


<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX021a-CZ-EU</i>	Strana	<i>1</i>	z	<i>10</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Prostě podepřená vaznice průřezu IPE</i>				
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>				
	Vypracoval	<i>Mladen Lukic</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>		
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>		

Řešený příklad: Prostě podepřená vaznice průřezu IPE

Tento příklad se zabývá podrobným posouzením prostě podepřené vaznice zatížené spojitým zatížením podle EN 1993-1-1. Vaznice je z válcovaného profilu průřezu "I", který je příčně podepřen ocelovým plechem střešního pláště.

Obsah

Jedná se o příklad návrhu ocelového za tepla válcovaného profilu, který je použit jako vaznice namáhaná ohybem ve směru větší tuhosti. Vaznice je příčně držena ocelovým plechem střešního pláště. Příklad zahrnuje:

- zatřídění průřezu,
- výpočet momentové únosnosti, který zahrnuje stanovení pružného kritického momentu pro stanovení únosnosti z hlediska ztráty příčné a torzní stability,
- výpočet smykové únosnosti,
- výpočet průhybů pro mezní stav použitelnosti.

Posouzení ocelového střešního pláště není předmětem tohoto příkladu.

Parciální součinitele bezpečnosti

- γ_{Gmax} = 1,35 (stálá zatížení)
- γ_{Gmin} = 1,00 (stálá zatížení)
- γ_Q = 1,50 (proměnná zatížení)
- γ_{M0} = 1,0
- γ_{M1} = 1,0


EN 1990

[EN 1993-1-1 § 6.1 \(1\)](#)

Zatížení

Spojitě liniové zatížení zahrnuje:

- Vlastní tíha vaznice
- Střešní plášť 0,240 kN/m²
- Zatížení sněhem: 0,618 kN/m²
- Zatížení větrem (sání) : 0,730 kN/m²

<p>VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX021a-CZ-EU</i>	Strana	2 z 10
	Název	<i>Řešený příklad: Prostě podepřená vaznice průřezu IPE</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracoval	<i>Mladen Lukic</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>

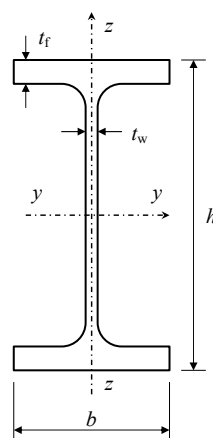
Základní geometrická data

Vaznice

- Rozpětí: $L = 7,20$ m
- Vzdálenost vaznic: $s = 3,00$ m

Navrhujeme IPE 180 – Ocel kvality S275

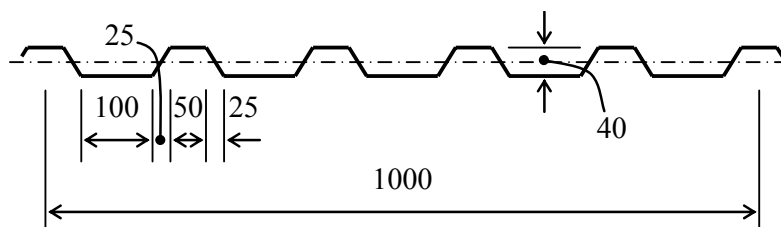
Výška profilu	$h = 180$ mm
Šířka pásnice	$b = 91$ mm
Tloušťka stěny profilu	$t_w = 5,3$ mm
Tloušťka pásnice profilu	$t_f = 8$ mm
Rádus	$r = 9$ mm



Hmotnost profilu	$18,8$ kg/m
------------------	-------------


Průřezová plocha	$A = 23,9$ cm ²
Moment setrvačnosti /yy	$I_y = 1317$ cm ⁴
Moment setrvačnosti /zz	$I_z = 100,9$ cm ⁴
Moment tuhosti v prostém kroucení	$I_t = 4,79$ cm ⁴
Výsečový moment setrvačnosti	$I_w = 7430$ cm ⁶
Pružný průřezový modul /yy	$W_{el,y} = 146,3$ cm ³
Pružný průřezový modul /yy	$W_{pl,y} = 166,4$ cm ³

Střešní plech – Ocel kvality S350



Tloušťka plechu $t = 0,7$ mm

Euronorm
19-57

VÝPOČET 	Dokument:	<i>SX021a-CZ-EU</i>	Strana	3 z 10
	Název	<i>Řešený příklad: Prostě podepřená vaznice průřezu IPE</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracoval	<i>Mladen Lukic</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>

Smykovou tuhost trapézového plechu připojeného k vaznici v místě každého žebra napojovaného s přesahy na každé straně je možné vypočítat podle EN 1993-1-3:

$$S = 1000 \sqrt{t^3} \left(50 + 10 \sqrt[3]{b_{\text{roof}}} \right) \frac{s}{h_w}$$

Výpočet potřebných veličin:

$$\sqrt{t^3} = \sqrt{0,7^3} = 0,586 \text{ mm}^{3/2}$$

$$50 + 10 \sqrt[3]{b_{\text{roof}}} = 50 + 10 \times \sqrt[3]{7200} = 243 \text{ mm}^{2/3}$$

$$\frac{s}{h_w} = \frac{3000}{40} = 75$$

Potom lze vyjádřit smykovou tuhost:

$$S = 1000 \times 0,586 \times 243 \times 75 \times 10^{-3} = 10680 \text{ kNm} / \text{m}$$

Únosnost pláště pro zajištění vaznice

Průběžné příčné podepření

Jestliže je následující požadavek splněn, vaznice je považována za příčné podepřenou v rovině pláště:

$$S \geq S_{\min} = \left(\frac{\pi^2 E I_w}{L^2} + G I_t + \frac{\pi^2 E I_z (h/2)^2}{L^2} \right) \times \frac{70}{h^2}$$

Vypočteme:

$$\frac{\pi^2 E I_w}{L^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 7430 \times 10^6}{7200^2} \times 10^{-9} = 0,2971 \text{ kNm}^2$$

$$G I_t = 80770 \times 4,79 \times 10^4 \times 10^{-9} = 3,869 \text{ kNm}^2$$

$$\frac{\pi^2 E I_z (h/2)^2}{L^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 100,9 \times 10^4 \times 90^2}{7200^2} \times 10^{-9} = 0,3268 \text{ kNm}^2$$


Potom minimální tuhost je:

$$S_{\min} = (0,2971 + 3,869 + 0,3265) \times \frac{70}{0,18^2} = 9706 \text{ kNm/m}$$

[EN 1993-1-3 § 10.1.1\(10\)](#)

[EN 1993-1-1 §BB.2.1](#)

[EN 1993-1-3 § 10.1.1 \(6\)](#)

VÝPOČET 	Dokument:	<i>SX021a-CZ-EU</i>	Strana	<i>4 z 10</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Prostě podepřená vaznice průřezu IPE</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracoval	<i>Mladen Lukic</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>

Potom:

$$S = 10680 \text{ kNm/m} > S_{\min} = 9706 \text{ kNm/m}$$

Podmínka je tudíž splněna a ocelový střešní plášť můžeme považovat za dostatečně tuhý aby zajistil vaznici proti vybočení. Ještě je nutné poznamenat, že požadavky týkající se únosnosti a stability ocelového střešního pláště jsou uvedeny v EN 1993-1-3, tyto posouzení jsou mimo rozsah tohoto příkladu.

Zatížení

- Vaznice: $G_1 = (18,8 \times 9,81) \times 10^{-3} = 0,184 \text{ kN/m}$
- Střešní plášť: $G_2 = 0,240 \times 3,00 = 0,720 \text{ kN/m}$
- Stálé zatížení: $G = G_1 + G_2 = 0,904 \text{ kN/m}$
- Sníh: $Q_S = 0,618 \times 3,00 = 1,854 \text{ kN/m}$
- Vítr (sání): $Q_W = 0,730 \times 3,00 = 2,190 \text{ kN/m}$

Poznámka: Předpokládá se, že sklon střechy je natolik malý že není zapotřebí provádět rozklad sil na složku paralelní ke stěně vaznice a složku paralelní s rovinou střechy.

Kombinace pro MSU:

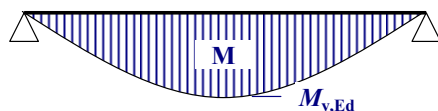
- Kladný směr zatížení (tlak):
 $\gamma_{G_{\max}} G + \gamma_Q Q_S = 1,35 \times 0,904 + 1,50 \times 1,854 = 4,00 \text{ kN/m}$
- Záporný směr zatížení (sání):
 $\gamma_{G_{\min}} G + \gamma_Q Q_S = 1,00 \times 0,904 - 1,50 \times 2,190 = -2,38 \text{ kN/m}$

[EN 1990](#)
[§ 6.4.3.2](#)

Průběh momentů

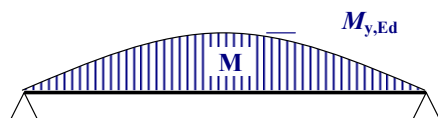
- Maximální kladný moment uprostřed rozpětí:


$$M_{y,Ed} = 0,125 \times 4,00 \times 7,20^2 = 25,92 \text{ kNm}$$



- Maximální záporný moment uprostřed rozpětí:

$$M_{y,Ed} = 0,125 \times (-2,38) \times 7,20^2 = -15,42 \text{ kNm}$$



<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX021a-CZ-EU</i>	Strana	<i>5</i>	z	<i>10</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Prostě podepřená vaznice průřezu IPE</i>				
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>				
	Vypracoval	<i>Mladen Lukic</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>		
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>		

Průběh posouvajících sil

- Maximální posouvající síla v podpoře od kladných namáhání:
 $V_{z,Ed} = 0,5 \times 4,00 \times 7,20 = 14,4 \text{ kN}$
- Maximální posouvající síla v podpoře od záporných namáhání:
 $V_{z,Ed} = 0,5 \times 2,38 \times 7,20 = 8,57 \text{ kN}$

Kombinace MSP

- Kladný směr zatížení (tlak):
 $G + Q = 0,905 + 1,854 = 2,759 \text{ kN/m}$
- Záporný směr zatížení (sání):
 $G + Q = 0,905 - 2,190 = -1,285 \text{ kN/m}$

[EN 1990](#)
[§ 6.5.3](#)

Mez kluzu

Ocel třídy S275
 Maximální tloušťka jednotlivých částí prvku je $8 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$,
 takže: $f_y = 275 \text{ N/mm}^2$

[EN 1993-1-1](#)
[Table 3.1](#)

Poznámka: Národní příloha může zavádět jinou hodnotu pro f_y jak v tabulce 3.1 tak v produktových standardech.

Klasifikace průřezu:

Parametr ε je odvozen z meze kluzu: $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y [\text{N/mm}^2]}} = 0,92$

[EN 1993-1-1](#)
[Table 5.2](#)

(list 2. ze 3)

Odstávající pásnice: pásnice je namáhaná konstantním tlakem

$$c = (b - t_w - 2r) / 2 = (91 - 5,3 - 2 \times 9) / 2 = 33,85 \text{ mm}$$

$$c/t_f = 33,85 / 8,0 = 4,23 \leq 9 \quad \varepsilon = 8,28 \quad \text{Třída 1}$$

Vnitřní tlačená část: stěna namáhaná prostým ohybem

$$c = h - 2t_f - 2r = 180 - 2 \times 8 - 2 \times 9 = 146 \text{ mm}$$


$$c / t_w = 146 / 5,3 = 27,5 < 72 \quad \varepsilon = 66,24 \quad \text{Třída 1}$$

[EN 1993-1-1](#)
[Table 5.2](#)

(list 1. ze 3)

Třída průřezu odpovídá nejméně příznivé třídě z pásnice a stěny profilu, zde: třída 1

Takže posouzení na MSÚ může být založena na plastické únosnosti průřezu.

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX021a-CZ-EU</i>	Strana	6	z	10
	Název	<i>Řešený příklad: Prostě podepřená vaznice průřezu IPE</i>				
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>				
	Vypracoval	<i>Mladen Lukic</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>		
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>		

Momentová únosnost – kladné namáhání

Návrhová únosnost průřezu v ohybu je dána vztahem:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl,y} f_y / \gamma_{M0} = (166,4 \times 275 / 1,0) \times 10^{-3}$$

$$M_{c,Rd} = 45,76 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} / M_{c,Rd} = 25,92 / 45,76 = 0,566 < 1 \quad \mathbf{OK}$$

Posouzení na ztrátu příčné a torzní stability není zapotřebí, neboť tlačena pásnice je považována za příčně zajištěnou.

[EN 1993-1-1](#)
[§ 6.2.5](#)

Momentová únosnost – záporné namáhání

Kritérium momentové únosnosti je:

$$M_{y,Ed} / M_{c,Rd} = 15,42 / 45,76 = 0,337 < 1 \quad \mathbf{OK}$$

Avšak únosnost na ztrátu příčné a torzní stability musí být ověřena, neboť tlačena pásnice je nyní příčně nezajištěna.

[EN 1993-1-1](#)
[§ 6.2.5](#)

Redukční součinitel pro klopení

Pro stanovení návrhové momentové únosnosti při ztrátě stability vaznice je redukční součinitel určen na základě příslušného pružného kritického momentu vyvolávajícího ztrátu příčné a torzní stability při uvážení příčného podepření tažené pásnice.

Poznámka: Torzní podepření od střešního pláště je rovněž fyzicky přítomné a je možné je vzít v úvahu. V tomto výpočtu bude pokládán tento vliv za nevýznamný a nebude vzat v úvahu.


Kritický moment při ztrátě příčné a torzní stability

Kritický moment může být vypočten použitím software *LTBeam* vyvinutého ve CTICM. Tento program umožňuje projektantovi vzít v úvahu zvláštní podmínky podepření jako je průběžné příčné držení tažené pásnice a poloha tohoto podepření vzhledem ke středu smyku.

[SN011](#)

Poznámka: *LTBeam* je dostupný zdarma a může být stažen na webových stránkách

www.cticm.com.

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX021a-CZ-EU</i>	Strana	<i>7 z 10</i>
	Název	<i>Řešený příklad: Prostě podepřená vaznice průřezu IPE</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracoval	<i>Mladen Lukic</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>

Průběžné příčné držení je předpokládáno v poloze 90mm nad středem smyku.

Kritický moment vypočtený pomocí *LTBeam* je:

$$M_{cr} = 27,20 \text{ kNm}$$

Bezrozměrná štíhlost

Bezrozměrnou štíhlost obdržíme z výrazu:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{166400 \times 275 \times 10^{-6}}{27,20}} = 1,297$$

Pro válcované profily, $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$

Poznámka: hodnota $\bar{\lambda}_{LT,0}$ může být upravena v národní příloze. Doporučená hodnota je 0,4.

Takže $\bar{\lambda}_{LT} = 1,297 > \bar{\lambda}_{LT,0}$

Redukční součinitel

Pro válcované profily redukční součinitel pro ztrátu příčné a torzní stability se vypočte z následujícího vztahu:

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

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

α_{LT} je součinitel imperfekce pro ztrátu příčné a torzní stability. Když aplikujeme tuto metodu pro válcované profily, zvolíme si křivku z doporučení v tabulce 6.5:

Pro $h/b = 180 / 91 = 1,97 \leq 2 \rightarrow$ **Křivka b ($\alpha_{LT} = 0,34$)**


$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \text{ a } \beta = 0,75$$


Poznámka: hodnoty $\bar{\lambda}_{LT,0}$ a β mohou být upřesněny v národní příloze. Doporučené hodnoty jsou 0,4 resp. 0,75.

[EN 1993-1-1 §6.3.2.2 \(1\)](#)

[EN 1993-1-1 § 6.3.2.3\(1\)](#)

[EN 1993-1-1 Table 6.5](#)
[Table 6.3](#)

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX021a-CZ-EU</i>	Strana	8 z 10
	Název	<i>Řešený příklad: Prostě podepřená vaznice průřezu IPE</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracoval	<i>Mladen Lukic</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>
<p>Obdržíme: $\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + 0,34 (1,297 - 0,4) + 0,75 \times 1,297^2 \right] = 1,283$</p> <p>a: $\chi_{LT} = \frac{1}{1,283 + \sqrt{1,283^2 - 0,75 \times 1,297^2}} = 0,525$</p> <p>Potom ověříme: $\chi_{LT} = 0,525 < 1,0$ OK</p> <p>a: $\chi_{LT} = 0,525 < 1 / \bar{\lambda}_{LT}^2 = 0,594$</p> <p>Návrhová momentová únosnost při ztrátě stability</p> $M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_{pl,y} f_y / \gamma_{M1}$ $M_{b,Rd} = (0,525 \times 166400 \times 275 / 1,0) \times 10^{-6} = 24,02 \text{ kNm}$ $M_{y,Ed} / M_{b,Rd} = 15,42 / 24,02 = 0,642 < 1$ OK <p>EN 1993-1-1 § 6.3.2.1</p> <p>Smyková únosnost</p> <p>Při nepřítomnosti kroucení smyková plastická únosnost závisí na smykové ploše, která je dána vztahem:</p> $A_{v,z} = A - 2 b t_f + (t_w + 2 r) t_f$ $A_{v,z} = 2390 - 2 \times 91 \times 8 + (5,3 + 2 \times 9) \times 8 = 1120 \text{ mm}^2$ <p>Smyková plastická únosnost</p> $V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{1120 \times (275 / \sqrt{3})}{1,0} \times 10^{-3} = 177,8 \text{ kN}$ $V_{z,Ed} / V_{pl,z,Rd} = 14,4 / 177,8 = 0,081 < 1$ OK <p>EN 1993-1-1 § 6.2.6 (3)</p> <p>EN 1993-1-1 § 6.2.6 (2)</p> <p>Poznámka: Nemusíme uvažovat <i>M-V</i> interakci neboť maximální moment se nachází uprostřed rozpětí a maximální smyková síla se nachází v podporách.</p> <p>EN1993-1-1 § 6.2.8</p> <p>Ověření stojiny na boulení není požadováno, pokud:</p> $h_w / t_w \leq 72 \varepsilon / \eta$ <p>η může být konzervativně uvažováno hodnotou 1.0</p> $h_w / t_w = (180 - 2 \times 8) / 5,3 = 30,9 < 72 \times 0,92 / 1,0 = 66,24$ <p>EN 1993-1-1 § 6.2.6 (6)</p>				

<p style="text-align: center;">VÝPOČET</p> 	Dokument:	<i>SX021a-CZ-EU</i>	Strana	9 z 10
	Název	<i>Řešený příklad: Prostě podepřená vaznice průřezu IPE</i>		
	Eurokód	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Vypracoval	<i>Mladen Lukic</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>
	Kontroloval	<i>Alain Bureau</i>	Datum	<i>Leden 2006</i>

Průhyb pro kladné hodnoty zatížení

Průhyb pro G

$$w = \frac{5 G L^4}{384 E I_y} = \frac{5 \times 0,904 \times (7200)^4}{384 \times 210000 \times 1317 \times 10^4} = 11,4 \text{ mm} = L/632$$

Průhyb pro Q

$$w = \frac{5 Q L^4}{384 E I_y} = \frac{5 \times 1,854 \times (7200)^4}{384 \times 210000 \times 1317 \times 10^4} = 23,5 \text{ mm} = L/306$$

Průhyb pro (G+Q) je L/206

Průhyb pro záporné hodnoty zatížení

Průhyb pro G

$$w = \frac{5 G L^4}{384 E I_y} = \frac{5 \times 0,904 \times (7200)^4}{384 \times 210000 \times 1317 \times 10^4} = 11,4 \text{ mm} = L/632$$

Průhyb pro Q

$$w = \frac{5 Q L^4}{384 E I_y} = \frac{5 \times (-2,190) \times (7200)^4}{384 \times 210000 \times 1317 \times 10^4} = -27,7 \text{ mm} = L/260$$

Průhyb pro (G+Q) is L/442

Poznámka: omezení průhybů by mělo být specifikováno klientem. Národní příloha může specifikovat některé limitní průhyby. Zde v našem případě výsledné průhyby mohou být považovány za vyhovující.

[EN 1993-1-1](#)
[§ 7.2.1](#)

[EN 1993-1-1](#)
[§ 7.2.1](#)

Quality Record

RESOURCE TITLE	Example: Simply supported IPE profile purlin		
Reference(s)			
ORIGINAL DOCUMENT			
	Name	Company	Date
Created by	Mladen Lukic	CTICM	08/12/05
Technical content checked by	Alain Bureau	CTICM	08/12/05
Editorial content checked by			
Technical content endorsed by the following STEEL Partners:			
1. UK	G W Owens	SCI	7/04/06
2. France	A Bureau	CTICM	7/04/06
3. Sweden	B Uppfeldt	SBI	7/04/06
4. Germany	C Müller	RWTH	7/04/06
5. Spain	J Chica	Labein	7/04/06
Resource approved by Technical Coordinator	G W Owens	SCI	17/07/06
TRANSLATED DOCUMENT			
This Translation made and checked by:	K. Mikeš	ČVUT in Prague	30/9/07
Translated resource approved by:	T Vraný	ČVUT in Prague	3/10/07
National technical contact	F Wald	ČVUT in Prague	4/10/07