


<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	SX026a-CZ-EU	List	1 z 7
	Název	Řešený příklad: Návrh za studena tvarovaného ocelového nosníku		
	Eurokód	EN 1993-1-3		
	Vypracovali	V. Ungureanu, A. Ruff	Datum	Prosinec 2005
	Kontroloval	D. Dubina	Datum	Prosinec 2005

## Řešený příklad: Návrh za studena tvarovaného ocelového nosníku

*Tento příklad se zabývá návrhem prostě uloženého stropního nosníku C profilu. Předpokládá se, že horní i dolní pásnice je spojitě příčně podepřena. Uvažuje se též posouzení mezního stavu použitelnosti.*

Při praktickém návrhu tenkostěnných profilů podle EN1993 budou projektanti běžně užívat software nebo data výrobce. Tento příklad je uveden z ilustračních důvodů.

### Vstupní data

Rozpětí nosníku  $L = 5 \text{ m}$

Vzdálenost nosníků  $S = 0,6 \text{ m}$




Spojitě zatížení nosníku:

vlastní tíha nosníku	$q_{G,beam} = 0,06 \text{ kN/m}$
lehká deska	$0,68 \text{ kN/m}^2$
	$q_{G,slab} = 0,68 \times 0,6 = 0,41 \text{ kN/m}$
stálé zatížení	$q_G = q_{G,beam} + q_{G,slab} = 0,47 \text{ kN/m}$
užitné zatížení	$2,50 \text{ kN/m}^2$
	$q_Q = 2,50 \times 0,6 = 1,50 \text{ kN/m}$

Rozměry průřezu a vlastnosti materiálu jsou:

Celková výška	$h = 200 \text{ mm}$
Celková šířka tlačené pásnice	$b_1 = 74 \text{ mm}$
Celková šířka tažené pásnice	$b_2 = 66 \text{ mm}$
Celková šířka okrajové výztuhy	$c = 20,8 \text{ mm}$
Vnitřní poloměr ohnutí	$r = 3 \text{ mm}$
Jmenovitá tloušťka	$t_{nom} = 2 \text{ mm}$
Tloušťka ocelového jádra	$t = 1,96 \text{ mm}$
Základní mez kluzu	$f_{yb} = 350 \text{ N/mm}^2$
Modul pružnosti	$E = 210000 \text{ N/mm}^2$
Poissonův poměr	$\nu = 0,3$

<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	SX026a-CZ-EU	List	2 z 7
	Název	Řešený příklad: Návrh za studena tvarovaného ocelového nosníku		
	Eurokód	EN 1993-1-3		
	Vypracovali	V. Ungureanu, A. Ruff	Datum	Prosinec 2005
	Kontroloval	D. Dubina	Datum	Prosinec 2005

Dílčí součinitele	$\gamma_{M0} = 1,0$	
	$\gamma_{M1} = 1,0$	
	$\gamma_G = 1,35$	– stálá zatížení
	$\gamma_Q = 1,50$	– nahodilá zatížení

## 1. Návrh nosníku na mezní stav únosnosti

### Vlastnosti účinného průřezu v mezním stavu únosnosti

Účinný moment setrvačnosti za studena tvarovaného průřezu C pro ohyb okolo osy největší tuhosti:  $I_{\text{eff},y} = 4139861 \text{ mm}^4$

Poloha neutrální osy:

- od tlačené pásnice:  $z_c = 102,3 \text{ mm}$

- od tažené pásnice:  $z_t = 95,7 \text{ mm}$

Účinný průřezový modul:

- vztažený k tlačené pásnici:

$$W_{\text{eff},y,c} = \frac{I_{\text{eff},y}}{z_c} = \frac{4140000}{102,3} = 40460 \text{ mm}^3$$

- vztažený k tažené pásnici:

$$W_{\text{eff},y,t} = \frac{I_{\text{eff},y}}{z_t} = \frac{4140000}{95,7} = 43260 \text{ mm}^3$$

$$W_{\text{eff},y} = \min(W_{\text{eff},y,c}, W_{\text{eff},y,t}) = 40463 \text{ mm}^3$$

### Zatížení působící na nosník v MSÚ

$$q_d = \gamma_G q_G + \gamma_Q q_Q = 1,35 \times 0,47 + 1,50 \times 1,50 = 2,89 \text{ kN/m}$$


Největší působící ohybový moment (uprostřed rozpětí) okolo osy největší tuhosti y-y:

$$M_{\text{Ed}} = q_d L^2 / 8 = 2,89 \times 5^2 / 8 = 9,03 \text{ kNm}$$

### Posouzení momentové únosnosti v MSÚ

Návrhová momentová únosnost průřezu:

$$M_{c,Rd} = W_{\text{eff},y} f_{yb} / \gamma_{M0} = 40463 \times 10^{-9} \times 350 \times 10^3 / 1,0 = 14,16 \text{ kNm}$$

<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	SX026a-CZ-EU	List	3 z 7
	Název	<b>Řešený příklad: Návrh za studena tvarovaného ocelového nosníku</b>		
	Eurokód	EN 1993-1-3		
	Vypracovali	V. Ungureanu, A. Ruff	Datum	Prosinec 2005
	Kontroloval	D. Dubina	Datum	Prosinec 2005

Ověření ohybové únosnosti:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{9,03}{14,16} = 0,638 < 1 \quad - \text{VYHOVÍ}$$

### **Posouzení smykové únosnosti v MSÚ**

Návrhová posouvající síla

Největší působící posouvající síla

$$V_{Ed} = q_d L / 2 = 2,89 \times 5 / 2 = 7,225 \text{ kN}$$

Návrhová plastická smyková únosnost

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_{yb} / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{h_w t (f_{yb} / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

kde:

$A_v$  – je smyková plocha

$h_w = h - t_{nom}$  – je plocha stojiny

$\phi = 90^\circ$  – je odklon stojiny od pásnic.

$$V_{pl,Rd} = \frac{(200 - 2) \times 10^{-3} \times 1,96 \times 10^{-3} \times (350 \times 10^3 / \sqrt{3})}{1,0 \sin 90^\circ} = 78,42 \text{ kN}$$

Návrhová smyková únosnost s vlivem boulení

$$V_{b,Rd} = \frac{h_w t f_{bv}}{\gamma_{M0} \sin \phi}$$


kde:

$f_{bv}$  je smyková pevnost s vlivem boulení

Pro stojinu s podporovým vyztužením:

$$f_{bv} = 0,58 f_{yb} \quad \text{pro} \quad \bar{\lambda}_w \leq 0,83$$

$$f_{bv} = 0,48 f_{yb} / \bar{\lambda}_w \quad \text{pro} \quad \bar{\lambda}_w > 0,83$$

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	SX026a-CZ-EU	List	4 z 7	
	Název	<b>Řešený příklad: Návrh za studena tvarovaného ocelového nosníku</b>			
	Eurokód	EN 1993-1-3			
	Vypracovali	V. Ungureanu, A. Ruff	Datum	Prosinec 2005	
	Kontroloval	D. Dubina	Datum	Prosinec 2005	

Poměrná štíhlost  $\bar{\lambda}_w$  pro stojiny bez podélných výztuh:

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} = 0,346 \frac{h - t_{nom}}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} =$$

$$0,346 \times \frac{200 - 2}{1,96} \times \sqrt{\frac{350}{210000}} = 1,427$$

$$\bar{\lambda}_w = 1,427 > 0,83, \quad \text{takže:}$$

$$f_{bv} = 0,48 f_{yb} / \bar{\lambda}_w = 0,48 \times 350 / 1,427 = 117,7 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{(200 - 2) \times 10^{-3}}{\sin 90^\circ} \times 1,96 \times 10^{-3} \times 117,7 \times 10^3}{1,0} = 45,7 \text{ kN}$$

Návrhová smyková únosnost  $V_{c,Rd} = \min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = \min(78,42; 45,7) = 45,7 \text{ kN}$

Ověření smykové únosnosti:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{7,225}{45,7} = 0,158 < 1 \quad - \text{VYHOVÍ}$$

### Posouzení lokální příčné únosnosti stojiny v MSÚ

Podporová reakce:

$$F_{Ed} = q_d L / 2 = 2,89 \times 5 / 2 = 7,225 \text{ kN}$$


K výpočtu lokální příčné únosnosti stojiny pro průřez s jednou nevyztuženou stojinou mají být splněna následující kritéria:

$$h_w / t \leq 200 \quad 198 / 1,96 = 101,02 < 200 \quad - \text{VYHOVÍ}$$

$$r / t \leq 6 \quad 3 / 1,96 = 1,53 < 6 \quad - \text{VYHOVÍ}$$

$$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$$

kde  $\phi$  je úhel mezi stojinou a pásnicemi:  $\phi = 90^\circ \quad - \text{VYHOVÍ}$

<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	SX026a-CZ-EU	List	5 z 7
	Název	Řešený příklad: Návrh za studena tvarovaného ocelového nosníku		
	Eurokód	EN 1993-1-3		
	Vypracovali	V. Ungureanu, A. Ruff	Datum	Prosinec 2005
	Kontroloval	D. Dubina	Datum	Prosinec 2005

### Lokální příčná únosnost stojiny

Roznášecí délka:  $s_s = 80 \text{ mm}$

Pro  $s_s/t = 80/1,96 = 40,816 < 60$  lokální příčná únosnost stojiny  $R_{w,Rd}$  je:

$$R_{w,Rd} = \frac{k_1 k_2 k_3 \left[ 5,92 - \frac{h_w/t}{132} \right] \left[ 1 + 0,01 \frac{s_s}{t} \right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}}$$

kde:

$$k_1 = 1,33 - 0,33k \quad \text{při} \quad k = f_{yb}/228 = 350/228 = 1,535$$

$$k_1 = 1,33 - 0,33 \times 1,535 = 0,823$$

$$k_2 = 1,15 - 0,15 r/t = 1,15 - 0,15 \times 3/1,96 = 0,92$$

$$k_3 = 0,7 + 0,3(\phi/90)^2 = 0,7 + 0,3 \times (90/90)^2 = 1$$

$$R_{w,Rd} = \frac{0,823 \times 0,92 \times 1 \times \left[ 5,92 - \frac{198/1,96}{132} \right] \times \left[ 1 + 0,01 \times \frac{80}{1,96} \right] \times 1,96^2 \times 350}{1,0} = 7396 \text{ N}$$

$$R_{w,Rd} = 7,396 \text{ kN}$$

### Ověření lokální příčné únosnosti

$$F_{Ed} = 7,225 \text{ kN} < R_{w,Rd} = 7,396 \text{ kN} \quad - \text{VYHOVÍ}$$


## 2 **Ověření mezního stavu použitelnosti**

### **Zatížení působící na nosník v MSP (častá kombinace)**

$$q_{d,ser} = q_G + q_Q = 0,47 + 1,50 = 1,97 \text{ kN/m}$$

Největší působící ohybový moment:

$$M_{Ed,ser} = q_{d,ser} L^2 / 8 = 1,97 \times 5^2 / 8 = 6,16 \text{ kNm}$$

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	SX026a-CZ-EU	List	6 z 7
	Název	<b>Řešený příklad: Návrh za studena tvarovaného ocelového nosníku</b>		
	Eurokód	EN 1993-1-3		
	Vypracovali	V. Ungureanu, A. Ruff	Datum	Prosinec 2005
	Kontroloval	D. Dubina	Datum	Prosinec 2005

## Vlastnosti účinného průřezu v mezním stavu použitelnosti

Moment setrvačnosti pro MSP:

$$I_{\text{fic}} = I_{\text{gr}} - \frac{\sigma_{\text{gr}}}{\sigma} (I_{\text{gr}} - I(\sigma)_{\text{eff}})$$

kde:

$I_{\text{gr}} = 4496000 \text{ mm}^4$  – je moment setrvačnosti plného průřezu

$\sigma_{\text{gr}}$  – největší tlakové napětí od ohybu v MSP

$z_{\text{c,gr}} = 96,88 \text{ mm}$  – poloha neutrální osy vztažená k tlačené pásnici

$$\sigma_{\text{gr}} = \frac{M_{\text{Ed,ser}}}{W_{\text{gr}}} = \frac{M_{\text{Ed,ser}}}{I_{\text{gr}}/z_{\text{c,gr}}} = \frac{6,16 \times 10^6}{4496000/96,88} = 132,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = f_{\text{yb}} = 350 \text{ N/mm}^2$$

$$I(\sigma)_{\text{eff}} = I_{\text{eff,y}} = 4140000 \text{ mm}^4$$

$$I_{\text{fic}} = 4496000 - \frac{132,7}{350} \times (4496000 - 4140000) = 4361000 \text{ mm}^4$$

## Posouzení průhybu

Průhyb nosníku:

$$\delta = \frac{5}{384} \frac{q_{\text{d,ser}} L^4}{EI_{\text{fic}}} = \frac{5}{384} \times \frac{1,97 \times 5000^4}{210000 \times 4361000} = 17,51 \text{ mm}$$

Průhyb je  $L/286$  – VYHOVÍ

**Poznámka 1:** Mezní průhyby mají být stanoveny zákazníkem. Doporučené hodnoty mohou být uvedeny v národní příloze. Výsledek v tomto příkladu lze považovat za vyhovující.

**Poznámka 2:** Co se týče vibrací, může národní příloha stanovit omezení vlastních frekvencí. V tomto příkladu je celkový průhyb malý a proto problém s vibracemi nevznikne.

## Quality Record

<b>RESOURCE TITLE</b>	Example: Design and serviceability limit state check of a cold-formed steel member in bending		
<b>Reference(s)</b>			
<b>ORIGINAL DOCUMENT</b>			
	<b>Name</b>	<b>Company</b>	<b>Date</b>
<b>Created by</b>	V. Ungureanu, A. Ruff	BRITT Ltd. Timisoara, Romania	
<b>Technical content checked by</b>	D. Dubina	BRITT Ltd. Timisoara, Romania	
<b>Editorial content checked by</b>			
<b>Technical content endorsed by the following STEEL Partners:</b>			
<b>1. UK</b>	G W Owens	SCI	12/4/06
<b>2. France</b>	A Bureau	CTICM	12/4/06
<b>3. Sweden</b>	B Uppfeldt	SBI	11/4/06
<b>4. Germany</b>	C Müller	RWTH	11/4/06
<b>5. Spain</b>	J Chica	Labein	12/4/06
<b>Resource approved by Technical Coordinator</b>	G W Owens	SCI	11/9/06
<b>TRANSLATED DOCUMENT</b>			
<b>This Translation made and checked by:</b>	T Vraný	ČVUT in Prague	04/6/07
<b>Translated resource approved by:</b>	M.Vašek	ČVUT in Prague	31.8.2007
<b>National technical contact</b>	F Wald	ČVUT in Prague	