

# NOVATOP OPEN

## Wstępne wymiarowanie – przykłady obliczeń

Przykłady obliczeń uzupełniają tabele wstępnego wymiarowania zawarte w dokumentacji technicznej NOVATOP OPEN. W niniejszym dokumencie przedstawiono szczegółowe obliczenia dla elementu nośnego NOVATOP OPEN wraz z oceną zgodnie z normą ČSN EN 1995-1-1 + A1 + A2 (05/2015). Przeprowadzono weryfikację stanów granicznych nośności i użyteczności.

### SPIS TREŚCI

Przykłady obliczeń – pionowe .....	2–9
Przykłady obliczeń – poziome .....	10–17

Dokumentacja techniczna  
NOVATOP OPEN



## 1. INFORMACJE OGÓLNE

W poniższym dokumencie na elemencie nośnym (kierunek włókien warstw powierzchniowych płyt w kierunku rozpiętości) przedstawiono szczegółowe obliczenia i analizę zgodnie z normą ČSN EN 1995-1-1 + A1 + A2 (05/2015). Przeprowadzono ocenę stanów granicznych nośności i użyteczności.

## 2. SYSTEM I OBCIĄŻENIE

### 2.1. Materiał

NOVATOP OPEN - element nośny - wysokość 267 mm

Żebra nośne - belki DUO 60 x 240 mm (bt x ht)

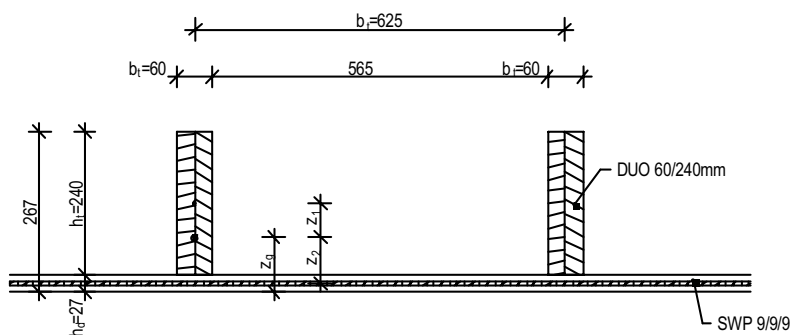
Rozstaw żeber  $b_f = 625$  mm

Płyta na dolnej powierzchni - SWP 9/9/9 -  $h_d = 27$  mm

Rozpiętość belki prostej  $L = 6,0$  m

Nachylenie  $30^\circ$  (belki w kierunku nachylenia)

Schemat przy grubości panelu 267 mm:



# NOVATOP OPEN

## PRZYKŁADY OBLICZEŃ – PIONOWE

Płyta SWP z litego drewna:

Cecha	---	Metoda testu	Klasa / Kategoria użytkowania / Wartość liczbową <sup>1)</sup>
-------	-----	--------------	--

Płyty są połączone ze sobą w środkowych warstwach

### Właściwości mechaniczne w płaszczyźnie płyty SWP

Struktura płyt			6/15/6	9/9/9	9/15/9	9/42/9
Wytrzymałość na zginanie $f_{m,0}$	N/mm <sup>2</sup>	ČSN EN 789	13,9	20,3	16,8	9,7
Wytrzymałość na zginanie $f_{m,90}$			8,6	5,3	7,1	10,7
Wytrzymałość na rozciąganie $f_{t,0}$			9,3	13,6	11,2	6,5
Wytrzymałość na rozciąganie $f_{t,90}$			5,7	3,6	4,7	7,1
Wytrzymałość na ściskanie $f_{c,0}$			13,9	20,3	16,8	9,7
Wytrzymałość na ściskanie $f_{c,90}$			8,6	5,3	7,1	10,7
Wytrzymałość na ścinanie $f_v$			3,0	3,0	3,0	3,0
Moduł sprężystości $E_{m,0}$			5300	7800	6400	3700
Moduł sprężystości $E_{m,90}$			3300	2050	2700	4100
Moduł sprężystości przy ścinaniu G			600	600	600	600

### Właściwości mechaniczne prostopadłe do płaszczyzny płyty SWP

Wytrzymałość na zginanie $f_{m,0}$	N/mm <sup>2</sup>	ČSN EN 789	25,0	28,9	27,3	20,1
Wytrzymałość na zginanie $f_{m,90}$			5,4	3,1	4,1	7,8
Moduł sprężystości $E_{m,0}$			9600	11100	10500	7700
Moduł sprężystości $E_{m,90}$			1150	400	710	2100
Moduł sprężystości przy ścinaniu G			90	90	90	90
Wytrzymałość na ścinanie $f_v$			1,1	1,1	1,1	1,1

### Klejone połączenie między żebrami a kołnierzem

Wytrzymałość na ścinanie $f_{v,k,glue,KVH}$	N/mm <sup>2</sup>	ETAG 019	1,10
Wytrzymałość na ścinanie $f_{v,k,glue,LVL}$			4,40
Wytrzymałość na ścinanie $f_{v,k,DUO,TRIO,I-nosniki}$			1,10
Wytrzymałość na ścinanie $f_{v,k,glue,BSH}$			3,50

Belki DUO:

		KVH	DUO-TRIO
Klasa jakości		S10TS	S10TS
Klasa wytrzymałości zgodnie z ČSN EN 1194: 1999		C24	C24
<b>Charakterystyczne wartości wytrzymałości w N/mm<sup>2</sup></b>			
Wytrzymałość na zginanie	$f_{m,k}$	24	24
Wytrzymałość na rozciąganie równoległe do włókien	$f_{t,0,k}$	14	14
Wytrzymałość na rozciąganie prostopadłe do włókien	$f_{t,90,k}$	0,5	0,4
Wytrzymałość na ściskanie równoległe do włókien	$f_{c,0,k}$	21	21
Wytrzymałość na ściskanie prostopadłe do włókien	$f_{c,90,k}$	2,5	2,5
Wytrzymałość przy ścinaniu	$f_{v,k}$	2,5	2
<b>Charakterystyczne wartości elastyczności w kN/mm<sup>2</sup></b>			
Średnia wartość modułu sprężystości równoległe do włókien	$E_{0,mean}$	11	11,6
5 % kwantyl modułu sprężystości równoległe do włókien	$E_{0,05}$	7,4	-
Średnia wartość modułu sprężystości prostopadłe do włókien	$E_{90,mean}$	0,37	0,37
Średnia wartość modułu sprężystości przy ścinaniu	$G_{mean}$	0,69	0,69
<b>Gęstość w kg/m<sup>3</sup></b>			
Gęstość	$\rho_k$	350	350

### Charakterystyka przekrojowa:

Szerokość współpracująca płyty  $b_1 = \min(b_f; L/10) = 0,6 \text{ m} = 600 \text{ mm}$

### Efektywny przekrój zastępczy:

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

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

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

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

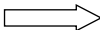
$$z_1 = 0,057 \text{ m}$$

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

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

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

## 2.2. Obciążenie

Klasa eksploatacyjna	1
Ciężar własny elementu	$g_1 = 0,25 \text{ kN/m}^2$
Inne stałe obciążenia	$g_k = 1,00 \text{ kN/m}^2$
Obciążenie użytkowe	$g_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$
Obciążenie śniegiem	$s_k = 1,00 \text{ kN/m}^2$
Obciążenie wiatrem (ciśnienie)	$w_k = 0,25 \text{ kN/m}^2$
	$k_{mod} = 0,9$
	$\Psi_2 = 0,60$

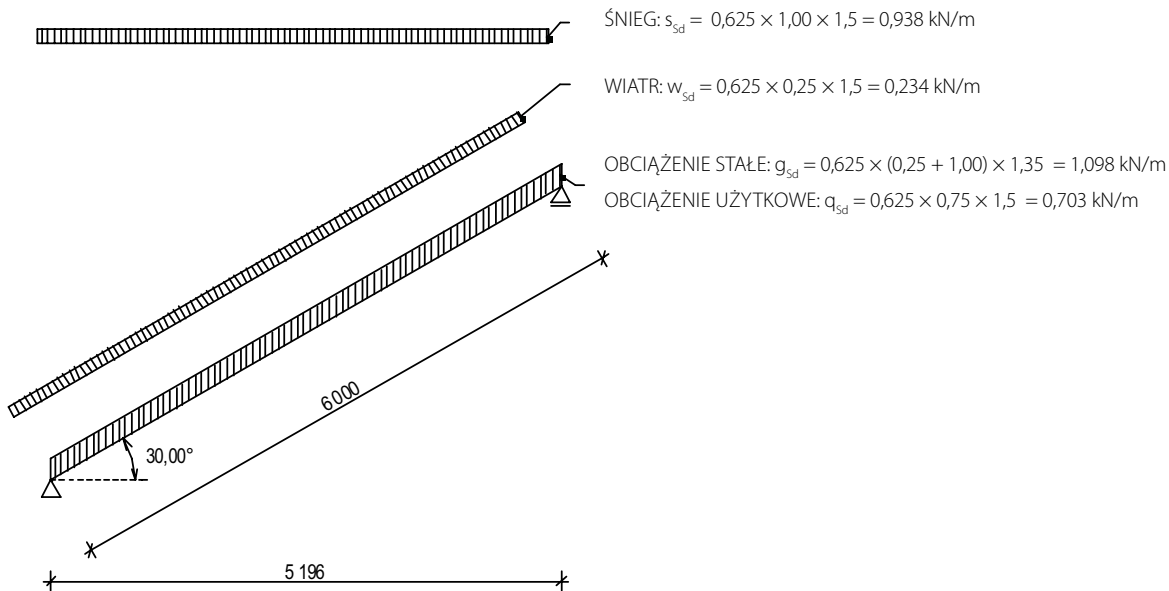
# NOVATOP OPEN

## PRZYKŁADY OBLICZEŃ – PIONOWE

### 2.3 Ocena stanów granicznych nośności

#### 2.3.1 Schemat statyczny

Obciążenie w kierunku prostopadłym do płaszczyzny elementu:



#### 2.3.2 Maksymalne siły wewnętrzne

Wartości maksymalnych sił wewnętrznych są obliczane, np. przy użyciu odpowiedniego oprogramowania do analizy statycznej konstrukcji lub ew. ręcznej kalkulacji:

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

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

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

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

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

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

(Uwaga: dotyczy ciśnienia)

### 2.3.3 Ocena naprężenia przy zginaniu w górnych włóknach rozciągających

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

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

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

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

✓ SPEŁNIA

### 2.3.4 Ocena naprężenia przy zginaniu w dolnych włóknach rozciągających

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

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

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

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

✓ SPEŁNIA

### 2.3.5 Ocena kombinacji naprężenia ściskającego i zginającego (z uwzględnieniem wspornika)

**Uwaga:** Do obliczeń wspornika prostopadłego do osi „z” brany jest pod uwagę przekrój zachowawczy.

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

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

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

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

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

Wspornik:

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

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

# NOVATOP OPEN

## PRZYKŁADY OBLICZEŃ – PIONOWE

Określa odchylenie prostopadłe do osi „z”:

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

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

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

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

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

✓ SPEŁNIA

### 2.3.6 Ocena naprężeń rozciągających w środku ciężkości płyty dolnej

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

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

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

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

✓ SPEŁNIA

### 2.3.7 Ocena naprężenia ścinającego w środku ciężkości przekroju

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

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

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

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

✓ SPEŁNIA

**2.3.8 Ocena naprężenia ścinającego w płycie na złączu klejonym**

**Uwaga:** Sposób naruszenia 1 w cięciu zgodnie z ETA-11/0310. Zakłada się uszkodzenie listew powierzchniowych przylegających do połączenia klejonego przy cięciu.

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

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

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

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

✓ SPEŁNIA

**2.3.9 Ocena naprężenia ścinającego w złączu klejonym**

**Uwaga:** Tryb zniszczenia 2 w ścinaniu zgodnie z ETA-11/0310.

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

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

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

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

✓ SPEŁNIA

**2.4 Ocena stanów granicznych użyteczności****2.4.1 Elastyczne natychmiastowe ugięcie (charakterystyczna kombinacja)**

Udział w zgięciu:

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

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

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

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

# NOVATOP OPEN

## PRZYKŁADY OBLICZEŃ – PIONOWE

Udział w ścinaniu:

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

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

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

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

Natychmiastowe ugięcie od stałego obciążenia:

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

Natychmiastowe ugięcie od obciążenia użytkowego:

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

Natychmiastowe ugięcie od śniegu:

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

Natychmiastowe ugięcie od wiatru:

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

Elastyczne natychmiastowe ugięcie (charakterystyczna kombinacja):

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

### 2.4.2 Ugięcie końcowe (kombinacja quasi-stała)

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

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

### 2.4.3 Kontrola zalecanych wartości

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

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

**Wniosek:** Belka o rozpiętości 6,0 m jest przystosowana do oczekiwanego obciążenia. We wstępnych tabelach projektowych ta kombinacja nie jest uwzględniona, ponieważ tabele w uproszczeniu uwzględniają wszystkie obciążenia zmienne w jednym (najmniej sprzyjającym) kierunku. Powyższe obliczenia są zatem dokładniejsze.

## 1. INFORMACJE OGÓLNE

W poniższym dokumencie na elemencie nośnym (kierunek włókien warstw powierzchniowych płyt w kierunku rozpiętości) przedstawiono szczegółowe obliczenia i analizę zgodnie z normą ČSN EN 1995-1-1 + A1 + A2 (05/2015). Przeprowadzono ocenę stanów granicznych nośności i użyteczności.

## 2. SYSTEM I OBCIĄŻENIE

### 2.1. Materiał

NOVATOP OPEN - element nośny - wysokość 267 mm

Żebra nośne - belki DUO 60 x 240 mm (bt x ht)

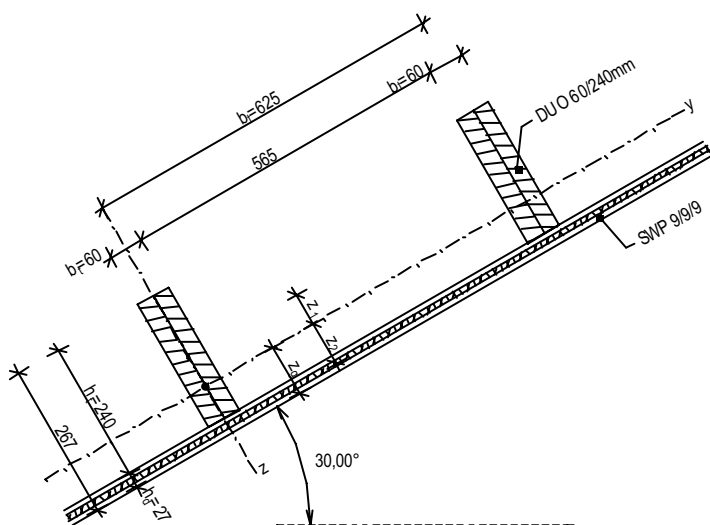
Rozstaw żebrowania  $b_f = 625$  mm

Płyta na dolnej powierzchni - SWP 9/9/9 -  $h_d = 27$  mm

Rozpiętość belki prostej  $L = 6,0$  m

Nachylenie  $30^\circ$  (belki w kierunku nachylenia)

Schemat przy grubości panelu 267 mm:



# NOVATOP OPEN

## PRZYKŁADY OBLICZEŃ – POZIOME

Płyta SWP z litego drewna:

Cecha	---	Metoda testu	Klasa / Kategoria użytkowania / Wartość liczbową <sup>1)</sup>
-------	-----	--------------	--

Płyty są połączone ze sobą w środkowych warstwach

### Właściwości mechaniczne w płaszczyźnie płyty SWP

Struktura płyt			6/15/6	9/9/9	9/15/9	9/42/9
Wytrzymałość na zginanie $f_{m,0}$	N/mm <sup>2</sup>	ČSN EN 789	13,9	20,3	16,8	9,7
Wytrzymałość na zginanie $f_{m,90}$			8,6	5,3	7,1	10,7
Wytrzymałość na rozciąganie $f_{t,0}$			9,3	13,6	11,2	6,5
Wytrzymałość na rozciąganie $f_{t,90}$			5,7	3,6	4,7	7,1
Wytrzymałość na ściskanie $f_{c,0}$			13,9	20,3	16,8	9,7
Wytrzymałość na ściskanie $f_{c,90}$			8,6	5,3	7,1	10,7
Wytrzymałość na ścinanie $f_v$			3,0	3,0	3,0	3,0
Moduł sprężystości $E_{m,0}$			5300	7800	6400	3700
Moduł sprężystości $E_{m,90}$			3300	2050	2700	4100
Moduł sprężystości przy ścinaniu G			600	600	600	600

### Właściwości mechaniczne prostopadłe do płaszczyzny płyty SWP

Wytrzymałość na zginanie $f_{m,0}$	N/mm <sup>2</sup>	ČSN EN 789	25,0	28,9	27,3	20,1
Wytrzymałość na zginanie $f_{m,90}$			5,4	3,1	4,1	7,8
Moduł sprężystości $E_{m,0}$			9600	11100	10500	7700
Moduł sprężystości $E_{m,90}$			1150	400	710	2100
Moduł sprężystości przy ścinaniu G			90	90	90	90
Wytrzymałość na ścinanie $f_v$			1,1	1,1	1,1	1,1

### Klejone połączenie między żebrzem a kołnierzem

Wytrzymałość na ścinanie $f_{v,k,glue,KVH}$	N/mm <sup>2</sup>	ETAG 019	1,10
Wytrzymałość na ścinanie $f_{v,k,glue,LVL}$			4,40
Wytrzymałość na ścinanie $f_{v,k,DUO,TRIO,I-nosniki}$			1,10
Wytrzymałość na ścinanie $f_{v,k,glue,BSH}$			3,50

Belki DUO:

		KVH	DUO-TRIO
Klasa jakości		S10TS	S10TS
Klasa wytrzymałości zgodnie z ČSN EN 1194: 1999		C24	C24
<b>Charakterystyczne wartości wytrzymałości w N/mm<sup>2</sup></b>			
Wytrzymałość na zginanie	$f_{m,k}$	24	24
Wytrzymałość na rozciąganie równoległe do włókien	$f_{t,0,k}$	14	14
Wytrzymałość na rozciąganie prostopadłe do włókien	$f_{t,90,k}$	0,5	0,4
Wytrzymałość na ściskanie równoległe do włókien	$f_{c,0,k}$	21	21
Wytrzymałość na ściskanie prostopadłe do włókien	$f_{c,90,k}$	2,5	2,5
Wytrzymałość przy ścinaniu	$f_{vk}$	2,5	2
<b>Charakterystyczne wartości elastyczności w kN/mm<sup>2</sup></b>			
Średnia wartość modułu sprężystości równoległe do włókien	$E_{0,mean}$	11	11,6
5 % kwantyl modułu sprężystości równoległe do włókien	$E_{0,05}$	7,4	-
Średnia wartość modułu sprężystości prostopadłe do włókien	$E_{90,mean}$	0,37	0,37
Średnia wartość modułu sprężystości przy ścinaniu	$G_{mean}$	0,69	0,69
<b>Gęstość w kg/m<sup>3</sup></b>			
Gęstość	$\rho_k$	350	350

### Charakterystyka przekrojowa:

Szerokość współpracująca płyty  $b_1 = \min(b_f; L/10) = 0,6 \text{ m} = 600 \text{ mm}$

### Efektywny przekrój zastępczy:

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

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

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

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

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

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

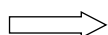
$$i_{y,eff} = \sqrt{\frac{I_{y,eff}}{A_{eff}}} = \sqrt{\frac{180,3 \times 10^{-6}}{0,0253}} = 0,084 \text{ m}$$

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

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

## 2.2. Obciążenie

Klasa eksploatacyjna	1
Ciężar własny elementu	$g_1 = 0,25 \text{ kN/m}^2$
Inne stałe obciążenia	$g_k = 1,00 \text{ kN/m}^2$
Obciążenie użytkowe	$g_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$
Obciążenie śniegiem	$s_k = 1,00 \text{ kN/m}^2$
Obciążenie wiatrem (ciśnienie)	$w_k = 0,25 \text{ kN/m}^2$
	$k_{mod} = 0,9$
	$\Psi_2 = 0,60$



# NOVATOP OPEN

## PRZYKŁADY OBLICZEŃ – POZIOME

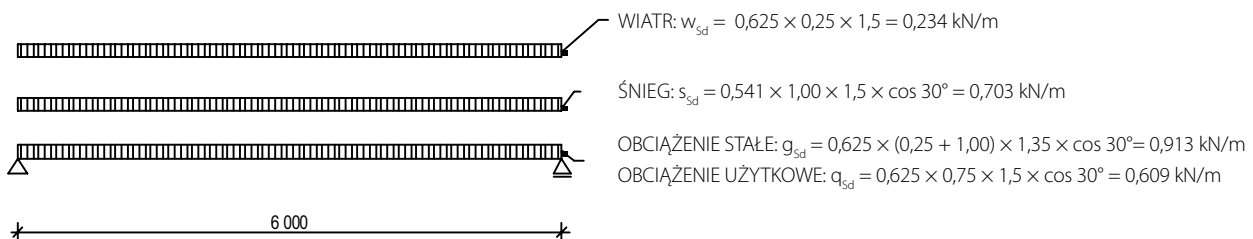
Element jest obrócony o 30°, więc obciążenie rozkłada się w następujący sposób:

- Ciężar własny elementu, inne obciążenia stałe, obciążenie użytkowe - szerokość obciążenia 625 mm, rozłożone w kierunku prostopadłym do płaszczyzny elementu i równoległe do płaszczyzny elementu.
- Obciążenie śniegiem – szerokość obciążenia  $625 \text{ mm} \cdot \cos 30^\circ = 541 \text{ mm}$ , rozłożone w kierunku prostopadłym do płaszczyzny elementu i równoległe do płaszczyzny elementu
- Obciążenie wiatrem – szerokość obciążenia 625 mm, oddziałujące tylko w kierunku prostopadłym do płaszczyzny elementu.

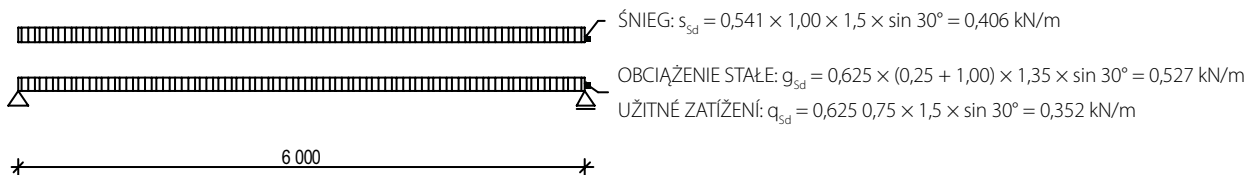
### 2.3. Ocena stanów granicznych nośności

#### 2.3.1 Schemat statyczny

Obciążenie w kierunku prostopadłym do płaszczyzny elementu:



Obciążenie w kierunku płaszczyzny elementu:



#### 2.3.2 Maksymalne siły wewnętrzne

Wartości maksymalnych sił wewnętrznych są obliczane, np. przy użyciu odpowiedniego oprogramowania do analizy statycznej konstrukcji lub ew. ręcznej kalkulacji:

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

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

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

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

**2.3.3 Ocena naprężenia przy zginaniu w dolnych włóknach rozciągających – prostopadle do płaszczyzny elementu**

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

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

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

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

✓ SPEŁNIA

**2.3.4 Ocena naprężenia przy zginaniu w dolnych włóknach rozciągających – prostopadle do płaszczyzny elementu (z uwzględnieniem stabilności)**Odległość wsporników poprzecznych –  $L_{vz} = 2,0 \text{ m}$ 

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

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

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

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

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

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

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

**2.3.5 Ocena naprężenia przy zginaniu w dolnych włóknach rozciągających – równoległe do płaszczyzny elementu**

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

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

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

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

✓ SPEŁNIA

# NOVATOP OPEN

## PRZYKŁADY OBLICZEŃ – POZIOME

### 2.3.6 Ocena naprężenia przy zginaniu - połączenie obu głównych kierunków

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

✓ SPEŁNIA

### 2.3.7 Ocena naprężeń rozciągających w środku ciężkości płyty dolnej

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

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

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

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

✓ SPEŁNIA

### 2.3.8 Ocena naprężenia ścinającego w środku ciężkości przekroju

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

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

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

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

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

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

✓ SPEŁNIA

### 2.3.9 Ocena naprężenia ścinającego w płycie na złączy klejonym

**Uwaga:** Sposób naruszenia 1 w cięciu zgodnie z ETA-11/0310. Zakłada się uszkodzenie listew powierzchniowych przylegających do połączenia klejonego przy cięciu.

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

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

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

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

✓ SPEŁNIA

### 2.3.10 Ocena naprężenia ścinającego w złączy klejonym

**Uwaga:** Tryb zniszczenia 2 w ścinaniu zgodnie z ETA-11/0310.

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

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

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

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

✓ SPEŁNIA

## 2.4 Ocena stanów granicznych użyteczności

(Dla uproszczenia rozpatrujemy ugięcie prostopadłe do płaszczyzny elementu. Aby obliczyć zgięcie względem współrzędnych globalnych, zalecamy użyć odpowiedniego oprogramowania)

### 2.4.1 Elastyczne natychmiastowe ugięcie (charakterystyczna kombinacja)

Udział w zgięciu:

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

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

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

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

# NOVATOP OPEN

## PRZYKŁADY OBLICZEŃ – POZIOME

Udział w ścinaniu

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

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

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

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

Natychmiastowe ugięcie od stałego obciążenia:

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

Natychmiastowe ugięcie od obciążenia użytkowego:

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

Natychmiastowe ugięcie od śniegu:

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

Natychmiastowe ugięcie od wiatru:

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

Elastyczne natychmiastowe ugięcie (charakterystyczna kombinacja):

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

### 2.4.2 Ugięcie końcowe (kombinacja quasi-stała)

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

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

### 2.4.3 Kontrola zalecanych wartości

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

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

**Wniosek:** Belka o rozpiętości 6,0 m jest przystosowana do oczekiwanego obciążenia.

[www.novatop-system.pl](http://www.novatop-system.pl)

Výrobce: AGROP NOVA a.s.  
Ptenský Dvorek 99  
798 43 Ptení  
Česká republika  
Tel.: +420 582 397 857  
[novatop@agrop.cz](mailto:novatop@agrop.cz)  
[novatop-system.cz](http://novatop-system.cz)

Certifikáty výrobce:

