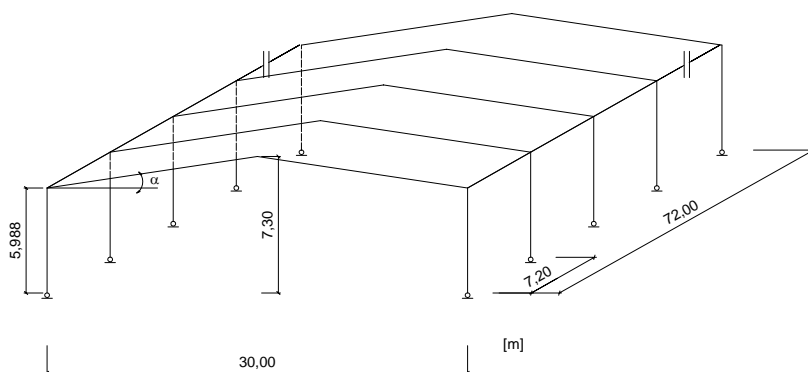


Dokument:	<i>SX030a-CZ-EU</i>	Strana	<i>1 z 27</i>
Název	<i>Řešený příklad: Pružný návrh jednodílné rámové konstrukce ze svařovaných profilů</i>		
Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
Vypracoval	<i>Arnaud Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

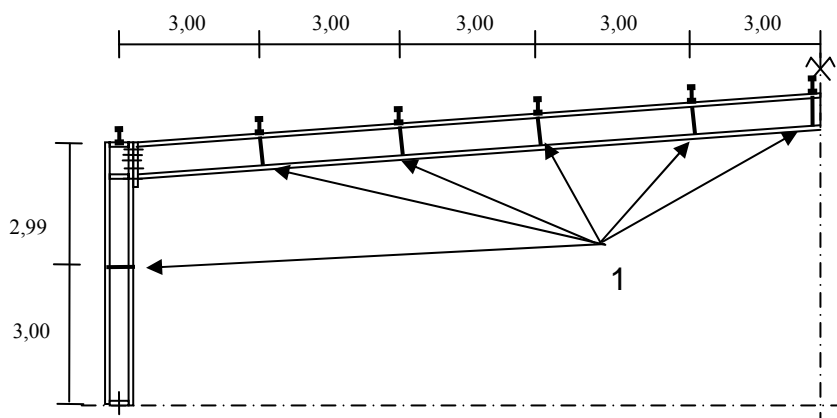
Řešený příklad: Pružný návrh jednodílné rámové konstrukce ze svařovaných profilů

Je navržena jednodílné rámové konstrukce vyrobená ze svařovaných profilů podle EN 1993-1-1. Příklad zahrnuje pružnou analýzu konstrukce podle teorie prvního řádu a všechna posouzení prvků založená na efektivních vlastnostech průřezů (třída 4).



1 Základní údaje

- Celková délka : $b = 72,00$ m
- Vzdálenost rámců: $s = 7,20$ m
- Rozpětí: $d = 30,00$ m
- Výška (max): $h = 7,30$ m
- Sklon střechy: $\alpha = 5,0^\circ$



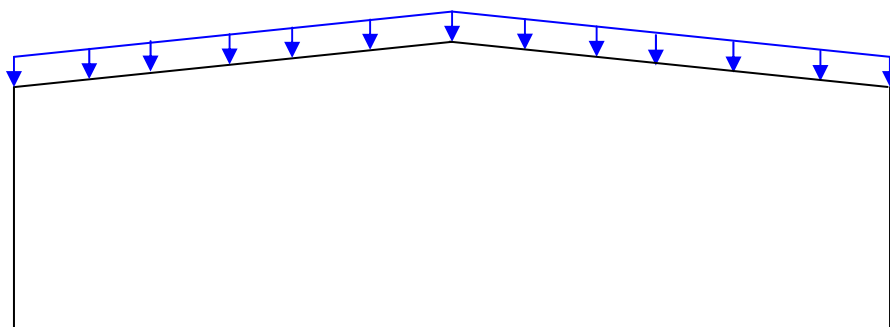
1 : Zajištění vzpěrami

Dokument:	<i>SX030a-CZ-EU</i>	Strana	<i>2 z 27</i>
Název	<i>Řešený příklad: Pružný návrh jednodílné rámové konstrukce ze svařovaných profilů</i>		
Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
Vypracoval	<i>Arnaud Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

2 Zatížení

Stálá zatížení

- Vlastní tíha nosníku
- Střešní plášť s vaznicemi $G = 0,30 \text{ kN/m}^2$
Pro vnitřní rám: $G = 0,30 \times 7,20 = 2,16 \text{ kN/m}$

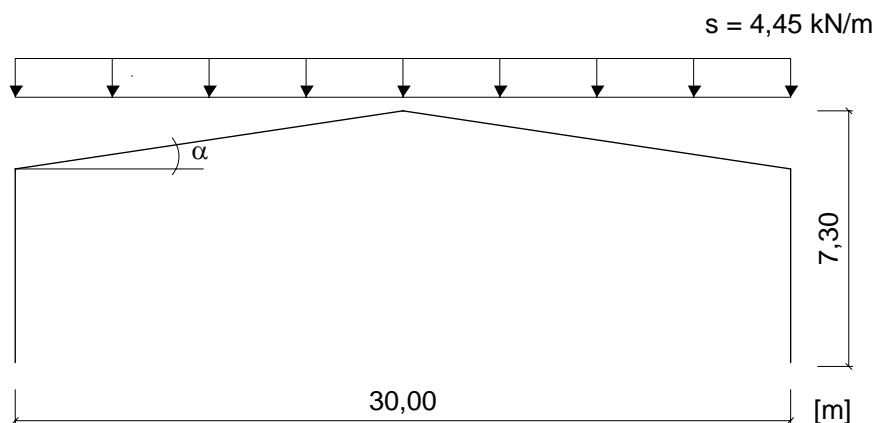


Zatížení sněhem

Charakteristické hodnoty zatížení sněhem na střeše v kN/m


$$S = 0,8 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,772 = 0,618 \text{ kN/m}^2$$

$$\Rightarrow \text{pro vnitřní rám: } S = 0,618 \times 7,20 = 4,45 \text{ kN/m}$$



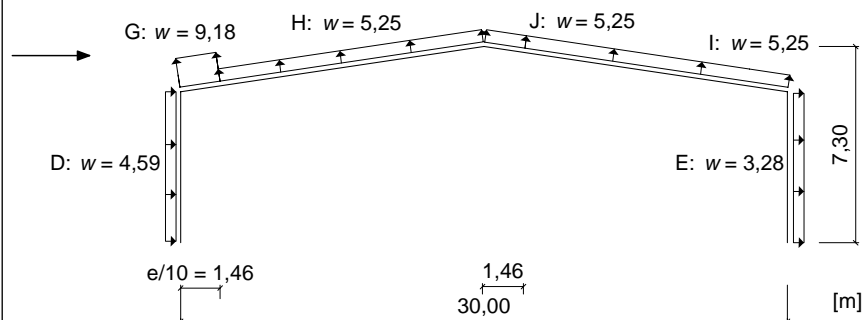
EN 1991-1-1

EN 1991-1-3

<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	SX030a-CZ-EU	Strana	3 z 27
	Název	Řešený příklad: Pružný návrh jednodílné rámové konstrukce ze svařovaných profilů		
	Eurokód	EN 1993-1-1		
	Vypracoval	Arnaud Lemaire	Datum	duben 2006
	Kontroloval	Alain Bureau	Datum	duben 2006

Zatížení větrem

Charakteristické hodnoty zatížení větrem v kN/m pro vnitřní rám



EN 1991-1-4

3 Kombinace zatížení

EN1990

Parciální součinitele spolehlivosti

- $\gamma_{Gmax} = 1,35$ (stálá zatížení)
- $\gamma_{Gmin} = 1,0$ (stálá zatížení)
- $\gamma_Q = 1,50$ (nahodilá zatížení)
- $\psi_0 = 0,50$ (sníh)
- $\psi_0 = 0,60$ (vítr)
- $\gamma_{M0} = 1,0$
- $\gamma_{M1} = 1,0$

EN 1990
[Tabulka A1.1](#)

Kombinavce MSÚ

EN 1990

- Kombinace 101 : $\gamma_{Gmax} G + \gamma_Q S$
- Kombinace 102 : $\gamma_{Gmin} G + \gamma_Q W$
- Kombinace 103 : $\gamma_{Gmax} G + \gamma_Q S + \gamma_Q \psi_0 W$
- Kombinace 104 : $\gamma_{Gmin} G + \gamma_Q S + \gamma_Q \psi_0 W$
- Kombinace 105 : $\gamma_{Gmax} G + \gamma_Q \psi_0 S + \gamma_Q W$
- Kombinace 106 : $\gamma_{Gmin} G + \gamma_Q \psi_0 S + \gamma_Q W$

Kombinace MSP

EN 1990

- Kombinace 201 $G + S$
- Kombinace 202 $G + W$

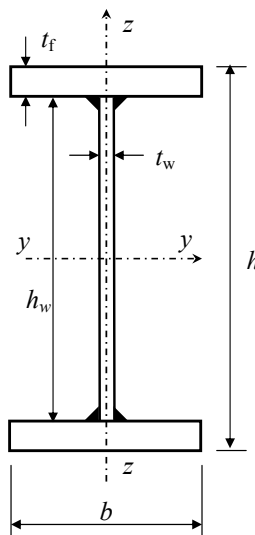
Dokument:	<i>SX030a-CZ-EU</i>	Strana	<i>4 z 27</i>
Název	<i>Řešený příklad: Pružný návrh jednodílné rámové konstrukce ze svařovaných profilů</i>		
Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
Vypracoval	<i>Arnaud Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

4 Průřezy

Sloup

Svařovaný průřez – Třída oceli S355 ($\varepsilon = 0,81$)

Šířka pásnice	$b = 250 \text{ mm}$
Tloušťka pásnice	$t_f = 12 \text{ mm}$
Výška stěny	$h_w = 800 \text{ mm}$
Tloušťka stěny	$t_w = 6 \text{ mm}$
Celková výška	$h = 824 \text{ mm}$
Koutový svar	$a = 3 \text{ mm}$
Hmotnost	$84,8 \text{ kg/m}$




Plocha průřezu	$A = 108 \text{ cm}^2$
Moment setrvačnosti /yy	$I_y = 124500 \text{ cm}^4$
Moment setrvačnosti /zz	$I_z = 3126 \text{ cm}^4$
Moment tuhosti v prostém kroucení	$I_t = 34,56 \text{ cm}^4$
Výsečový moment setrvačnosti	$I_w = 5,151 \cdot 10^6 \text{ cm}^6$
Elastický modul průřezu /yy	$W_{el,y} = 3022 \text{ cm}^3$
Plastický modul průřezu /yy	$W_{pl,y} = 3396 \text{ cm}^3$
Elastický modul průřezu /zz	$W_{el,z} = 250,1 \text{ cm}^3$
Plastický modul průřezu /zz	$W_{pl,z} = 382,2 \text{ cm}^3$

Příčel

Svařovaný průřez – Třída oceli S355 ($\varepsilon = 0,81$)

Výška	$h = 824 \text{ mm}$
Výška stěny	$h_w = 800 \text{ mm}$
Šířka	$b = 240 \text{ mm}$
Tloušťka stěny	$t_w = 6 \text{ mm}$
Tloušťka pásnice	$t_f = 12 \text{ mm}$
Svar	$a = 3 \text{ mm}$
Hmotnost	$82,9 \text{ kg/m}$

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX030a-CZ-EU</i>	Strana	<i>5 z 27</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružný návrh jednodílní rámové konstrukce ze svařovaných profilů</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracoval	<i>Arnaud Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

Plocha průřezu	$A = 105,6 \text{ cm}^2$
Moment setrvačnosti /yy	$I_y = 120550 \text{ cm}^4$
Moment setrvačnosti /zz	$I_z = 2766 \text{ cm}^4$
Moment tuhosti v prostém kroucení	$I_t = 33,41 \text{ cm}^4$
Výsečový moment setrvačnosti	$I_w = 4,557 \cdot 10^6 \text{ cm}^6$
Elastický modul průřezu /yy	$W_{el,y} = 2926,0 \text{ cm}^3$
Plastický modul průřezu /yy	$W_{pl,y} = 3299 \text{ cm}^3$
Elastický modul průřezu /zz	$W_{el,z} = 230,5 \text{ cm}^3$
Plastický modul průřezu /zz	$W_{pl,z} = 352,8 \text{ cm}^3$

5 Globální analýza

Patky sloupů jsou uvažovány kloubové.

Přípoje příčle na sloupy jsou uvažovány dokonale tuhé.

Rámová konstrukce byla modelována v programu EFFEL.

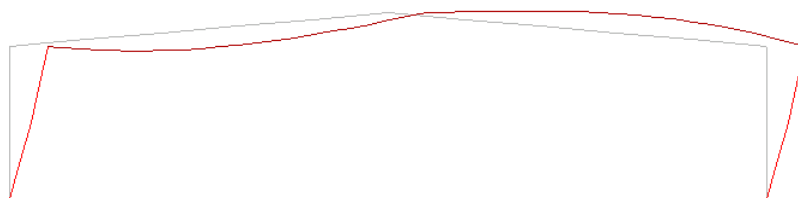
Součinitel α_{cr}

Aby byla ověřena citlivost rámové konstrukce na účinky 2. řádu, je provedena analýza posuvnosti styčnicků pro výpočet součinitele α_{cr} , který vyjadřuje zvýšení návrhového zatížení při dosažení ztráty stability v pružném stavu, pro kombinaci s největším svislým zatížením:

Kombinace 101: $\gamma_{Gmax} G + \gamma_Q Q_s$

Pro tuto kombinaci je součinitel $\alpha_{cr} = 29,98$

Tvar deformace je znázorněn dále.



Takže : $\alpha_{cr} = 29,98 > 10$

Může být proveden výpočet podle teorie 1. řádu.

EN 1993-1-1


[§ 5.2](#)

EN 1993-1-1

[§ 5.2.1](#)

EN 1993-1-1

[§5.2.1 \(3\)](#)

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX030a-CZ-EU</i>	Strana	6 z 27
	Název	Řešený příklad: Pružný návrh jednodílné rámové konstrukce ze svařovaných profilů		
	Eurokód	EN 1993-1-1		
	Vypracoval	Arnaud Lemaire	Datum	duben 2006
	Kontroloval	Alain Bureau	Datum	duben 2006

Vodorovné imperfekce mohou být zanedbány, pokud $H_{Ed} \geq 0,15 V_{Ed}$.

Účinek počátečních vodorovných imperfekcí může být nahrazen ekvivalentními vodorovnými silami:

$$H_{eq} = \phi V_{Ed} \quad \text{v kombinaci, kde } H_{Ed} < 0,15 |V_{Ed}|$$

EN 1993-1-1

[§ 5.3.2 \(4\)](#)

Komb. MSÚ	Levý sloup 1		Pravý sloup 2		Celkem		$0,15 V_{Ed} $
	$H_{Ed,1}$ kN	$V_{Ed,1}$ kN	$H_{Ed,2}$ kN	$V_{Ed,2}$ kN	H_{Ed} kN	V_{Ed} kN	
101	-111,28	-167,12	111,28	-167,12	0,00	-334,24	50,14
102	89,29	83,80	-19,36	61,81	69,93	145,61	21,84
103	-39,16	-87,06	81,12	-100,26	41,96	-187,32	28,10
104	-28,33	-69,69	70,30	-82,89	41,97	-152,58	22,89
105	43,70	16,37	26,23	-5,62	69,93	10,75	1,61
106	54,52	33,74	15,41	11,74	69,93	45,48	6,82

Účinky imperfekcí

Globální počáteční vodorovné imperfekce mohou být určeny ze vztahu

$$\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m,$$

kde $\phi_0 = 1/200$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{7,30}} = 0,74$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5(1 + \frac{1}{m})} = 0,866 \quad (m = 2 \text{ počet sloupů})$$

Takže : $\phi = \frac{1}{200} \times 0,740 \times 0,866 = 3,2 \cdot 10^{-3} = 1/312$

EN 1993-1-1

[§ 5.3.2 \(3\)](#)

Dokument:	<i>SX030a-CZ-EU</i>	Strana	7 z 27
Název	<i>Řešený příklad: Pružný návrh jednodílné rámové konstrukce ze svařovaných profilů</i>		
Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
Vypracoval	<i>Arnaud Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

Vodorovné imperfekce je třeba vzít v úvahu pouze v kombinaci 101:

V_{Ed}	$H_{eq} = \phi \cdot V_{Ed}$
kN	kN
167,12	0,535

H_{eq} je ekvivalentní vodorovná síla působící ve vrcholu každého sloupu.

6 Výsledky pružné analýzy

6.1 Mezní stav použitelnosti

Maximální svislý průhyb

V kombinaci 201 ($G + S$): $w_y = 74 \text{ mm} = L/405$

Pro zatížení pouze sněhem (S): $w_y = 44 \text{ mm} = L/682$

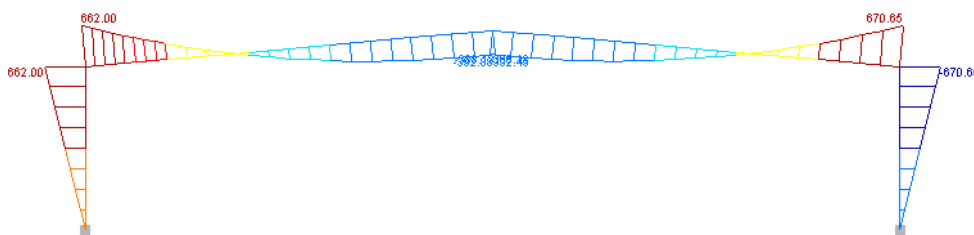
Vodorovné deformace ve vrcholu sloupu:

Pro zatížení pouze větrem (W): $w_x = 16 \text{ mm} = h/374$

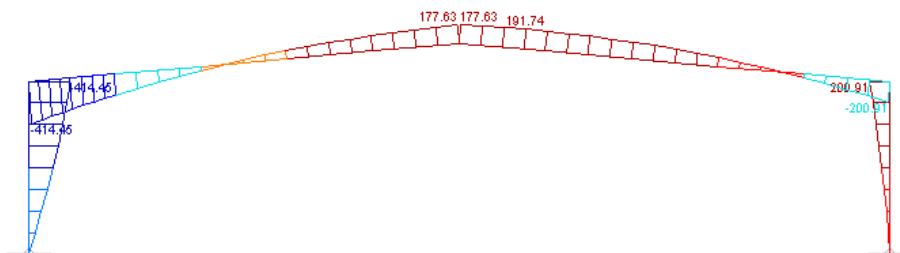
6.2 Mezní stav únosnosti

Jsou uvedeny průběhy momentů v kNm pro všechny kombinace.

Kombinace 101



Kombinace 102



EN 1993-1-1

[§ 5.3.2 \(7\)](#)

[EN 1993-1-1](#)

[§ 7](#)

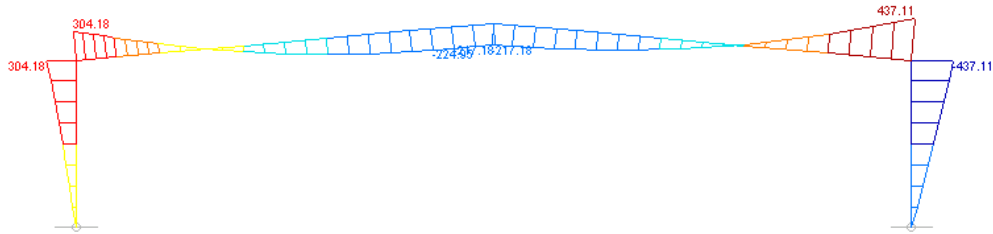
a

EN 1990

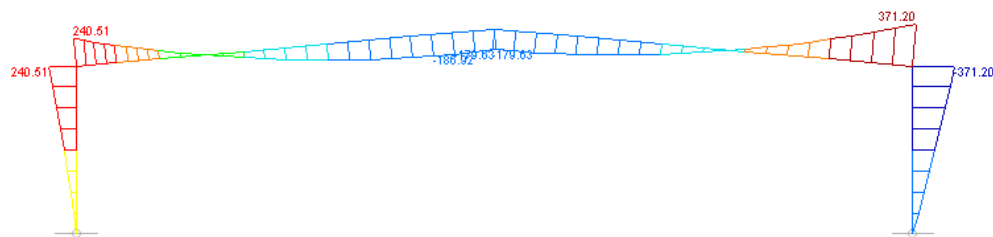


Dokument:	<i>SX030a-CZ-EU</i>	Strana	8 z 27
Název	Řešený příklad: Pružný návrh jednodílné rámové konstrukce ze svařovaných profilů		
Eurokód	EN 1993-1-1		
Vypracoval	Arnaud Lemaire	Datum	duben 2006
Kontroloval	Alain Bureau	Datum	duben 2006

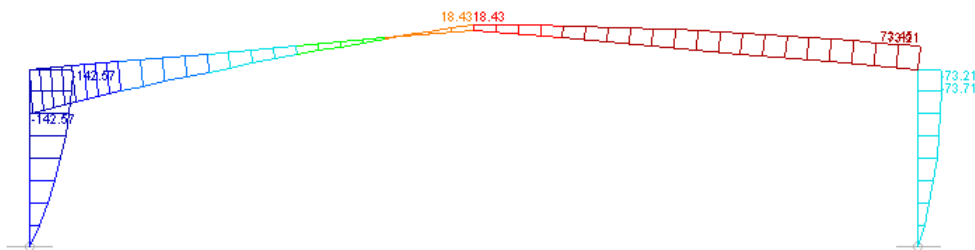
Kombinace 103



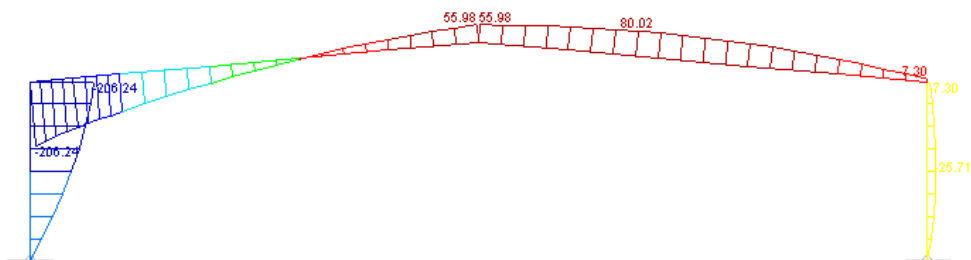
Kombinace 104




Kombinace 105



Kombinace 106:



<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX030a-CZ-EU</i>	Strana	9 z 27
	Název	<i>Řešený příklad: Pružný návrh jednodílní rámové konstrukce ze svařovaných profilů</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracoval	<i>Arnaud Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

7 Posouzení sloupu

Posouzení prvku je provedeno pro nejnepříznivější kombinaci v MSÚ: kombinaci 101.

$$N_{Ed} = 167,4 \text{ kN} \quad (\text{předpokládána konstantní po délce sloupu})$$

$$V_{z,Ed} = 112,0 \text{ kN} \quad (\text{předpokládána konstantní po délce sloupu})$$

$$M_{y,Ed} = 670,6 \text{ kNm} \quad (\text{ve vrcholu sloupu})$$

7.1 Klasifikace průřezu

Stěna: $h_w = 800 \text{ mm}$ a $t_w = 6 \text{ mm}$

$$c = 800 - 2 \times 1,414 \times 3 = 791,5 \text{ mm}$$

$$\text{Štíhlost stěny: } c / t_w = 131,9$$

Stěna je namáhána ohybem a tlakem. Poměr napětí v NSÚ je dán vztahem:

$$\psi = 2 \frac{N_{Ed}}{Af_y} - 1 = 2 \times \frac{167,4 \times 10^3}{10800 \times 355} - 1 = -0,913 < 0$$

$$\text{Omezení pro třídu 3 je: } \frac{42 \times \varepsilon}{0,67 + 0,33 \times \psi} = \frac{42 \times 0,81}{0,67 - 0,33 \times 0,913} = 92,3$$

Potom: $c / t_w = 131,9 > 92,3$ Stěna je třídy 4.

Pásnice: $b = 250 \text{ mm}$ and $t_f = 12 \text{ mm}$

$$c = \frac{250 - 6}{2} - 3 \times \sqrt{2} = 118 \text{ mm}$$

$$\text{Štíhlost pásnice: } c / t_f = 9,8$$

Pásnice je namáhána konstantním tlakem.

$$\text{Omezení pro třídu 3 je: } 14 \varepsilon = 14 \times 0,81 = 11,3$$

Potom: $c / t_f = 9,8 < 11,3$ Pásnice je třídy 3.

Průřez je tedy třídy 4. Posouzení prvku bude založeno na pružné únosnosti efektivního průřezu.

[EN 1993-1-1](#)


[§ 5.5](#)

(Tabulka 5.2)

[EN 1993-1-1](#)

[§ 5.5](#)

(Table 5.2)

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX030a-CZ-EU</i>	Strana	<i>10</i> z <i>27</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružný návrh jednodílné rámové konstrukce ze svařovaných profilů</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracoval	<i>Arnaud Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

7.2 Charakteristiky efektivního průřezu

Efektivní plocha

Efektivní plocha průřezu A_{eff} je určena pro konstantní tlak.

EN 1993-1-1

[§ 6.2.9.3 \(2\)](#)

Pásnice: Pásnice není třídy 4. Je plně započítána.

Stěna: Stěna je ovlivněna lokálním boulením: $\psi = 1$

[EN 1993-1-5](#)

Součinitel boulení: $k_{\sigma} = 4$

[§ 4.4](#)

Štíhlost:
$$\bar{\lambda}_p = \frac{c/t_w}{28,4\varepsilon\sqrt{k_{\sigma}}} = \frac{791,5/6}{28,4 \times 0,81 \times \sqrt{4}} = 2,87 > 0,673$$

(Tabulka 4.1)

Redukční součinitel:
$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \times (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2}, \text{ ale } \rho \leq 1$$

$$\rho = \frac{2,87 - 0,055 \times (3 + 1)}{2,87^2} = 0,322$$

Efektivní šířka: $b_{\text{eff}} = \rho c = 0,322 \times 791,5 = 255 \text{ mm}$

$$A_{\text{eff}} = 75,86 \text{ cm}^2$$

Efektivní modul průřezu

Efektivní modul průřezu je stanoven pro čistý ohyb.

Pásnice: Pásnice není třídy 4. Je plně započítána.

Stěna: Stěna je ovlivněna lokálním boulením: $\psi = -1$


Součinitel boulení: $k_{\sigma} = 23,9$

Štíhlost:
$$\bar{\lambda}_p = \frac{c/t_w}{28,4\varepsilon\sqrt{k_{\sigma}}} = \frac{791,5/6}{28,4 \times 0,81 \times \sqrt{23,9}} = 1,173 > 0,673$$

Redukční součinitel:
$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \times (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \text{ but } \rho \leq 1$$

$$\rho = \frac{1,173 - 0,055 \times (3 - 1)}{1,173^2} = 0,772$$

Efektivní šířka: $b_{\text{eff}} = \rho c = 0,772 \times 791,5 = 611 \text{ mm}$

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX030a-CZ-EU</i>	Strana	<i>11 z 27</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružný návrh jednodílné rámové konstrukce ze svařovaných profilů</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracoval	<i>Arnaud Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

$$b_{e1} = 0,4 b_{\text{eff}} = 244 \text{ mm}$$

$$b_{e2} = 0,6 b_{\text{eff}} = 367 \text{ mm}$$

$$b_t = 0,5 c = 396 \text{ mm}$$

Lze vypočítat vlastnosti efektivního průřezu:

$$I_{y,\text{eff}} = 121542 \text{ cm}^4$$

$$W_{\text{eff},y,\text{min}} = 2867,4 \text{ cm}^3$$

Poznámka: U symetrického průřezu nedochází k posunu těžiště efektivní plochy A_{eff} vzhledem k těžišti plného průřezu. Takže,

$$e_{Ny} = e_{Nz} = 0$$

7.3 Posouzení průřezu namáhaného ohybem a osovou silou

$$\eta_1 = \frac{N_{\text{Ed}}}{f_y A_{\text{eff}} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,\text{Ed}} + N_{\text{Ed}} e_{Ny}}{f_y W_{\text{eff},y,\text{min}} / \gamma_{M0}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \frac{167400}{355 \times 7586 / 1,0} + \frac{670,6 \cdot 10^6 + 167400 \times 0}{355 \times 2867400 / 1,0} = 0,721 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

[EN 1993-1-1](#)

[§ 6.2.9.3](#)

[EN 1993-1-5](#)

[§ 4.6](#)

7.4 Posouzení únosnosti sloupu ve smyku s vlivem boulení

$$\frac{h_w}{t_w} = 133 > 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 58,3, \text{ kde } \eta = 1,0$$

Stěna bez mezilehlých výztuh by tedy měla být posouzena s vlivem boulení ve smyku.

Smyková únosnost s vlivem boulení se počítá ze vztahu:

$$V_{b,\text{Rd}} = V_{\text{bw},\text{Rd}} + V_{\text{bf},\text{Rd}},$$

kde $V_{\text{bw},\text{Rd}}$ je příspěvek stěny:
$$V_{\text{bw},\text{Rd}} = \frac{\chi_w f_y h_w t_w}{\gamma_{M1} \sqrt{3}}$$

a $V_{\text{bf},\text{Rd}}$ je příspěvek pásnic.

Štíhlost:
$$\bar{\lambda}_w = 0,76 \sqrt{\frac{f_y}{\tau_{\text{cr}}}},$$

[EN 1993-1-1](#)


[§ 6.2.8 \(2\)](#)

[EN 1993-1-5](#)

[§ 5.2 \(1\)](#)

[EN 1993-1-5](#)

[§ 5.3](#)

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX030a-CZ-EU</i>	Strana	<i>12 z 27</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružný návrh jednodílné rámové konstrukce ze svařovaných profilů</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracoval	<i>Arnaud Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

kde $\tau_{cr} = k_{\tau} \sigma_E$ a $\sigma_E = 190000 \left(\frac{t_w}{h_w} \right)^2$

Sloup není opatřen mezilehlými příčnými výztuhami, potom:

$$k_{\tau} = 5,34$$

$$\sigma_E = 10,7 \text{ N/mm}^2$$

Potom, $\tau_{cr} = 5,34 \times 10,7 = 57,14 \text{ N/mm}^2$ a $\bar{\lambda}_w = 0,76 \sqrt{\frac{355}{57,14}} = 1,894 \geq 1,08$

Předpokládejme netuhé koncové výztuhy:

$$\chi_w = 0,83 / \bar{\lambda}_w = 0,438$$

Takže, $V_{bw,Rd} = \frac{0,438 \times 355 \times 800 \times 6 \times 10^{-3}}{1,0 \times \sqrt{3}} = 430,9 \text{ kN}$

Příspěvek pásnice může být zanedbán: $V_{bf,Rd} = 0$

Potom: $\eta_3 = \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = \frac{112,0}{430,9} = 0,26 < 1$

Poznamenejme, že protože $\bar{\eta}_3 < 0,5$, můžeme zanedbat vliv smykové únosnosti na ohybovou únosnost.

7.5 Vzpěr a klopení

Únosnost sloupu se posuzuje pomocí následujících podmínek (sloup není ohýbán v rovině menší tuhosti, $M_{z,Ed} = 0$):

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} \leq 1$$

a
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} \leq 1$$

T Součinitele k_{yy} a k_{zy} se vypočítají podle Přílohy A EN 1993-1-1.

Poznámka: $\Delta M_{y,Ed} = \Delta M_{z,Ed} = 0$ protože $e_{Ny} = e_{Nz} = 0$


[EN 1993-1-5
Příloha A](#)


[EN 1993-1-5
Tabulka 5.1](#)

[EN 1993-1-5
§ 5.5 \(1\)](#)

[EN 1993-1-5
§ 7.1 \(1\)](#)

[EN 1993-1-1
§ 6.3.3](#)

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX030a-CZ-EU</i>	Strana	<i>13 z 27</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružný návrh jednodílné rámové konstrukce ze svařovaných profilů</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracoval	<i>Arnaud Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
<p>Rámová konstrukce není citlivá na účinky druhého řádu ($\alpha_{cr} = 29,98 > 10$). Potom se vzpěrná délka pro vybočení v rovině rámu může uvažovat rovna systémové délce.</p> $L_{cr,y} = 5,99 \text{ m}$ <p>Co se týče vybočení z roviny sloupu, prvky jsou zajištěny jen uprostřed a na obou koncích. Potom</p> $L_{cr,z} = 3,00 \text{ m a } L_{cr,LT} = 3,00 \text{ m}$ <p>Únosnost sloupu</p> <ul style="list-style-type: none"> Vybočení kolmo k ose yy ($L_{cr,y} = 5,99 \text{ m}$) $N_{cr,y} = \pi^2 \frac{EI_y}{L_{cr,y}^2} = \pi^2 \frac{210000 \times 124500 \times 10}{5990^2} = 71920 \text{ kN}$ $\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{7586 \times 355}{71920 \times 10^3}} = 0,1935 < 0,2$ <p>Vliv vzpěru může být zanedbán, takže, $\chi_y = 1,0$</p> <p>Vzpěrná únosnost pro vybočení v rovině rámu je tedy rovna únosnosti příčného řezu v tlaku:</p> $N_{by,Rd} = A_{eff} f_y / \gamma_{M0} = (7586 \times 355 / 1,0) \cdot 10^{-3} = 2693 \text{ kN}$ Vybočení kolmo k ose zz ($L_{cr,z} = 3,00 \text{ m}$) $N_{cr,z} = \pi^2 \frac{EI_z}{L_{cr,z}^2} = \pi^2 \frac{210000 \times 3126 \times 10}{3000^2} = 7199 \text{ kN}$ $\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{7586 \times 355}{7199 \times 10^3}} = 0,6116$ <p>Křivka vzpěrné pevnosti: c ($\alpha_z = 0,49$)</p> $\phi_z = 0,5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right]$ $\phi_z = 0,5 \times \left[1 + 0,49 \times (0,6116 - 0,2) + 0,6116^2 \right] = 0,7879$ $\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,7879 + \sqrt{0,7879^2 - 0,6116^2}} = 0,778$ <p>Vzpěrná únosnost pro vybočení z roviny rámu je:</p> $N_{bz,Rd} = \chi_z A_{eff} f_y / \gamma_{M0} = (0,778 \times 7586 \times 355 / 1,0) \cdot 10^{-3} = 2095 \text{ kN}$ 				<p>EN 1993-1-1 § 5.2.2 (7)</p> <p>EN 1993-1-1 § 6.3.1.3 (1) § 6.3.1.2 (4)</p> <p>EN 1993-1-1 § 6.3.1.3 (1)</p> <p>EN 1993-1-1 Tabulka 6.2 § 6.3.1.2 (1)</p>

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX030a-CZ-EU</i>	Strana	<i>14 z 27</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružný návrh jednodílné rámové konstrukce ze svařovaných profilů</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracoval	<i>Arnaud Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

- **Klopení** ($L_{cr,LT} = 3,00$ m)

Je uvažována horní část sloupu.

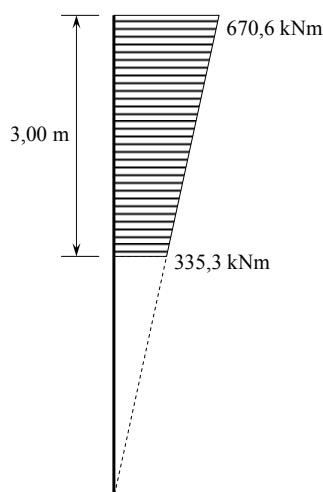
Kritický moment je vypočítán ze vztahu:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr,LT}^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr,LT}^2 GI_t}{\pi^2 EI_z}}$$

Součinitel C_1 závisí na poměru momentů, který je:

$$\psi = 335,3 / 670,6 = 0,5$$

Takže: $C_1 = 1,31$



$$M_{cr} = 1,31 \times \frac{\pi^2 \times 210000 \times 3126 \times 10^4}{3000^2 \times 10^6} \sqrt{\frac{5151000}{3126} \times 10^2 + \frac{3000^2 \times 80770 \times 345600}{\pi^2 \times 210000 \times 3126 \times 10^4}}$$

$$M_{cr} = 3873 \text{ kNm}$$

Štíhlost pro klopení obdržíme ze vztahu:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{eff,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2867,4 \times 355}{3873 \times 10^3}} = 0,5127$$

Redukční součinitel se potom vypočítá pro křivku vzpěrné pevnosti **d** a se součinitelem imperfekce: $\alpha_{LT} = 0,76$.

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \times \left[1 + 0,76 \times (0,5127 - 0,2) + 0,5127^2 \right] = 0,7502$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,7502 + \sqrt{0,7502^2 - 0,5127^2}} = 0,7705$$


a

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{eff,y} f_y}{\gamma_{M1}} = 0,7705 \times \frac{2867400 \times 355}{1,0} \times 10^{-6} = 784,3 \text{ kNm}$$

NCCI
[SN003](#)

EN 1993-1-1
[§ 6.3.2.2](#)

EN 1993-1-1
[Tabulka 6.3](#)
[Tabulka 6.4](#)
a
[§ 6.3.2.2](#)

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX030a-CZ-EU</i>	Strana	<i>15 z 27</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružný návrh jednodílné rámové konstrukce ze svařovaných profilů</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracoval	<i>Arnaud Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

Součinitele k_{yy} a k_{zy} jsou vypočítány podle Přílohy A EN 1993-1-1

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{167,4}{71920}}{1 - 1,0 \times \frac{167,4}{71920}} = 1,0$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{1 - \frac{167,4}{7199}}{1 - 0,778 \times \frac{167,4}{7199}} = 0,995$$

Kritická normálová síla pro klopení

$$N_{cr,T} = \frac{A}{I_0} \left(GI_t + \frac{\pi^2 EI_w}{h^2} \right)$$

Pro dvojose symetrický průřez,

$$I_0 = I_y + I_z = 124500 + 3126 \approx 127600 \text{ cm}^4$$

$$N_{cr,T} = \frac{10800}{127600 \cdot 10^4 \times 1000} \times \left(80770 \times 34,56 \cdot 10^4 + \pi^2 \frac{210000 \times 5151000 \cdot 10^6}{3000^2} \right)$$

$$N_{cr,T} = 10276 \text{ kN}$$

Štíhlost při klopení se vypočítá za předpokladu konstantního ohybového momentu podél prvku.

$$M_{cr,0} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr,LT}^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr,LT}^2 GI_t}{\pi^2 EI_z}}, \quad \text{kde } C_1 = 1,0$$

$$M_{cr,0} = 1,0 \times \frac{\pi^2 \times 210000 \times 3126 \times 10^4}{3000^2 \times 10^6} \sqrt{\frac{5151000}{3126} \times 10^2 + \frac{3000^2 \times 80770 \times 345600}{\pi^2 \times 210000 \times 3126 \times 10^4}}$$

$$M_{cr,0} = 2957 \text{ kNm}$$


$$\bar{\lambda}_0 = \sqrt{\frac{W_{eff,y} f_y}{M_{cr,0}}} = \sqrt{\frac{2867,4 \times 355}{2957 \times 10^3}} = 0,587$$

EN 1993-1-1
[Příloha A](#)

NCCI
[SN001](#)

NCCI
[SN003](#)

EN 1993-1-1
[Příloha A](#)

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX030a-CZ-EU</i>	Strana	<i>16 z 27</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružný návrh jednodílní rámové konstrukce ze svařovaných profilů</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracoval	<i>Arnaud Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

$$\bar{\lambda}_{0\text{lim}} = 0,2\sqrt{C_1} \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{\text{Ed}}}{N_{\text{cr,z}}}\right)\left(1 - \frac{N_{\text{Ed}}}{N_{\text{cr,T}}}\right)},$$

kde $N_{\text{cr,TF}} = N_{\text{cr,T}}$ (dvojose symetrický průřez)

$$\bar{\lambda}_{0\text{lim}} = 0,2\sqrt{1,31} \times \sqrt[4]{\left(1 - \frac{167,4}{7199}\right)\left(1 - \frac{167,4}{10276}\right)} = 0,227$$

$$\bar{\lambda}_0 > \bar{\lambda}_{0\text{lim}}$$

$$C_{\text{my}} = C_{\text{my},0} + (1 - C_{\text{my},0}) \frac{\sqrt{\varepsilon_y} a_{\text{LT}}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} a_{\text{LT}}},$$

kde: $\varepsilon_y = \frac{M_{y,\text{Ed}}}{N_{\text{Ed}}} \frac{A_{\text{eff}}}{W_{\text{eff,y}}} = \frac{670,6}{167,4} \times 100 \times \frac{75,86}{2867,4} = 10,60$ (třída 4)

a $a_{\text{LT}} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \approx 1,0$

Výpočet součinitele ekvivalentního konstantního momentu $C_{\text{my},0}$

$$C_{\text{my},0} = 0,79 + 0,21\psi_y + 0,36(\psi_y - 0,33) \frac{N_{\text{Ed}}}{N_{\text{cr,y}}}$$

Pro $\psi_y = 0$ $C_{\text{my},0} = 0,79 + 0,21 \times 0 + 0,36 \times (0 - 0,33) \frac{167,4}{71920} = 0,790$

Výpočet součinitelů C_{my} a $C_{\text{m,LT}}$:

$$C_{\text{my}} = 0,790 + (1 - 0,790) \frac{\sqrt{10,60} \times 1,0}{1 + \sqrt{10,60} \times 1,0} = 0,951$$

$$C_{\text{mLT}} = C_{\text{my}}^2 \frac{a_{\text{LT}}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{\text{Ed}}}{N_{\text{cr,z}}}\right)\left(1 - \frac{N_{\text{Ed}}}{N_{\text{cr,T}}}\right)}} \geq 1$$

$$C_{\text{mLT}} = 0,951^2 \times \frac{1,0}{\sqrt{\left(1 - \frac{167,4}{7199}\right)\left(1 - \frac{167,4}{10276}\right)}} = 0,923 < 1 \quad \text{Tedy } C_{\text{mLT}} = 1$$


EN 1993-1-1

[Příloha A](#)

Tabulka A2

EN 1993-1-1

[Příloha A](#)

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX030a-CZ-EU</i>	Strana	<i>17 z 27</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružný návrh jednodílní rámové konstrukce ze svařovaných profilů</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracoval	<i>Arnaud Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

Výpočet součinitelů k_{yy} a k_{zy} :

$$k_{yy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 0,951 \times 1 \times \frac{1,0}{1 - \frac{167,4}{71920}} = 0,953$$

$$k_{zy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 0,951 \times 1 \times \frac{0,995}{1 - \frac{167,4}{71920}} = 0,948$$

Posouzení podle vzorce pro interakci

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y f_y A_{eff}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{W_{eff,y} f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{167,4}{2693} + 0,953 \times \frac{670,6}{784,3} = 0,877 < 1 \quad \mathbf{VYHOVÍ}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z f_y A_{eff}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{W_{eff,y} f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{167,4}{2095} + 0,948 \times \frac{670,6}{784,3} = 0,890 < 1 \quad \mathbf{VYHOVÍ}$$

Sloup namáhaný kombinací vzpěrného tlaku a ohybu tedy vyhoví.

8 Posouzení příčle

Posouzení prvku je provedeno pro kombinaci 101. Maximální ohybový moment a maximální posouvající síla jsou v rámovém rohu:


$$\begin{aligned} N_{Ed} &= 124,9 \text{ kN} && \text{(předpokládá se konstantní po délce příčle)} \\ V_{y,Ed} &= 150,4 \text{ kN} && \text{(v rámovém rohu)} \\ M_{y,Ed} &= 670,6 \text{ kNm} && \text{(v rámovém rohu)} \end{aligned}$$

EN 1993-1-1

[Příloha A](#)

EN 1993-1-1

[§ 6.3.3](#)

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX030a-CZ-EU</i>	Strana	<i>18 z 27</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružný návrh jednodílní rámové konstrukce ze svařovaných profilů</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracoval	<i>Arnaud Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

8.1 Klasifikace příčného řezu

Stěna: $h_w = 800$ mm a $t_w = 6$ mm

$$c = 800 - 2 \times \sqrt{2} \times 3 = 791,5 \text{ mm}$$

$$\text{Štíhlost stěny: } c / t_w = 131,9$$

Stěna je namáhána ohybem a tlakem. Poměr napětí v MSÚ je dán vztahem:

$$\psi = 2 \frac{N_{Ed}}{Af_y} - 1 = 2 \times \frac{124,9 \times 10^3}{10560 \times 355} - 1 = -0,933 < 0$$

$$\text{Omezení pro třídu 3 je: } \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi} = \frac{42 \times 0,81}{0,67 - 0,33 \times 0,933} = 93,9$$

Potom: $c / t_w = 131,9 > 93,9$ Stěna je třídy 4.

Pásnice: $b = 240$ mm a $t_f = 12$ mm

$$c = \frac{240 - 6}{2} - 3 \times \sqrt{2} = 113 \text{ mm}$$

Štíhlost pásnice je $c / t_f = 9,4$

Omezení pro třídu 3 je: $14\varepsilon = 14 \times 0,81 = 11,3$

Potom: $c / t_f = 9,4 < 11,3$ Pásnice je třídy 3.

Průřez je tedy třídy 4. Posouzení prvku bude založeno na pružné únosnosti efektivního průřezu.

8.2 Charakteristiky efektivního průřezu

Efektivní plocha

Efektivní plocha průřezu A_{eff} je určena pro konstantní tlak

Pásnice: Pásnice není třídy 4. Je plně započtena.

Stěna: Efektivní plocha stěny je stejná jako u sloupu.

Efektivní šířka je: $b_{eff} = 255$ mm

$$A_{eff} = 73,46 \text{ cm}^2$$

EN 1993-1-1

[§ 5.5](#)

(Tabulka 5.2)


EN 1993-1-1

[§ 5.5](#)

(Tabulka 5.2)

[EN 1993-1-1](#)

[§ 6.2.9.3 \(2\)](#)

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX030a-CZ-EU</i>	Strana	<i>19 z 27</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružný návrh jednodílné rámové konstrukce ze svařovaných profilů</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracoval	<i>Arnaud Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

Efektivní modul průřezu

Efektivní modul průřezu je stanoven pro čistý ohyb.

Pásnice: Pásnice není třídy 4. Je plně započítána.

Stěna: Efektivní plocha stěny je stejná jako u sloupu.

Efektivní šířka je: $b_{\text{eff}} = 611 \text{ mm}$

$$b_{e1} = 0,4 b_{\text{eff}} = 244 \text{ mm}$$

$$b_{e2} = 0,6 b_{\text{eff}} = 367 \text{ mm}$$

$$b_t = 0,5 c = 396 \text{ mm}$$

Mohou být vypočteny charakteristiky efektivního průřezu:

$$I_{y,\text{eff}} = 117582 \text{ cm}^4$$

$$W_{\text{eff},y,\text{min}} = 2772,1 \text{ cm}^3$$

Poznámka: U symetrického průřezu nedochází k posunu těžiště efektivní plochy A_{eff} vzhledem k těžišti plného průřezu. Takže,

$$e_{N_y} = e_{N_z} = 0$$

8.3 Posouzení průřezu namáhaného ohybovým momentem a normálovou silou

$$\eta_1 = \frac{N_{\text{Ed}}}{f_y A_{\text{eff}} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,\text{Ed}} + N_{\text{Ed}} e_{N_y}}{f_y W_{\text{eff},y,\text{min}} / \gamma_{M0}} \leq 1$$

$$\eta_1 = \frac{124900}{355 \times 7346 / 1,0} + \frac{670,6 \cdot 10^6 + 124900 \times 0}{355 \times 2772100 / 1,0} = 0,729 \leq 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

8.4 Posouzení smykové únosnosti přičle s vlivem boulení

$$\frac{h_w}{t_w} = 133 > 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \times \frac{0,81}{1,0} = 58,3 \quad \text{with } \eta = 1,0$$

Něla by tedy být posouzena smyková únosnost stěny bez mezilehlých výtuh.


[EN 1993-1-1 § 6.2.9.3 \(2\)](#)

[EN 1993-1-1 § 6.2.9.3](#)

[EN 1993-1-5 § 4.6](#)

EN 1993-1-1

[§ 6.2.8 \(2\)](#)

VÝPOČET  Eurocodes made easy	Dokument:	<i>SX030a-CZ-EU</i>	Strana	20 z 27
	Název	Řešený příklad: Pružný návrh jednodílní rámové konstrukce ze svařovaných profilů		
	Eurokód	EN 1993-1-1		
	Vypracoval	Arnaud Lemaire	Datum	duben 2006
	Kontroloval	Alain Bureau	Datum	duben 2006

Únosnost ve smyku se vypočítá ze vztahu:

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd},$$

Kde $V_{bw,Rd}$ je příspěvek stěny:
$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w f_y h_w t_w}{\gamma_{M1} \sqrt{3}}$$

a $V_{bf,Rd}$ je příspěvek pásnic.

Štíhlost:
$$\bar{\lambda}_w = 0,76 \sqrt{\frac{f_y}{\tau_{cr}}},$$

kde $\tau_{cr} = k_\tau \sigma_E$ a $\sigma_E = 190000 \left(\frac{t_w}{h_w} \right)^2$

Na příčli nejsou mezilehlé příčné výztuhy, takže:

$$k_\tau = 5,34$$

$$\sigma_E = 10,7 \text{ N/mm}^2$$

Potom, $\tau_{cr} = 5,34 \times 10,7 = 57,14 \text{ N/mm}^2$ a $\bar{\lambda}_w = 0,76 \sqrt{\frac{355}{57,14}} = 1,894 \geq 1,08$

Předpokládáme netuhé koncové výztuhy:

$$\chi_w = 0,83 / \bar{\lambda}_w = 0,438$$

Potom,
$$V_{b,w,Rd} = \frac{0,438 \times 355 \times 800 \times 6 \times 10^{-3}}{1,0 \times \sqrt{3}} = 430,9 \text{ kN}$$

Příspěvek pásnic může být zanedbán: $V_{bf,Rd} = 0$

Potom:
$$\eta_3 = \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = \frac{150,4}{430,9} = 0,349 < 1$$

Poznamenejme, že protože $\bar{\eta}_3 < 0,5$, můžeme zanedbat vliv smykové únosnosti na ohybovou únosnost.

EN 1993-1-5

[§ 5.2 \(1\)](#)

EN 1993-1-5

[§ 5.3](#)

EN 1993-1-5

[Příloha A](#)

EN 1993-1-5


[Tabulka 5.1](#)

EN 1993-1-5

[§ 5.5 \(1\)](#)

EN 1993-1-5

[§ 7.1 \(1\)](#)

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX030a-CZ-EU</i>	Strana	<i>21</i> z <i>27</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružný návrh jednodílní rámové konstrukce ze svařovaných profilů</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracoval	<i>Arnaud Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

8.5 Vzpěr a klopení

Posouzení příčle se provede podle následujících podmínek (prvek není namáhán ohybem k měkké ose, $M_{z,Ed} = 0$):

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

a

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

EN 1993-1-1

[§ 6.3.3](#)

Součinitele k_{yy} a k_{zy} se vypočítají podle Přílohy A EN 1993-1-1.

Poznámka: $\Delta M_{y,Ed} = \Delta M_{z,Ed} = 0$, protože $e_{Ny} = e_{Nz} = 0$

Určení vzpěrné délky pro vybočení kolmo k ose yy:

Vzpěrná délka pro vybočení v rovině rámu se určí ze stabilitní analýzy za předpokladu, že konstrukce je zajištěna proti vybočení s ze své roviny. První vlastní tvar (na obrázku dále) je určen pro:

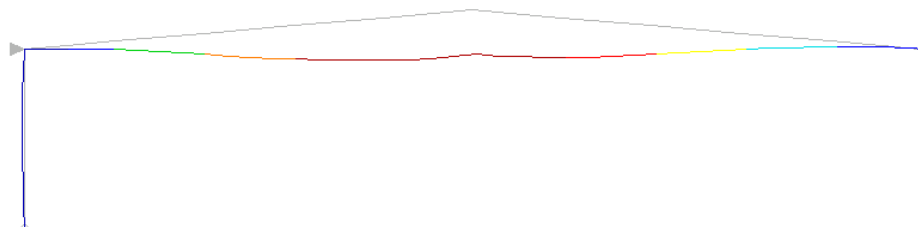
$$\alpha_{cr} = 76,43$$


Kritická osová síla pro vybočení v rovině je odvozena z tohoto součinitele:

$$N_{cr,y} = \alpha_{cr} N_{Ed} = 76,43 \times 124,9 = 9546 \text{ kN}$$

Poznamenejme, že vzpěrná délka může být určena také tímto výpočtem:

$$L_{cr,y} = \pi \sqrt{\frac{EI_y}{N_{cr}}} = \pi \times \sqrt{\frac{210000 \times 120550 \times 10^4}{9546 \times 10^3}} = 16180 \text{ mm}$$



<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX030a-CZ-EU</i>	Strana	22 z 27
	Název	<i>Řešený příklad: Pružný návrh jednodílné rámové konstrukce ze svařovaných profilů</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracoval	<i>Arnaud Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

Co se týče vybočení z roviny, prvek je příčně zajištěn po 3 m. Potom:

$$L_{cr,z} = 3,00 \text{ m a } L_{cr,LT} = 3,00 \text{ m}$$

Únosnost příčle

- **Vybočení kolmo k ose yy ($L_{cr,y} = 16,18 \text{ m}$)**

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{7346 \times 355}{9546 \times 10^3}} = 0,5228$$

Křivka vzpěrné pevnosti : **b** ($\alpha_y = 0,34$)

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

$$\phi_y = 0,5 \times \left[1 + 0,34 \times (0,5228 - 0,2) + 0,5228^2 \right] = 0,6915$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,6915 + \sqrt{0,6915^2 - 0,5228^2}} = 0,874$$

Vzpěrná únosnost pro vybočení v rovině rámu je:

$$N_{by,Rd} = \chi_y A_{eff} f_y / \gamma_{M0} = (0,874 \times 7346 \times 355 / 1,0) \cdot 10^{-3} = 2279 \text{ kN}$$

- **Vybočení kolmo k ose zz ($L_{cr,z} = 3,00 \text{ m}$)**

$$N_{cr,z} = \pi^2 \frac{EI_z}{L_{cr,z}^2} = \pi^2 \frac{210000 \times 2766 \times 10}{3000^2} = 6370 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{7346 \times 355}{6370 \times 10^3}} = 0,6398$$

Křivka vzpěrné pevnosti : **c** ($\alpha_z = 0,49$)

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

$$\phi_z = 0,5 \times \left[1 + 0,49 \times (0,6398 - 0,2) + 0,6398^2 \right] = 0,8124$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,8124 + \sqrt{0,8124^2 - 0,6398^2}} = 0,7619$$

Vzpěrná únosnost pro vybočení z roviny rámu:

$$N_{bz,Rd} = \chi_z A_{eff} f_y / \gamma_{M0} = (0,7619 \times 7346 \times 355 / 1,0) \cdot 10^{-3} = 1987 \text{ kN}$$

EN 1993-1-1

[§ 6.3.1.3 \(1\)](#)

[§ 6.3.1.2 \(4\)](#)

EN 1993-1-1

[Tabulka 6.2](#)

[§ 6.3.1.2 \(1\)](#)


EN 1993-1-1

[§ 6.3.1.3 \(1\)](#)

EN 1993-1-1

[Tabulka 6.2](#)

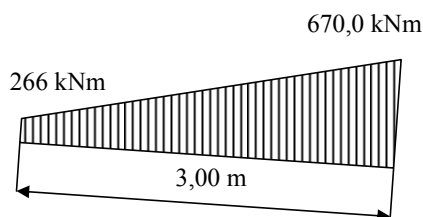
[§ 6.3.1.2 \(1\)](#)

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX030a-CZ-EU</i>	Strana	23 z 27
	Název	Řešený příklad: Pružný návrh jednodílné rámové konstrukce ze svařovaných profilů		
	Eurokód	EN 1993-1-1		
	Vypracoval	Arnaud Lemaire	Datum	duben 2006
	Kontroloval	Alain Bureau	Datum	duben 2006

- **Klopení** ($L_{cr,LT} = 3,00$ m)

Kritický moment se vypočítá ze vztahu:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr,LT}^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr,LT}^2 GI_t}{\pi^2 EI_z}}$$



Součinitel C_1 je odvozen z poměru momentů, který je:

$$\psi = 266 / 670,6 = 0,40$$

Takže: $C_1 = 1,39$

$$M_{cr} = 1,39 \times \frac{\pi^2 \times 210000 \times 2766 \times 10^4}{3000^2 \times 10^6} \sqrt{\frac{4557000}{2766} \times 10^2 + \frac{3000^2 \times 80770 \times 334100}{\pi^2 \times 210000 \times 2766 \times 10^4}}$$

$$M_{cr} = 3640 \text{ kNm}$$

Štíhlost v klopení se vypočítá ze vztahu:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{eff,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2772,1 \times 355}{3640 \times 10^3}} = 0,520$$

Redukční součinitel se potom vypočítá pro křivku vzpěrné pevnosti **d**, součinitel imperfekce je: $\alpha_{LT} = 0,76$.

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \times \left[1 + 0,76 \times (0,520 - 0,2) + 0,520^2 \right] = 0,7568$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,7568 + \sqrt{0,7568^2 - 0,520^2}} = 0,7653$$

Takže,

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{eff,y} f_y}{\gamma_{M1}} = 0,7653 \times \frac{2772,1 \times 355 \times 10^3}{1,0} = 753,1 \text{ kNm}$$

Součinitele k_{yy} a k_{zy} jsou vypočítány podle Přílohy A EN 1993-1-1

NCCI

[SN003](#)

EN 1993-1-1

[§ 6.3.2.2](#)


EN 1993-1-1


[Tabulka 6.3](#)

[Tabulka 6.4](#)

a

[§ 6.3.2.2](#)

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX030a-CZ-EU</i>	Strana	<i>24 z 27</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružný návrh jednodílné rámové konstrukce ze svařovaných profilů</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracoval	<i>Arnaud Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{124,9}{9546}}{1 - 0,874 \times \frac{124,9}{9546}} = 0,9983$ $\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{1 - \frac{124,9}{6370}}{1 - 0,7619 \times \frac{124,9}{6370}} = 0,9953$ <p>Kritická normálová síla pro vybočení zkroucením je</p> $N_{cr,T} = \frac{A}{I_0} (GI_t + \frac{\pi^2 EI_w}{h^2})$ <p>Pro dvojose symetrický průřez,</p> $I_0 = I_y + I_z = 120550 + 2766 \approx 123300 \text{ cm}^4$ $N_{cr,T} = \frac{10560}{123300 \cdot 10^4 \times 1000} \times (80770 \times 33,41 \cdot 10^4 + \pi^2 \frac{210000 \times 4557000 \cdot 10^6}{3000^2})$ $N_{cr,T} = 9219 \text{ kN}$ <p>Štíhlost v klopení se vypočítá za předpokladu konstantního ohybového momentu podél prvku.</p> $M_{cr,0} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr,LT}^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr,LT}^2 GI_t}{\pi^2 EI_z}}, \quad \text{kde } C_1 = 1,0$ $M_{cr,0} = 1,0 \times \frac{\pi^2 \times 210000 \times 2766 \times 10^4}{3000^2 \times 10^6} \sqrt{\frac{4557000}{2766} \times 10^2 + \frac{3000^2 \times 80770 \times 334100}{\pi^2 \times 210000 \times 2766 \times 10^4}}$ $M_{cr,0} = 2619 \text{ kNm}$ $\bar{\lambda}_0 = \sqrt{\frac{W_{eff,y} f_y}{M_{cr,0}}} = \sqrt{\frac{2772,1 \times 355}{2619 \times 10^3}} = 0,613$				<p>EN 1993-1-1 Annex A</p> <p>NCCI SN001</p> <p>NCCI SN003</p>

VÝPOČET 	Dokument:	<i>SX030a-CZ-EU</i>	Strana	25 z 27
	Název	<i>Řešený příklad: Pružný návrh jednodílné rámové konstrukce ze svařovaných profilů</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracoval	<i>Arnaud Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

$$\bar{\lambda}_{0\text{lim}} = 0,2\sqrt{C_1} \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{\text{Ed}}}{N_{\text{cr,z}}}\right)\left(1 - \frac{N_{\text{Ed}}}{N_{\text{cr,T}}}\right)},$$

kde $N_{\text{cr,TF}} = N_{\text{cr,T}}$ (dvojose symetrický průřez)

$$\bar{\lambda}_{0\text{lim}} = 0,2\sqrt{1,39} \sqrt[4]{\left(1 - \frac{124,9}{6370}\right)\left(1 - \frac{124,9}{9219}\right)} = 0,2338$$

$$\bar{\lambda}_0 > \bar{\lambda}_{0\text{lim}}$$

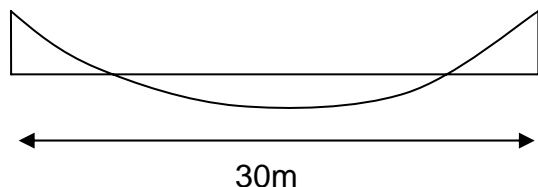
$$C_{\text{my}} = C_{\text{my},0} + (1 - C_{\text{my},0}) \frac{\sqrt{\varepsilon_y} a_{\text{LT}}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} a_{\text{LT}}},$$

kde: $\varepsilon_y = \frac{M_{y,\text{Ed}}}{N_{\text{Ed}}} \frac{A_{\text{eff}}}{W_{\text{eff,y}}} = \frac{670,6}{124,9} \times 100 \times \frac{73,46}{2772,1} = 14,23$ (Třída 4)

a: $a_{\text{LT}} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \approx 1,0$

Výpočet součinitele $C_{\text{my},0}$

Průběh momentu na příčli:



$$C_{\text{my},0} = 1 + \left[\frac{\pi^2 EI_y |\delta_x|}{L^2 |M_{y,\text{Ed}}|} - 1 \right] \frac{N_{\text{Ed}}}{N_{\text{cr,y}}}$$

$M_{y,\text{Ed}}$ = největší moment na příčli = 670,6 kNm


δ_x = největší průhyb na příčli = 106 mm

$$C_{\text{my},0} = 1 + \left[\frac{\pi^2 \times 210000 \times 120550 \times 10^4 \times |106|}{30000^2 \times |670,6 \times 10^6|} - 1 \right] \frac{124,9}{9546} = 0,9927$$

EN 1993-1-1

[Příloha A](#)

Tabulka A2

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX030a-CZ-EU</i>	Strana	26 z 27
	Název	Řešený příklad: Pružný návrh jednodílné rámové konstrukce ze svařovaných profilů		
	Eurokód	EN 1993-1-1		
	Vypracoval	Arnaud Lemaire	Datum	duben 2006
	Kontroloval	Alain Bureau	Datum	duben 2006

Výpočet součinitelů C_{my} a C_{mLT} :

$$C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) \frac{\sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}$$

$$C_{my} = 0,9927 + (1 - 0,9927) \frac{\sqrt{14,23} \times 1,0}{1 + \sqrt{14,23} \times 1,0} = 0,9985$$

$$C_{mLT} = C_{my}^2 \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}} \geq 1$$

$$C_{mLT} = 0,9985^2 \times \frac{1,0}{\sqrt{\left(1 - \frac{124,9}{6370}\right) \left(1 - \frac{124,9}{9219}\right)}} = 1,014 \geq 1$$

[EN 1993-1-1](#)

Příloha A

Výpočet součinitelů k_{yy} a k_{zy} :

$$k_{yy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 0,9985 \times 1,014 \times \frac{0,9983}{1 - \frac{124,9}{9546}} = 1,024$$

$$k_{zy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 0,9985 \times 1,014 \times \frac{0,9953}{1 - \frac{124,9}{9546}} = 1,021$$

[EN 1993-1-1](#)

Příloha A


Posouzení podle vzorce pro interakci

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y f_y A_{eff}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{W_{eff,y} f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{124,9}{2279} + 1,024 \times \frac{670,6}{753,1} = 0,967 < 1 \quad \mathbf{VYHOVÍ}$$

EN 1993-1-1

[§ 6.3.3](#)

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX030a-CZ-EU</i>	Strana	<i>27 z 27</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružný návrh jednolodní rámové konstrukce ze svařovaných profilů</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracoval	<i>Arnaud Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z f_y A_{eff}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} W_{eff,y} f_y} \leq 1$$

$$\frac{124,9}{1987} + 1,021 \times \frac{670,6}{753,1} = 0,972 < 1 \quad \mathbf{VYHOVÍ}$$

Únosnost prvku je tedy dostatečná.

Quality Record

RESOURCE TITLE	<i>Example: Elastic design of a single bay portal frame made of fabricated profiles</i>		
Reference(s)			
ORIGINAL DOCUMENT			
	Name	Company	Date
Created by	Arnaud LEMAIRE	CTICM	9/1/06
Technical content checked by	Alain BUREAU	CTICM	9/1/06
Editorial content checked by			
Technical content endorsed by the following STEEL Partners:			
1. UK	G W Owens	SCI	23/5/06
2. France	A Bureau	CTICM	23/5/06
3. Sweden	B Uppfeldt	SBI	23/5/06
4. Germany	C Müller	RWTH	23/5/06
5. Spain	J Chica	Labein	23/5/06
Resource approved by Technical Coordinator	G W Owens	SCI	12/9/06
TRANSLATED DOCUMENT			
This Translation made and checked by:	J. Dolejs	CTU in Prague	9/6/07
Translated resource approved by:	T. Vraný	CTU in Prague	28/8/07
National technical contact:	F. Wald	CTU in Prague	