

NOVATOP OPEN

Předběžné dimenzování – příklady výpočtů

Příklady výpočtů doplňují tabulky předběžného dimenzování v technické dokumentaci NOVATOP OPEN. V následujícím dokumentu je na nosném elementu NOVATOP OPEN ukázán podrobný výpočet a provedení posouzení podle normy ČSN EN 1995-1-1 + A1 + A2 (05/2015). Je provedeno posouzení mezních stavů únosnosti a použitelnosti.

OBSAH

Příklady výpočtů – vertikálně	2–9
Příklady výpočtů – horizontálně	10–17

Technická dokumentace
NOVATOP OPEN



1. VŠEOBECNÉ INFORMACE

V následujícím dokumentu je na nosném elementu (směr vláken povrchových vrstev desek ve směru rozpětí) ukázán podrobný výpočet a provedení posouzení podle normy ČSN EN 1995-1-1 + A1 + A2 (05/2015). Je provedeno posouzení mezních stavů únosnosti a použitelnosti.

2. SYSTÉM A ZATÍŽENÍ

2.1. Materiál

NOVATOP OPEN – nosný element – výška 267 mm

Nosná žebra – hranoly DUO 60 x 240 mm ($b_t \times h_t$)

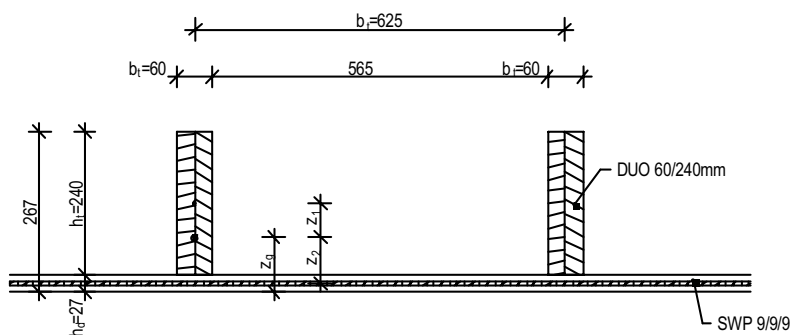
Rozteč žebel $b_f = 625$ mm

Deska na spodním povrchu – SWP 9/9/9 – $h_d = 27$ mm

Rozpětí prostého nosníku $L = 6,0$ m

Sklon 30° (nosníky ve směru sklonu)

Schéma panelu tloušťka 267 mm:



NOVATOP OPEN

PŘÍKLAD VÝPOČTU – VERTIKÁLNĚ

Masivní dřevěná deska SWP:

Vlastnost	---	Zkušební metoda	Třída / Kategorie použití / Číselná hodnota ¹⁾
-----------	-----	-----------------	---

Desky se spojí natupo ve středových vrstvách

Mechanické chování v rovině SWP desky

Skladba desek			6/15/6	9/9/9	9/15/9	9/42/9
Pevnost v ohybu $f_{m,0}$	N/mm ²	ČSN EN 789	13,9	20,3	16,8	9,7
Pevnost v ohybu $f_{m,90}$			8,6	5,3	7,1	10,7
Pevnost v tahu $f_{t,0}$			9,3	13,6	11,2	6,5
Pevnost v tahu $f_{t,90}$			5,7	3,6	4,7	7,1
Pevnost v tlaku $f_{c,0}$			13,9	20,3	16,8	9,7
Pevnost v tlaku $f_{c,90}$			8,6	5,3	7,1	10,7
Pevnost ve stříhu f_v			3,0	3,0	3,0	3,0
Modul pružnosti $E_{m,0}$			5300	7800	6400	3700
Modul pružnosti $E_{m,90}$			3300	2050	2700	4100
Modul pružnosti ve smyku G			600	600	600	600

Mechanické chování kolmo k rovině SWP desky

Pevnost v ohybu $f_{m,0}$	N/mm ²	ČSN EN 789	25,0	28,9	27,3	20,1
Pevnost v ohybu $f_{m,90}$			5,4	3,1	4,1	7,8
Modul pružnosti $E_{m,0}$			9600	11100	10500	7700
Modul pružnosti $E_{m,90}$			1150	400	710	2100
Modul pružnosti ve smyku G			90	90	90	90
Pevnost ve stříhu f_v			1,1	1,1	1,1	1,1

Lepený spoj mezi žebrem a přírubou

Pevnost ve stříhu $f_{v,k,glue,KVH}$	N/mm ²	ETAG 019	1,10
Pevnost ve stříhu $f_{v,k,glue,LVL}$			4,40
Pevnost ve stříhu $f_{v,k,DUO,TRIO,I-nosníky}$			1,10
Pevnost ve stříhu $f_{v,k,glue,BSH}$			3,50

NOVATOP OPEN PŘÍKLAD VÝPOČTU – VERTIKÁLNĚ

Nosníky DUO:

		KVH	DUO-TRIO
Třída jakosti		S10TS	S10TS
Třída pevnosti dle ČSN EN 1194: 1999		C24	C24
Charakteristické hodnoty pevnosti v N/mm²			
Pevnost v ohybu	$f_{m,k}$	24	24
Pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny	$f_{t,0,k}$	14	14
Pevnost v tahu kolmo k vláknům	$f_{t,90,k}$	0,5	0,4
Pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k}$	21	21
Pevnost v tlaku kolmo k vláknům	$f_{c,90,k}$	2,5	2,5
Pevnost ve smyku	$f_{v,k}$	2,5	2
Charakteristické hodnoty pružnosti v kN/mm²			
Průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,mean}$	11	11,6
5 % kvantil modulu pružnosti rovnoběžně k vláknům	$E_{0,05}$	7,4	-
Průměrná hodnota modulu pružnosti kolmo k vláknům	$E_{90,mean}$	0,37	0,37
Průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku	G_{mean}	0,69	0,69
Hustota v kg/m³			
Hustota	ρ_k	350	350

Průřezové charakteristiky:

Spolupůsobící šířka desky $b_1 = \min(b_r; L/10) = 0,6 \text{ m} = 600 \text{ mm}$

Efektivní náhradní průřez:

$$b_{eff} = (E_z/E_1) \cdot b_1 = (7800/11600) \times 0,6 = 0,403 \text{ m}$$

$$A_{t,eff} = 0,06 \times 0,24 = 0,0144 \text{ m}^2$$

$$A_{d,eff} = b_{eff} \times 0,027 = 0,010893 \text{ m}^2$$

$$z_g = (A_{t,eff} \times (h_d + h_t/2) + A_{d,eff} \times h_d/2) / (A_{t,eff} + A_{d,eff}) = (0,0144 \times 0,147 + 0,010893 \times 0,0135) / (0,0144 + 0,010893) = 0,090 \text{ m}$$

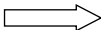
$$z_1 = 0,057 \text{ m}$$

$$z_2 = 0,076 \text{ m}$$

$$I_{y,eff} = \frac{1}{12} \times b_t \times h_t^3 + A_{t,eff} \times z_1^2 + \frac{1}{12} \times b_{eff} \times h_d^3 + A_{d,eff} \times z_2^2 = \frac{1}{12} \times 0,06 \times 0,24^3 + 0,0144 \times 0,057^2 + \frac{1}{12} \times 0,403 \times 0,027^3 + 0,010893 \times 0,076^2 = 180,3 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$i_{y,eff} = \sqrt{\frac{I_{y,eff}}{A_{eff}}} = \sqrt{\frac{180,3 \times 10^{-6}}{0,0253}} = 0,084 \text{ m}$$

2.2. Zatížení

Třída provozu	1
Vlastní tíha elementu	$g_1 = 0,25 \text{ kN/m}^2$
Ostatní stálé zatížení	$g_k = 1,00 \text{ kN/m}^2$
Užitné zatížení	$g_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$
Zatížení sněhem	$s_k = 1,00 \text{ kN/m}^2$
Zatížení větrem (tlak)	$w_k = 0,25 \text{ kN/m}^2$
	$k_{mod} = 0,9$
	$\Psi_2 = 0,60$

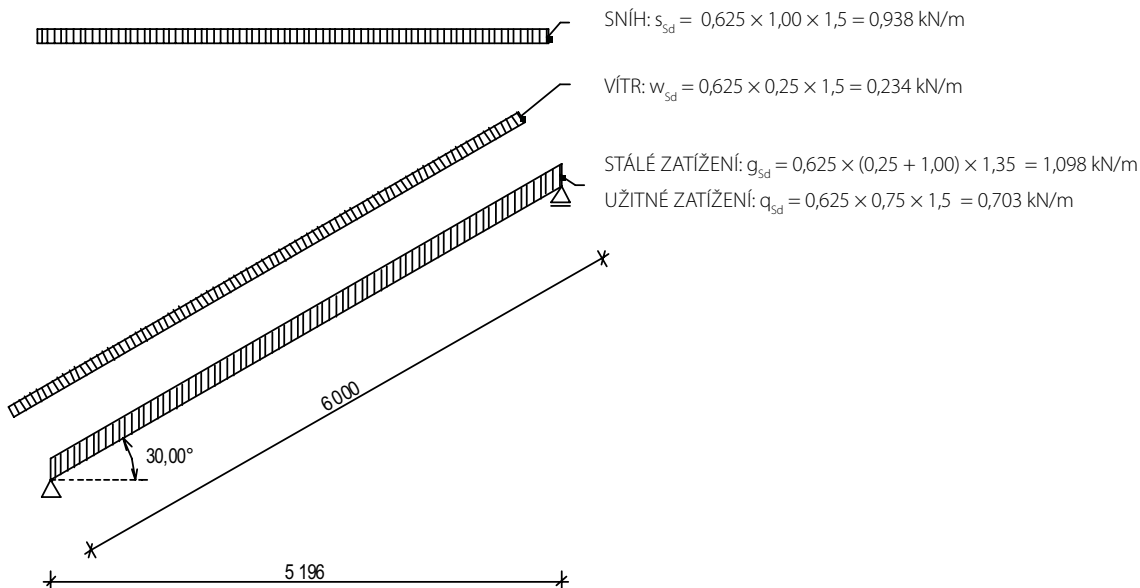
NOVATOP OPEN

PŘÍKLAD VÝPOČTU – VERTIKÁLNĚ

2.3. Posouzení mezních stavů únosnosti

2.3.1 Statické schéma

Zatížení ve směru kolmém na rovinu elementu:



2.3.2 Maximální vnitřní síly

Hodnoty maximálních vnitřních sil se spočítají např. pomocí vhodného software pro statickou analýzu konstrukcí, popř. ručním výpočtem:

$$M_{y,sd} = \frac{1}{8} \times (g_{sd} + q_{sd}) \times L \times L_p + \frac{1}{8} \times s_{sd} \times L_p^2 + \frac{1}{8} \times w_{sd} \times L^2$$

$$= \frac{1}{8} \times (1,098 + 0,703) \times 6,0 \times 5,196 + \frac{1}{8} \times 0,938 \times 5,196^2 + \frac{1}{8} \times 0,234 \times 6,0^2 = 11,237 \text{ kNm}$$

$$V_{sd} = \frac{1}{2} \times (g_{sd} + q_{sd}) \times L \times \cos 30^\circ + \frac{1}{2} \times s_{sd} \times L_p \times \cos 30^\circ + \frac{1}{2} \times w_{sd} \times L$$

$$= \frac{1}{2} \times (1,098 + 0,703) \times 6,0 \times \cos 30^\circ + \frac{1}{2} \times 0,938 \times 5,196 \times \cos 30^\circ + \frac{1}{2} \times 0,234 \times 6,0 = 7,492 \text{ kN}$$

$$N_{sd} = (g_{sd} + q_{sd}) \times L \times \sin 30^\circ - s_{sd} \times L_p \times \sin 30^\circ$$

$$= -(1,098 + 0,703) \times 6,0 \times \sin 30^\circ - 0,938 \times 5,196 \times \sin 30^\circ = -7,840 \text{ kN}$$

(Pozn.: jedná se o tlak)

2.3.3 Posouzení napětí v ohybu v horních tlačných vláknech

$$W_{y,d} = \frac{I_{y,eff}}{((h_t + h_d) - z_g)} = \frac{180,3 \times 10^{-6}}{((0,24 + 0,027) - 0,090)} = 1,019 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{1,c} = \frac{M_{Sd}}{W_{y,h}} = \frac{11,237}{1,019 \times 10^{-3}} = 11027 \text{ kPa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{c,0,k}}{Y_M} = 0,9 \times \frac{21000}{1,3} = 14538 \text{ kPa}$$

$$\frac{\sigma_{1,c}}{f_{c,0,d}} = \frac{11027}{14538} = 0,76 < 1,0$$

✓ VYHOVUJE

2.3.4 Posouzení napětí v ohybu v dolních tažených vláknech

$$W_{y,d} = \frac{I_{y,eff}}{z_g} = \frac{180,3 \times 10^{-6}}{0,090} = 2,003 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Sd}}{W_{y,d}} = \frac{11,237}{2,003 \times 10^{-3}} = 5610 \text{ kPa}$$

$$f_{m,y,0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{m,y,0,k}}{Y_M} = 0,9 \times \frac{20300}{1,3} = 14054 \text{ kPa}$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,y,0,d}} = \frac{5610}{14054} = 0,40 < 1,0$$

✓ VYHOVUJE

2.3.5 Posouzení kombinace napětí v tlaku a v ohybu (s vlivem vzpěru)

Pozn.: Pro výpočet vzpěru kolmo k ose „z“ se uvažuje konzervativní průřez 60 × 267 mm

$$W_{y,min} = 1,019 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \times b^2}{h \times I_{ef}} \times E_{0,05} = \frac{0,78 \times 0,06^2}{0,267 \times 2,0} \times 7400000 = 38912 \text{ kPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24000}{38912}} = 0,785 \text{ m}$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \times \lambda_{rel,m} = 1,56 - 0,75 \times 0,785 = 0,97$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Sd}}{W_{y,min}} = \frac{11,237}{1,019 \times 10^{-3}} = 11027 \text{ kPa}$$

Vzpěr:

$$\lambda_y = \frac{L_{y,eff}}{i_{y,eff}} = \frac{6,0}{0,084} = 71,428$$

$$\lambda_z = \frac{L_{z,eff}}{i_z} = \frac{2,0}{(0,06 / \sqrt{12})} = 115,5$$

NOVATOP OPEN

PŘÍKLAD VÝPOČTU – VERTIKÁLNĚ

Rozhoduje vybočení kolmo k ose „z“

$$\lambda_{\text{rel,z}} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{115,5}{\pi} \times \sqrt{\frac{21000}{7400000}} = 1,959$$

$$k_z = 0,5 \times (1 + \beta_c \times (\lambda_{\text{rel,z}} - 0,3) + \lambda_{\text{rel,z}}^2) \\ = 0,5 \times (1 + \beta_c \times (1,959 - 0,3) + 1,959^2) = 2,584$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{\text{rel,z}}^2}} = \frac{1}{2,584 + \sqrt{2,584^2 - 1,959^2}} = 0,234$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{s,d}}{A_c} = \frac{7,840}{0,267 \times 0,06} = 489,4 \text{ kPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{\text{crit}} \times f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,d}} = \left(\frac{11027}{0,97 \times 14054} \right)^2 + \frac{489,4}{0,234 \times 14538} = 0,798$$

✓ VYHOVUJE

2.3.6 Posouzení tahového napětí v těžišti spodní desky

$$W_{y,2} = \frac{I_{y,\text{eff}}}{z_2} = \frac{180,3 \times 10^{-6}}{0,076} = 2,372 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,2,d} = \frac{M_{y,5d}}{W_{y,2}} = \frac{11,237}{2,372 \times 10^{-3}} = 4737 \text{ kPa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{\text{mod}} \times \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0,9 \times \frac{13600}{1,3} = 9415 \text{ kPa}$$

$$\frac{\sigma_{m,2,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{4737}{9415} = 0,50 < 1,0$$

✓ VYHOVUJE

2.3.7 Posouzení smykového napětí v těžišti průřezu

$$S_1 = b_{\text{eff}} \times h_d \times z_2 + b_t \times (z_g - h_d)^2 \times 0,5 \\ = 0,403 \times 0,027 \times 0,076 + 0,06 \times (0,090 - 0,027)^2 \times 0,5 \\ = 9,460 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\tau_{v,d} = \frac{V_{s,d} \times S_1}{I_{\text{eff}} \times k_{cr} \times b_t} = \frac{7,492 \times 9,460 \times 10^{-4}}{180,3 \times 10^{-6} \times 0,67 \times 0,06} = 977,8 \text{ kPa}$$

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \times \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,9 \times \frac{2000}{1,3} = 1385 \text{ kPa}$$

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} = \frac{977,8}{1385} = 0,71 < 1,0$$

✓ VYHOVUJE

2.3.8 Posouzení smykového napětí v desce u lepené spáry

Pozn. Způsob porušení 1 ve stříhu podle ETA-11/0310. Předpokládá se selhání povrchových lamel, přiléhajících k lepené spáře ve smyku.

$$S_2 = b_{\text{eff}} \times h_d \times (z_g - h_d \times 0,5) = 0,403 \times 0,027 \times (0,090 - 0,027 \times 0,5) = 8,279 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\tau_{v,d,2} = \frac{V_{s,d} \times S_2}{I_{\text{eff}} \times t_2} = \frac{7,492 \times 8,279 \times 10^{-4}}{180,3 \times 10^{-6} \times 2 \times 0,009} = 1911,2 \text{ kPa}$$

$$f_{v,d,2} = k_{\text{mod}} \times \frac{f_{v,k,2}}{Y_M} = 0,9 \times \frac{3000}{1,3} = 2076,92 \text{ kPa}$$

$$\frac{\tau_{v,d,2}}{f_{v,d,2}} = \frac{1911,2}{2076,92} = 0,92 < 1,0$$

✓ VYHOVUJE

2.3.9 Posouzení smykového napětí v lepené spáře

Pozn. Způsob porušení 2 ve stříhu podle ETA-11/0310.

$$S_2 = b_{\text{eff}} \times h_d \times (z_g - h_d \times 0,5) = 0,403 \times 0,027 \times (0,090 - 0,027 \times 0,5) = 8,279 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\tau_{v,d,3} = \frac{V_{s,d} \times S_2}{I_{\text{eff}} \times b_t} = \frac{7,492 \times 8,279 \times 10^{-4}}{180,3 \times 10^{-6} \times 0,06} = 573,36 \text{ kPa}$$

$$f_{v,d,glue} = k_{\text{mod}} \times \frac{f_{v,k,glue}}{Y_M} = 0,9 \times \frac{1100}{1,3} = 761,54 \text{ kPa}$$

$$\frac{\tau_{v,d,3}}{f_{v,d,glue}} = \frac{573,36}{761,54} = 0,75 < 1,0$$

✓ VYHOVUJE

2.4 Posouzení mezních stavů použitelnosti**2.4.1 Pružný okamžitý průhyb (charakteristická kombinace)**

Podíl z ohybu:

$$w_{m,g,\text{inst}} = \frac{5}{384} \times \frac{g_{s,k} \times L^4}{E \times I_{\text{eff}}} = \frac{5}{384} \times \frac{0,781 \times 6,0^4}{11600000 \times 180,3 \times 10^{-6}} = 0,0063 \text{ m}$$

$$w_{m,q,\text{inst}} = \frac{5}{384} \times \frac{q_{s,k} \times L^4}{E \times I_{\text{eff}}} = \frac{5}{384} \times \frac{0,469 \times 6,0^4}{11600000 \times 180,3 \times 10^{-6}} = 0,0038 \text{ m}$$

$$w_{m,s,\text{inst}} = \frac{5}{384} \times \frac{s_{s,k} \times L^4}{E \times I_{\text{eff}}} = \frac{5}{384} \times \frac{0,625 \times 6,0^4}{11600000 \times 180,3 \times 10^{-6}} = 0,0050 \text{ m}$$

$$w_{m,w,\text{inst}} = \frac{5}{384} \times \frac{w_{s,k} \times L^4}{E \times I_{\text{eff}}} = \frac{5}{384} \times \frac{0,156 \times 6,0^4}{11600000 \times 180,3 \times 10^{-6}} = 0,0013 \text{ m}$$

NOVATOP OPEN

PŘÍKLAD VÝPOČTU – VERTIKÁLNĚ

Podíl ze smyku:

$$W_{v,g,inst} = \frac{1}{8} \times \frac{g_{s,k} \times L^2}{G \times A} = \frac{1}{8} \times \frac{0,781 \times 6,0^2}{690000 \times 0,0144} = 0,0004 \text{ m}$$

$$W_{v,q,inst} = \frac{1}{8} \times \frac{q_{s,k} \times L^2}{G \times A} = \frac{1}{8} \times \frac{0,469 \times 6,0^2}{690000 \times 0,0144} = 0,0002 \text{ m}$$

$$W_{v,s,inst} = \frac{1}{8} \times \frac{s_{s,k} \times L^2}{G \times A} = \frac{1}{8} \times \frac{0,625 \times 6,0^2}{690000 \times 0,0144} = 0,0003 \text{ m}$$

$$W_{v,w,inst} = \frac{1}{8} \times \frac{q_{w,k} \times L^2}{G \times A} = \frac{1}{8} \times \frac{0,156 \times 6,0^2}{690000 \times 0,0144} = 0,0001 \text{ m}$$

Okamžitý průhyb od stálého zatížení:

$$W_{g,inst} = W_{m,g,inst} + W_{v,g,inst} = 0,0063 + 0,0004 = 0,0067 \text{ m}$$

Okamžitý průhyb od užitého zatížení:

$$W_{q,inst} = W_{m,q,inst} + W_{v,q,inst} = 0,0038 + 0,0002 = 0,0040 \text{ m}$$

Okamžitý průhyb od sněhu:

$$W_{s,inst} = W_{m,s,inst} + W_{v,s,inst} = 0,0050 + 0,0003 = 0,0053 \text{ m}$$

Okamžitý průhyb od větru:

$$W_{w,inst} = W_{m,w,inst} + W_{v,w,inst} = 0,0013 + 0,0001 = 0,0014 \text{ m}$$

Pružný okamžitý průhyb (charakteristická kombinace):

$$W_{inst} = W_{g,inst} + W_{q,inst} + W_{s,inst} + W_{w,inst} = 0,0067 + 0,0040 + 0,0053 + 0,0014 = 0,0174 \text{ m}$$

2.4.2 Konečný průhyb (kvazistálá kombinace)

$$W_{fin} = W_{g,inst} \times (1 + k_{def}) + W_{q,inst} \times (1 + \psi_{2,1} \times k_{def}) + W_{s,inst} \times (1 + \psi_{2,2} \times k_{def}) + W_{w,inst} \times (1 + \psi_{2,3} \times k_{def}) =$$

$$0,0067 \times (1 + 0,6) + 0,0040 \times (1 + 0 \times 0,6) + 0,0053 \times (1 + 0 \times 0,6) + 0,0014 \times (1 + 0 \times 0,6) = 0,0214 \text{ m}$$

2.4.3 Kontrola doporučených hodnot

$$W_{inst} = 0,0174 \text{ m} > \frac{L}{300} = \frac{6}{300} = 20,0 \rightarrow \text{✓ VYHOVUJE}$$

$$W_{fin} = 0,0214 \text{ m} > \frac{L}{250} = \frac{6}{250} = 24,0 \rightarrow \text{✓ VYHOVUJE}$$

Závěr: Nosník na rozpětí 6,0m vyhoví pro předpokládané zatížení. V předběžných návrhových tabulkách není tato kombinace uvedena, neboť tabulky zjednodušeně uvažují všechna proměnná zatížení v jednom (nejnepříznivějším) směru. Výše uvedený výpočet je tedy přesnější.

1. VŠEOBECNÉ INFORMACE

V následujícím dokumentu je na nosném elementu (směr vláken povrchových vrstev desek ve směru rozpětí) ukázán podrobný výpočet a provedení posouzení podle normy ČSN EN 1995-1-1 + A1 + A2 (05/2015). Je provedeno posouzení mezních stavů únosnosti a použitelnosti.

2. SYSTÉM A ZATÍŽENÍ

2.1. Materiál

NOVATOP OPEN – nosný element – výška 267 mm

Nosná žebra – hranoly DUO 60 x 240 mm ($b_t \times h_t$)

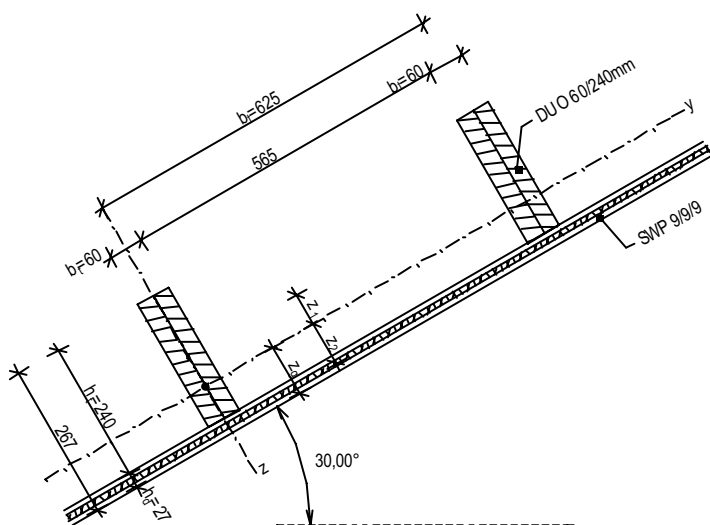
Rozteč žebér $b_f = 625$ mm

Deska na spodním povrchu – SWP 9/9/9 – $h_d = 27$ mm

Rozpětí prostého nosníku $L = 6,0$ m

Sklon 30° (nosníky ve směru sklonu)

Schéma panelu tloušťka 267 mm:



NOVATOP OPEN

PŘÍKLAD VÝPOČTU – HORIZONTÁLNĚ

Masivní dřevěná deska SWP:

Vlastnost	---	Zkušební metoda	Třída / Kategorie použití / Číselná hodnota ¹⁾
-----------	-----	-----------------	---

Desky se spojí natupo ve středových vrstvách

Mechanické chování v rovině SWP desky

Skladba desek			6/15/6	9/9/9	9/15/9	9/42/9
Pevnost v ohybu $f_{m,0}$	N/mm ²	ČSN EN 789	13,9	20,3	16,8	9,7
Pevnost v ohybu $f_{m,90}$			8,6	5,3	7,1	10,7
Pevnost v tahu $f_{t,0}$			9,3	13,6	11,2	6,5
Pevnost v tahu $f_{t,90}$			5,7	3,6	4,7	7,1
Pevnost v tlaku $f_{c,0}$			13,9	20,3	16,8	9,7
Pevnost v tlaku $f_{c,90}$			8,6	5,3	7,1	10,7
Pevnost ve stříhu f_v			3,0	3,0	3,0	3,0
Modul pružnosti $E_{m,0}$			5300	7800	6400	3700
Modul pružnosti $E_{m,90}$			3300	2050	2700	4100
Modul pružnosti ve smyku G			600	600	600	600

Mechanické chování kolmo k rovině SWP desky

Pevnost v ohybu $f_{m,0}$	N/mm ²	ČSN EN 789	25,0	28,9	27,3	20,1
Pevnost v ohybu $f_{m,90}$			5,4	3,1	4,1	7,8
Modul pružnosti $E_{m,0}$			9600	11100	10500	7700
Modul pružnosti $E_{m,90}$			1150	400	710	2100
Modul pružnosti ve smyku G			90	90	90	90
Pevnost ve stříhu f_v			1,1	1,1	1,1	1,1

Lepený spoj mezi žebrem a přírubou

Pevnost ve stříhu $f_{v,k,glue,KVH}$	N/mm ²	ETAG 019	1,10
Pevnost ve stříhu $f_{v,k,glue,LVL}$			4,40
Pevnost ve stříhu $f_{v,k,DUO,TRIO,I-nosníky}$			1,10
Pevnost ve stříhu $f_{v,k,glue,BSH}$			3,50

NOVATOP OPEN PŘÍKLAD VÝPOČTU – HORIZONTÁLNĚ

Nosníky DUO:

		KVH	DUO-TRIO
Třída jakosti		S10TS	S10TS
Třída pevnosti dle ČSN EN 1194: 1999		C24	C24
Charakteristické hodnoty pevnosti v N/mm²			
Pevnost v ohybu	$f_{m,k}$	24	24
Pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny	$f_{t,0,k}$	14	14
Pevnost v tahu kolmo k vláknům	$f_{t,90,k}$	0,5	0,4
Pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k}$	21	21
Pevnost v tlaku kolmo k vláknům	$f_{c,90,k}$	2,5	2,5
Pevnost ve smyku	$f_{v,k}$	2,5	2
Charakteristické hodnoty pružnosti v kN/mm²			
Průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,mean}$	11	11,6
5 % kvantil modulu pružnosti rovnoběžně k vláknům	$E_{0,05}$	7,4	-
Průměrná hodnota modulu pružnosti kolmo k vláknům	$E_{90,mean}$	0,37	0,37
Průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku	G_{mean}	0,69	0,69
Hustota v kg/m³			
Hustota	ρ_k	350	350

Průřezové charakteristiky:

Spolupůsobící šířka desky $b_1 = \min(b_r; L/10) = 0,6 \text{ m} = 600 \text{ mm}$

Efektivní náhradní průřez:

$$b_{eff} = (E_z/E_t) \cdot b_1 = (7800/11600) \times 0,6 = 0,403 \text{ m}$$

$$A_{t,eff} = 0,06 \times 0,24 = 0,0144 \text{ m}^2$$

$$A_{d,eff} = b_{eff} \times 0,027 = 0,010893 \text{ m}^2$$

$$z_g = (A_{t,eff} \times (h_t + h_t/2) + A_{d,eff} \times h_d/2) / (A_{t,eff} + A_{d,eff}) = (0,0144 \times 0,147 + 0,010893 \times 0,0135) / (0,0144 + 0,010893) = 0,090 \text{ m}$$

$$z_1 = 0,057 \text{ m}$$

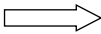
$$z_2 = 0,076 \text{ m}$$

$$i_{y,eff} = \sqrt{\frac{I_{y,eff}}{A_{eff}}} = \sqrt{\frac{180,3 \times 10^{-6}}{0,0253}} = 0,084 \text{ m}$$

$$I_{y,eff} = \frac{1}{12} \times h_t \times b_t^3 + \frac{1}{12} \times h_d \times b_{eff}^3 = \frac{1}{12} \times 0,24 \times 0,06^3 + \frac{1}{12} \times 0,027 \times 0,403^3 = 151,6 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$i_{z,eff} = \sqrt{\frac{I_{z,eff}}{A_{eff}}} = \sqrt{\frac{151,6 \times 10^{-6}}{0,0253}} = 0,077 \text{ m}$$

2.2. Zatížení

Třída provozu	1
Vlastní tíha elementu	$g_1 = 0,25 \text{ kN/m}^2$
Ostatní stálé zatížení	$g_k = 1,00 \text{ kN/m}^2$
Užitné zatížení	$g_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$
Zatížení sněhem	$s_k = 1,00 \text{ kN/m}^2$
Zatížení větrem (tlak)	$w_k = 0,25 \text{ kN/m}^2$
	$k_{mod} = 0,9$
	$\Psi_2 = 0,60$

NOVATOP OPEN

PŘÍKLAD VÝPOČTU – HORIZONTÁLNĚ

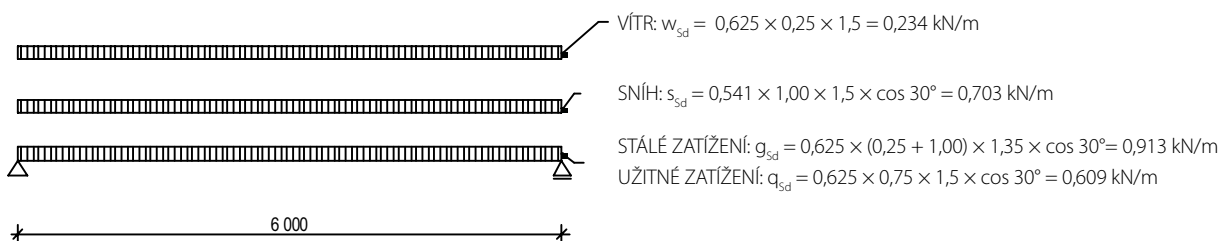
Element je natočen o 30°, zatížení je tedy rozloženo takto:

- Vlastní tíha elementu, ostatní stálé zatížení, užité zatížení – zatěžovací šířka 625 mm, rozloženo do směru kolmého na rovinu elementu a rovnoběžného s rovinou elementu
- Zatížení sněhem – zatěžovací šířka 625mm*cos 30° = 541 mm, rozloženo do směru kolmého na rovinu elementu a rovnoběžného s rovinou elementu
- Zatížení větrem – zatěžovací šířka 625mm, působí pouze ve směru kolmém k rovině elementu

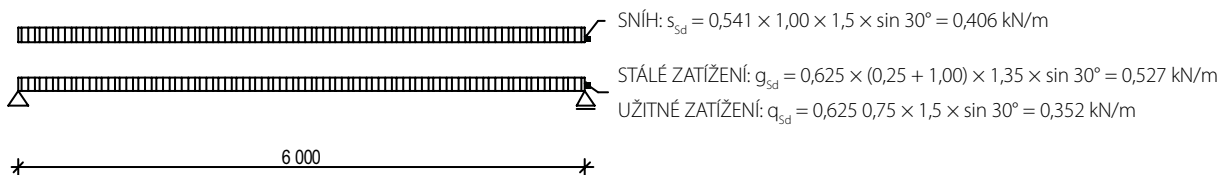
2.3. Posouzení mezních stavů únosnosti

2.3.1 Statické schéma

Zatížení ve směru kolmém na rovinu elementu:



Zatížení ve směru roviny elementu:



2.3.2 Maximální vnitřní síly

Hodnoty maximálních vnitřních sil se spočítají např. pomocí vhodného software pro statickou analýzu konstrukcí, popř. ručním výpočtem:

$$M_{y,s,d} = \frac{1}{8} \times f_{y,d} \times L^2 = \frac{1}{8} \times 2,459 \times 6,0^2 = 11,066 \text{ kNm}$$

$$V_{y,s,d} = \frac{1}{2} \times f_{y,d} \times L = \frac{1}{2} \times 2,459 \times 6,0 = 7,377 \text{ kNm}$$

$$M_{z,s,d} = \frac{1}{8} \times f_{z,d} \times L^2 = \frac{1}{8} \times 1,285 \times 6,0^2 = 5,783 \text{ kNm}$$

$$V_{z,s,d} = \frac{1}{2} \times f_{z,d} \times L = \frac{1}{2} \times 1,285 \times 6,0 = 3,855 \text{ kNm}$$

NOVATOP OPEN

PŘÍKLAD VÝPOČTU – HORIZONTÁLNĚ

2.3.3 Posouzení napětí v ohybu v dolních tažených vláknech – kolmo na rovinu elementu

$$W_{y,d} = \frac{I_{y,eff}}{z_g} = \frac{180,3 \times 10^{-6}}{0,090} = 2,003 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Sd}}{W_{y,d}} = \frac{11,066}{2,003 \times 10^{-3}} = 5525 \text{ kPa}$$

$$f_{m,y,0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{m,y,0,d}}{\gamma_M} = 0,9 \times \frac{20300}{1,3} = 14054 \text{ kPa}$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,0,d}} = \frac{5525}{14054} = 0,39 < 1,0$$

✓ VYHOVUJE

2.3.4 Posouzení napětí v ohybu v dolních tažených vláknech – kolmo na rovinu elementu (s vlivem stability)

Vzdálenost příčných vzpěr – $L_{vz} = 2,0 \text{ m}$

$$W_{y,d} = 2,003 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \times b^2}{h \times I_{ef}} \times E_{0,05} = \frac{0,78 \times 0,06^2}{0,267 \times 2,0} \times 7400000 = 38912 \text{ kPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{2400}{38912}} = 0,785$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \times \lambda_{rel,m} = 1,56 - 0,75 \times 0,785 = 0,97$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Sd}}{W_{y,d}} = \frac{11,066}{2,003 \times 10^{-3}} = 5525 \text{ kPa}$$

$$f_{m,y,0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{m,y,0,k}}{\gamma_M} = 0,9 \times \frac{20300}{1,3} = 14054 \text{ kPa}$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \times f_{m,y,0,d}} = \frac{5525}{0,97 \times 14054} = 0,41$$

2.3.5 Posouzení napětí v ohybu v dolních tažených vláknech – rovnoběžně s rovinou elementu

$$W_{z,d} = \frac{I_{y,eff}}{b_{eff}/2} = \frac{151,6 \times 10^{-6}}{0,202} = 7,523 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,Sd}}{W_{z,d}} = \frac{5,783}{7,523 \times 10^{-4}} = 7687,1 \text{ kPa}$$

$$f_{m,z,0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{m,z,0,k}}{\gamma_M} = 0,9 \times \frac{20300}{1,3} = 14054 \text{ kPa}$$

$$\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,0,d}} = \frac{7687,1}{14054} = 0,55 < 1,0$$

✓ VYHOVUJE

NOVATOP OPEN

PŘÍKLAD VÝPOČTU – HORIZONTÁLNĚ

2.3.6 Posouzení napětí v ohybu – kombinace obou hlavních směrů

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \times f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{5525}{0,97 \times 14054} + \frac{7687,1}{14054} = 0,94 < 1,0$$

✓ VYHOVUJE

2.3.7 Posouzení tahového napětí v těžišti spodní desky

$$W_{y,2} = \frac{I_{y,eff}}{z_2} = \frac{180,3 \times 10^{-6}}{0,076} = 2,372 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,2,d} = \frac{M_{y,2,d}}{W_{y,2}} = \frac{11,066}{2,372 \times 10^{-3}} = 4665,3 \text{ kPa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{t,0,k}}{Y_M} = 0,9 \times \frac{13600}{1,3} = 9415 \text{ kPa}$$

$$\frac{\sigma_{m,2,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{4665,3}{9415} = 0,50 < 1,0$$

✓ VYHOVUJE

2.3.8 Posouzení smykového napětí v těžišti průřezu

$$\begin{aligned} S_y &= b_{eff} \times h_d \times z_2 + b_t \times (z_g - h_d)^2 \times 0,5 \\ &= 0,403 \times 0,027 \times 0,076 + 0,06 \times (0,090 - 0,027)^2 \times 0,5 \\ &= 9,460 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\tau_{vy,d} = \frac{V_{s,y,d} \times S_y}{I_{y,eff} \times k_{cr} \times b_t} = \frac{7,377 \times 9,460 \times 10^{-4}}{180,3 \times 10^{-6} \times 0,67 \times 0,06} = 962,8 \text{ kPa}$$

$$\begin{aligned} S_z &= h_d \times \frac{b_{eff}}{2} \times \frac{b_{eff}}{4} + h_t \times \frac{b_t}{2} \times \frac{b_t}{4} = 0,027 \times 0,202 \times 0,101 + 0,24 \times 0,03 \times 0,015 \\ &= 6,561 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\tau_{vz,d} = \frac{V_{s,z,d} \times S_z}{I_{z,eff} \times k_{cr} \times (h_t + h_d)} = \frac{3,855 \times 6,561 \times 10^{-4}}{151,6 \times 10^{-6} \times 0,67 \times 0,267} = 93,3 \text{ kPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \times \frac{f_{vk}}{Y_M} = 0,9 \times \frac{2000}{1,3} = 1385 \text{ kPa}$$

$$\frac{\tau_{vy,d}}{f_{v,d}} + \frac{\tau_{vz,d}}{f_{v,d}} = \frac{962,8}{1385} + \frac{93,3}{1385} = 0,76 < 1,0$$

✓ VYHOVUJE

2.3.9 Posouzení smykového napětí v desce u lepené spáry

Pozn. Způsob porušení 1 ve stříhu podle ETA-11/0310. Předpokládá se selhání povrchových lamel, přiléhajících k lepené spáře ve smyku.

$$S_2 = b_{\text{eff}} \times h_d \times (z_g - h_d \times 0,5) = 0,403 \times 0,027 \times (0,090 - 0,027 \times 0,5) = 8,279 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\tau_{v,d,2} = \frac{V_{s,d} \times S_2}{I_{\text{eff}} \times t_2} = \frac{7,377 \times 8,279 \times 10^{-4}}{180,3 \times 10^{-6} \times 2 \times 0,009} = 1881,9 \text{ kPa}$$

$$f_{v,d,2} = k_{\text{mod}} \times \frac{f_{v,k,2}}{\gamma_M} = 0,9 \times \frac{3000}{1,3} = 2076,92 \text{ kPa}$$

$$\frac{\tau_{v,d,2}}{f_{v,d,2}} = \frac{1881,9}{2076,92} = 0,91 < 1,0$$

✓ VYHOVUJE

2.3.10 Posouzení smykového napětí v lepené spáře

Pozn. Způsob porušení 2 ve stříhu podle ETA-11/0310.

$$S_2 = b_{\text{eff}} \times h_d \times (z_g - h_d \times 0,5) = 0,403 \times 0,027 \times (0,090 - 0,027 \times 0,5) = 8,279 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\tau_{v,d,3} = \frac{V_{y,s,d} \times S_2}{I_{y,\text{eff}} \times b_t} + \frac{V_{z,s,d}}{b_t} = \frac{7,377 \times 8,279 \times 10^{-4}}{180,3 \times 10^{-6} \times 0,06} + \frac{3,855}{0,06} = 628,8 \text{ kPa}$$

$$f_{v,d,\text{glue}} = k_{\text{mod}} \times \frac{f_{v,k,\text{glue}}}{\gamma_M} = 0,9 \times \frac{1100}{1,3} = 761,54 \text{ kPa}$$

$$\frac{\tau_{v,d,3}}{f_{v,d,\text{glue}}} = \frac{628,8}{761,54} = 0,83 < 1,0$$

✓ VYHOVUJE

2.4 Posouzení mezních stavů použitelnosti

(Zjednodušeně uvažujeme průhyb kolmo k rovině elementu. Pro výpočet průhybu v globálních souřadnicích doporučujeme použít vhodný software)

2.4.1 Pružný okamžitý průhyb (charakteristická kombinace)

Podíl z ohybu:

$$w_{m,g,\text{inst}} = \frac{5}{384} \times \frac{g_{s,k} \times L^4}{E \times I_{\text{eff}}} = \frac{5}{384} \times \frac{0,677 \times 6,0^4}{11600000 \times 180,3 \times 10^{-6}} = 0,0055 \text{ m}$$

$$w_{m,q,\text{inst}} = \frac{5}{384} \times \frac{q_{s,k} \times L^4}{E \times I_{\text{eff}}} = \frac{5}{384} \times \frac{0,406 \times 6,0^4}{11600000 \times 180,3 \times 10^{-6}} = 0,0033 \text{ m}$$

$$w_{m,s,\text{inst}} = \frac{5}{384} \times \frac{s_{s,k} \times L^4}{E \times I_{\text{eff}}} = \frac{5}{384} \times \frac{0,469 \times 6,0^4}{11600000 \times 180,3 \times 10^{-6}} = 0,0038 \text{ m}$$

$$w_{m,w,\text{inst}} = \frac{5}{384} \times \frac{w_{s,k} \times L^4}{E \times I_{\text{eff}}} = \frac{5}{384} \times \frac{0,156 \times 6,0^4}{11600000 \times 180,3 \times 10^{-6}} = 0,0013 \text{ m}$$

NOVATOP OPEN

PŘÍKLAD VÝPOČTU – HORIZONTÁLNĚ

Podíl ze smyku:

$$W_{v,gi,inst} = \frac{1}{8} \times \frac{g_{s,k} \times L^2}{G \times A} = \frac{1}{8} \times \frac{0,677 \times 6,0^2}{690000 \times 0,0144} = 0,0003 \text{ m}$$

$$W_{v,qi,inst} = \frac{1}{8} \times \frac{q_{s,k} \times L^2}{G \times A} = \frac{1}{8} \times \frac{0,406 \times 6,0^2}{690000 \times 0,0144} = 0,0002 \text{ m}$$

$$W_{v,si,inst} = \frac{1}{8} \times \frac{s_{s,k} \times L^2}{G \times A} = \frac{1}{8} \times \frac{0,469 \times 6,0^2}{690000 \times 0,0144} = 0,0002 \text{ m}$$

$$W_{v,wi,inst} = \frac{1}{8} \times \frac{q_{wk} \times L^2}{G \times A} = \frac{1}{8} \times \frac{0,156 \times 6,0^2}{690000 \times 0,0144} = 0,0001 \text{ m}$$

Okamžitý průhyb od stálého zatížení:

$$W_{g,inst} = W_{m,gi,inst} + W_{v,gi,inst} = 0,0055 + 0,0003 = 0,0058 \text{ m}$$

Okamžitý průhyb od užitého zatížení:

$$W_{q,inst} = W_{m,qi,inst} + W_{v,qi,inst} = 0,0033 + 0,0002 = 0,0035 \text{ m}$$

Okamžitý průhyb od sněhu:

$$W_{s,inst} = W_{m,si,inst} + W_{v,si,inst} = 0,0038 + 0,0002 = 0,0040 \text{ m}$$

Okamžitý průhyb od větru:

$$W_{w,inst} = W_{m,wi,inst} + W_{v,wi,inst} = 0,0013 + 0,0001 = 0,0014 \text{ m}$$

Pružný okamžitý průhyb (charakteristická kombinace):

$$W_{inst} = W_{g,inst} + W_{q,inst} + W_{s,inst} + W_{w,inst} = 0,0058 + 0,0035 + 0,0040 + 0,0014 = 0,0147 \text{ m}$$

2.4.2 Konečný průhyb (kvazistálá kombinace)

$$W_{fin} = W_{g,inst} \times (1 + k_{def}) + W_{q,inst} \times (1 + \psi_{2,1} \times k_{def}) + W_{s,inst} \times (1 + \psi_{2,2} \times k_{def}) + W_{w,inst} \times (1 + \psi_{2,3} \times k_{def}) =$$

$$0,0058 \times (1 + 0,6) + 0,0035 \times (1 + 0 \times 0,6) + 0,0040 \times (1 + 0 \times 0,6) + 0,0014 \times (1 + 0 \times 0,6) = 0,0182 \text{ m}$$

2.4.3 Kontrola doporučených hodnot

$$W_{inst} = 0,0147 \text{ m} > \frac{L}{300} = \frac{6}{300} = 20,0 \rightarrow \text{✓ VYHOVUJE}$$

$$W_{fin} = 0,0182 \text{ m} > \frac{L}{250} = \frac{6}{250} = 24,0 \rightarrow \text{✓ VYHOVUJE}$$

Závěr: Nosník na rozpětí 6,0 m vyhoví pro předpokládané zatížení.