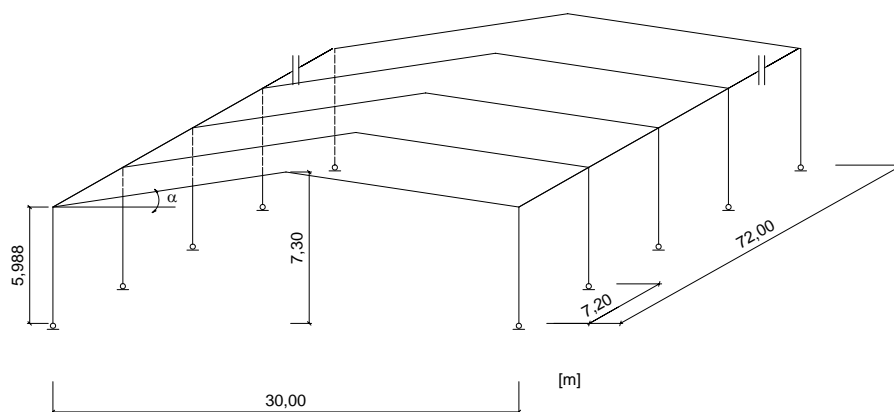


Dokument:	SX029a-CZ-EU	Strana	1 z 28
Název	Řešený příklad: Pružná analýza jednodílné rámové konstrukce		
Eurokód	EN 1993-1-1		
Vypracovala	Valérie Lemaire	Datum	duben 2006
Kontroloval	Alain Bureau	Datum	duben 2006



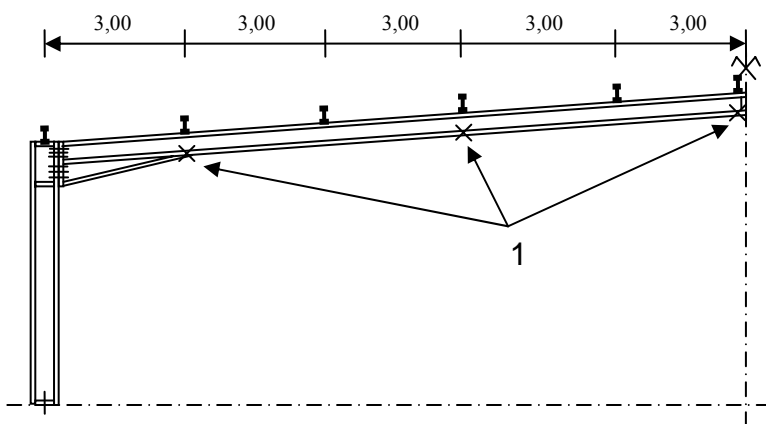
## Řešený příklad: Pružná analýza jednodílné rámové konstrukce

Je navržena jednodílné rámové konstrukce vyrobená z válcovaných profilů podle EN 1993-1-1. Příklad zahrnuje pružnou analýzu konstrukce podle teorie prvního řádu a všechna posouzení prvků pro kombinace MSÚ.



### 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:  $\alpha = 5,0^\circ$



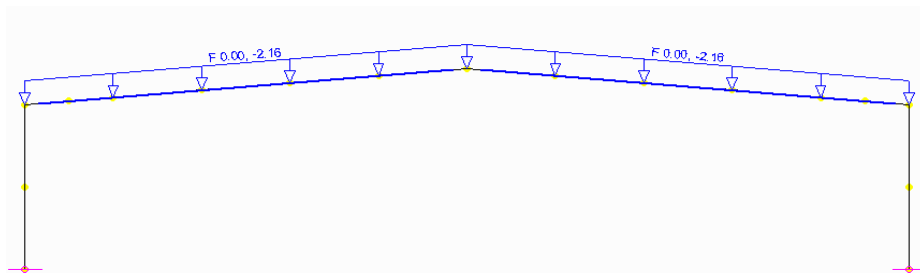
1 : Příčné zajištění proti klopení

Dokument:	<i>SX029a-CZ-EU</i>	Strana	<i>2 z 28</i>
Název	<i>Řešený příklad: Pružná analýza jednodílní rámové konstrukce</i>		
Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
Vypracovala	<i>Valérie Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

## 2 Zatížení

### 2.1 Stálá zatížení

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

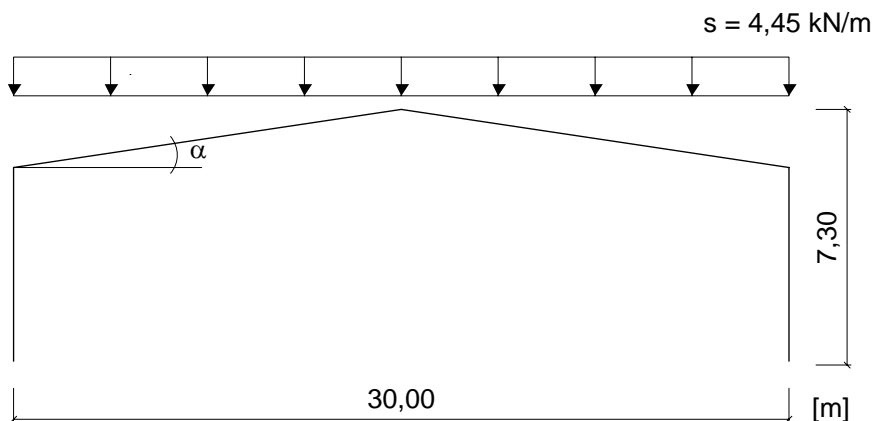


### 2.2 Zatížení sněhem

Charakteristické hodnoty zatížení sněhem na střeše v [kN/m]


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

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



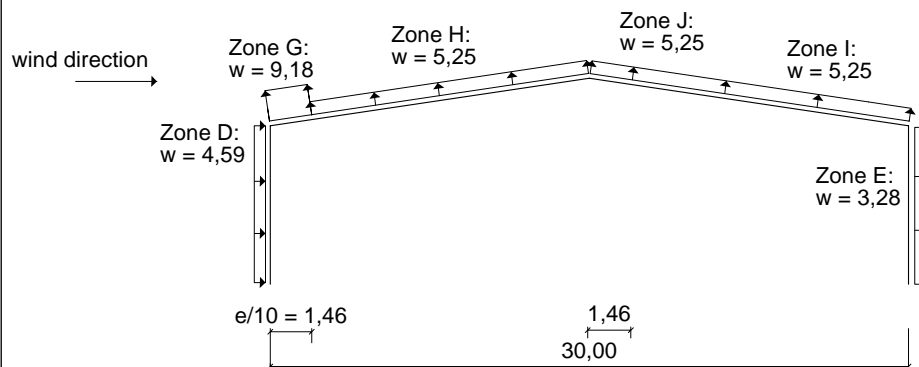
EN 1991-1-1

EN 1991-1-3

<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	SX029a-CZ-EU	Strana	3 z 28
	Název	Řešený příklad: Pružná analýza jednodílní rámové konstrukce		
	Eurokód	EN 1993-1-1		
	Vypracovala	Valérie Lemaire	Datum	duben 2006
	Kontroloval	Alain Bureau	Datum	duben 2006

## 2.3 Zatížení větrem

Charakteristické hodnoty zatížení větrem v kN/m pro vnitřní rám



EN 1991-1-4

## 3 Kombinace zatížení

EN 1990

### 3.1 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](#)

### 3.2 Kombinace MSÚ

EN 1990

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

Kombinace 102 :  $\gamma_{Gmin} G + \gamma_Q Q_w$

Kombinace 103 :  $\gamma_{Gmax} G + \gamma_Q Q_s + \gamma_Q \psi_0$

Kombinace 104 :  $\gamma_{Gmin} G + \gamma_Q Q_s + \gamma_Q \psi_0 Q_w$

Kombinace 105 :  $\gamma_{Gmax} G + \gamma_Q \psi_0 Q_s + \gamma_Q Q_w$

Kombinace 106 :  $\gamma_{Gmin} G + \gamma_Q \psi_0 Q_s + \gamma_Q Q_w$

### 3.3 Kombinace MSP

EN 1990

Kombinace a omezení by měly být specifikovány v každém projektu nebo Národní přílohou

Dokument:	<i>SX029a-CZ-EU</i>	Strana	<i>4 z 28</i>
Název	<i>Řešený příklad: Pružná analýza jednodílní rámové konstrukce</i>		
Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
Vypracovala	<i>Valérie Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>



## 4 Průřezy

### 4.1 Sloup

Návrh IPE 600 – Třída oceli S275

Výška  $h = 600 \text{ mm}$

Výška stěny  $h_w = 562 \text{ mm}$

Výška přímé části stěny

$d_w = 514 \text{ mm}$

Šířka  $b = 220 \text{ mm}$

Tloušťka stěny  $t_w = 12 \text{ mm}$

Tloušťka pásnice  $t_f = 19 \text{ mm}$

Poloměr zaoblení  $r = 24 \text{ mm}$

Hmotnost  $122,4 \text{ kg/m}$

Plocha průřezu  $A = 156 \text{ cm}^2$

Moment setrvačnosti /yy  $I_y = 92080 \text{ cm}^4$

Moment setrvačnosti /zz  $I_z = 3386 \text{ cm}^4$

Moment tuhosti v prostém kroucení

$I_t = 165,4 \text{ cm}^4$

Výsečový moment setrvačnosti

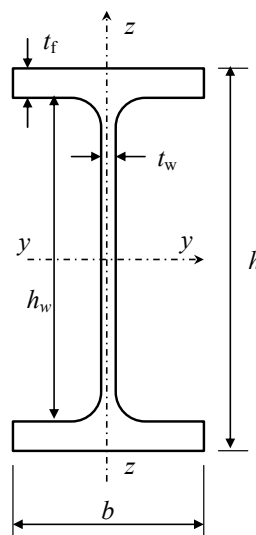
$I_w = 2845500 \text{ cm}^6$


Elastický modul průřezu /yy  $W_{el,y} = 3069 \text{ cm}^3$

Plastický modul průřezu /yy  $W_{pl,y} = 3512 \text{ cm}^3$

Elastický modul průřezu /zz  $W_{el,z} = 307,80 \text{ cm}^3$

Plastický modul průřezu /zz  $W_{pl,z} = 485,60 \text{ cm}^3$



<p style="text-align: center;"><b>VÝPOČET</b></p> 	Dokument:	<i>SX029a-CZ-EU</i>	Strana	<i>5 z 28</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružná analýza jednodílní rámové konstrukce</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracovala	<i>Valérie Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

## 4.2 Příčel

Návrh IPE 500 – Třída oceli S275

Výška	$h = 500 \text{ mm}$
Výška stěny	$h_w = 468 \text{ mm}$
Výška přímé části stěny	$d_w = 426 \text{ mm}$
Šířka	$b = 200 \text{ mm}$
Tloušťka stěny	$t_w = 10,2 \text{ mm}$
Tloušťka pásnice	$t_f = 16 \text{ mm}$
Poloměr zaoblení	$r = 21 \text{ mm}$
Hmotnost	$90,7 \text{ kg/m}$
Plocha průřezu	$A = 115,50 \text{ cm}^2$
Moment setrvačnosti /yy	$I_y = 48200 \text{ cm}^4$
Moment setrvačnosti /zz	$I_z = 2141 \text{ cm}^4$
Moment tuhosti v prostém kroucení	$I_t = 89,29 \text{ cm}^4$
Výsečový moment setrvačnosti	$I_w = 1249400 \text{ cm}^6$
Elastický modul průřezu /yy	$W_{el,y} = 1928 \text{ cm}^3$
Plastický modul průřezu /yy	$W_{pl,y} = 2194 \text{ cm}^3$
Elastický modul průřezu /zz	$W_{el,z} = 214,1 \text{ cm}^3$
Plastický modul průřezu /zz	$W_{pl,z} = 335,90 \text{ cm}^3$

## 5 Globální analýza

[EN 1993-1-1](#)  
[§ 5.2](#)

Přípoje se předpokládají:

- kloubové v uložení sloupů
- tuhé v rámových rozích.

Rámová konstrukce byla modelována v programu EFFEL.

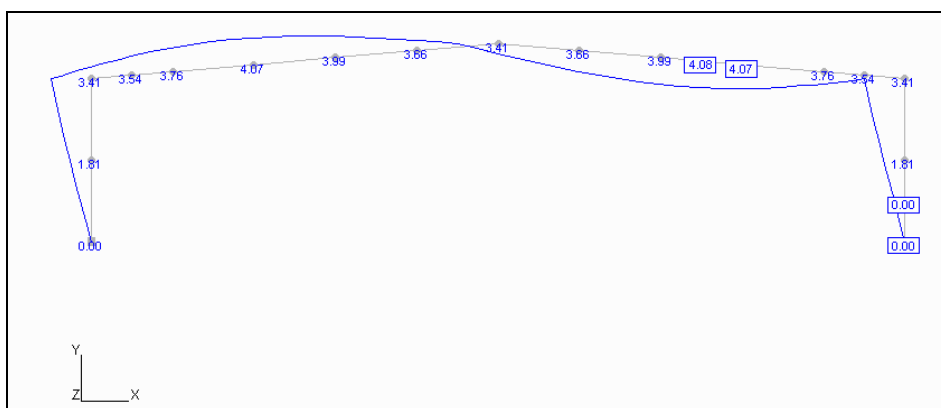
<p style="text-align: center;"><b>VÝPOČET</b></p> 	Dokument:	<i>SX029a-CZ-EU</i>	Strana	<b>6</b> z <b>28</b>
	Název	<b>Řešený příklad: Pružná analýza jednodílné rámové konstrukce</b>		
	Eurokód	<b>EN 1993-1-1</b>		
	Vypracovala	<b>Valérie Lemaire</b>	Datum	<b>duben 2006</b>
	Kontroloval	<b>Alain Bureau</b>	Datum	<b>duben 2006</b>

## 5.1 Součinitel $\alpha_{cr}$

Aby byla ověřena citlivost rámové konstrukce na účinky 2. řádu, je provedena analýza posuvnosti styčniců pro výpočet součinitele  $\alpha_{cr}$ , který vyjadřuje zvýšení návrhového zatížení při dosažení ztráty stability v pružném stavu, pro kombinaci s největším svislým zatížením:  $\gamma_{max} G + \gamma_Q Q_s$  (kombinace 101).

Pro tuto kombinaci je součinitel  $\alpha_{cr} = 14,57$

Tvar deformace je znázorněn dále.



Tedy:  $\alpha_{cr} = 14,57 > 10$

Může být proveden výpočet podle teorie 1. řádu.

## 5.2 Vliv imperfekcí

Globální počáteční vodorovné imperfekce mohou být určeny z

$$\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m = \frac{1}{200} \times 0,740 \times 0,866 = 3,204 \cdot 10^{-3}$$

kde  $\phi_0 = 1/200$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{7,30}} = 0,740$$

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

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

Počáteční vodorovné imperfekce mohou být nahrazeny ekvivalentními vodorovnými silami:


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

[EN 1993-1-1 § 5.2.1](#)

[EN 1993-1-1 § 5.2.1 \(3\)](#)

[EN 1993-1-1 § 5.3.2 \(3\)](#)

[EN 1993-1-1 § 5.3.2 \(4\)](#)

<p style="text-align: center;"><b>VÝPOČET</b></p> 	Dokument:	<i>SX029a-CZ-EU</i>	Strana	<b>7 z 28</b>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružná analýza jednodílné rámové konstrukce</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracovala	<i>Valérie Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

Následující tabulka udává reakce v podporách.

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	
<b>101</b>	-125,5	-172,4	125,5	-172,4	<b>0</b>	<b>-344,70</b>	<b>51,70</b>
<b>102</b>	95,16	80,74	-24,47	58,19	70,69	138,9	20,83
<b>103</b>	-47,06	-91,77	89,48	-105,3	42,42	-197,1	29,56
<b>104</b>	-34,59	-73,03	77,01	-86,56	42,42	-159,6	23,93
<b>105</b>	43,97	11,97	26,72	-10,57	70,69	1,40	0,21
<b>106</b>	56,44	30,71	14,25	8,17	70,69	38,88	5,83

Vodorovné imperfekce mají být uvažovány jen pro kombinaci 101:

$V_{Ed}$ kN	$H_{eq} = \phi \cdot V_{Ed}$ kN
172,4	0,552

⇒ Modelování s  $H_{eq}$  pro kombinaci 101

## 5.3 Výsledky pružné analýzy

### 5.3.1 Mezní stav použitelnosti

Kombinace a omezení by měly být specifikovány pro každý projekt nebo v Národní příloze.

V tomto případě jsou deformace obdrženy z modelu následující:

**Svislé průhyby:**

G + Sníh:  $D_y = 124 \text{ mm} = L/241$

Pouze sníh:  $D_y = 73 \text{ mm} = L/408$

**Vodorovné posuny:**

Posuny hlavy sloupu pouze od větru

$D_x = 28 \text{ mm} = h/214$

[EN 1993-1-1 § 5.3.2 \(7\)](#)

[EN 1993-1-1 § 7 a](#)

EN 1990

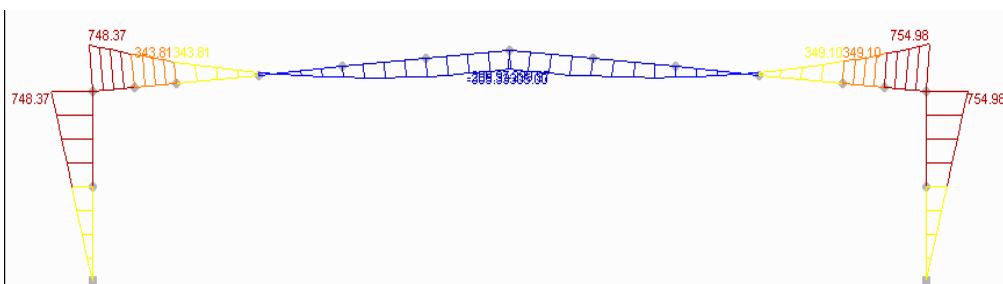


Dokument:	<i>SX029a-CZ-EU</i>	Strana	<b>8</b> z <b>28</b>
Název	<b>Řešený příklad: Pružná analýza jednodílní rámové konstrukce</b>		
Eurokód	<b>EN 1993-1-1</b>		
Vypracovala	<b>Valérie Lemaire</b>	Datum	<b>duben 2006</b>
Kontroloval	<b>Alain Bureau</b>	Datum	<b>duben 2006</b>

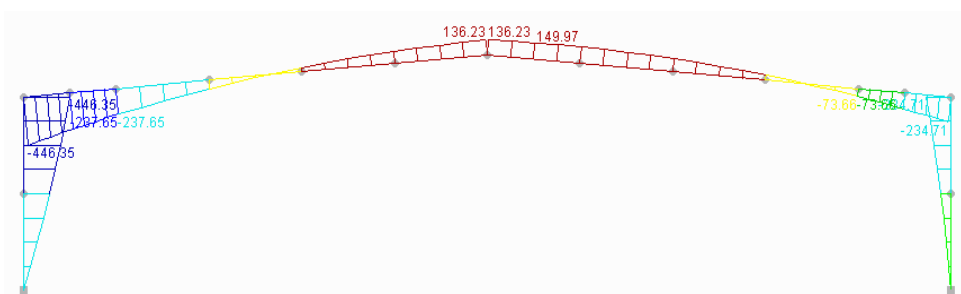
### 5.3.2 Mezní stav únosnosti

Průběh momentu v kNm

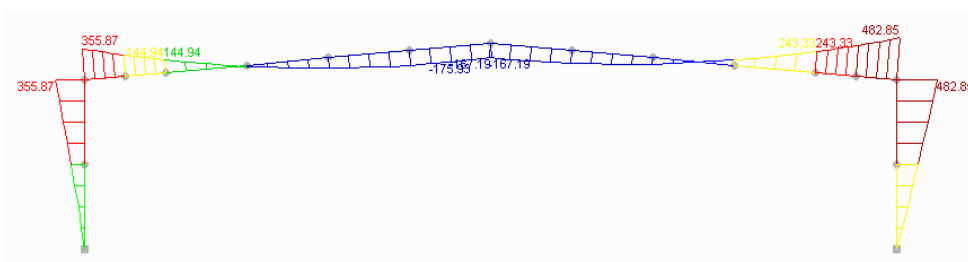
Kombinace 101:



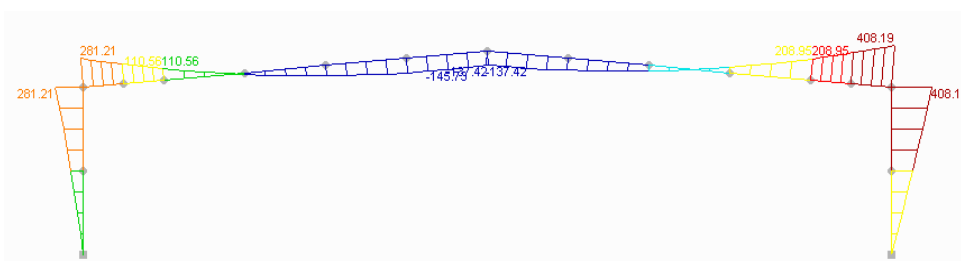
Kombinace 102:




Kombinace 103:



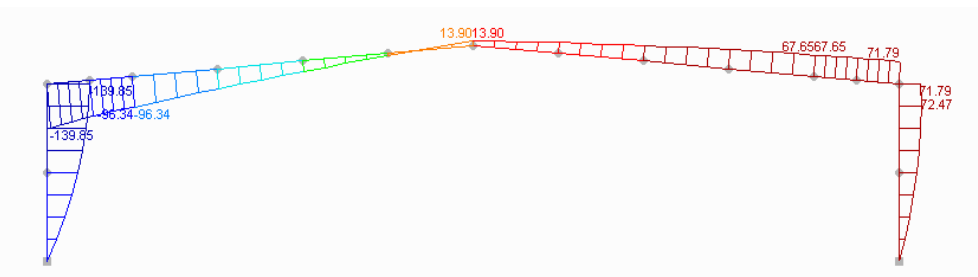
Kombinace 104:



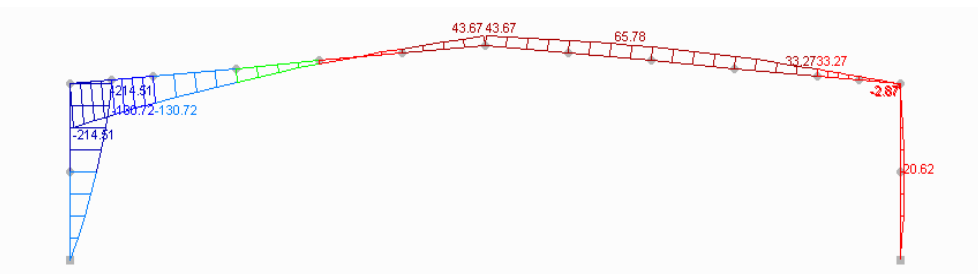


<b>VÝPOČET</b>  	Dokument:	<i>SX029a-CZ-EU</i>	Strana	<b>9</b> z <b>28</b>
	Název	<b>Řešený příklad: Pružná analýza jednodílní rámové konstrukce</b>		
	Eurokód	<b>EN 1993-1-1</b>		
	Vypracovala	<b>Valérie Lemaire</b>	Datum	<b>duben 2006</b>
	Kontroloval	<b>Alain Bureau</b>	Datum	<b>duben 2006</b>

Kombinace 105:



Kombinace 106:



## 6 Posouzení sloupu

Profil IPE 600 - S275 ( $\varepsilon = 0,92$ )

Posouzení sloupu je provedeno pro kombinaci 101 :

$$\begin{aligned}
 N_{Ed} &= 161,5 \text{ kN} && \text{(uvažována konstantní po délce sloupu)} \\
 V_{Ed} &= 122,4 \text{ kN} && \text{(uvažována konstantní po délce sloupu)} \\
 M_{Ed} &= 755 \text{ kNm} && \text{(ve vrcholu sloupu)}
 \end{aligned}$$

### 6.1 Klasifikace průřezu

- **Stěna:** Štíhlost stěny  $c / t_w = 42,83$

$$d_N = \frac{N_{Ed}}{t_w f_y} = \frac{161500}{12 \times 275} = 48,94 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{d_w + d_N}{2d_w} = \frac{514 + 48,94}{2 \times 514} = 0,548 > 0,50$$

$$\text{Omezení pro třídu 1 je : } 396\varepsilon / (13\alpha - 1) = \frac{396 \times 0,92}{13 \times 0,548 - 1} = 59,49$$

Potom :  $c / t_w = 42,83 < 59,49$  Stěna je třídy 1.

[EN 1993-1-1](#)  
[§ 5.5](#)

<b>VÝPOČET</b>  	Dokument:	<i>SX029a-CZ-EU</i>	Strana	<i>10 z 28</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružná analýza jednodílné rámové konstrukce</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracovala	<i>Valérie Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

- **Pásnice:** Štíhlost pásnice je  $c / t_f = 80 / 19 = 4,74$

Omezení pro třídu 1 je :  $9 \varepsilon = 9 \times 0,92 = 8,28$

Potom:  $c / t_f = 4,74 < 8,28$  Pásnice je třídy 1

**Průřez je tedy třídy 1. Posouzení prvku bude založeno na plastické únosnosti průřezu.**

## 6.2 Únosnost průřezu

### Únosnost ve smyku

Smyková plocha :  $A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f > \eta \cdot h_w \cdot t_w$

$\eta$  může být konzervativně uvažováno rovno 1

$$A_v = 15600 - 2 \times 220 \times 19 + (12 + 2 \times 24) \times 19 = 8380 \text{ mm}^2 > \eta \cdot h_w \cdot t_w = 6744 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = (8380 \times 275 / \sqrt{3}) \cdot 10^{-3}$$

$$V_{pl,Rd} = 1330 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} / V_{pl,Rd} = 122,40 / 1330 = 0,092 < 0,50$$

Vliv smykové síly na ohybovou únosnost může být zanedbán.

### Únosnost v prostém tlaku

$$N_{pl,Rd} = A f_y / \gamma_{M0} = (15600 \times 275 / 1,0) \cdot 10^{-3}$$

$$N_{pl,Rd} = 4290 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 161,5 \text{ kN} < 0,25 N_{pl,Rd} = 4290 \times 0,25 = 1073 \text{ kN}$$

a 
$$N_{Ed} = 161,5 \text{ kN} < \frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \times 562 \times 12 \times 275}{1 \times 1000} = 927,3 \text{ kN}$$

Vliv normálové síly na ohybovou únosnost může být zanedbán

### Únosnost v ohybu

$$M_{pl,y,Rd} = W_{pl,y} f_y / \gamma_{M0} = (3512 \times 275 / 1,0) \cdot 10^{-3}$$

$$M_{pl,y,Rd} = 965,8 \text{ kNm}$$


$$M_{y,Ed} = 755 \text{ kNm} < M_{pl,y,Rd} = 965,8 \text{ kNm}$$

[EN 1993-1-1 § 6.2.6 \(3\)](#)

[EN 1993-1-1 § 6.2.4](#)

[EN 1993-1-1 § 6.2.8 \(2\)](#)

[EN 1993-1-1 § 6.2.5](#)

<p style="text-align: center;"><b>VÝPOČET</b></p> 	Dokument:	<i>SX029a-CZ-EU</i>	Strana	<i>11 z 28</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružná analýza jednodlní rámové konstrukce</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracovala	<i>Valérie Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

### 6.3 Vzpěr a klopení

Únosnost sloupu je dostačující, pokud jsou splněny následující podmínky (sloup není ohýbán v rovině menší tuhosti,  $M_{z,Ed} = 0$ ):

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

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

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

Rámová konstrukce není citlivá na účinky druhého řádu ( $\alpha_{cr} = 14,57 > 10$ ). Potom se vzpěrná délka pro vybočení v rovině rámu může uvažovat rovna systémové délce.

$$L_{cr,y} = 5,99 \text{ m}$$

*Poznámka: U jednodlních symetrických rámových konstrukcí, které nejsou citlivé na účinky druhého řádu není obvykle posouzení vzpěru v rovině rozhodující. Rozhodující pro návrh sloupu bude odolnost příčného řezu e vrcholu sloupu.*

Co se týče vybočení z roviny sloupu, prvky jsou zajištěny jen na obou koncích. Potom :

$$\begin{aligned} L_{cr,z} &= 5,99 \text{ m} && \text{pro vybočení kolmo k měkké ose} \\ L_{cr,T} &= 5,99 \text{ m} && \text{pro vybočení v krutu} \\ \text{a } L_{cr,LT} &= 5,99 \text{ m} && \text{pro klopení} \end{aligned}$$

- **Vybočení kolmo k yy**  $L_{cr,y} = 5,99 \text{ m}$

Křivka vzpěrné pevnosti : **a** ( $\alpha_y = 0,21$ )

$$N_{cr,y} = \pi^2 \frac{EI_y}{L_{cr,y}^2} = \pi^2 \frac{210000 \times 92080 \times 10000}{5990^2 \times 1000} = 53190 \text{ kN}$$


$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{15600 \times 275}{53190 \cdot 10^3}} = 0,284$$

[EN 1993-1-1 § 6.3.3](#)

[EN 1993-1-1 § 5.2.2 \(7\)](#)

[EN 1993-1-1 § 6.3.1.2 \(2\)](#)  
[Tabulka 6.1](#)

[EN 1993-1-1 § 6.3.1.3 \(1\)](#)

<p style="text-align: center;"><b>VÝPOČET</b></p> 	Dokument:	<i>SX029a-CZ-EU</i>	Strana	<i>12 z 28</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružná analýza jednodílní rámové konstrukce</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracovala	<i>Valérie Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
$\phi_y = 0,5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \times \left[ 1 + 0,21(0,284 - 0,2) + 0,284^2 \right] = 0,5491$ $\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,5491 + \sqrt{0,5491^2 - 0,284^2}} = 0,9813$ <p>• <b>Vybočení kolmo k zz</b> <math>L_{cr,z} = 5,99</math> m</p> <p>Křivka vzpěrné pevnosti : <b>b</b> (<math>\alpha_z = 0,34</math>)</p> $N_{cr,z} = \pi^2 \frac{EI_z}{L_{cr,z}^2} = \pi^2 \frac{210000 \times 3386 \times 10000}{5990^2 \times 1000} = 1956 \text{ kN}$ $\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{15600 \times 275}{1956 \cdot 10^3}} = 1,481$ $\phi_z = 0,5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \times \left[ 1 + 0,34(1,481 - 0,2) + 1,481^2 \right] = 1,814$ $\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,814 + \sqrt{1,814^2 - 1,481^2}} = 0,3495$ <p>• <b>Klopení</b> <math>L_{cr,LT} = 5,99</math> m</p> <p>Křivka vzpěrné pevnosti : <b>c</b> (<math>\alpha_{LT} = 0,49</math>)  Průběh momentu je lineární : <math>\psi = 0</math> <math>C_1 = 1,77</math></p> $M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr,LT}^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr,LT}^2 GI_t}{\pi^2 EI_z}}$ $M_{cr} = 1,77 \times \frac{\pi^2 \times 210000 \times 3386 \times 10000}{5990^2 \times 10^6} \sqrt{\frac{2845500 \cdot 10^6}{3386 \cdot 10^4} + \frac{5990^2 \times 80770 \times 165,4 \cdot 10^4}{\pi^2 \times 210000 \times 3386 \cdot 10^4}}$ $M_{cr} = 1351 \text{ kNm}$ $\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{3512 \cdot 10^3 \times 275}{1351 \cdot 10^6}} = 0,8455$ $\phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$ <p>S hodnotami <math>\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,40</math> a <math>\beta = 0,75</math></p>				
				<a href="#">EN 1993-1-1 § 6.3.1.2 (1)</a>
				<a href="#">EN 1993-1-1 § 6.3.1.2 (2)</a> Tabulka 6.1
				<a href="#">EN 1993-1-1 § 6.3.1.3 (1)</a>
				<a href="#">EN 1993-1-1 § 6.3.1.2 (1)</a>
				<a href="#">EN 1993-1-1 § 6.3.2.3</a> Tabulka 6.5
				NCCI <a href="#">SN003</a>
				<a href="#">EN 1993-1-1 § 6.3.2.3 (1)</a>

<p style="text-align: center;"><b>VÝPOČET</b></p> 	Dokument:	<i>SX029a-CZ-EU</i>	Strana	<i>13 z 28</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružná analýza jednodílné rámové konstrukce</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracovala	<i>Valérie Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

$$\phi_{LT} = 0,5 \times [1 + 0,49(0,8455 - 0,4) + 0,75 \times 0,8455^2] = 0,8772$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{0,8772 + \sqrt{0,8772^2 - 0,75 \times 0,8455^2}} = 0,7352$$

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33\psi} = 0,7519 \quad (\psi = 0)$$

$$f = 1 - 0,5 \times (1 - k_c) [1 - 2(\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2]$$

$$f = 1 - 0,5 \times (1 - 0,7519) [1 - 2(0,8455 - 0,8)^2] = 0,8765 < 1$$

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} = \frac{0,7352}{0,8765} = 0,8388 < 1$$

Výpočet součinitelů  $k_{yy}$  a  $k_{zy}$  podle Přílohy A EN 1993-1-1

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{161,5}{53190}}{1 - 0,9813 \times \frac{161,5}{53190}} = 0,9999$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{1 - \frac{161,5}{1956}}{1 - 0,3495 \times \frac{161,5}{1956}} = 0,9447$$

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} = \frac{3512}{3069} = 1,144 < 1,5$$

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} = \frac{485,6}{307,8} = 1,578 > 1,5 \quad \Rightarrow \quad w_z = 1,5$$

Kritické břemeno pro vybočení zkroucením

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

Pro dvojose symetrický průřez,

$$I_0 = I_y + I_z + (y_0^2 + z_0^2)A = 92080 + 3386 = 95466 \text{ cm}^4$$


[EN 1993-1-1](#)  
[§ 6.3.2.3 \(2\)](#)

Tabulka 6.6

[EN 1993-1-1](#)  
[Annex A](#)

[EN 1993-1-1](#)  
[Annex A](#)

NCCI  
[SN003](#)

<p style="text-align: center;"><b>VÝPOČET</b></p> 	Dokument:	<i>SX029a-CZ-EU</i>	Strana	<i>14 z 28</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružná analýza jednodílné rámové konstrukce</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracovala	<i>Valérie Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

$$N_{cr,T} = \frac{15600}{95466 \cdot 10^4 \times 1000} \times \left( 80770 \times 165,4 \cdot 10^4 + \pi^2 \frac{210000 \times 2845500 \cdot 10^6}{5990^2} \right)$$

$$N_{cr,T} = 4869 \text{ kN}$$

$$M_{cr,0} = C_1 \frac{\pi^2 EI_Z}{L_{cr,LT}^2} \sqrt{\frac{I_W}{I_Z} + \frac{L_{cr,LT}^2 GI_t}{\pi^2 EI_Z}}$$

$M_{cr,0}$  je kritický moment pro výpočet  $\bar{\lambda}_0$  pro konstantní ohybový moment podle Přílohy A

$$\Rightarrow C_1 = 1$$

$$M_{cr,0} = 1 \times \frac{\pi^2 \times 210000 \times 3386 \cdot 10^4}{5990^2 \times 10^6} \sqrt{\frac{2845500 \cdot 10^6}{3386 \cdot 10^4} + \frac{5990^2 \times 80770 \times 165,4 \cdot 10^4}{\pi^2 \times 210000 \times 3386 \cdot 10^4}}$$

$$M_{cr,0} = 763,3 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_0 = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr,0}}} = \sqrt{\frac{3512 \cdot 10^3 \times 275}{763,3 \cdot 10^6}} = 1,125$$

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

kde  $N_{cr,TF} = N_{cr,T}$  (dvojse symetrický průřez)

$$\bar{\lambda}_{0lim} = 0,2 \sqrt{1,77} \sqrt[4]{\left(1 - \frac{161,5}{1956}\right) \left(1 - \frac{161,5}{4869}\right)} = 0,2582$$


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

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

kde  $\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \frac{A}{W_{el,y}} = 23,76$  (třída 1) a  $a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} = 0,9982$

NCCI  
[SN003](#)

[EN 1993-1-1](#)  
[Příloha A](#)

<p style="text-align: center;"><b>VÝPOČET</b></p> 	Dokument:	<i>SX029a-CZ-EU</i>	Strana	<i>15 z 28</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružná analýza jednodílné rámové konstrukce</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracovala	<i>Valérie Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

### Výpočet součinitele $C_{my,0}$

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

$$\psi_y = 0 \quad C_{my,0} = 0,79 - 0,1188 \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} = 0,7896$$

[EN 1993-1-1](#)  
[Příloha A](#)

Tabulka A2

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

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

$$C_{my} = 0,7896 + (1 - 0,7896) \frac{\sqrt{23,76 \times 0,9982}}{1 + \sqrt{23,76 \times 0,9982}} = 0,9641$$

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

$$C_{mLT} = 0,9641^2 \times \frac{0,9982}{\sqrt{\left(1 - \frac{161,5}{1956}\right)\left(1 - \frac{161,5}{4869}\right)}} = 0,9843 < 1$$

$$\Rightarrow C_{mLT} = 1$$

[EN 1993-1-1](#)  
[Příloha A](#)

### Výpočet součinitelů $C_{yy}$ a $C_{zy}$ :

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \left[ \left( 2 - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{\max} - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{\max}^2 \right) n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{161500}{15600 \times 275 / 1} = 0,03765$$

$$M_{z,Ed} = 0 \Rightarrow b_{LT} = 0 \text{ a } d_{LT} = 0 \quad \bar{\lambda}_{\max} = \bar{\lambda}_z = 1,4810$$

$$C_{yy} = 1 + (1,144 - 1) \times \left[ \left( 2 - \frac{1,6}{1,144} \times 0,9641^2 \times 1,481 - \frac{1,6}{1,144} \times 0,9641^2 \times 1,481^2 \right) \times 0,03765 \right]$$

$$C_{yy} = 0,9849 > \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}} = \frac{3069}{3512} = 0,8739$$

[EN 1993-1-1](#)  
[Příloha A](#)

<p style="text-align: center;"><b>VÝPOČET</b></p> 	Dokument:	<i>SX029a-CZ-EU</i>	Strana	<i>16 z 28</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružná analýza jednodílné rámové konstrukce</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracovala	<i>Valérie Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \left[ \left( 2 - \frac{14}{w_y^5} C_{my}^2 \lambda_{\max}^{-2} \right) n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}}$$

$$C_{zy} = 1 + (1,144 - 1) \left[ \left( 2 - \frac{14}{1,144^5} \times 0,9641^2 \times 1,481^2 \right) \times 0,03765 \right] = 0,9318$$

$$C_{zy} = 0,9318 > 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}} = 0,6 \sqrt{\frac{1,144}{1,5} \frac{3069}{3512}} = 0,4579$$

**Výpočet součinitelů  $k_{yy}$  a  $k_{zy}$  :**

$$k_{yy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{yy}}$$

$$k_{yy} = 0,9641 \times 1 \times \frac{0,9999}{1 - \frac{161,5}{53190}} \times \frac{1}{0,9849} = 0,9818$$

$$k_{zy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{zy}} 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$

$$k_{zy} = 0,9641 \times 1 \times \frac{0,9447}{1 - \frac{161,5}{53190}} \times \frac{1}{0,9318} \times 0,6 \times \sqrt{\frac{1,144}{1,5}} = 0,5138$$

**Posouzení podle vzorce pro interakci**

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

$$0,9813 \times \frac{161500}{1} + 0,9818 \times \frac{755 \cdot 10^6}{0,8388 \times \frac{3512 \cdot 10^3 \times 275}{1}} = 0,9534 < 1$$


**VYHOVÍ**

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

[EN 1993-1-1](#)  
[Příloha A](#)

[EN 1993-1-1](#)  
[§ 6.3.3](#)



<p style="text-align: center;"><b>VÝPOČET</b></p> 	Dokument:	<i>SX029a-CZ-EU</i>	Strana	<i>17 z 28</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružná analýza jednodílné rámové konstrukce</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracovala	<i>Valérie Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

$$\frac{161500}{0,3495 \times \frac{15600 \times 275}{1}} + 0,5138 \times \frac{755 \cdot 10^6}{0,8388 \times \frac{3512 \cdot 10^3 \times 275}{1}} = 0,5867 < 1$$

VYHOVÍ

Sloup namáhaný kombinací vzpěrného tlaku a ohybu tedy vyhoví.

## 7 Posouzení příčle

### 7.1 Klasifikace

Případ maximální tlakové síly v příčli: (Kombinace 101)

- **Stěna:**

$$\left. \begin{array}{l} h_w = 468 \text{ mm} \\ t_w = 10,2 \text{ mm} \\ c = 426 \text{ mm} \end{array} \right\} c / t_w = 41,76$$

$$N_{Ed} = 136 \text{ kN} \quad d_N = \frac{N_{Ed}}{t_w f_y} = \frac{136000}{10,2 \times 275} = 48,5 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{d + d_N}{2d} = \frac{426 + 48,5}{2 \times 426} = 0,557 > 0,5$$

$$c / t_w = 41,76 < \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1} = \frac{396 \times 0,92}{13 \times 0,557 - 1} = 58,38 \Rightarrow \text{třída 1}$$

- **Pásnice**

$$\left. \begin{array}{l} b = 200 \text{ mm} \\ t_f = 16 \text{ mm} \\ r = 21 \text{ mm} \\ c = 71 \text{ mm} \end{array} \right\} c / t_f = 4,44$$


tlačená část

$$c / t_f < 9\varepsilon = 8,28 \quad (S275 \Rightarrow \varepsilon = 0,92)$$

$$c / t_f = 4,44 \quad \text{třída 1}$$

**Průřez je tedy třídy 1. Posouzení prvku bude založeno na plastické únosnosti průřezu.**

[EN 1993-1-1](#)  
[§ 5.5](#)

<b>VÝPOČET</b>  	Dokument:	<i>SX029a-CZ-EU</i>	Strana	<i>18 z 28</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružná analýza jednodílné rámové konstrukce</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracovala	<i>Valérie Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

## 7.2 Únosnost příčného řezu

Posouzení na maximální moment působící v prvku z IPE 500:

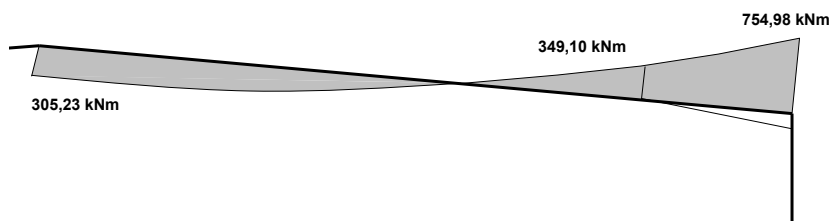
Kombinace 101

Maximální síla v IPE 500 na kraji náběhu:

$$N_{Ed} = 136,00 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 118,50 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 349,10 \text{ kNm}$$



Kombinace 101: Průběh ohybového momentu v příčli

### Únosnost ve smyku

$$V_{Ed} = 118,50 \text{ kN}$$

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f \quad \eta = 1$$

$$A_v = 11550 - 2 \times 200 \times 16 + (10,2 + 2 \times 21) \times 16 = 5985 \text{ mm}^2$$

$$A_v > \eta \cdot h_w \cdot t_w = 468 \times 10,2 = 4774 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_v (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = 5985 \times 275 / \sqrt{3} / 1000 = 950,3 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} / V_{pl,Rd} = 118,5 / 950,3 = 0,125 < 0,50$$

⇒ jeho vliv na ohybovou únosnost může být zanedbán!

[EN 1993-1-1](#)  
[§ 6.2](#)

[EN 1993-1-1](#)  
[§ 6.2.8 \(2\)](#)

### Únosnost v prostém tlaku

$$N_{pl,Rd} = 11550 \times 275 / 1000 = 3176 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 136 \text{ kN} < 0,25 N_{pl,Rd} = 3176 \times 0,25 = 794,1 \text{ kN}$$


a

$$N_{Ed} = 136 \text{ kN} < \frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \times 468 \times 10,2 \times 275}{1 \times 1000} = 656,4 \text{ kN}$$

⇒ jeho vliv na ohybovou únosnost může být zanedbán!

[EN 1993-1-1](#)  
[§ 6.2.4](#)

[EN 1993-1-1](#)  
[§ 6.2.8 \(2\)](#)

<p style="text-align: center;"><b>VÝPOČET</b></p> 	Dokument:	<i>SX029a-CZ-EU</i>	Strana	<i>19 z 28</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružná analýza jednodílní rámové konstrukce</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracovala	<i>Valérie Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

### Únosnost v ohybu

$$M_{pl,y,Rd} = 2194 \times 275/1000 = 603,4 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 349,10 \text{ kNm} < M_{pl,y,Rd} = 603,4 \text{ kNm}$$

[EN 1993-1-1](#)  
[§ 6.2.5](#)

### 7.3 Vzpěr a klopení

#### Prizmatické pruty namáhané kombinací ohybu a vzpěrného tlaku:

Posouzení podle interakčních vztahů:

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

[EN 1993-1-1](#)  
[§ 6.3.3](#)

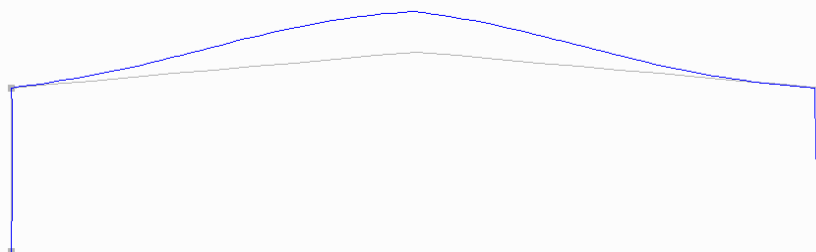
- Vybočení v rovině rámu - kolmo k yy:**

Pro určení vzpěrní délky pro vybočení v rovině je provedena stabilitní analýza pro výpočet součinitele  $\alpha_{cr}$  pro kombinaci s největším svislým zatížením s fiktivním příčným podepřením ve vrcholu sloupu:

**Kombinace 101  $\Rightarrow \alpha_{cr} = 37,37$**

[EN 1993-1-1](#)  
[§ 6.3.1.2](#) (2)

Tabulka 6.1



[EN 1993-1-1](#)  
[§ 6.3.1.3](#) (1)


Křivka vzpěrné pevnosti : **a** ( $h/b > 2$ )  $\Rightarrow \alpha_y = 0,21$

$$N_{cr,y} = \alpha_{cr} N_{Ed} = 37,37 \times 136 = 5082 \text{ kN}$$

[EN 1993-1-1](#)  
[§ 6.3.1.2](#) (2)

Tabulka 6.1

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{11550 \times 275}{5082 \cdot 10^3}} = 0,7906$$

<p style="text-align: center;"><b>VÝPOČET</b></p> 	Dokument:	<i>SX029a-CZ-EU</i>	Strana	<b>20 z 28</b>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružná analýza jednodílné rámové konstrukce</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracovala	<i>Valérie Lemaire</i>	Datum	<b>duben 2006</b>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<b>duben 2006</b>

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

$$\phi_y = 0,5 \times \left[ 1 + 0,21 \times (0,7906 - 0,2) + 0,7906^2 \right] = 0,8745$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,8745 + \sqrt{0,8745^2 - 0,7906^2}} = 0,8011$$

• **Vybočení z roviny rámu – kolmo k zz:**

Pro vybočení kolmo k ose zz a pro zkroucení je vzpěrná délka uvažována jako vzdálenost příčně zajištěných bodů:

$$L_{cr} = 6,00\text{m}$$

Poznámka: mezilehlé vaznice poskytují příčné zajištění pouze pro horní pásnici. Jejich vliv by mohl být uvažován, ale v dalším výpočtu je konzervativně zanedbán.

Vybočení prutu

$$L_{cr,z} = 6,00 \text{ m}$$

$$N_{cr,z} = \pi^2 \frac{EI_z}{L_{cr,z}^2} = \pi^2 \frac{210000 \times 2141 \times 10000}{6000^2 \times 1000} = 1233\text{kN}$$

Zkroucení prutu

$$L_{cr,T} = 6,00 \text{ m}$$

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

kde  $y_0 = 0$  a  $z_0 = 0$  (dvojose symetrický průřez)

$$I_0 = I_y + I_z + (y_0^2 + z_0^2)A = 48199 + 2141 = 50340 \text{ cm}^4$$

$$N_{cr,T} = \frac{11550}{50340 \cdot 10^4 \times 1000} \times (80770 \times 89,29 \cdot 10^4 + \pi^2 \frac{210000 \times 1249370 \cdot 10^6}{6000^2})$$

$$N_{cr,T} = 3305 \text{ kN}$$

$$N_{cr} = \min ( N_{cr,z} ; N_{cr,T} ) = 1233 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{11550 \times 275}{1233 \cdot 10^3}} = 1,605$$

[EN 1993-1-1](#)  
[§ 6.3.1.3](#)

NCCI  
[SN003](#)

[EN 1993-1-1](#)  
[§ 6.3.1.3 \(1\)](#)

<b>VÝPOČET</b>  	Dokument:	<i>SX029a-CZ-EU</i>	Strana	<i>21 z 28</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružná analýza jednodílní rámové konstrukce</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracovala	<i>Valérie Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

Křivka vzpěrné pevnosti : b

$$\alpha_z = 0,34$$

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

$$\phi_z = 0,5 \left[ 1 + 0,34 \times (1,605 - 0,2) + 1,605^2 \right] = 2,027$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{2,027 + \sqrt{2,027^2 - 1,605^2}} = 0,3063$$

• **Klopení :**

$$L_{cr,LT} = 6,00 \text{ m}$$

Křivka vzpěrné pevnosti : c

$$\alpha_{LT} = 0,49$$

[EN 1993-1-1](#)

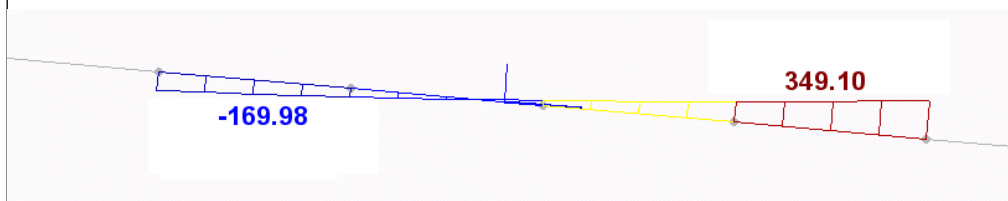
[§ 6.3.1.2 \(1\)](#)

Tabulka 6.1

[EN 1993-1-1](#)

[§ 6.3.1.3](#)

Tabulka 6.5



Průběh momentu v příčli mezi body příčného zajištění:

Kombinace 101

Výpočet kritického momentu:

$$\psi = -0,487$$

$$q = -9,56 \text{ kN/m} \quad \mu = \frac{qL^2}{8M} = -0,123$$

$$\Rightarrow C_1 = 2,75$$

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


$$M_{cr} = 2,75 \times \frac{\pi^2 \times 210000 \times 2141 \times 10^4}{6000^2 \times 10^6} \sqrt{\frac{1249400 \cdot 10^6}{2141 \cdot 10^4} + \frac{6000^2 \times 80770 \times 89,29 \cdot 10^4}{\pi^2 \times 210000 \times 2141 \cdot 10^4}}$$

$$M_{cr} = 1159 \text{ kNm}$$

NCCI

[SN003](#)

NCCI

<p style="text-align: center;"><b>VÝPOČET</b></p> 	Dokument:	<i>SX029a-CZ-EU</i>	Strana	<b>22 z 28</b>
	Název	<b>Řešený příklad: Pružná analýza jednodílné rámové konstrukce</b>		
	Eurokód	<b>EN 1993-1-1</b>		
	Vypracovala	<b>Valérie Lemaire</b>	Datum	<b>duben 2006</b>
	Kontroloval	<b>Alain Bureau</b>	Datum	<b>duben 2006</b>

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2195 \cdot 10^3 \times 275}{1159 \cdot 10^6}} = 0,7215$$

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

kde  $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,40$  a  $\beta = 0,75$

$$\phi_{LT} = 0,5 \times \left[ 1 + 0,49 \times (0,7215 - 0,4) + 0,75 \times 0,7215^2 \right] = 0,7740$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,7740 + \sqrt{0,7740^2 - 0,75 \times 0,7215^2}} = 0,8125$$

$$k_c = 0,91$$

$$f = 1 - 0,5 \times (1 - k_c) \left[ 1 - 2(\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2 \right]$$

$$f = 1 - 0,5 \times (1 - 0,91) \times \left[ 1 - 2 \times (0,7215 - 0,8)^2 \right] = 0,9556 < 1$$

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} = \frac{0,8125}{0,9556} = 0,8503 < 1$$

Kombinace 101  $N_{Ed} = 136$  kN tlak

$$M_{y,Ed} = 349,10 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0$$

Průřez třídy 1  $\Rightarrow \Delta M_{y,Ed} = 0$  et  $\Delta M_{z,Ed} = 0$

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


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

[EN 1993-1-1 § 6.3.2.3 \(1\)](#)

[EN 1993-1-1 § 6.3.2.3 \(2\)](#)

Tabulka 6.6

[EN 1993-1-1 § 6.3.3](#)

<p style="text-align: center;"><b>VÝPOČET</b></p> 	Dokument:	<i>SX029a-CZ-EU</i>	Strana	<b>23</b> z <b>28</b>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružná analýza jednodílné rámové konstrukce</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracovala	<i>Valérie Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{136}{5082}}{1 - 0,8011 \times \frac{136}{5082}} = 0,9946$				<a href="#">EN 1993-1-1 Příloha A</a>
$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{1 - \frac{136}{1233}}{1 - 0,3063 \times \frac{136}{1233}} = 0,9208$				
$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} = \frac{2194}{1928} = 1,138 < 1,50$				<a href="#">EN 1993-1-1 Příloha A</a>
$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} = \frac{335,9}{214,1} = 1,569 > 1,50 \Rightarrow w_z = 1,5$				
$M_{cr,0} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr,LT}^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr,LT}^2 GI_t}{\pi^2 EI_z}}$				NCCI <a href="#">SN003</a>
<p><math>M_{cr,0}</math> je kritický moment pro výpočet <math>\bar{\lambda}_0</math> pro konstantní ohybový moment podle Přílohy A.</p> <p><math>\Rightarrow C_1 = 1</math></p> $M_{cr,0} = 1 \times \frac{\pi^2 \times 210000 \times 2141 \cdot 10^4}{6000^2 \times 10^6} \sqrt{\frac{1249400 \cdot 10^6}{2141 \cdot 10^4} + \frac{6000^2 \times 80770 \times 89,29 \cdot 10^4}{\pi^2 \times 210000 \times 2141 \cdot 10^4}}$ <p><math>M_{cr,0} = 421,5 kNm</math></p>				
$\bar{\lambda}_0 = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr,0}}} = \sqrt{\frac{2195 \cdot 10^3 \times 275}{421,5 \cdot 10^6}} = 1,196$				<a href="#">EN 1993-1-1 Příloha A</a>
$\bar{\lambda}_{0lim} = 0,2 \sqrt{C_1} \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,TF}}\right)}, \quad \text{kde } C_1 = 2,75$				
<p>a <math>N_{cr,TF} = N_{cr,T}</math> (dvojose symetrický průřez)</p>				
$\bar{\lambda}_{0lim} = 0,2 \sqrt{2,75} \sqrt[4]{\left(1 - \frac{136}{1233}\right) \left(1 - \frac{136}{3305}\right)} = 0,3187$				
$\bar{\lambda}_0 = 1,196 > \bar{\lambda}_{0lim} = 0,3187$				

<b>VÝPOČET</b>  	Dokument:	<i>SX029a-CZ-EU</i>	Strana	<b>24 z 28</b>
	Název	<b>Řešený příklad: Pružná analýza jednodílné rámové konstrukce</b>		
	Eurokód	<b>EN 1993-1-1</b>		
	Vypracovala	<b>Valérie Lemaire</b>	Datum	<b>duben 2006</b>
	Kontroloval	<b>Alain Bureau</b>	Datum	<b>duben 2006</b>

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

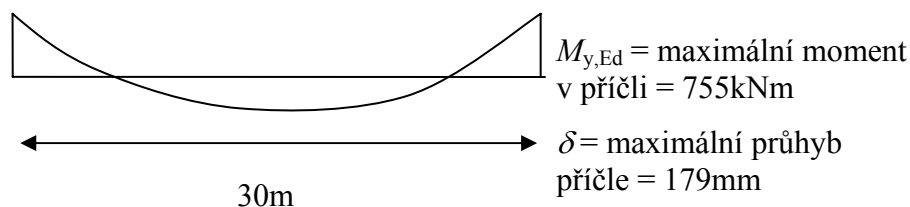
$$\text{kde } \varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \frac{A}{W_{el,y}} = \frac{349,10 \cdot 10^6}{136000} \times \frac{11550}{1928 \times 10^3} = 15,38 \text{ (třída 1)}$$

$$\text{a } a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} = 1 - \frac{89,29}{48200} = 0,9981$$

[EN 1993-1-1  
Příloha A](#)

### Výpočet součinitele $C_{my,0}$

Průběh momentu v příčli:



[EN 1993-1-1  
Příloha A  
Tabulka A2](#)

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

$$C_{my,0} = 1 + \left[ \frac{\pi^2 \times 210000 \times 48200 \times 10^4 \times |179|}{30000^2 \times |755| \times 10^6} - 1 \right] \frac{136}{5082} = 0,9803$$

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

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

$$C_{my} = 0,9803 + (1 - 0,9803) \frac{\sqrt{15,38 \times 0,9982}}{1 + \sqrt{15,38 \times 0,9982}} = 0,996$$



<b>VÝPOČET</b>  	Dokument:	<i>SX029a-CZ-EU</i>	Strana	<b>25 z 28</b>
	Název	<b>Řešený příklad: Pružná analýza jednodílné rámové konstrukce</b>		
	Eurokód	<b>EN 1993-1-1</b>		
	Vypracovala	<b>Valérie Lemaire</b>	Datum	<b>duben 2006</b>
	Kontroloval	<b>Alain Bureau</b>	Datum	<b>duben 2006</b>

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

$$C_{mLT} = 0,996^2 \times \frac{0,9981}{\sqrt{\left(1 - \frac{136}{1233}\right)\left(1 - \frac{136}{3305}\right)}} = 1,072 > 1$$

[EN 1993-1-1  
Příloha A](#)

### Výpočet součinitelů $C_{yy}$ a $C_{zy}$

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \left[ \left( 2 - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max} - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{136000}{11550 \times 275 / 1} = 0,0428$$

$$M_{z,Ed} = 0 \Rightarrow b_{LT} = 0 \text{ a } d_{LT} = 0 \quad \bar{\lambda}_{max} = \bar{\lambda}_z = 1,605$$

$$C_{yy} = 1 + (1,138 - 1) \left[ \left( 2 - \frac{1,6}{1,138} \times 0,996^2 \times 1,605 - \frac{1,6}{1,138} \times 0,996^2 \times 1,605^2 \right) \times 0,0428 \right]$$

$$C_{yy} = 0,9774$$

[EN 1993-1-1  
Příloha A](#)

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \left[ \left( 2 - \frac{14}{w_y^5} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}}$$


$$C_{zy} = 1 + (1,138 - 1) \left[ \left( 2 - \frac{14}{1,138^5} \times 0,996^2 \times 1,605^2 \right) \times 0,0428 \right] = 0,9011$$

### Výpočet součinitelů $k_{yy}$ a $k_{zy}$ :

$$k_{yy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{yy}}$$

$$k_{yy} = 0,996 \times 1,072 \times \frac{0,9946}{1 - \frac{136}{5082}} \times \frac{1}{0,9774} = 1,116$$

[EN 1993-1-1  
Příloha A](#)

<b>VÝPOČET</b>  	Dokument:	<i>SX029a-CZ-EU</i>	Strana	<b>26 z 28</b>
	Název	<b>Řešený příklad: Pružná analýza jednodílní rámové konstrukce</b>		
	Eurokód	<b>EN 1993-1-1</b>		
	Vypracovala	<b>Valérie Lemaire</b>	Datum	<b>duben 2006</b>
	Kontroloval	<b>Alain Bureau</b>	Datum	<b>duben 2006</b>

$$k_{zy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{zy}} 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$

$$k_{zy} = 0,996 \times 1,072 \times \frac{0,9208}{1 - \frac{136}{5082}} \times \frac{1}{0,9011} \times 0,6 \times \sqrt{\frac{1,138}{1,50}} = 0,5859$$

**Posouzení podle vzorce pro interakci**

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

$$0,8011 \times \frac{136000}{11550 \times 275} + 1,116 \times \frac{349,1 \cdot 10^6}{0,8503 \times \frac{2194 \cdot 10^3 \times 275}{1}} = 0,8131 < 1$$

VYHOVÍ

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

$$0,3063 \times \frac{136000}{11550 \times 275} + 0,5859 \times \frac{349,1 \cdot 10^6}{0,8503 \times \frac{2194 \cdot 10^3 \times 275}{1}} = 0,5385 < 1$$

VYHOVÍ

## 8 Posouzení náběhu

Pro posouzení náběhu příčle je samostatně uvažována tlačaná část příčného řezu se vzpěrnou délkou pro vybočení kolmo k ose zz rovnou 3,00 m (vzdálenost mezi vrcholem sloupu a prvním příčným zajištěním).

**Maximální síly a moment v náběhu:**

$$N_{Ed} = 139,2 \quad \text{kN}$$

$$V_{Ed} = 151,3 \quad \text{kN}$$

$$M_{Ed} = 755 \quad \text{kNm}$$

[EN 1993-1-1](#)  
[§ 6.3.3](#)

(6.61)

(6.62)

Dokument:	SX029a-CZ-EU	Strana	27 z 28
Název	Řešený příklad: Pružná analýza jednodílné rámové konstrukce		
Eurokód	EN 1993-1-1		
Vypracovala	Valérie Lemaire	Datum	duben 2006
Kontroloval	Alain Bureau	Datum	duben 2006

### Charakteristiky celého průřezu:

Výpočet pružných charakteristik průřezu je přibližný, je zanedbána vnitřní pásnice.

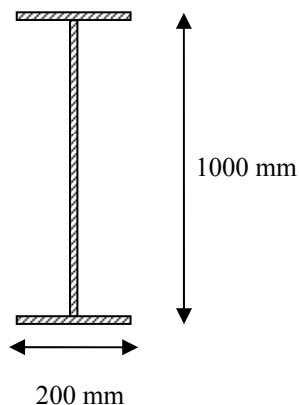
Plocha  $A = 160,80 \text{ cm}^2$

Moment setrvačnosti /yy  $I_y = 230520 \text{ cm}^4$

Moment setrvačnosti /zz  $I_z = 2141 \text{ cm}^4$

Pružný průřezový modul /yy  $W_{el,y} = 4610 \text{ cm}^3$

Pružný průřezový modul /zz  $W_{el,z} = 214 \text{ cm}^3$



### Charakteristiky tlačené části:

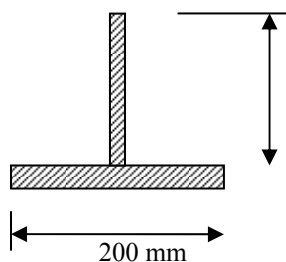
Průřez ve střední části náběhu včetně 1/6 výšky stěny

Plocha  $A = 44 \text{ cm}^2$

Moment setrvačnosti /yy  $I_y = 554 \text{ cm}^4$

Moment setrvačnosti /zz  $I_z = 1068 \text{ cm}^4$

$$\Rightarrow i_z = \sqrt{\frac{1068}{44}} = 4,93 \text{ cm}$$




$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{tz}}{i_z \lambda_1} = \frac{3000}{49,30 \times 86,39} = 0,7044$$

Vzpěr svařovaného průřezu I s poměrem  $h/b > 2$  :

$$\Rightarrow \text{křivka d} \Rightarrow \alpha = 0,76$$

$$\phi_z = 0,5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \times \left[ 1 + 0,76 \times (0,7044 - 0,2) + 0,7044^2 \right] = 0,9397$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,9397 + \sqrt{0,9397^2 - 0,7044^2}} = 0,640$$

<p style="text-align: center;"><b>VÝPOČET</b></p> 	Dokument:	<i>SX029a-CZ-EU</i>	Strana	<b>28</b> z <b>28</b>
	Název	<i>Řešený příklad: Pružná analýza jednodílné rámové konstrukce</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracovala	<i>Valérie Lemaire</i>	Datum	<i>duben 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>duben 2006</i>

**Tlak v dolní pásnici:**

$$N_{Ed,f} = 139,24 \times \frac{4400}{16080} + \frac{755000 \times 1000}{4610 \cdot 10^3 \times 1000} \times 4400 = 760 \text{ kN}$$

**Posouzení vzpěrné únosnosti dolní pásnice:**

$$\frac{N_{Ed,f}}{\chi_z N_{Rk}} = \frac{760000}{0,640 \times 4400 \times 275} = 0,981 < 1 \quad \text{VYHOVÍ}$$

## Quality Record

<b>RESOURCE TITLE</b>	<i>Example: Elastic analysis of a single bay portal frame</i>		
<b>Reference(s)</b>	T2703		
<b>ORIGINAL DOCUMENT</b>			
	<b>Name</b>	<b>Company</b>	<b>Date</b>
<b>Created by</b>	Valérie LEMAIRE	CTICM	25/10/05
<b>Technical content checked by</b>	Alain BUREAU	CTICM	26/10/05
<b>Editorial content checked by</b>			
<b>Technical content endorsed by the following STEEL Partners:</b>			
<b>1. UK</b>	G W Owens	SCI	10/4/06
<b>2. France</b>	A Bureau	CTICM	10/4/06
<b>3. Sweden</b>	B Uppfeldt	SBI	10/4/06
<b>4. Germany</b>	C Muller	RWTH	10/4/06
<b>5. Spain</b>	J Chica	Labein	10/4/06
<b>Resource approved by Technical Coordinator</b>	G W Owens	SCI	18/9/06
<b>TRANSLATED DOCUMENT</b>			
<b>This Translation made and checked by:</b>	J. Dolejš	CTU in Prague	5/6/07
<b>Translated resource approved by:</b>	T. Vraný	CTU in Prague	28/8/07
<b>National technical contact:</b>	F. Wald	CTU in Prague	