

# 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 (  $\text{---}$   $\text{---o}$   $\text{o---}$   $\text{o---o}$  ), 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 10.1. Počet neznámých parametrů deformace**

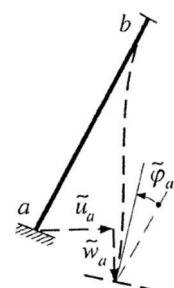
| Případ připojení | Schéma připojení | Popis připojení                               | Neznámé parametry deformace |                 |
|------------------|------------------|---|-----------------------------|-----------------|
|                  |                  |   | počet                       | druh            |
| 1                |                  | monolitický styčnick                          | 3                           | $u, w, \varphi$ |
| 2                |                  | kloubový styčnick                             | 2                           | $u, w$          |
| 3                |                  | monolitický styčnick podepřený kyvným prutem  | 2                           | $w, \varphi$    |
| 4                |                  | kloubový styčnick podepřený kyvným prutem     | 1                           | $u$             |
| 5                |                  | monolitický styčnick podepřený pevným kloubem | 1                           | $\varphi$       |
| 6                |                  | monolitický styčnick vetknutý                 | 0                           | –               |
| 7                |                  | vetknutí                                      | 0                           | –               |
| 8                |                  | * neposuvný kloub                             | 1                           | $\varphi$       |
|                  |                  |   | 2                           | –               |
| 9                |                  | * posuvný kloub                               | 1                           | $u, \varphi$    |
|                  |                  |   | 2                           | $u$             |

\* U případů podepření 8, 9 první varianta uvažuje ve výpočtu oboustranně pružně upnutý prut, druhá varianta uvažuje jednostranně kloubově připojený prut do podpory, u níž se  $\varphi \neq 0$  neuvažuje jako neznámý parametr deformace.

**Dané nepružné přemístění podpor** (Statika stavebních konstrukcí II., str. 275)

**Primární stav** od daného přemístění vytvoříme tak, že vynulujeme všechny neznámé složky parametrů deformace volných (nevázaných) styčnicků a podporovým bodům s daným popuštěním přidělíme odpovídající dané složky přemístění. Je to proto, že na přetvárné určité soustavě sledujeme pouze samostatný vliv daného přemístění. Pro každý prut  $ab$  (obr. 11.23), jehož uzel  $a$  je podepřen vnější vazbu s daným popuštěním, pak sestavíme **globální vektor daných složek přemístění** ve tvaru:

$$\{\tilde{\mathbf{r}}_{ab}\} = \begin{Bmatrix} \tilde{u}_a \\ \tilde{w}_a \\ \varphi_a \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$



Obr. 11.23. Popuštění podpory

Následně můžeme určit tzv. **vyvolaný globální primární vektor**:

$$\{\tilde{\mathbf{R}}_{ab}\} = [\mathbf{K}_{ab}]\{\tilde{\mathbf{r}}_{ab}\}$$

$$\text{Transformační matice: } [\mathbf{T}_{ab}] = \begin{bmatrix} \cos \gamma_{ab} & \sin \gamma_{ab} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin \gamma_{ab} & \cos \gamma_{ab} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & \cos \gamma_{ab} & \sin \gamma_{ab} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin \gamma_{ab} & \cos \gamma_{ab} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c & s & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -s & c & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & c & s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -s & c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matice tuhosti prutu v globálních souřadnicích:  $[\mathbf{K}_{ab}] = [\mathbf{T}_{ab}]^T [\mathbf{K}_{ab}^*] [\mathbf{T}_{ab}]$

Vektor primárních koncových sil prutu v globálních souřadnicích:  $\{\bar{\mathbf{R}}_{ab}\} = [\mathbf{T}_{ab}]^T \{\mathbf{R}_{ab}^*\}$

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

Vektor parametrů deformace prutu v lokálních souřadnicích:  $\{\mathbf{r}_{ab}^*\} = [\mathbf{T}_{ab}] \{\mathbf{r}_{ab}\}$

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

Vektor výsledných koncových sil prutu v lokálních souřadnicích:  $\{\mathbf{R}_{ab}^*\} = [\mathbf{T}_{ab}] \{\mathbf{R}_{ab}\}$

Vektor výsledných koncových sil prutu v globálních souřadnicích:  $\{\bar{\mathbf{R}}_{ab}\} = [\mathbf{T}_{ab}]^T \{\mathbf{R}_{ab}^*\}$

Tabulka 8.1 Primární lokální vektory koncových sil

| (a)  |  | (b)   |  |  |  |   |   |  |  |   |
|--|--|---|--|--|--|---|---|--|--|---|
| (8.1a/1)   |  | (8.1a/2)  | (8.1a/3)   | (8.1a/4)   | (8.1a/5)   | (8.1a/6)  | (8.1a/7)  | (8.1a/8)   | (8.1a/9)   | (8.1a/10)   |
| $\bar{X}_{ab}^*$<br>$\bar{Z}_{ab}^*$<br>$\bar{M}_{ab}^*$<br>$\bar{X}_{ba}^*$<br>$\bar{Z}_{ba}^*$<br>$\bar{M}_{ba}^*$ | $-\frac{b}{l} F_x$<br>$-\frac{3l-2b}{l^3} F_z$<br>$\frac{ab^2}{l^2} F_z$<br>$-\frac{a}{l} F_x$<br>$-\frac{3l-2a}{l^3} F_z$<br>$-\frac{a^2}{l^2} b F_z$ | $-\frac{1}{2} F_x$<br>$-\frac{1}{2} F_z$<br>$\frac{1}{8} F_z l$<br>$-\frac{1}{2} F_x$<br>$-\frac{1}{2} F_z$<br>$-\frac{1}{8} F_z l$ | $0$<br>$-\frac{6ab}{l^3} M$<br>$\frac{2l-3b}{l^2} M$<br>$0$<br>$\frac{ab}{l^3} M$<br>$\frac{2l-3a}{l^2} M$               | $0$<br>$\frac{3M}{2l}$<br>$\frac{1}{4} M$<br>$0$<br>$\frac{3M}{2l}$<br>$\frac{1}{4} M$ | Zatěžovací momenty tuze připojených konců se uplatní jako uzlové zatížení  | $-\frac{1}{2} nl$<br>$\frac{1}{2} ql$<br>$\frac{1}{12} ql^2$<br>$-\frac{1}{2} nl$<br>$\frac{1}{2} ql$<br>$-\frac{1}{12} ql^2$ | $-\frac{2al-a^2}{2l}$<br>$\frac{2al^3-2a^3l+a^4}{2l^3}$<br>$\frac{6a^2l^2-8a^3l+3a^4}{12l^2}$<br>$-\frac{a^2}{2l}$<br>$\frac{2a^3l-a^4}{2l^3}$<br>$-\frac{4a^3l-3a^4}{12l^2}$ | $-\frac{1}{8} nl$<br>$\frac{3}{32} ql$<br>$\frac{5}{192} ql^2$<br>$-\frac{3}{8} nl$<br>$\frac{13}{32} ql$<br>$\frac{11}{192} ql^2$ | $-\frac{2n_a+n_b}{6}$<br>$-\frac{7q_a+3q_b}{20} l$<br>$-\frac{3q_a+2q_b}{60} l^2$<br>$-\frac{n_a+2n_b}{6}$<br>$-\frac{3q_a+7q_b}{20} l$<br>$-\frac{2q_a+3q_b}{60} l^2$ | $E A \alpha_T \Delta T_0$<br>$0$<br>$\frac{E I}{h} \alpha_T \Delta T_1$<br>$0$<br>$0$<br>$-\frac{E I}{h} \alpha_T \Delta T_1$   |
| (8.1b/1)   |  | (8.1b/2)  | (8.1b/3)   | (8.1b/4)   | (8.1b/5)   | (8.1b/6)  | (8.1b/7)  | (8.1b/8)   | (8.1b/9)   | (8.1b/10)   |
| $\bar{X}_{ab}^*$<br>$\bar{Z}_{ab}^*$<br>$\bar{M}_{ab}^*$<br>$\bar{X}_{ba}^*$<br>$\bar{Z}_{ba}^*$<br>$\bar{M}_{ba}^*$ | $-\frac{b}{l} F_x$<br>$-\frac{3l^2-b^2}{2l^3} F_z$<br>$\frac{l+b}{2l^2} F_z$<br>$-\frac{a}{l} F_x$<br>$-\frac{3l-a}{2l^3} F_z$<br>$0$                  | $-\frac{1}{2} F_x$<br>$\frac{11}{16} F_z$<br>$\frac{3}{16} F_z l$<br>$-\frac{1}{2} F_x$<br>$\frac{5}{16} F_z$<br>$0$                | $0$<br>$-\frac{l^2-b^2}{3 \cdot 2l^3} M$<br>$\frac{l^2-3b^2}{2l^2} M$<br>$0$<br>$\frac{3l^2-b^2}{3 \cdot 2l^3} M$<br>$0$ | $0$<br>$\frac{9M}{8l}$<br>$\frac{1}{8} M$<br>$0$<br>$\frac{9M}{8l}$<br>$0$             | $0$<br>$\frac{3M}{2l}$<br>$\frac{1}{2} M$<br>$0$<br>$\frac{3M}{2l}$<br>$M$ | $-\frac{1}{2} nl$<br>$\frac{5}{8} ql$<br>$\frac{1}{8} ql^2$<br>$-\frac{1}{2} nl$<br>$\frac{3}{8} ql$<br>$0$                   | $-\frac{2al-a^2}{8al^3-4a^3l+a^4}$<br>$\frac{2al^3-2a^3l+a^4}{8l^3}$<br>$\frac{(2al-a^2)^2}{8l^2}$<br>$-\frac{a^2}{2l}$<br>$\frac{4a^3l-a^4}{8l^3}$<br>$0$                    | $-\frac{1}{8} nl$<br>$\frac{23}{128} ql$<br>$\frac{7}{128} ql^2$<br>$-\frac{3}{8} nl$<br>$\frac{41}{128} ql$<br>$0$                | $-\frac{2n_a+n_b}{6}$<br>$-\frac{16q_a+9q_b}{40} l$<br>$-\frac{8q_a+7q_b}{120} l^2$<br>$-\frac{n_a+2n_b}{6}$<br>$-\frac{4q_a+11q_b}{40} l$<br>$0$                      | $E A \alpha_T \Delta T_0$<br>$\frac{3 E I}{2 h l} \alpha_T \Delta T_1$<br>$\frac{3 E I}{2 h} \alpha_T \Delta T_1$<br>$-\frac{E A \alpha_T \Delta T_0}{2 h}$<br>$\frac{3 E I}{2 h l} \alpha_T \Delta T_1$<br>$0$ |

Obdélník, průřez:  
 $\Delta T_0 = (\Delta T^a + \Delta T^b) / 2$ ;  
 $\Delta T_1 = \Delta T^a - \Delta T^b$

Obdélník, průřez:  
 $\Delta T_0 = (\Delta T^a + \Delta T^b) / 2$ ;  
 $\Delta T_1 = \Delta T^a - \Delta T^b$

Tabulka 8.1 Primární lokální vektory koncových sil (pokračování)

| (c) |  | (8.1c/1)  | (8.1c/2)   | (8.1c/3)  | (8.1c/4)                                  | (8.1c/5)                                  | (8.1c/6)  | (8.1c/7)  | (8.1c/8)   | (8.1c/9)  | (8.1c/10)  |
|-----|--|---|--|---|---|---|---|---|--|---|--|
|     | $\bar{X}_{a,b}^*$<br>$\bar{Z}_{a,b}^*$<br>$\bar{M}_{a,b}^*$<br>$\bar{X}_{b,a}^*$<br>$\bar{Z}_{b,a}^*$<br>$\bar{M}_{b,a}^*$ | $\frac{b}{l} F_x$<br>$-\frac{b^2}{2l^3} F_z$<br>$0$                               | $-\frac{1}{2} F_x$<br>$\frac{5}{16} F_z$<br>$0$                  | $0$<br>$-\frac{l^2 - a^2}{2l^3} M$<br>$0$                         | $0$<br>$\frac{9M}{8l}$<br>$0$             | $0$<br>$\frac{3M}{2l}$<br>$M$             | $-\frac{1}{2} nl$<br>$\frac{3}{8} ql$<br>$0$                | $-\frac{2al - a^2}{8l^3} n$<br>$\frac{8al^3 - 6a^2l^2 + a^4}{8l^3} q$<br>$0$              | $-\frac{1}{8} nl$<br>$\frac{7}{128} ql$<br>$0$                   | $-\frac{2n_a + n_b l}{6}$<br>$\frac{11q_a + 4q_b l}{40}$<br>$0$                           | $E A \alpha_T \Delta T_0$<br>$\frac{3 EI}{2 hl} \alpha_T \Delta T_1$<br>$0$                                      |
|     |  | $-\frac{a}{l} F_x$<br>$-\frac{3l^2 - a^2}{2l^3} F_z$<br>$-\frac{l + a}{2l^2} F_z$ | $-\frac{1}{2} F_x$<br>$\frac{11}{16} F_z$<br>$-\frac{3}{16} F_l$ | $0$<br>$\frac{3l^2 - a^2}{2l^3} M$<br>$\frac{l^2 - 3a^2}{2l^2} M$ | $0$<br>$\frac{9M}{8l}$<br>$\frac{1}{8} M$ | $0$<br>$\frac{3M}{2l}$<br>$\frac{1}{2} M$ | $-\frac{1}{2} nl$<br>$\frac{5}{8} ql$<br>$\frac{1}{8} ql^2$ | $-\frac{a^2}{2l} n$<br>$\frac{6a^2 l^2 - a^4}{8l^3} q$<br>$\frac{2a^2 l^2 - a^4}{8l^2} q$ | $-\frac{3}{8} nl$<br>$\frac{57}{128} ql$<br>$\frac{9}{128} ql^2$ | $-\frac{n_a + 2n_b l}{6}$<br>$\frac{9q_a + 16q_b l}{40}$<br>$\frac{7q_a + 8q_b l^2}{120}$ | $-E A \alpha_T \Delta T_0$<br>$\frac{3 EI}{2 hl} \alpha_T \Delta T_1$<br>$-\frac{3 EI}{2 h} \alpha_T \Delta T_1$ |
|     | $\bar{X}_{a,b}^*$<br>$\bar{Z}_{a,b}^*$<br>$\bar{M}_{a,b}^*$<br>$\bar{X}_{b,a}^*$<br>$\bar{Z}_{b,a}^*$<br>$\bar{M}_{b,a}^*$ | $\frac{b}{l} F_x$<br>$-\frac{b}{l} F_z$<br>$0$                                    | $-\frac{1}{2} F_x$<br>$\frac{1}{2} F_z$<br>$0$                   | $0$<br>$\frac{M}{l}$<br>$0$                                       | $0$<br>$-\frac{M}{l}$<br>$0$              | $0$<br>$\frac{M_1 + M_2}{l}$<br>$M_1$     | $-\frac{1}{2} nl$<br>$\frac{1}{2} ql$<br>$0$                | $\frac{2al - a^2}{2l} n$<br>$\frac{2al - a^2}{2l} q$<br>$0$                               | $-\frac{1}{8} nl$<br>$\frac{1}{8} ql$<br>$0$                     | $-\frac{2n_a + n_b l}{6}$<br>$\frac{2q_a + q_b l}{6}$<br>$0$                              | $E A \alpha_T \Delta T_0$<br>$0$<br>$0$<br>$-E A \alpha_T \Delta T_0$<br>$0$<br>$0$                              |
|     |  | $-\frac{a}{l} F_x$<br>$\frac{a}{l} F_z$   | $-\frac{1}{2} F_x$<br>$\frac{1}{2} F_z$<br>$0$                   | $0$<br>$\frac{M}{l}$<br>$0$                                       | $0$<br>$\frac{M}{l}$<br>$0$               | $0$<br>$\frac{M_1 + M_2}{l}$<br>$M_2$     | $-\frac{1}{2} nl$<br>$\frac{1}{2} ql$<br>$0$                | $-\frac{a^2}{2l} n$<br>$\frac{a^2}{2l} q$<br>$-\frac{a^2}{2l} q$                          | $-\frac{3}{8} nl$<br>$\frac{3}{8} ql$<br>$0$                     | $-\frac{n_a + 2n_b l}{6}$<br>$\frac{q_a + 2q_b l}{6}$<br>$0$                              | $-E A \alpha_T \Delta T_0$<br>$0$<br>$0$<br>$-E A \alpha_T \Delta T_0$<br>$0$<br>$0$                             |

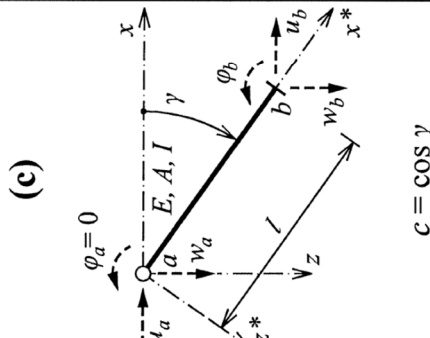
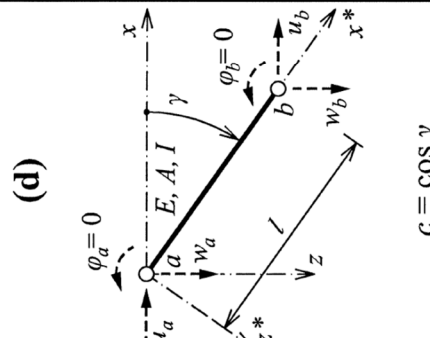
Obdélník, průřez.  
 $\Delta T_0 = (\Delta T^a + \Delta T^b) / 2$ ;  
 $\Delta T_1 = \Delta T^a - \Delta T^b$

Obdélník, průřez.  
 $\Delta T_0 = (\Delta T^a + \Delta T^b) / 2$ ;  
 $\Delta T_1 = \Delta T^a - \Delta T^b$

Tabulka 8.2 Globální matice tuhosti prutu

|  |   |
|--|---|
| <p><b>(a)</b></p> <p style="text-align: center;"><math>c = \cos \gamma</math><br/><math>s = \sin \gamma</math></p> | <p>(8.2a)</p> $[k_{a,b}] = \begin{bmatrix} u_a & w_a & \varphi_a & u_b & w_b & \varphi_b \\ \frac{EA}{l}c^2 + \frac{12EI}{l^3}s^2 & \left(\frac{EA}{l} - \frac{12EI}{l^3}\right)cs & \frac{6EI}{l^2}s & -\left(\frac{EA}{l}c^2 + \frac{12EI}{l^3}s^2\right) & \left(\frac{EA}{l} - \frac{12EI}{l^3}\right)cs & \frac{6EI}{l^2}s \\ \left(\frac{EA}{l} - \frac{12EI}{l^3}\right)cs & \frac{EA}{l}s^2 + \frac{12EI}{l^3}c^2 & -\frac{6EI}{l^2}c & -\left(\frac{EA}{l} - \frac{12EI}{l^3}\right)cs & \frac{EA}{l}s^2 + \frac{12EI}{l^3}c^2 & -\frac{6EI}{l^2}c \\ \frac{6EI}{l^2}s & -\frac{6EI}{l^2}c & \frac{4EI}{l} & -\frac{6EI}{l^2}s & \frac{6EI}{l^2}c & \frac{2EI}{l} \\ -\left(\frac{EA}{l}c^2 + \frac{12EI}{l^3}s^2\right) & -\left(\frac{EA}{l} - \frac{12EI}{l^3}\right)cs & \frac{6EI}{l^2}s & \frac{EA}{l}c^2 + \frac{12EI}{l^3}s^2 & \left(\frac{EA}{l} - \frac{12EI}{l^3}\right)cs & -\frac{6EI}{l^2}s \\ -\left(\frac{EA}{l} - \frac{12EI}{l^3}\right)cs & \frac{EA}{l}s^2 + \frac{12EI}{l^3}c^2 & -\frac{6EI}{l^2}c & \left(\frac{EA}{l} - \frac{12EI}{l^3}\right)cs & \frac{EA}{l}s^2 + \frac{12EI}{l^3}c^2 & -\frac{6EI}{l^2}c \\ \frac{6EI}{l^2}s & -\frac{6EI}{l^2}c & \frac{2EI}{l} & -\frac{6EI}{l^2}s & \frac{6EI}{l^2}c & \frac{4EI}{l} \end{bmatrix}$ <p style="text-align: center;"><math>\begin{matrix} a &amp; b \end{matrix}</math></p> |
| <p><b>(b)</b></p> <p style="text-align: center;"><math>c = \cos \gamma</math><br/><math>s = \sin \gamma</math></p> | <p>(8.2b)</p> $[k_{a,b}] = \begin{bmatrix} u_a & w_a & \varphi_a & u_b & w_b & \varphi_b \\ \frac{EA}{l}c^2 + \frac{3EI}{l^3}s^2 & \left(\frac{EA}{l} - \frac{3EI}{l^3}\right)cs & \frac{3EI}{l^2}s & -\left(\frac{EA}{l}c^2 + \frac{3EI}{l^3}s^2\right) & \left(\frac{EA}{l} - \frac{3EI}{l^3}\right)cs & \frac{3EI}{l^2}s \\ \left(\frac{EA}{l} - \frac{3EI}{l^3}\right)cs & \frac{EA}{l}s^2 + \frac{3EI}{l^3}c^2 & -\frac{3EI}{l^2}c & -\left(\frac{EA}{l} - \frac{3EI}{l^3}\right)cs & \frac{EA}{l}s^2 + \frac{3EI}{l^3}c^2 & -\frac{3EI}{l^2}c \\ \frac{3EI}{l^2}s & -\frac{3EI}{l^2}c & \frac{3EI}{l} & -\frac{3EI}{l^2}s & \frac{3EI}{l^2}c & \frac{3EI}{l} \\ -\left(\frac{EA}{l}c^2 + \frac{3EI}{l^3}s^2\right) & -\left(\frac{EA}{l} - \frac{3EI}{l^3}\right)cs & \frac{3EI}{l^2}s & \frac{EA}{l}c^2 + \frac{3EI}{l^3}s^2 & \left(\frac{EA}{l} - \frac{3EI}{l^3}\right)cs & \frac{3EI}{l^2}s \\ -\left(\frac{EA}{l} - \frac{3EI}{l^3}\right)cs & \frac{EA}{l}s^2 + \frac{3EI}{l^3}c^2 & -\frac{3EI}{l^2}c & \left(\frac{EA}{l} - \frac{3EI}{l^3}\right)cs & \frac{EA}{l}s^2 + \frac{3EI}{l^3}c^2 & -\frac{3EI}{l^2}c \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ <p style="text-align: center;"><math>\begin{matrix} a &amp; b \end{matrix}</math></p>  |

Tabulka 8.2 Globální matice tuhosti prutu (pokračování)

|   |  |
|---|--|
| <p>(c)</p>  <p style="text-align: center;"> <math>c = \cos \gamma</math><br/> <math>s = \sin \gamma</math> </p>  | <p>(8.2c)</p> $[k_{a,b}] = \begin{bmatrix} u_a & w_a & \varphi_a & u_b & w_b & \varphi_b \\ \frac{EA}{l}c^2 + \frac{3EI}{l^3}s^2 & \left(\frac{EA}{l} - \frac{3EI}{l^3}\right)cs & 0 & -\left(\frac{EA}{l}c^2 + \frac{3EI}{l^3}s^2\right) & -\left(\frac{EA}{l} - \frac{3EI}{l^3}\right)cs & \frac{3EI}{l^2}s \\ \left(\frac{EA}{l} - \frac{3EI}{l^3}\right)cs & \frac{EA}{l}s^2 + \frac{3EI}{l^3}c^2 & 0 & -\left(\frac{EA}{l} - \frac{3EI}{l^3}\right)cs & \frac{EA}{l}s^2 + \frac{3EI}{l^3}c^2 & -\frac{3EI}{l^2}c \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\left(\frac{EA}{l}c^2 + \frac{3EI}{l^3}s^2\right) & -\left(\frac{EA}{l} - \frac{3EI}{l^3}\right)cs & 0 & \frac{EA}{l}c^2 + \frac{3EI}{l^3}s^2 & \left(\frac{EA}{l} - \frac{3EI}{l^3}\right)cs & -\frac{3EI}{l^2}s \\ -\left(\frac{EA}{l} - \frac{3EI}{l^3}\right)cs & \frac{EA}{l}s^2 + \frac{3EI}{l^3}c^2 & 0 & -\left(\frac{EA}{l} - \frac{3EI}{l^3}\right)cs & \frac{EA}{l}s^2 + \frac{3EI}{l^3}c^2 & \frac{3EI}{l^2}c \\ \frac{3EI}{l^2}s & -\frac{3EI}{l^2}c & 0 & -\frac{3EI}{l^2}s & \frac{3EI}{l^2}c & \frac{3EI}{l} \end{bmatrix}$ <p style="text-align: center;"> <math>\begin{matrix} a &amp; b \end{matrix}</math> </p> |
| <p>(d)</p>  <p style="text-align: center;"> <math>c = \cos \gamma</math><br/> <math>s = \sin \gamma</math> </p> | <p>(8.2d)</p> $[k_{a,b}] = \begin{bmatrix} u_a & w_a & \varphi_a & u_b & w_b & \varphi_b \\ \frac{EA}{l}c^2 & \frac{EA}{l}cs & 0 & -\frac{EA}{l}c^2 & -\frac{EA}{l}cs & 0 \\ \frac{EA}{l}cs & \frac{EA}{l}s^2 & 0 & -\frac{EA}{l}cs & -\frac{EA}{l}s^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{EA}{l}c^2 & -\frac{EA}{l}cs & 0 & \frac{EA}{l}c^2 & \frac{EA}{l}cs & 0 \\ -\frac{EA}{l}cs & -\frac{EA}{l}s^2 & 0 & \frac{EA}{l}cs & \frac{EA}{l}s^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ <p style="text-align: center;"> <math>\begin{matrix} a &amp; b \end{matrix}</math> </p>  |

Tabulka 8.3 Lokální matice tuhosti prutu

|  |  |  |   |
|--|--|--|---|
|  | <p>(8.3a)</p> $[k_{a,b}] = \begin{bmatrix} u_a & w_a & \varphi_a & u_b & w_b & \varphi_b \\ EA/l & 0 & 0 & -EA/l & 0 & 0 \\ 0 & 12EI/l^3 & 6EI/l^2 & 0 & -12EI/l^3 & 6EI/l^2 \\ 0 & 6EI/l^2 & 4EI/l & 0 & -6EI/l^2 & 2EI/l \\ -EA/l & 0 & 0 & EA/l & 0 & 0 \\ 0 & -12EI/l^3 & 6EI/l^2 & 0 & 12EI/l^3 & -6EI/l^2 \\ 0 & 6EI/l^2 & 2EI/l & 0 & -6EI/l^2 & 4EI/l \end{bmatrix}$ <p style="text-align: center;"><math>\begin{matrix} b \\ \circ \\ a \end{matrix}</math></p> |  | <p>(8.3b)</p> $[k_{a,b}] = \begin{bmatrix} u_a & w_a & \varphi_a & u_b & w_b & \varphi_b \\ EA/l & 0 & 0 & -EA/l & 0 & 0 \\ 0 & 3EI/l^3 & 3EI/l^2 & 0 & -3EI/l^3 & 3EI/l^2 \\ 0 & 3EI/l^2 & 3EI/l & 0 & -3EI/l^2 & 3EI/l \\ -EA/l & 0 & 0 & EA/l & 0 & 0 \\ 0 & -3EI/l^3 & 3EI/l^2 & 0 & 3EI/l^3 & -3EI/l^2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ <p style="text-align: center;"><math>\begin{matrix} b \\ \circ \\ a \end{matrix}</math></p> |
|  | <p>(8.3c)</p> $[k_{a,b}] = \begin{bmatrix} u_a & w_a & \varphi_a & u_b & w_b & \varphi_b \\ EA/l & 0 & 0 & -EA/l & 0 & 0 \\ 0 & 3EI/l^3 & 0 & 0 & -3EI/l^3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -EA/l & 0 & 0 & EA/l & 0 & 0 \\ 0 & -3EI/l^3 & 0 & 0 & 3EI/l^3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ <p style="text-align: center;"><math>\begin{matrix} b \\ \circ \\ a \end{matrix}</math></p>  |  | <p>(8.3d)</p> $[k_{a,b}] = \begin{bmatrix} u_a & w_a & \varphi_a & u_b & w_b & \varphi_b \\ EA/l & 0 & 0 & -EA/l & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -EA/l & 0 & 0 & EA/l & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ <p style="text-align: center;"><math>\begin{matrix} b \\ \circ \\ a \end{matrix}</math></p>   |