


<p>VÝPOČETNÍ LIST</p> 	Dokument:	SX027a-CZ-EU	Strana	1 z 9
	Název	Řešený příklad: Návrh ocelového za studena tvarovaného sloupku stěny v tlaku a ohybu		
	Eurokód	EN 1993-1-3, EN 1993-1-1		
	Vypracovali	V. Ungureanu, A. Ruff	Datum	leden 2006
	Kontroloval	D. Dubina	Datum	leden 2006

Řešený příklad: Návrh ocelového za studena tvarovaného sloupku stěny v tlaku a ohybu

Tento příklad se zabývá návrhem vnějšího sloupku stěny v tlaku a jednoosém ohybu. Sloupek je kloubově uložen a je tvořen dvojití tenkostěnných za studena tvarovaných C profilů. Předpokládá se tuhé spojení profilů (například pomocí svarů).

Při praktickém návrhu tenkostěnných profilů podle EN 1993 budou projektanti běžně užívat software nebo data výrobce. Tento příklad je uveden z ilustračních důvodů.

Vstupní data

Výška sloupku $H = 2,75$ m

Rozpětí stropu $L = 5$ m

Vzdálenosti stropních nosníků $S = 0,6$ m

Spojité zatížení podlahy:

- stálé – lehká deska: $1,0$ kN/m²

$$q_G = 1,0 \times 0,6 = 0,6 \text{ kN/m}$$

- užité: $2,50$ kN/m²

$$q_Q = 2,50 \times 0,6 = 1,50 \text{ kN/m}$$

Síla z horní úrovně a střechy pro MSÚ: $Q = 5,0$ kN

Rovnoměrné zatížení větrem: $0,704$ kN/m²

$$q_w = 0,704 \times 0,6 = 0,4224 \text{ kN/m}$$

Rozměry jednoho průřezu a vlastnosti materiálu jsou:

Celková výška $h = 150$ mm

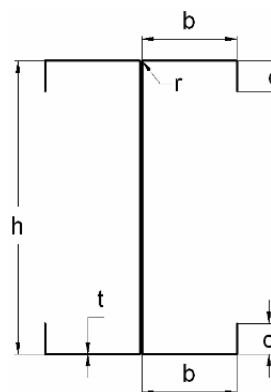
Celková šířka pásnice $b = 40$ mm


Celková šířka okrajové výztuhy $c = 15$ mm

Vnitřní poloměr ohnutí $r = 3$ mm


Jmenovitá tloušťka $t_{\text{nom}} = 1,2$ mm

Tloušťka ocelového jádra $t = 1,16$ mm



<p>VÝPOČETNÍ LIST</p> 	Dokument:	SX027a-CZ-EU	Strana	2 z 9
	Název	Řešený příklad: Návrh ocelového za studena tvarovaného sloupku stěny v tlaku a ohybu		
	Eurokód	EN 1993-1-3, EN 1993-1-1		
	Vypracovali	V. Ungureanu, A. Ruff	Datum	leden 2006
	Kontroloval	D. Dubina	Datum	leden 2006

Základní mez kluzu	$f_{yb} = 350 \text{ N/mm}^2$	
Modul pružnosti	$E = 210000 \text{ N/mm}^2$	
Poissonův poměr	$\nu = 0,3$	
Modul pružnosti ve smyku	$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = 81000 \text{ N/mm}^2$	
Dílčí součinitele	$\gamma_{M0} = 1,0$	EN1993-1-3 §2(3) EN1990
	$\gamma_{M1} = 1,0$	
	$\gamma_G = 1,35$ – stálá zatížení	
	$\gamma_Q = 1,50$ – nahodilá zatížení	
Vlastnosti plného průřezu		
Plocha plného průřezu:	$A = 592 \text{ mm}^2$	
Poloměry setrvačnosti	$i_y = 57,2 \text{ mm} ; i_z = 18 \text{ mm}$	
Moment setrvačnosti k ose největší tuhosti y-y:	$I_y = 1,936 \times 10^6 \text{ mm}^4$	
Moment setrvačnosti k ose nejmenší tuhosti z-z:	$I_z = 19,13 \times 10^4 \text{ mm}^4$	
Výsečový moment setrvačnosti	$I_w = 4,931 \times 10^8 \text{ mm}^6$	
Moment tuhosti v prostém kroucení	$I_t = 266 \text{ mm}^4$	
Vlastnosti účinného průřezu		
Účinná plocha průřezu v tlaku:		EN1993-1-3 §5.5.3.1 §5.5.3.2
$A_{\text{eff,c}} = 322 \text{ mm}^2$		
Účinný průřezový modul pro průřez v ohybu:		EN1993-1-5 §4.4 and SX022, SX023
• vztažený k tlačené pásnici:	$W_{\text{eff,y,c}} = 22268 \text{ mm}^3$	
• vztažený k tažené pásnici:	$W_{\text{eff,y,t}} = 25580 \text{ mm}^3$	
$W_{\text{eff,y,min}} = \min(W_{\text{eff,y,c}}, W_{\text{eff,y,t}}) = 22268 \text{ mm}^3$		

<p>VÝPOČETNÍ LIST</p> 	Dokument:	SX027a-CZ-EU	Strana	3 z 9
	Název	Řešený příklad: Návrh ocelového za studena tvarovaného sloupku stěny v tlaku a ohybu		
	Eurokód	EN 1993-1-3, EN 1993-1-1		
	Vypracovali	V. Ungureanu, A. Ruff	Datum	leden 2006
	Kontroloval	D. Dubina	Datum	leden 2006

Působící soustředěná síla na vnější sloup (tlak):

$$N_{Ed} = (\gamma_G q_G + \gamma_Q q_Q) L / 2 + Q = (1,35 \times 0,6 + 1,50 \times 1,50) \times 5 / 2 + 5 = 12,65 \text{ kN}$$

Největší působící ohybový moment:

$$M_{Ed} = \gamma_Q q_w H^2 / 8 = 1,5 \times 0,4224 \times 2,75^2 / 8 = 0,6 \text{ kNm}$$

Posouzení únosnosti průřezu

Má být splněna následující podmínka:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} \leq 1$$

kde:

$$N_{c,Rd} = A_{eff} f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$M_{cz,Rd,com} = W_{eff,com} f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$\Delta M_{y,Ed} = N_{Ed} e_{Ny}$$

e_{Ny} – je posun těžišťové osy y-y, ale protože průřez je dvouose symetrický, je $e_{Ny} = 0$

Posouzení únosnosti:

$$\frac{12,65 \times 10^3}{322 \times 350 / 1,0} + \frac{0,6 \times 10^6 + 0}{22268 \times 350 / 1,0} = 0,189 < 1 \quad - \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení stabilitní únosnosti prutu

Pruty vystavené kombinaci osového tlaku a jednoosého ohybu mají splnit podmínku:

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

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

EN1990

[EN1993-1-3](#)

[§6.1.9](#)

[EN1993-1-3](#)

[6.1.3](#)


[6.1.4](#)

[EN1993-1-3](#)

[§6.1.9\(2\)](#)

[EN1993-1-1](#)

[§6.3.3](#)

<p>VÝPOČETNÍ LIST</p> 	Dokument:	SX027a-CZ-EU	Strana	4 z 9
	Název	Řešený příklad: Návrh ocelového za studena tvarovaného sloupku stěny v tlaku a ohybu		
	Eurokód	EN 1993-1-3, EN 1993-1-1		
	Vypracovali	V. Ungureanu, A. Ruff	Datum	leden 2006
	Kontroloval	D. Dubina	Datum	leden 2006

kde:

$$N_{Rk} = f_{yb} A_{eff} = 350 \times 322 = 112,7 \times 10^3 \text{ N} = 112,7 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = f_{yb} W_{eff,y,min} = 350 \times 22268 = 7,794 \times 10^6 \text{ Nmm} = 7,794 \text{ kNm}$$

$\Delta M_{y,Ed}$ – přidavný moment od posunu těžišťové osy;

$$\Delta M_{y,Ed} = 0$$

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

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

α – součinitel imperfekce

Bezrozměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_{yb}}{N_{cr}}}$$

N_{cr} – pružná kritická síla pro odpovídající způsob vybočení

Určení součinitelů vzpěrnosti χ_y , χ_z , χ_T

Rovinný vzpěr

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{A_{eff} f_{yb}}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{\sqrt{A_{eff}/A}}{\lambda_1}$$

Vzpěrná délka:

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = H = 2750 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_{yb}}} = \pi \times \sqrt{\frac{210000}{350}} = 76,95$$

Vzpěr k ose y-y:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \frac{\sqrt{A_{eff}/A}}{\lambda_1} = \frac{2750}{57,2} \times \frac{\sqrt{322/592}}{76,95} = 0,461$$

$\alpha_y = 0,21$ –křivka vzpěrné pevnosti a

[EN1993-1-1](#)

[§6.3.1.2](#)

[EN1993-1-1](#)


[§ 6.3.1.3](#)

[EN1993-1-3](#)

[Tabulka 6.3](#)

[EN1993-1-1](#)

[Tabulka 6.1](#)

<p>VÝPOČETNÍ LIST</p> 	Dokument:	SX027a-CZ-EU	Strana	5 z 9
	Název	Řešený příklad: Návrh ocelového za studena tvarovaného sloupku stěny v tlaku a ohybu		
	Eurokód	EN 1993-1-3, EN 1993-1-1		
	Vypracovali	V. Ungureanu, A. Ruff	Datum	leden 2006
	Kontroloval	D. Dubina	Datum	leden 2006

$$\phi_y = 0,5 \left[1 + \alpha_y (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \times \left[1 + 0,21 \times (0,461 - 0,2) + 0,461^2 \right] = 0,634$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,634 + \sqrt{0,634^2 - 0,461^2}} = 0,936$$

Vzpěr k ose z-z:

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \sqrt{A_{eff}/A} = \frac{2750}{18} \times \frac{\sqrt{322/592}}{76,95} = 1,466$$

$\alpha_z = 0,34$ – křivka vzpěrné pevnosti *b*

$$\phi_z = 0,5 \left[1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \times \left[1 + 0,34 \times (1,466 - 0,2) + 1,466^2 \right] = 1,79$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,79 + \sqrt{1,79^2 - 1,466^2}} = 0,355$$

Vzpěr zkroucením

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_o^2} \left(GI_t + \frac{\pi^2 EI_w}{l_T^2} \right)$$

kde:

$$i_o^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_o^2 + z_o^2$$

y_o, z_o – souřadnice středu smyku vztažené k těžišti plného průřezu:

$$y_o = z_o = 0$$

$$i_o^2 = 57,2^2 + 18^2 + 0 + 0 = 3594 \text{ mm}^2$$

$$l_T = H = 2750 \text{ mm}$$

Pružná kritická síla pro vzpěr zkroucením:

$$N_{cr,T} = \frac{1}{3594} \times \left(81000 \times 266 + \frac{\pi^2 \times 210000 \times 4,931 \times 10^8}{2750^2} \right) = 43,57 \times 10^3 \text{ N}$$

[EN1993-1-3](#)


[Tabulka 6.3](#)

[EN1993-1-1](#)

[Tabulka 6.1](#)

[EN1993-1-3](#)

[§6.2.3\(5\)](#)

<p>VÝPOČETNÍ LIST</p> 	Dokument:	SX027a-CZ-EU	Strana	6 z 9
	Název	Řešený příklad: Návrh ocelového za studena tvarovaného sloupku stěny v tlaku a ohybu		
	Eurokód	EN 1993-1-3, EN 1993-1-1		
	Vypracovali	V. Ungureanu, A. Ruff	Datum	leden 2006
	Kontroloval	D. Dubina	Datum	leden 2006

Prostorový vzpěr

Pro dvouose symetrické průřezy: $N_{cr,TF} = N_{cr,T}$

Pružná kritická síla bude:

$$N_{cr} = N_{cr,T} = N_{cr,TF} = 43,57 \text{ kN}$$

Bezrozměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A_{eff} f_{yb}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{322 \times 350}{43,57 \times 10^3}} = 1,608$$

$\alpha_T = 0,34$ – křivka vzpěrné pevnosti b

$$\phi_T = 0,5 \left[1 + \alpha_T (\bar{\lambda}_T - 0,2) + \bar{\lambda}_T^2 \right] = 0,5 \times \left[1 + 0,34 \times (1,608 - 0,2) + 1,608^2 \right] = 2,032$$

Součinitel vzpěrnosti pro prostorový vzpěr:

$$\chi_T = \frac{1}{\phi_T + \sqrt{\phi_T^2 - \bar{\lambda}_T^2}} = \frac{1}{2,032 + \sqrt{2,032^2 - 1,608^2}} = 0,305$$

Určení součinitele klopení χ_{LT}

Klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}, \quad \text{ale} \quad \chi_{LT} \leq 1,0$$

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

$\alpha_{LT} = 0,34$ – křivka vzpěrné pevnosti b

Bezrozměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{eff,y,min} f_{yb}}{M_{cr}}}$$

M_{cr} – pružný kritický moment při klopení

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

kde $C_1 = 1,13$ pro prostý nosník pod spojitým rovnoměrným zatížením

[EN1993-1-3](#)

[§6.2.3\(6\)](#)

[EN1993-1-1](#)

[Tabulka 6.1](#)

[EN1993-1-3](#)

[Tabulka 6.3](#)

[EN1993-1-1](#)

[§6.3.2.2](#)


[EN1993-1-1](#)

[§6.3.2.2](#)

Table 6.3

NCCI:

[SN003](#)

<p style="text-align: center;">VÝPOČETNÍ LIST</p> 	Dokument:	SX027a-CZ-EU	Strana	7 z 9
	Název	Řešený příklad: Návrh ocelového za studena tvarovaného sloupku stěny v tlaku a ohybu		
	Eurokód	EN 1993-1-3, EN 1993-1-1		
	Vypracovali	V. Ungureanu, A. Ruff	Datum	leden 2006
	Kontroloval	D. Dubina	Datum	leden 2006

$$M_{cr} = 1,127 \times \frac{\pi^2 \times 210000 \times 19,13 \times 10^4}{2750^2} \times \sqrt{\frac{4,932 \times 10^8}{19,13 \times 10^4} + \frac{2750^2 \times 81000 \times 266}{\pi^2 \times 210000 \times 19,13 \times 10^4}}$$

$$M_{cr} = 3,23 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{\text{eff},y,\text{min}} f_{yb}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{22268 \times 350}{3,23 \times 10^6}} = 1,553$$

$\alpha_z = 0,34$ – křivka vzpěrné pevnosti b

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \times \left[1 + 0,34 \times (1,553 - 0,2) + 1,553^2 \right] = 1,937$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,937 + \sqrt{1,937^2 - 1,553^2}} = 0,323$$

Určení součinitelů interakce k_{yy} a k_{zy} – Metoda 1

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

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

kde:


$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}; \quad \mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$

[EN1993-1-1](#)

[Annex A](#)

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 1,936 \times 10^6}{2750^2} = 531 \times 10^3 \text{ N} = 531 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 19,13 \times 10^4}{2750^2} = 52 \times 10^3 \text{ N} = 52 \text{ kN}$$

<p>VÝPOČETNÍ LIST</p> 	Dokument:	SX027a-CZ-EU	Strana	8 z 9
	Název	Řešený příklad: Návrh ocelového za studena tvarovaného sloupku stěny v tlaku a ohybu		
	Eurokód	EN 1993-1-3, EN 1993-1-1		
	Vypracovali	V. Ungureanu, A. Ruff	Datum	leden 2006
	Kontroloval	D. Dubina	Datum	leden 2006

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{12,65}{531}}{1 - 0,936 \times \frac{12,65}{531}} = 0,998$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{1 - \frac{12,65}{52}}{1 - 0,355 \times \frac{12,65}{52}} = 0,83$$

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

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


$$C_{my,0} = 1 + 0,03 \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} = 1 + 0,03 \times \frac{12,65}{531} = 1,001$$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \frac{A_{eff}}{W_{eff,y,min}} = \frac{0,6 \times 10^6}{12,65 \times 10^3} \times \frac{322}{19956} = 0,685$$

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} = 1 - \frac{266}{1,936 \times 10^6} = 1$$

$$C_{my} = 1 + (1 - 1,001) \times \frac{\sqrt{0,685} \times 1}{1 + \sqrt{0,685} \times 1} = 1$$

$$C_{mLT} = 1^2 \times \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{12,65}{52}\right) \times \left(1 - \frac{12,65}{43,57}\right)}} = 1,364$$

<p>VÝPOČETNÍ LIST</p> 	Dokument:	SX027a-CZ-EU	Strana	9 z 9
	Název	Řešený příklad: Návrh ocelového za studena tvarovaného sloupku stěny v tlaku a ohybu		
	Eurokód	EN 1993-1-3, EN 1993-1-1		
	Vypracovali	V. Ungureanu, A. Ruff	Datum	leden 2006
	Kontroloval	D. Dubina	Datum	leden 2006

Součinitele interakce:

$$k_{yy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 1 \times 1,364 \times \frac{0,998}{1 - \frac{12,65}{531}} = 1,395$$

$$k_{zy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 1 \times 1,364 \times \frac{0,83}{1 - \frac{12,65}{531}} = 1,16$$

Posouzení stabilitní únosnosti prutu

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

$$= \frac{12,65}{0,936 \times \frac{112,7}{1,0}} + 1,395 \times \frac{0,6 + 0}{0,323 \times \frac{7,794}{1,0}} = 0,452 < 1 \quad \text{-- VYHOVÍ}$$

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

$$= \frac{12,65}{0,355 \times \frac{112,7}{1,0}} + 1,16 \times \frac{0,6 + 0}{0,323 \times \frac{7,794}{1,0}} = 0,593 < 1 \quad \text{-- VYHOVÍ}$$

Quality Record

RESOURCE TITLE	Example: Design of a cold-formed steel lipped channel wall stud in compression and bending		
Reference(s)			
ORIGINAL DOCUMENT			
	Name	Company	Date
Created by	V. Ungureanu, A. Ruff	BRITT Ltd. Timisoara, Romania	
Technical content checked by	D. Dubina	BRITT Ltd. Timisoara, Romania	
Editorial content checked by			
Technical content endorsed by the following STEEL Partners:			
1. UK	G W Owens	SCI	12/4/06
2. France	A Bureau	CTICM	12/4/06
3. Sweden	B Uppfeldt	SBI	11/4/06
4. Germany	C Müller	RWTH	11/4/06
5. Spain	J Chica	Labein	12/4/06
Resource approved by Technical Coordinator	G W Owens	SCI	11/9/06
TRANSLATED DOCUMENT			
This Translation made and checked by:	T. Vraný	CTU in Prague	8/6/07
Translated resource approved by:	F. Wald	CTU in Prague	28/7/07
National technical contact	F. Wald	CTU in Prague	