2}s \\ \left(\frac{EA}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right)cs & \frac{EA}{L}s^2 + \frac{12EI}{L^3}c^2 & \frac{6EI}{L^2}c & -\left(\frac{EA}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right)cs & \frac{EA}{L}s^2 + \frac{12EI}{L^3}c^2 & \frac{6EI}{L^2}c \\ \frac{6EI}{L^2}s & \frac{6EI}{L^2}c & \frac{4EI}{L} & -\frac{6EI}{L^2}s & \frac{6EI}{L^2}c & \frac{2EI}{L} \\ -\left(\frac{EA}{L}c^2 + \frac{12EI}{L^3}s^2\right) & \left(\frac{EA}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right)cs & \frac{6EI}{L^2}c & \frac{EA}{L}c^2 + \frac{12EI}{L^3}s^2 & -\left(\frac{EA}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right)cs & -\frac{6EI}{L^2}s \\ \left(\frac{EA}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right)cs & \frac{EA}{L}s^2 + \frac{12EI}{L^3}c^2 & \frac{6EI}{L^2}c & -\left(\frac{EA}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right)cs & \frac{EA}{L}s^2 + \frac{12EI}{L^3}c^2 & \frac{6EI}{L^2}c \\ \frac{6EI}{L^2}s & \frac{6EI}{L^2}c & \frac{2EI}{L} & -\frac{6EI}{L^2}s & \frac{6EI}{L^2}c & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix}$$

(b) Prut pravostranně kloubově připojený

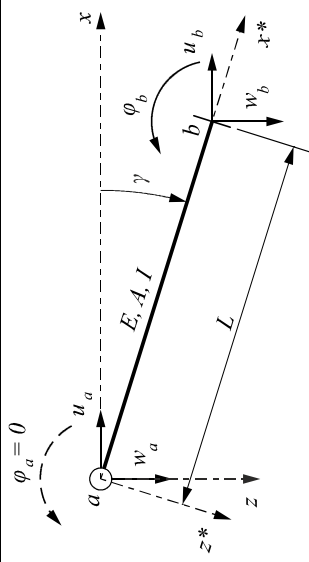
$c = \cos \gamma$
 $s = \sin \gamma$



$$k_{ab} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L}c^2 + \frac{3EI}{L^3}s^2 & \left(\frac{EA}{L} - \frac{3EI}{L^3}\right)cs & \frac{3EI}{L^2}s & -\left(\frac{EA}{L}c^2 + \frac{3EI}{L^3}s^2\right) & \left(\frac{EA}{L} - \frac{3EI}{L^3}\right)cs & 0 \\ \left(\frac{EA}{L} - \frac{3EI}{L^3}\right)cs & \frac{EA}{L}s^2 + \frac{3EI}{L^3}c^2 & \frac{3EI}{L^2}c & -\left(\frac{EA}{L} - \frac{3EI}{L^3}\right)cs & \frac{EA}{L}s^2 + \frac{3EI}{L^3}c^2 & 0 \\ \frac{3EI}{L^2}s & \frac{3EI}{L^2}c & \frac{3EI}{L} & -\frac{3EI}{L^2}s & \frac{3EI}{L^2}c & 0 \\ -\left(\frac{EA}{L}c^2 + \frac{3EI}{L^3}s^2\right) & \left(\frac{EA}{L} - \frac{3EI}{L^3}\right)cs & \frac{3EI}{L^2}c & \frac{EA}{L}c^2 + \frac{3EI}{L^3}s^2 & -\left(\frac{EA}{L} - \frac{3EI}{L^3}\right)cs & 0 \\ \left(\frac{EA}{L} - \frac{3EI}{L^3}\right)cs & \frac{EA}{L}s^2 + \frac{3EI}{L^3}c^2 & \frac{3EI}{L^2}c & -\left(\frac{EA}{L} - \frac{3EI}{L^3}\right)cs & \frac{EA}{L}s^2 + \frac{3EI}{L^3}c^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(c) Prut levostranně kloubově připojený

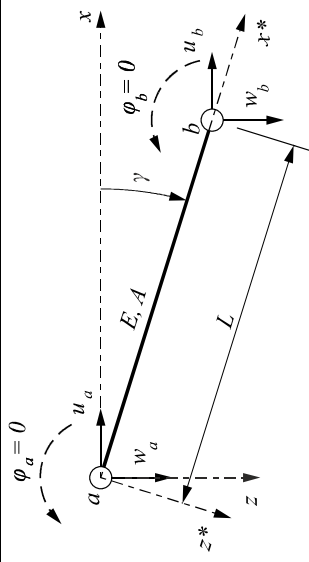
$c = \cos \gamma$
 $s = \sin \gamma$



$$k_{ab} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L}c^2 + \frac{3EI}{L^3}s^2 & \left(\frac{EA}{L} - \frac{3EI}{L^3}\right)cs & 0 & -\left(\frac{EA}{L}c^2 + \frac{3EI}{L^3}s^2\right) & \left(\frac{EA}{L} - \frac{3EI}{L^3}\right)cs & \frac{3EI}{L^2}s \\ \left(\frac{EA}{L} - \frac{3EI}{L^3}\right)cs & \frac{EA}{L}s^2 + \frac{3EI}{L^3}c^2 & 0 & -\left(\frac{EA}{L} - \frac{3EI}{L^3}\right)cs & \frac{EA}{L}s^2 + \frac{3EI}{L^3}c^2 & -\frac{3EI}{L^2}c \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\left(\frac{EA}{L}c^2 + \frac{3EI}{L^3}s^2\right) & \left(\frac{EA}{L} - \frac{3EI}{L^3}\right)cs & 0 & \frac{EA}{L}c^2 + \frac{3EI}{L^3}s^2 & -\left(\frac{EA}{L} - \frac{3EI}{L^3}\right)cs & \frac{3EI}{L^2}s \\ \left(\frac{EA}{L} - \frac{3EI}{L^3}\right)cs & \frac{EA}{L}s^2 + \frac{3EI}{L^3}c^2 & 0 & -\left(\frac{EA}{L} - \frac{3EI}{L^3}\right)cs & \frac{EA}{L}s^2 + \frac{3EI}{L^3}c^2 & -\frac{3EI}{L^2}c \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(d) Prut oboustranně kloubově připojený

$c = \cos \gamma$
 $s = \sin \gamma$

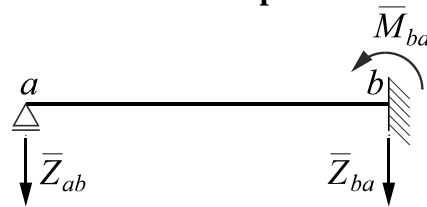


$$k_{ab} = \begin{bmatrix} c^2 & cs & 0 & -c^2 & -cs & 0 \\ cs & s^2 & 0 & -cs & -s^2 & 0 \\ \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -c^2 & -cs & 0 & c^2 & cs & 0 \\ -cs & -s^2 & 0 & cs & s^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$\hat{R}_{ab}^* = k_{ab}^* T_{ab} = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} c & s & 0 & -c & -s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -c & -s & 0 & c & s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} r_{ab}$

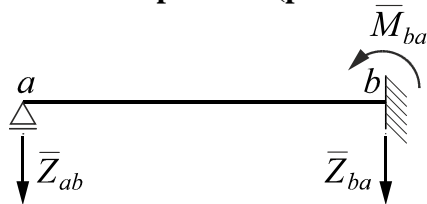
K výpočtu lokálních koncových sil z globálních parametrů deformace:

Tabulka 14.11. Primární moment a reakce jednostranně dokonale vetknutého nosníku konstantního průřezu



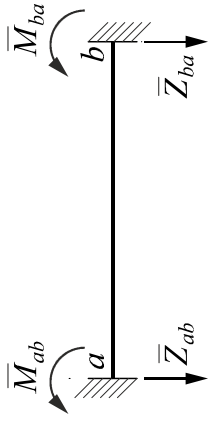
Zatěž. případ	Schéma zatížení	\bar{M}_{ba}	\bar{Z}_{ab}	\bar{Z}_{ba}
1		$-\frac{Fab}{2L^2}(L+a)$	$-\frac{Fb^2}{2L^3}(2L+a)$	$-\frac{Fa}{2L^3}(3L^2-a^2)$
2		$-\frac{3}{16}FL$	$-\frac{5}{16}F$	$-\frac{11}{16}F$
3		$-\frac{1}{3}FL$	$-\frac{2}{3}F$	$-\frac{4}{3}F$
4		$-\frac{3}{2}Fa\frac{L-a}{L}$	$-\frac{F}{2L^2}(2L^2-3aL+3a^2)$	$-\frac{F}{2L^2}(2L^2+3aL-3a^2)$
5		$-\frac{15}{32}FL$	$-\frac{33}{32}F$	$-\frac{63}{32}F$
6		$-\frac{3}{5}FL$	$-\frac{7}{5}F$	$-\frac{13}{5}F$
7		$-\frac{FLn^2-1}{8n}$	$-\frac{F}{8n}(n-1)(3n-1)$	$-\frac{F}{8n}(n-1)(5n+1)$
8		$-\frac{M}{2L^2}(L^2-3a^2)$	$\frac{3M}{2L^3}(L^2-a^2)$	$-\frac{3M}{2L^3}(L^2-a^2)$
9		$-\frac{M}{2}$	$\frac{3M}{2L}$	$-\frac{3M}{2L}$
10		$-\frac{3EI\alpha_t\Delta t_1}{2h}$	$\frac{3EI\alpha_t\Delta t_1}{2hL}$	$-\frac{3EI\alpha_t\Delta t_1}{2hL}$
		$\Delta t_1 = \Delta t_d - \Delta t_h$		
Vodorovné reakce \bar{X}_{ab} a \bar{X}_{ba} a primární vektor koncových sil – Tab. 11.5.				

Tabulka 14.11. Primární moment a reakce jednostranně dokonale vetknutého nosníku konstantního průřezu (pokračování)



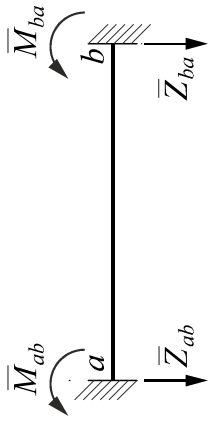
Zatěž. případ	Schéma zatížení	\bar{M}_{ba}	\bar{Z}_{ab}	\bar{Z}_{ba}
11		$-\frac{qa^2}{8L^2}(2L^2 - a^2)$	$-\frac{qa}{8L^3} \cdot [2L^2(a + 4b) + a^3]$	$-\frac{qa^2}{8L^3}(6L^2 - a^2)$
12		$-\frac{qb^2}{8L^2}(a + L)^2$	$-\frac{qb^3}{8L^3}(3L + a)$	$-\frac{qb}{8L^3} \cdot [4L(2L^2 - b^2) + b^3]$
13		$-\frac{qac}{8L^2} \cdot [4(L^2 - a^2) - c^2]$	$-\frac{qc}{8L^3} \cdot [4b^2(2L + a) + ac^2]$	$-\frac{qac}{8L^3} \cdot [8L^2 + 4b(L + a) - c^2]$
14		$-\frac{qb}{16L}(3L^2 - b^2)$	$-\frac{qb}{16L^2}(5L^2 + b^2)$	$-\frac{qb}{16L^2}(11L^2 - b^2)$
15		$-\frac{1}{8}qL^2$	$-\frac{3}{8}qL$	$-\frac{5}{8}qL$
16		$-\frac{1}{15}qL^2$	$-\frac{1}{10}qL$	$-\frac{2}{5}qL$
17		$-\frac{7}{120}qL^2$	$-\frac{11}{40}qL$	$-\frac{9}{40}qL$
18		$-\frac{5}{64}qL^2$	$-\frac{11}{64}qL$	$-\frac{21}{64}qL$
19		$-\frac{3}{64}qL^2$	$-\frac{13}{64}qL$	$-\frac{19}{64}qL$
20		$-\frac{q(L-a)}{8L} \cdot (a^2 + ab + L^2)$	$-\frac{q}{8L^2} \cdot [a^2(a+b) - L(a^2 + ab) + L^2(5a + 4b) - L^3]$	$-\frac{q}{8L^2} \cdot [-a^2(a+b) + L(a^2 + ab) + L^2(3a + 4b) + L^3]$

Tabulka 14.10. Primární moment a reakce oboustranně dokonale vetknutého nosníku konstantního průřezu



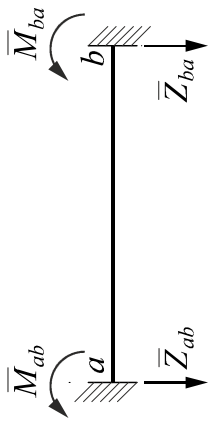
Zatěž. případ	Schéma zatížení	\bar{M}_{ab}	\bar{M}_{ba}	\bar{Z}_{ab}	\bar{Z}_{ba}
1		$\frac{Fab^2}{L^2}$	$-\frac{Fa^2b}{L^2}$	$-\frac{Fb^2}{L^2}(L+2a)$	$-\frac{Fa^2}{L^2}(L+2b)$
2		$\frac{1}{8}FL$	$-\frac{1}{8}FL$	$-\frac{F}{2}$	$-\frac{F}{2}$
3		$\frac{2}{9}FL$	$-\frac{2}{9}FL$	$-F$	$-F$
4		$\frac{Fa}{L}(L-a)$	$-\frac{Fa}{L}(L-a)$	$-F$	$-F$
5		$\frac{5}{16}FL$	$-\frac{5}{16}FL$	$-\frac{3}{2}F$	$-\frac{3}{2}F$
6		$\frac{2}{5}FL$	$-\frac{2}{5}FL$	$-2F$	$-2F$
7		$\frac{35}{72}FL$	$-\frac{35}{72}FL$	$-\frac{5}{2}F$	$-\frac{5}{2}F$

Tabulka 14.10. Primární moment a reakce oboustranně dokonale vetknutého nosníku konstantního průřezu (pokračování I)



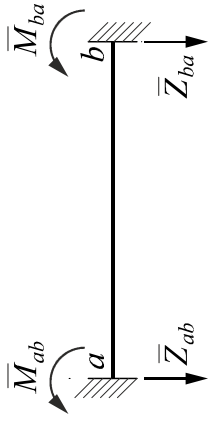
Zatěž. případ	Schéma zatížení	\bar{M}_{ab}	\bar{M}_{ba}	\bar{Z}_{ab}	\bar{Z}_{ba}
8		$\frac{FLn^2 - 1}{12n}$	$-\frac{FLn^2 - 1}{12n}$	$-\frac{F}{2}(n-1)$	$-\frac{F}{2}(n-1)$
9		$-\frac{Mb}{L^2}(2L-3b)$	$-\frac{Ma}{L^2}(2L-3a)$	$\frac{6Mab}{L^3}$	$-\frac{6Mab}{L^3}$
10		$\frac{qc}{12L^2} \cdot (12ab^2 + ac^2 - 2bc^2)$	$-\frac{qc}{12L^2} \cdot (12a^2b + bc^2 - 2ac^2)$	$-\frac{qc}{4L^3} \cdot [4b^2(3a+b) + c^2(a-b)]$	$-\frac{qc}{4L^3} \cdot [4a^2(a+3b) + c^2(b-a)]$
11		$\frac{qa^2}{12L^2}(6b^2 + 3ab + aL)$	$-\frac{qa^3}{12L^2}(3b+L)$	$-\frac{qa}{2L^3}[2L(L^2 - a^2) + a^3]$	$-\frac{qa^3}{2L^3}(L+b)$
12		$\frac{qa^2}{6L}(2L+b)$	$-\frac{qa^2}{6L}(2L+b)$	$-qa$	$-qa$
13		$\frac{1}{12}qL^2$	$-\frac{1}{12}qL^2$	$-\frac{1}{2}qL$	$-\frac{1}{2}qL$
14		$\frac{1}{30}qL^2$	$-\frac{1}{20}qL^2$	$-\frac{3}{20}qL$	$-\frac{7}{20}qL$

Tabulka 14.10. Primární moment a reakce oboustranně dokonale vetknutého nosníku konstantního průřezu (pokračování II)



Zatěž. případ	Schéma zatížení	\bar{M}_{ab}	\bar{M}_{ba}	\bar{Z}_{ab}	\bar{Z}_{ba}
15		$\frac{1}{20}qL^2$	$-\frac{1}{30}qL^2$		$-\frac{3}{20}qL$
16		$\frac{5}{96}qL^2$	$-\frac{5}{96}qL^2$		$-\frac{1}{4}qL$
17		$\frac{q}{30} \left(L^2 + bL + b^2 - \frac{3b^3}{2L} \right)$	$-\frac{q}{30} \left(L^2 + aL + a^2 - \frac{3a^3}{2L} \right)$		$-\frac{q}{30L} [11a^2 + 15ab + 4b^2 + (a-b)L - \frac{3}{2L}(a^3 - b^3)]$
18		$\frac{1}{32}qL^2$	$-\frac{1}{32}qL^2$		$-\frac{1}{4}qL$
19		$\frac{qc}{60L^2} [10b^2(3a+c) + c^2(15a+10b+3c) + 40abc]$	$-\frac{qc}{60L^2} [10a^2(3b+2c) + c^2(10a+5b+2c) + 20abc]$		$-\frac{qc}{60L^3} [10(L^2 - a^2) \cdot (3b+2c) + 10b^2(3a+2c) + c^2(5a+5b+c) + 20abc]$
20		$\frac{qc}{6L^2} [6ab^2 + c^2(a-2b)]$	$-\frac{qc}{6L^2} [6a^2b + c^2(b-2a)]$		$-\frac{qc}{2L^3} [2bL^2 - (a-b) \cdot (2ab - c^2)]$

Tabulka 14.10. Primární moment a reakce oboustranně dokonale vetknutého nosníku konstantního průřezu (pokračování III)

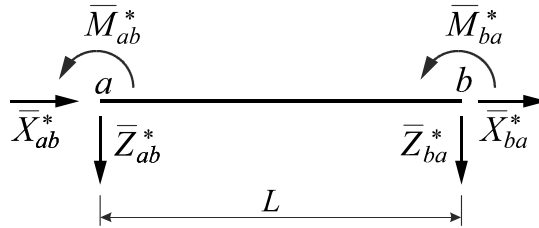


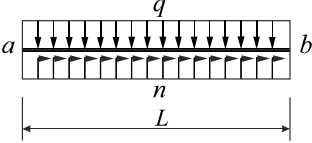
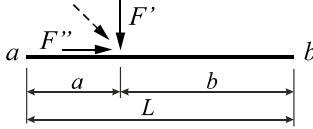
Zatěž. případ	Schéma zatížení	\bar{M}_{ab}	\bar{M}_{ba}	\bar{Z}_{ab}	\bar{Z}_{ba}
21		$\left(\frac{q}{12} + \frac{p}{30}\right)L^2$	$-\left(\frac{q}{12} + \frac{p}{20}\right)L^2$	$-\left(\frac{q}{2} + \frac{3p}{20}\right)L$	$-\left(\frac{q}{2} + \frac{7p}{20}\right)L$
22		$\frac{q(L-a)}{12L}(a^2 + ab + L^2)$	$-\frac{q(L-a)}{12L}(a^2 + ab + L^2)$	$-\frac{1}{2}q(a+b)$	$-\frac{1}{2}q(a+b)$
23		$\frac{EI\alpha_t\Delta t_1}{h}$	$-\frac{EI\alpha_t\Delta t_1}{h}$	0	0

$\Delta t_1 = \Delta t_d - \Delta t_h$

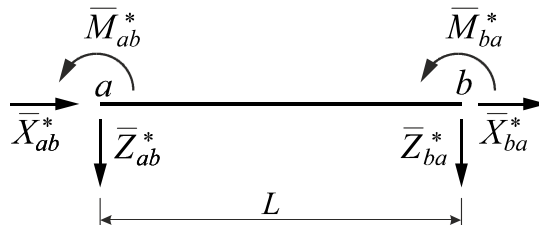
Vodorovné reakce \bar{X}_{ab} a \bar{X}_{ba} a primární vektor koncových sil – Tab. 11.5.

Tabulka 11.2. Primární vektory koncových sil prutu $\bar{\mathbf{R}}_{ab}^* = \{\bar{X}_{ab}^*, \bar{Z}_{ab}^*, \bar{M}_{ab}^*, \bar{X}_{ba}^*, \bar{Z}_{ba}^*, \bar{M}_{ba}^*\}^T$ konstantního průřezu



(a) Plné spojité zatížení		(b) Osamělá síla	
$\bar{\mathbf{R}}_{ab}^* = \begin{Bmatrix} -nL/2 \\ -qL/2 \\ qL^2/12 \\ -nL/2 \\ -qL/2 \\ -qL^2/12 \end{Bmatrix}$	$\bar{\mathbf{R}}_{ab}^* = \begin{Bmatrix} -nL/2 \\ -5qL/8 \\ qL^2/8 \\ -nL/2 \\ -3qL/2 \\ 0 \end{Bmatrix}$	$\bar{\mathbf{R}}_{ab}^* = \begin{Bmatrix} -F''b/L \\ -F'b^2(L+2a)/L^3 \\ F'ab^2/L^2 \\ -F''a/L \\ -F'a^2(L+2b)/L^3 \\ -F'a^2b/L^2 \end{Bmatrix}$	$\bar{\mathbf{R}}_{ab}^* = \begin{Bmatrix} -F''b/L \\ -F'b(3L^2 - b^2)/(2L^3) \\ F'ab(L+b)/(2L^2) \\ -F''a/L \\ -F'a^2(3L-a)/(2L^3) \\ 0 \end{Bmatrix}$

Tabulka 11.5. Primární vektory koncových sil prutu $\bar{\mathbf{R}}_{ab}^* = \{\bar{X}_{ab}^*, \bar{Z}_{ab}^*, \bar{M}_{ab}^*, \bar{X}_{ba}^*, \bar{Z}_{ba}^*, \bar{M}_{ba}^*\}^T$ konstantního průřezu od změny teploty



(a) Prut oboustranně monoliticky připojený	(b) Prut pravostranně kloubově připojený	(c) Prut levostranně kloubově připojený
$\bar{\mathbf{R}}_{ab}^* = \begin{Bmatrix} EA\alpha_i\Delta t_0 \\ 0 \\ \frac{EI\alpha_i\Delta t_1}{h} \\ -EA\alpha_i\Delta t_0 \\ 0 \\ \frac{EI\alpha_i\Delta t_1}{h} \end{Bmatrix}$	$\bar{\mathbf{R}}_{ab}^* = \begin{Bmatrix} EA\alpha_i\Delta t_0 \\ \frac{3EI\alpha_i\Delta t_1}{2hL} \\ 2h \\ \frac{3EI\alpha_i\Delta t_1}{2h} \\ -EA\alpha_i\Delta t_0 \\ \frac{3EI\alpha_i\Delta t_1}{2hL} \\ 0 \end{Bmatrix}$	$\bar{\mathbf{R}}_{ab}^* = \begin{Bmatrix} EA\alpha_i\Delta t_0 \\ \frac{3EI\alpha_i\Delta t_1}{2hL} \\ 2h \\ 0 \\ -EA\alpha_i\Delta t_0 \\ \frac{3EI\alpha_i\Delta t_1}{2hL} \\ \frac{3EI\alpha_i\Delta t_1}{2h} \end{Bmatrix}$
$\Delta t_0 = \frac{\Delta t_d + \Delta t_h}{2}, \quad \Delta t_1 = \Delta t_d - \Delta t_h$		

Transformace

$$\mathbf{T}_{ab} = \left[\begin{array}{ccc|ccc} \cos \gamma_{ab} & \sin \gamma_{ab} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin \gamma_{ab} & \cos \gamma_{ab} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & \cos \gamma_{ab} & \sin \gamma_{ab} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin \gamma_{ab} & \cos \gamma_{ab} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

$$\mathbf{r}_{ab} = \mathbf{T}_{ab}^{-1} \mathbf{r}_{ab}^* = \mathbf{T}_{ab}^T \mathbf{r}_{ab}^*$$

$$\mathbf{r}_{ab}^* = \begin{Bmatrix} u_a^* \\ w_a^* \\ \varphi_a^* \\ u_b^* \\ w_b^* \\ \varphi_b^* \end{Bmatrix} = \mathbf{T}_{ab} \mathbf{r}_{ab} = \begin{Bmatrix} u_a c + w_a s \\ -u_a s + w_a c \\ \varphi_a \\ u_b c + w_b s \\ -u_b s + w_b c \\ \varphi_b \end{Bmatrix}$$

$$\mathbf{R}_{ab}^* = \mathbf{T}_{ab} \mathbf{R}_{ab}, \mathbf{R}_{ab} = \mathbf{T}_{ab}^{-1} \mathbf{R}_{ab}^* = \mathbf{T}_{ab}^T \mathbf{R}_{ab}^*$$

$$\bar{\mathbf{R}}_{ab} = \begin{Bmatrix} \bar{X}_{ab} \\ \bar{Z}_{ab} \\ \bar{M}_{ab} \\ \bar{X}_{ba} \\ \bar{Z}_{ba} \\ \bar{M}_{ba} \end{Bmatrix} = \mathbf{T}_{ab}^T \bar{\mathbf{R}}_{ab}^* = \begin{Bmatrix} \bar{X}_{ab}^* c - \bar{Z}_{ab}^* s \\ \bar{X}_{ab}^* s + \bar{Z}_{ab}^* c \\ \bar{M}_{ab}^* \\ \bar{X}_{ba}^* c - \bar{Z}_{ba}^* s \\ \bar{X}_{ba}^* s + \bar{Z}_{ba}^* c \\ \bar{M}_{ba}^* \end{Bmatrix}$$

$$\hat{\mathbf{R}}_{ab} = \mathbf{T}_{ab}^T \hat{\mathbf{R}}_{ab}^* = \mathbf{T}_{ab}^T \mathbf{k}_{ab}^* \mathbf{r}_{ab}^* = \mathbf{T}_{ab}^T \mathbf{k}_{ab}^* \mathbf{T}_{ab} \mathbf{r}_{ab} = \mathbf{k}_{ab} \mathbf{r}_{ab}$$

$$\mathbf{k}_{ab} = \mathbf{T}_{ab}^T \mathbf{k}_{ab}^* \mathbf{T}_{ab}$$