
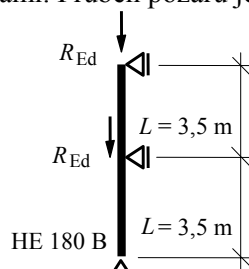


<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	SX045a-CZ-EU	Strana	1 z 10
	Název	Řešený příklad: Požární návrh chráněného sloupu průřezu HEB vystaveného parametrické teplotní křivce		
	Eurokód			
	Vypracoval	Z. Sokol	Datum	Leden 2006
	Kontroloval	F. Wald	Datum	Leden 2006

## Řešený příklad: Požární návrh chráněného sloupu průřezu HEB vystaveného parametrické teplotní křivce

*V řešeném příkladu je navržen chráněný ocelový sloup přes dvě podlaží. Přestup tepla je počítán přírůstkovou metodou podle EN 1991-1-2. Únosnost sloupu je vypočtena podle jednoduchého modelu pro tlačené pruty v EN 1993-1-2.*

Sloup průřezu HEB, který je vystaven zatížení ze dvou podlaží, je ukázán na obrázku 1. Požaduje se, aby sloup měl požární odolnost 60 minut, protipožární ochranu tvoří obklad sádkovými deskami. Průběh požáru je popsán parametrickou křivkou.



Obrázek 1: Schéma sloupu

### Vstupní údaje

#### **Materiálové vlastnosti**

Třída oceli: S 355

Mez kluzu:  $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$

Hustota:  $\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$

#### **Zatížení**

Stálé zatížení, síla působící v každém podlaží:

$$R_{G,k} = 185 \text{ kN}$$

Nahodilé zatížení, síla působící v každém podlaží:


$$R_{Q,k} = 175 \text{ kN}$$

#### **Součinitele spolehlivosti**

$$\gamma_G = 1,35$$

$$\gamma_Q = 1,50$$

$$\gamma_{M1} = 1,00$$

<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	SX045a-CZ-EU	Strana	2 z 10
	Název	Řešený příklad: Požární návrh chráněného sloupu průřezu HEB vystaveného parametrické teplotní křivce		
	Eurokód			
	Vypracoval	Z. Sokol	Datum	Leden 2006
	Kontroloval	F. Wald	Datum	Leden 2006

### Vstupní údaje pro požární odolnost

#### Vlastnosti materiálu pro protipožární ochranu

Sádkartonové desky:

celková tloušťka  $d_p = 12 \text{ mm}$

hustota  $\rho_p = 800 \text{ kg/m}^3$

měrné teplo  $c_p = 1700 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$

tepelná vodivost  $\lambda_p = 0,20 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$

#### Zatížení při běžné teplotě

Návrhová hodnota zatížení ve spodní části sloupu je

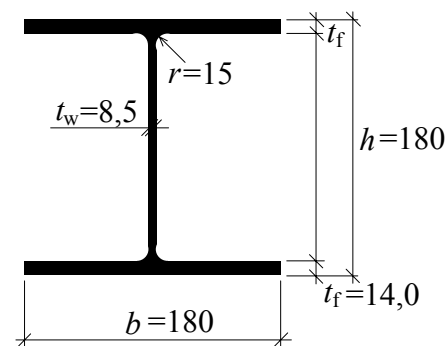
$$N_{Ed} = 2 R_{Ed} = 2 (R_{G,k} \gamma_G + R_{Q,k} \gamma_Q) = 2 \cdot (185 \cdot 1,35 + 175 \cdot 1,5) = 1024,5 \text{ kN}$$

#### Posouzení při běžné teplotě

Byl navržen válcovaný průřez HE 180 B.

Průřez je 1. třídy.

[EN 1993-1-1 §5.5](#)




Obrázek 2: Navržený průřez

Vzpěrná délka sloupu je:

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3,5 \text{ m}$$

Rozhodující je vybočení kolmo k ose z.

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX045a-CZ-EU</i>	Strana	<b>3</b> z <b>10</b>
	Název	<b>Řešený příklad: Požární návrh chráněného sloupu průřezu HEB vystaveného parametrické teplotní křivce</b>		
	Eurokód			
	Vypracoval	<i>Z. Sokol</i>	Datum	<b>Leden 2006</b>
	Kontroloval	<i>F. Wald</i>	Datum	<b>Leden 2006</b>

Kritická síla je

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 E I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 1363 \times 10^4}{3500^2} = 2306 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost sloupu je

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{6530 \times 355}{2306 \times 10^3}} = 1,003$$

Vzpěrnostní součinitel pro průřezy tvar H s poměrem  $h/b < 1,2$  se určí z křivky c (součinitel imperfekce  $\alpha = 0,49$ ).

$$\begin{aligned} \Phi &= 0,5 \left( 1 + \alpha (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right) = \\ &= 0,5 \cdot \left( 1 + 0,49 \cdot (1,003 - 0,2) + 1,003^2 \right) = 1,200 \end{aligned}$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,200 + \sqrt{1,200^2 - 1,003^2}} = 0,538$$

Únosnost sloupu je:

$$N_{b,Rd} = \chi_z \frac{A f_y}{\gamma_{M1}} = 0,538 \cdot \frac{6525 \cdot 355}{1,0} = 1246,2 \text{ kN} > 1024,5 \text{ kN} = N_{Ed}$$

Průřez za běžné teploty vyhovuje.

### Posouzení únosnosti při požáru

#### **Zatížení při požáru**

Zatížení při požáru se odvodí ze zatížení pro běžnou teplotu podle pravidel v EN 1991-2.

Pro výpočet zatížení se použije mimořádná kombinace zatížení se součinitelem kombinace  $\psi_{2,1} = 0,3$  pro administrativní budovy. Redukční součinitel zatížení je

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi Q_k}{G_k \gamma_G + Q_k \gamma_Q} = \frac{185 + 0,3 \cdot 175}{185 \cdot 1,35 + 175 \cdot 1,5} = 0,464$$


$$N_{fi,Ed} = \eta_{fi} \cdot N_{Ed} = 0,464 \cdot 1024,5 = 475,0 \text{ kN}$$

**Poznámka:** Součinitel kombinace  $\psi$  může být upřesněn v národní příloze. V tomto příkladu je použita doporučená hodnota podle EN 1991-1-2.

[EN 1993-1-1 §6.3.1](#)

[EN 1991-1-2 §4.3.2](#)

[EN 1993-1-2 §2.4.2](#)

<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	SX045a-CZ-EU	Strana	4 z 10
	Název	Řešený příklad: Požární návrh chráněného sloupu průřezu HEB vystaveného parametrické teplotní křivce		
	Eurokód			
	Vypracoval	Z. Sokol	Datum	Leden 2006
	Kontroloval	F. Wald	Datum	Leden 2006

### Výpočet teploty plynů v požárním úseku

V tomto příkladu byla použita křivka s následujícími parametry:  $\Gamma = 1,372$ ,  $t_{\max} = 33,6$  min (0,56 hodin) a  $x = 1$ . Podrobnosti k určení těchto parametrů lze najít v řešeném příkladu SX042.

Pro výpočet je použit náhradní čas  $t^*$  (v hodinách)

$$t^* = t \Gamma = 1,372 t .$$

Nejvyšší teplota plynů je dosažena v čase  $t_{\max}^*$

$$t_{\max}^* = t_{\max} \Gamma = 0,56 \cdot 1,372 = 0,768 \text{ hour} .$$

Teplotní křivka ve fázi ohřívání:

$$\theta_{g,t} = 20 + 1325 \cdot \left( 1 - 0,324 e^{-0,2 t^*} - 0,204 e^{-1,7 t^*} - 0,472 e^{-19 t^*} \right)$$

Nejvyšší teplota plynů v požárním úseku je

$$\begin{aligned} \theta_{\max} &= 20 + 1325 \cdot \left( 1 - 0,324 e^{-0,2 \cdot 0,768} - 0,204 e^{-1,7 \cdot 0,768} - 0,472 e^{-19 \cdot 0,768} \right) = \\ &= 904^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

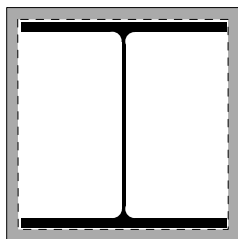
Křivka ve fázi chladnutí pro  $0,5 < t_{\max}^* < 2$  je

$$\begin{aligned} \theta_{g,t} &= \theta_{\max} - 250 \cdot \left( 3 - t_{\max}^* \right) \cdot \left( t^* - t_{\max}^* x \right) = \\ &= 904 - 250 \cdot \left( 3 - 0,768 \right) \cdot \left( t^* - 0,768 \cdot 1 \right) = 1332,5 - 558 \cdot t^* \end{aligned}$$

### Určení teploty sloupu

Pro určení součinitele průřezu se použije obvod průřezu vystavený účinkům požáru, který je vyznačen tečkovanou čarou, viz obrázek 3:


$$\frac{A_p}{V} = \frac{2b + 2h}{A} = \frac{2 \cdot 180 + 2 \cdot 180}{6525} = 0,110 \text{ mm}^{-1} = 110 \text{ m}^{-1}$$



Obrázek 3: Obvod průřezu vystavený účinkům požáru

[EN 1991-1-2 příloha A](#)

[SD005](#)

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX045a-CZ-EU</i>	Strana	<i>5 z 10</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Požární návrh chráněného sloupu průřezu HEB vystaveného parametrické teplotní křivce</i>		
	Eurokód			
	Vypracoval	<i>Z. Sokol</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>
	Kontroloval	<i>F. Wald</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>

Přírůstek teploty chráněného průřezu se určí ze vztahu:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p A_p / V}{d_p c_a \rho_a} \frac{\theta_{g,t} - \theta_{a,t}}{(1 + \phi/3)} \Delta t - (e^{\phi/10} - 1) \Delta\theta_{g,t} \quad \text{ale} \quad \Delta\theta_{a,t} \geq 0$$

kde

$$\phi = \frac{c_p \rho_p}{c_a \rho_a} d_p \frac{A_p}{V}$$

Pro výpočet se použije časový přírůstek  $\Delta t = 30$  sekund.

[EN 1993-1-2](#)  
[§4.2.5.2](#)



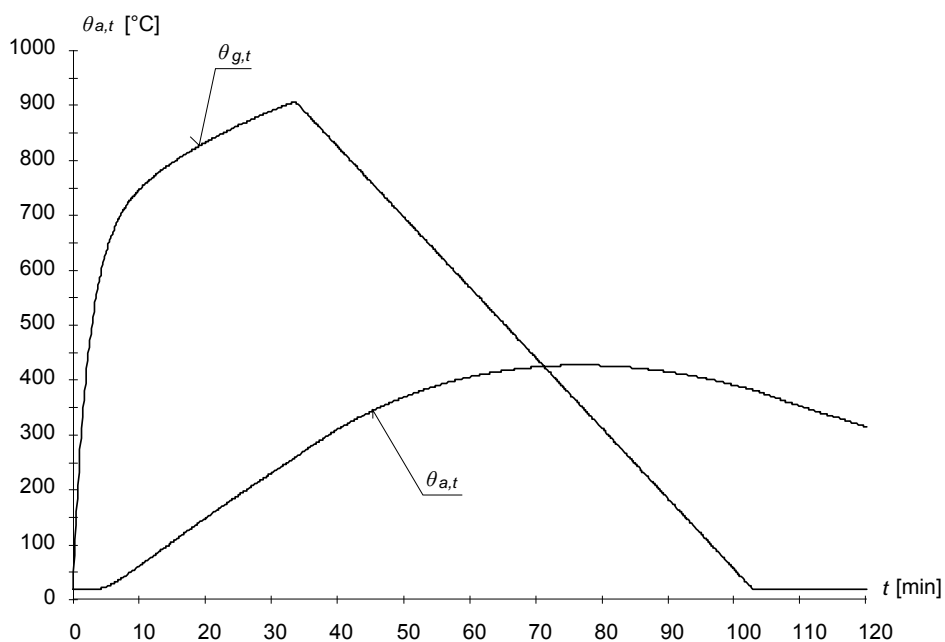
Dokument:	<i>SX045a-CZ-EU</i>	Strana	<b>6</b> z <b>10</b>
Název	<b>Řešený příklad: Požární návrh chráněného sloupu průřezu HEB vystaveného parametrické teplotní křivce</b>		
Eurokód			
Vypracoval	<b>Z. Sokol</b>	Datum	<b>Leden 2006</b>
Kontroloval	<b>F. Wald</b>	Datum	<b>Leden 2006</b>

Časový průběh teploty plynu a teploty průřezu je na obrázku 4 a v tabulce 1.

**Tabulka 1: Výpočet teploty průřezu**

min	sec	$t^*$ hour	$\theta_g$ °C	$c_a$ J/kg°C	$\emptyset$	$\Delta\theta_{a,t}$ °C	$\theta_{a,t}$ °C
	0	0	148,3	440			20,0
	30	0,01143	252,6	440	0,867	0,0	20,0
1	00	0,02287	337,7	440	0,867	0,0	20,0
1	30	0,03430	407,2	440	0,867	0,0	20,0
2	00	0,04573	464,2	440	0,867	0,0	20,0
2	30	0,05717	511,1	440	0,867	0,0	20,0
3	00	0,06860	549,9	440	0,867	0,0	20,0
3	30	0,08003	582,1	440	0,867	0,0	20,0
4	00	0,09147	609,0	440	0,867	0,4	20,4
4	30	0,10290	631,6	440	0,866	1,3	21,7
5	00	0,11433	650,8	441	0,864	1,9	23,6
5	30	0,12577	667,1	442	0,862	2,5	26,0
6	00	0,13720	681,2	444	0,858	2,9	28,9
74	00	1,69213	388,2	619	0,616	0,2	426,0
74	30	1,70357	381,8	619	0,616	0,2	426,2
75	00	1,71500	375,5	619	0,616	0,2	426,4
75	30	1,72643	369,1	619	0,615	0,1	426,5
76	00	1,73787	362,7	619	0,615	0,1	426,6
76	30	1,7493	356,3	619	0,615	0,0	426,6
77	00	1,76073	349,9	619	0,615	0,0	<b>426,6</b>
77	30	1,77217	343,6	619	0,615	0,0	426,6
78	00	1,78360	337,2	619	0,615	-0,1	426,5
78	30	1,79503	330,8	619	0,615	-0,1	426,4
79	00	1,80647	324,4	619	0,615	-0,1	426,3
79	30	1,81790	318,1	619	0,615	-0,2	426,1
80	00	1,82933	311,7	619	0,616	-0,2	425,9
88	00	2,01227	209,6	615	0,619	-0,7	417,9
88	30	2,02370	203,2	615	0,620	-0,8	417,1
89	00	2,03513	169,6	614	0,620	-0,8	416,3
89	30	2,04657	190,5	614	0,621	-0,8	415,5
90	00	2,05800	184,1	614	0,621	-0,9	414,6
90	30	2,06943	177,7	613	0,622	-0,9	413,7

Dokument:	<i>SX045a-CZ-EU</i>	Strana	<i>7 z 10</i>
Název	<i>Řešený příklad: Požární návrh chráněného sloupu průřezu HEB vystaveného parametrické teplotní křivce</i>		
Eurokód			
Vypracoval	<i>Z. Sokol</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>
Kontroloval	<i>F. Wald</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>



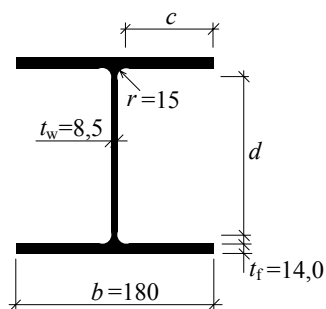
**Obrázek 4: Časový průběh teploty plynu a teploty průřezu**

Maximální teplota průřezu vystaveného požáru podle parametrické teplotní křivky je dosažena v čase 77 minut


$$\theta_{a,\max} = 427^{\circ}\text{C}.$$

### Výpočet únosnosti

#### Klasifikace průřezu za zvýšené teploty



**Obrázek 5: Rozměry průřezu**

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX045a-CZ-EU</i>	Strana	<b>8</b> z <b>10</b>
	Název	<b>Řešený příklad: Požární návrh chráněného sloupu průřezu HEB vystaveného parametrické teplotní křivce</b>		
	Eurokód			
	Vypracoval	<i>Z. Sokol</i>	Datum	<b>Leden 2006</b>
	Kontroloval	<i>F. Wald</i>	Datum	<b>Leden 2006</b>

Štíhlost tlačené pásnice je

$$\frac{c}{t_f} = \frac{70,75}{14,0} = 5,05$$

Maximální hodnota pro 1. třídu průřezu je  $9\varepsilon$ . Pro zařazení při požáru se hodnota  $\varepsilon$  redukuje na 0,85 násobek hodnoty používané při běžné teplotě. Hodnota pro ocel S355 je:

$$9 \times 0,85 \times 0,814 = 6,22$$

Hodnota pro 1. třídu je překročena, pásnice je 1. třídy.

Štíhlost tlačené stěny je

$$\frac{d}{t_w} = \frac{122,0}{8,5} = 14,35$$

a limit pro průřezy 1. třídy je  $33\varepsilon$ . Pro zařazení při požáru se hodnota  $\varepsilon$  redukuje na 0,85 násobek hodnoty používané při běžné teplotě. Limit

$$33 \times 0,85 \times 0,814 = 22,8$$

není překročen, stěna je 1. třídy.

Průřez je při požáru zařazen do 1. třídy.

Redukční součinitele  $k_{y,\theta}$  a  $k_{E,\theta}$  pro teplotu průřezu  $\theta_a = 427^\circ\text{C}$  jsou:

$$k_{y,\theta} = 0,941$$

$$k_{E,\theta} = 0,673$$

Za předpokladu, že požární odolnost stropní konstrukce je větší než požární odolnost sloupu, je možno počítat s redukovanou vzpěrnou délkou:

$$L_{cr,y,fi} = L_{cr,z,fi} = 0,7 \cdot L = 0,7 \cdot 3,5 = 2,45 \text{ m}$$


[EN 1993-1-2 §4.2.2](#)

[EN 1993-1-2 §3.2.1](#)

[SD003](#)

[EN 1993-1-2 §4.2.3.2](#)



<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	SX045a-CZ-EU	Strana	9 z 10
	Název	Řešený příklad: Požární návrh chráněného sloupu průřezu HEB vystaveného parametrické teplotní křivce		
	Eurokód			
	Vypracoval	Z. Sokol	Datum	Leden 2006
	Kontroloval	F. Wald	Datum	Leden 2006

Kritické zatížení při běžné teplotě je:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 E I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 210000 \times 1363 \times 10^4}{2450^2} = 4706 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost při běžné teplotě je:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{6530 \cdot 355}{4706,3 \cdot 10^3}} = 0,702$$

Poměrná štíhlost při teplotě sloupu  $\theta_a$  je

$$\bar{\lambda}_\theta = \bar{\lambda} [k_{y,\theta} / k_{E,\theta}]^{0,5} = 0,702 \cdot [0,941 / 0,673]^{0,5} = 0,830$$

Součinitel imperfekce  $\alpha$ :

$$\alpha = 0,65 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,53$$

Vzpěrnostní součinitel:

$$\phi_{z,\theta} = 0,5 \left( 1 + \alpha \bar{\lambda}_{z,\theta} + \bar{\lambda}_{z,\theta}^2 \right) = 0,5 \cdot \left( 1 + 0,53 \cdot 0,830 + 0,830^2 \right) = 1,064$$

$$\chi_{z,\theta} = \frac{1}{\phi_{z,\theta} + \sqrt{\phi_{z,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{z,\theta}^2}} = \frac{1}{1,064 + \sqrt{1,064^2 - 0,830^2}} = 0,578$$

Návrhová únosnost ve vzpěrném tlaku při teplotě  $\theta_a = 427^\circ\text{C}$  je:

$$N_{b,\theta,Rd} = \chi_{z,\theta} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,\theta}} = 0,578 \cdot 6525 \cdot 0,941 \cdot \frac{355}{1,0} = 1260 \text{ kN}$$


**Poznámka:** Vzhledem k poměrně malé teplotě průřezu a zmenšené vzpěrné délce při požáru vychází únosnost při požáru vyšší než při běžné teplotě.

Osová síla působící při požáru je

$$N_{fi,Ed} = 475,0 \text{ kN}$$

$$N_{b,\theta,Rd} \geq N_{fi,Ed}$$

Průřez při požáru vyhovuje.

<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX045a-CZ-EU</i>	Strana	<i>10 z 10</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Požární návrh chráněného sloupu průřezu HEB vystaveného parametrické teplotní křivce</i>		
	Eurokód			
	Vypracoval	<i>Z. Sokol</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>
	Kontroloval	<i>F. Wald</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>

### Porovnání s normovou požární odolností

Pro normovou požární odolnost R60 se dá určit potřebná tloušťka protipožárního obkladu z podkladů dodaných výrobcem sádkartonových desek publikovaných v dokumentu 'Fire protection for structural steel in buildings'. Tyto podklady jsou založeny na předpokladu, že kritická teplota prvku je vyšší než 550°C.

Součinitel průřezu = 110 m<sup>-1</sup>

Tloušťka obkladu = 12,5 mm

### Porovnání metod

Metoda návrhu	Stupeň využití, $\mu_0$	Plné využití
Parametrická křivka, únosnost sloupu vypočtena podle EN 1993-1-2	$\frac{E_{f_i,d}}{R_{f_i,d,0}} = \frac{475}{1339} = 0,35$	$\frac{N_{f_i,Ed}}{N_{b,f_i,\theta,Rd}} = 0,38$
Návrh podle doporučení výrobce	0,6 (nominální)	1,0 (nominální)

Stupeň využití průřezu je poměrně malý, protože při běžné teplotě je průřez využíván pouze na 82%. Obě metody ukazují, že minimální tloušťka obkladu postačuje pro požadovanou požární odolnost.

## Quality Record

<b>RESOURCE TITLE</b>	Řešený příklad: Požární návrh chráněného sloupu průřezu HEB vystaveného parametrické teplotní křivce		
<b>Reference(s)</b>			
<b>ORIGINAL DOCUMENT</b>			
	<b>Name</b>	<b>Company</b>	<b>Date</b>
<b>Created by</b>	Z. Sokol	CTU in Prague	11/1/06
<b>Technical content checked by</b>	F. Wald	CTU in Prague	30/1/06
<b>Editorial content checked by</b>			
<b>Technical content endorsed by the following STEEL Partners:</b>			
<b>1. UK</b>	G W Owens	SCI	30/6/08
<b>2. France</b>	A Bureau	CTICM	30/6/08
<b>3. Sweden</b>	B Uppfeldt	SBI	30/6/08
<b>4. Germany</b>	C Müller	RWTH	30/6/08
<b>5. Spain</b>	J Chica	Labein	30/6/08
<b>6. Luxembourg</b>	M Haller	PARE	30/6/08
<b>Resource approved by Technical Coordinator</b>	G W Owens	SCI	12/9/06
<b>TRANSLATED DOCUMENT</b>			
<b>This Translation made and checked by:</b>	Z. Sokol	CTU in Prague	29/6/07
<b>Translated resource approved by</b>	F. Wald	CTU in Prague	31/7/07
<b>National technical contact</b>	F. Wald		