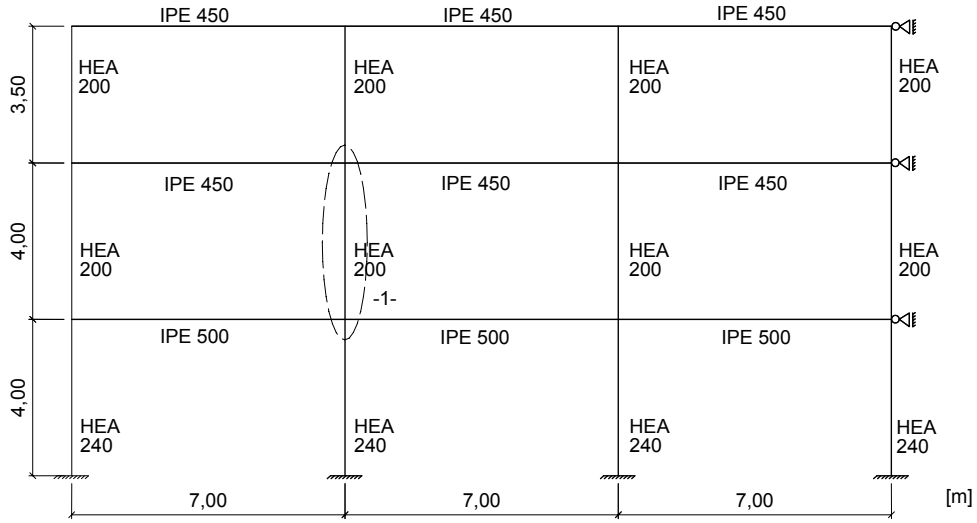
| VÝPOČET | Dokument č. | *SX010a-CZ-EU* | Strana | *1* z *7* | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Název | ***Řešený příklad: Spojitý sloup průřezu H nebo pravoúhlé trubky ve vícepodlažní budově*** | | | |
| | Eurokód | *EN 1993-1-1* | | | |
| | Připravil | *Matthias Oppe* | Datum | *červen 2005* | |
| | Zkontroloval | *Christian Müller* | Datum | *červen 2005* | |

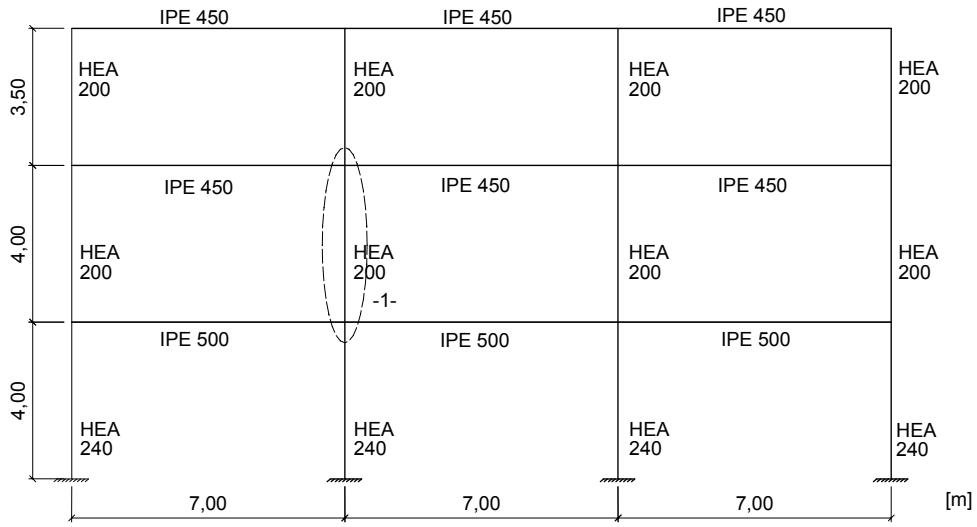
# Řešený příklad: Spojitý sloup průřezu H nebo pravoúhlé trubky ve vícepodlažní budově

***Tento příklad se zabývá spojitými sloupy průřezu H nebo RHS v mnohopodlažní budově s tuhými styčníky. Ukazuje výpočet vzpěrné únosnosti sloupu pro různé válcované průřezy (průřez H nebo RHS), různé značky oceli a délky prutu.***

a) konstrukce s neposuvnými styčníky




b) konstrukce s posuvnými styčníky



## Základní údaje

Navrhněte spojitý sloup v mnohopodlažní budově vzhledem k těmto údajům.

- Dílčí součinitel: $\gamma_{M1} = 1{,}00$

- Rozpětí: 7,00 m
- Délka sloupu: 3,50 / 4,00 m
- Značka oceli: S355
- Klasifikační skupina: Třída 1
- Normalová síla sloupu -1-: 743 kN

- Sloupy: HE 200 A: $I_y = 3690$ cm$^4$
  $A = 53{,}8$ cm²
  HE 240 A: $I_y = 7760$ cm$^4$
  $A = 76{,}8$ cm²
- Nosníky: IPE 450: $I_y = 33740$ cm$^4$
  IPE 500: $I_y = 48200$ cm$^4$

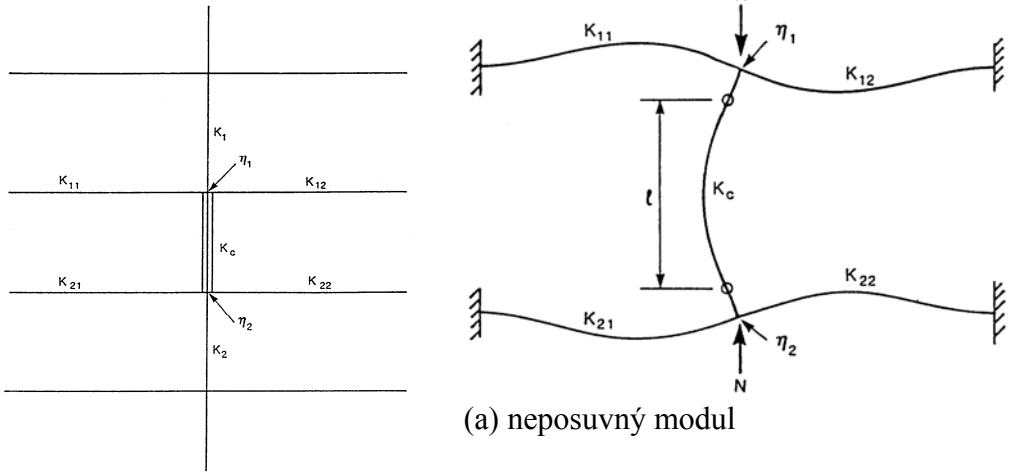
## Mez kluzu

Značka oceli S355

Maximální tloušťka průřezu sloupu je 10,0 mm < 40 mm, takže:
$f_y = 355$ N/mm$^2$

**Pozn.**: Národní příloha může předepsat buď hodnoty $f_y$ z tab. 3.1 nebo hodnoty z výrobkové normy.

## a) Konstrukce s neposuvnými styčníky:




(a) neposuvný modul

Rozdělovací součinitele $\eta_1$ a $\eta_2$: Viz NCCI SN008

Nosníky nejsou závislé na normálových silách. Natočení konců nosníků jsou přibližně stejná a vzájemně protichůdná (jednoduchá křivost).

Takže účinnou tuhost lze vypočítat podle

$k_c$ = součinitel tuhosti sloupu $I/l$

$k_{ij}$ = součinitel efektivní tuhosti nosníku $0{,}5I/l$

takže:
$$\eta_1 = \frac{k_c + k_1}{k_c + k_1 + k_{11} + k_{12}} = \frac{\frac{3690}{400} + \frac{3690}{350}}{\frac{3690}{400} + \frac{3690}{350} + 2 \times 0{,}5\frac{33740}{700}} = 0{,}291$$

$$\eta_2 = \frac{k_c + k_2}{k_c + k_2 + k_{21} + k_{22}} = \frac{\frac{3690}{400} + \frac{7760}{400}}{\frac{3690}{400} + \frac{7760}{400} + 2 \times 0{,}5\frac{48200}{700}} = 0{,}294$$

$$\frac{L_{cr}}{L} = 0{,}595$$ SN008 Obr. 2.1

nebo
$$\frac{L_{cr}}{L} = 0{,}5 + 0{,}14(\eta_1 + \eta_2) + 0{,}055(\eta_1 + \eta_2)^2$$

$$= 0{,}5 + 0{,}14(0{,}291 + 0{,}294) + 0{,}055(0{,}291 + 0{,}294)^2 = 0{,}601$$

## Návrh vzpěrné únosnosti tlačeného prutu

Pro stanovení návrhové vzpěrné únosnosti sloupu $N_{b,Rd}$ je třeba určit součinitel vzpěrnosti $\chi$ z příslušné vzpěrné křivky. Tento součinitel je určen výpočtem z relativní štíhlosti $\bar{\lambda}$ založeným na pružné kritické síle pro odpovídající tvar vybočení a na únosnosti příčného řezu v tlaku.

### Pružná kritická síla pro příslušný tvar vybočení $N_{cr}$

Kritickou sílu lze vypočítat z výrazu :

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times EI_y}{L_{cr,y}^{\ 2}} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 3690}{240{,}2^2} = 13250 \text{ kN}$$

$E$ je modul pružnosti : $E = 210000$ N/mm$^2$

$L_{cr}$ je vzpěrná délka při rovinném vybočení: $L_{cr,y} = 0{,}601 \times 400 = 240{,}2$ cm

### Relativní štíhlost

Relativní štíhlost je dána vztahem :

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{53{,}8 \times 35{,}5}{13250}} = 0{,}380$$

Pro štíhlost $\bar{\lambda} \le 0{,}2$ nebo pro $\frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \le 0{,}04$ může být vliv vzpěru zanedbán a provedena pouze kontrola příčného řezu.

### Součinitel vzpěrnosti

Viz také SX002

Pro osový tlak v prutech by hodnota $\chi$ závisející na relativní štíhlosti $\bar{\lambda}$ měla být stanovena z příslušné vzpěrnostní křivky podle:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{but} \quad \chi \le 1{,}0$$

EN 1993-1-1 § 6.3.1.2 (1)

kde : $\phi = 0{,}5\left[1 + \alpha\left(\bar{\lambda} - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}^2\right]$

$\alpha$ je součinitel imperfekce.

Pro $h/b = 190/200 = 0,95 < 1,2$ a $t_f = 10,0 < 100$ mm

- vybočení k ose y-y:

Vzpěrnostní křivka *b*, součinitel imperfekce $\alpha = 0,34$

$$\phi_y = 0,5\left[1 + 0,34\left(0,38 - 0,2\right) + 0,38^2\right] = 0,603$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,603 + \sqrt{0,603^2 - 0,38^2}} = 0,934$$

**Návrhová vzpěrná únosnost tlačeného prutu**

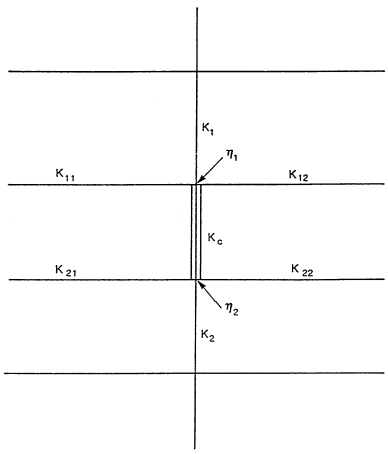
$$N_{b,Rd} = \chi \frac{A f_y}{\gamma_{M1}} = 0,934 \frac{53,8 \times 35,5}{1,0} = 1784 \text{ kN}$$

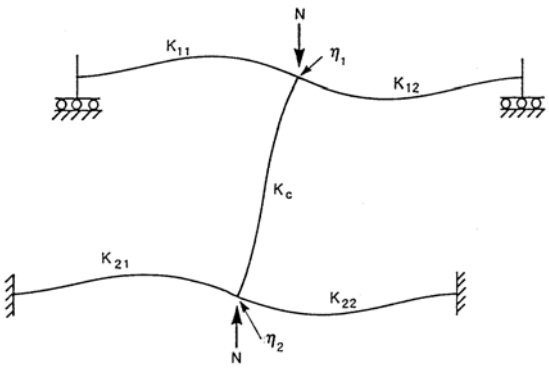
$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{743}{1784} = 0,416 < 1,0$$

**Pozn.:** Jsou-li přítomny i momenty, je třeba kontrolovat únosnost při interakci M-N.

EN1993-1-1 §6.3.3

**b) Konstrukce s posuvnými styčníky:**




(b) Posuvný modul

Distribution factors $\eta_1$ and $\eta_2$:

Nosníky nejsou závislé na normálových silách. Natočení konců nosníků jsou přibližně stejná (dvojitá křivost).

Takže účinnou tuhost lze vypočítat podle

$k_c$ = součinitel tuhosti sloupu $I/l$

$k_{ij}$ = součinitel efektivní tuhosti nosníku $1{,}5I/l$

takže:
$$\eta_1 = \frac{k_c + k_1}{k_c + k_1 + k_{11} + k_{12}} = \frac{\frac{3690}{400} + \frac{3690}{350}}{\frac{3690}{400} + \frac{3690}{350} + 2 \times 1{,}5\frac{33740}{700}} = 0{,}120$$

$$\eta_2 = \frac{k_c + k_2}{k_c + k_2 + k_{21} + k_{22}} = \frac{\frac{3690}{400} + \frac{7760}{400}}{\frac{3690}{400} + \frac{7760}{400} + 2 \times 1{,}5\frac{48200}{700}} = 0{,}122$$

$$\frac{L_{cr}}{L} = 1{,}07$$

SN008
Obr. 2.2

kde
$$\frac{L_{cr}}{L} = \sqrt{\frac{1 - 0{,}2(\eta_1 + \eta_2) - 0{,}12\eta_1\eta_2}{1 - 0{,}8(\eta_1 + \eta_2) + 0{,}6\eta_1\eta_2}}$$

$$= \sqrt{\frac{1 - 0{,}2(0{,}120 + 0{,}122) - 0{,}12 \times 0{,}120 \times 0{,}122}{1 - 0{,}8(0{,}120 + 0{,}122) + 0{,}6 \times 0{,}120 \times 0{,}122}} = 1{,}079$$

**Návrh vzpěrné únosnosti tlačeného prutu**

Pro stanovení návrhové vzpěrné únosnosti sloupu $N_{b,Rd}$ je třeba určit součinitel vzpěrnosti $\chi$ z příslušné vzpěrné křivky. Tento součinitel je určen výpočtem z relativní štíhlosti $\bar{\lambda}$ založeným na pružné kritické síle pro odpovídající tvar vybočení a na únosnosti příčného řezu v tlaku.

**Pružná kritická síla pro příslušný tvar vybočení $N_{cr}$**

Kritickou sílu lze vypočítat z výrazu :

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times EI_y}{L_{cr,y}^{\ 2}} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 3690}{431{,}8^2} = 4102 \text{ kN}$$

$E$ modul pružnosti : $E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$

$L_{cr}$ je vzpěrná délka při rovinném vybočení: $L_{cr,y} = 1{,}079 \times 400 = 431{,}8 \text{ cm}$

**Relativní štíhlost**

Relativní štíhlost je dána vztahem:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{53{,}8 \times 35{,}5}{4102}} = 0{,}682$$

Pro štíhlost $\bar{\lambda} \le 0{,}2$ nebo pro $\frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \le 0{,}04$ může být vliv vzpěru zanedbán a provedena pouze kontrola příčného řezu.

**Součinitel vzpěrnosti**

Pro osový tlak v prutech by hodnota $\chi$ závisející na relativní štíhlosti $\bar{\lambda}$ měla být stanovena z příslušné vzpěrnostní křivky podle:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{but} \quad \chi \le 1{,}0$$

EN 1993-1-1 § 6.3.1.2 (1)

kde : $\phi = 0{,}5\left[1 + \alpha\left(\bar{\lambda} - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}^2\right]$

$\alpha$ je součinitel imperfekce.

Pro $h/b = 190/200 = 0,95 < 1,2$ a $t_f = 10,0 < 100$ mm

- vybočení k ose y-y:

Vzpěrnostní křivka *b*, součinitel imperfekce $\alpha = 0,34$

$$\phi_y = 0,5\left[1 + 0,34\left(0,682 - 0,2\right) + 0,682^2\right] = 0,815$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,815 + \sqrt{0,815^2 - 0,682^2}} = 0,794$$

**Návrhová vzpěrná únosnost tlačeného prutu**

$$N_{b,Rd} = \chi \frac{A f_y}{\gamma_{M1}} = 0,794 \frac{53,8 \times 35,5}{1,0} = 1516 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{743}{1516} = 0,490 < 1,0$$

**Pozn.:** Jsou-li přítomny I momenty, je třeba kontrolovat únosnost při interakci M-N.

EN 1993-1-1 §6.3.3

# Quality Record

| | | | |
|---|---|---|---|
| **RESOURCE TITLE** | Example: Continuous column in a multi-storey building using an H-section or RHS | | |
| **Reference(s)** | | | |
| **ORIGINAL DOCUMENT** | | | |
| | **Name** | **Company** | **Date** |
| **Created by** | Matthias Oppe | RWTH | 23/06/05 |
| **Technical content checked by** | Christian Müller | RWTH | 23/06/05 |
| **Editorial content checked by** | | | |
| **Technical content endorsed by the following STEEL Partners:** | | | |
| **1. UK** | G W Owens | SCI | 7/7/05 |
| **2. France** | A Bureau | CTICM | 17/8/05 |
| **3. Sweden** | A Olsson | SBI | 8/8/05 |
| **4. Germany** | C Muller | RWTH | 10/8/05 |
| **5. Spain** | J Chica | Labein | 12/8/05 |
| **Resource approved by Technical Coordinator** | G W Owens | SCI | 08/06/06 |
| **TRANSLATED DOCUMENT** | | | |
| **This translation made and checked by**: T. Rotter | | CTU in Prague | 31/7/07 |
| **Translated resource approved by:** | J. Macháček | CTU in Prague | 31/7/07 |
| **National technical contact:** | F. Wald | CTU in Prague | |