

# NOVATOP OPEN

## Pré-dimensionnement – exemples de calculs

---

Les exemples de calcul complètent les tableaux de pré-dimensionnement figurant dans la documentation technique NOVATOP OPEN. Dans le présent document, un calcul détaillé est présenté pour un élément porteur NOVATOP OPEN, ainsi que l'évaluation réalisée conformément à la norme ČSN EN 1995-1-1 + A1 + A2 (05/2015). L'analyse des états limites ultimes et de service est effectuée.

### SOMMAIRE

Exemples de calcul – verticaux .....	2–9
Exemples de calcul – horizontaux .....	10–17

Documentation technique  
NOVATOP OPEN



## 1. INFORMATIONS GÉNÉRALES

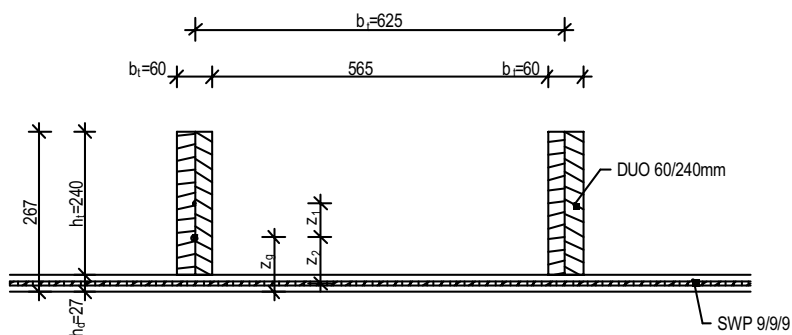
Le présent document vous présente un calcul détaillé réalisé sur un élément porteur (la direction des fibres des couches de surface des panneaux est dans le sens de la portée) et une évaluation en vertu de la norme ČSN EN 1995-1-1 + A1 + A2 (05/2015). L'évaluation porte sur les états limites de capacité et d'utilisabilité.

## 2. SYSTÈME ET CHARGES

### 2.1. Matériel

NOVATOP OPEN – élément porteur – hauteur de 267 mm  
Nervures porteuses – équarris DUO 60 x 240 mm (bt x ht)  
Entraxe des nervures  $b_f = 625$  mm  
Panneau sur la surface inférieure – SWP 9/9/9 –  $h_d = 27$  mm  
Portée d'une poutre simple  $L = 6,0$  m  
Inclinaison de  $30^\circ$  (poutres dans le sens de la pente)

Schéma de l'élément – épaisseur 267 mm :



# NOVATOP OPEN

## EXEMPLES DE CALCUL – VERTICAUX

Panneau en bois massif SWP :

Propriété	---	Méthode d'essai	Classe / Catégorie d'utilisation / Valeur numérique <sup>1)</sup>
-----------	-----	-----------------	-------------------------------------------------------------------

Les panneaux sont joints bout à bout dans les couches intermédiaires

### Comportement mécanique dans le plan du panneau SWP

Composition des panneaux		6/15/6	9/9/9	9/15/9	9/42/9	
Résistance à la flexion $f_{m,0}$	N/mm <sup>2</sup>	ČSN EN 789	13,9	20,3	16,8	9,7
Résistance à la flexion $f_{m,90}$			8,6	5,3	7,1	10,7
Résistance à la traction $f_{t,0}$			9,3	13,6	11,2	6,5
Résistance à la traction $f_{t,90}$			5,7	3,6	4,7	7,1
Résistance à la compression $f_{c,0}$			13,9	20,3	16,8	9,7
Résistance à la compression $f_{c,90}$			8,6	5,3	7,1	10,7
Résistance au cisaillement $f_v$			3,0	3,0	3,0	3,0
Module d'élasticité $E_{m,0}$			5300	7800	6400	3700
Module d'élasticité $E_{m,90}$			3300	2050	2700	4100
Module d'élasticité en cisaillement G			600	600	600	600

### Comportement mécanique dans la direction perpendiculaire au plan du panneau SWP

Résistance à la flexion $f_{m,0}$	N/mm <sup>2</sup>	ČSN EN 789	25,0	28,9	27,3	20,1
Résistance à la flexion $f_{m,90}$			5,4	3,1	4,1	7,8
Module d'élasticité $E_{m,0}$			9600	11100	10500	7700
Module d'élasticité $E_{m,90}$			1150	400	710	2100
Module d'élasticité en cisaillement G			90	90	90	90
Résistance au cisaillement $f_v$			1,1	1,1	1,1	1,1

### Joint collé entre la nervure et la bride

Résistance au cisaillement $f_{v,k, glue, KVH}$	N/mm <sup>2</sup>	ETAG 019	1,10
Résistance au cisaillement $f_{v,k, glue, LVL}$			4,40
Résistance au cisaillement $f_{v,k, DUO, TRIO, I-nosniky}$			1,10
Résistance au cisaillement $f_{v,k, glue, BSH}$			3,50

# NOVATOP OPEN

## EXEMPLES DE CALCUL – VERTICAUX

Poutres DUO :

		KVH	DUO-TRIO
Classe de qualité		S10TS	S10TS
Classe de résistance selon la norme ČSN EN 1194: 1999		C24	C24
<b>Valeurs de résistance caractéristiques en N/mm<sup>2</sup></b>			
Résistance à la flexion	$f_{m,k}$	24	24
Résistance à la traction dans une direction parallèle aux fibres	$f_{t0,k}$	14	14
Résistance à la traction dans une direction perpendiculaire aux fibres	$f_{t90,k}$	0,5	0,4
Résistance à la compression dans une direction parallèle aux fibres	$f_{c0,k}$	21	21
Résistance à la compression dans une direction perpendiculaire aux fibres	$f_{c90,k}$	2,5	2,5
Résistance au cisaillement	$f_{v,k}$	2,5	2
<b>Valeurs d'élasticité caractéristiques en kN/mm<sup>2</sup></b>			
Valeur moyenne du module d'élasticité dans une direction parallèle aux fibres	$E_{0,mean}$	11	11,6
5 % des quantiles du module d'élasticité dans une direction parallèle aux fibres	$E_{0,05}$	7,4	-
Valeur moyenne du module d'élasticité dans une direction perpendiculaire aux fibres	$E_{90,mean}$	0,37	0,37
Valeur moyenne du module d'élasticité en cisaillement	$G_{mean}$	0,69	0,69
<b>Densité en kg/m<sup>3</sup></b>			
Densité	$\rho_k$	350	350

### Caractéristiques de section :

Largeur participante du panneau  $b_1 = \min(b_f; L/10) = 0,6 \text{ m} = 600 \text{ mm}$

### Section de remplacement efficace :

$$b_{eff} = (E_2/E_1) \cdot b_1 = (7800/11600) \times 0,6 = 0,403 \text{ m}$$

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

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

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

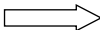
$$z_1 = 0,057 \text{ m}$$

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

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

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

## 2.2. Charges

Classe de service	1
Poids propre de l'élément	$g_1 = 0,25 \text{ kN/m}^2$
Autres charges permanentes	$g_k = 1,00 \text{ kN/m}^2$
Charge utile	$g_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$
Charge due à la neige	$s_k = 1,00 \text{ kN/m}^2$
Charge due au vent (pression)	$w_k = 0,25 \text{ kN/m}^2$
	$k_{mod} = 0,9$
	$\Psi_2 = 0,60$

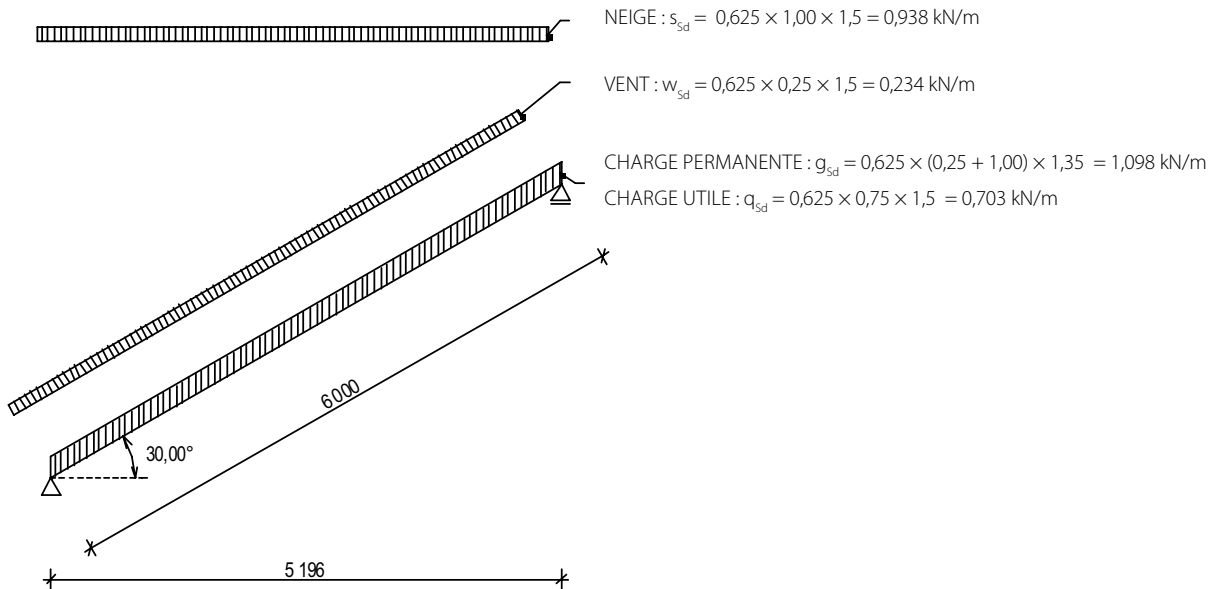
# NOVATOP OPEN

## EXEMPLES DE CALCUL – VERTICAUX

### 2.3. Évaluation des états limites de la capacité

#### 2.3.1 Schéma statique

Charge dans la direction perpendiculaire au plan de l'élément :



#### 2.3.2 Efforts internes maximaux

Les valeurs des efforts internes maximaux peuvent par exemple être calculées à l'aide d'un logiciel dédié à l'analyse statique des structures, ou par calcul manuel :

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

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

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

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

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

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

(Commentaire : il s'agit de la pression)

# NOVATOP OPEN

## EXEMPLES DE CALCUL – VERTICAUX

### 2.3.3 Évaluation de la contrainte en flexion dans les fibres supérieures comprimées

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

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

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

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

✓ SATISFAISANT

### 2.3.4 Évaluation de la contrainte en flexion dans les fibres inférieures tendues

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

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

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

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

✓ SATISFAISANT

### 2.3.5 Évaluation de la combinaison de la contrainte en compression et en flexion (avec impact du flambement)

**Commentaire :** Pour calculer le flambement dans une direction perpendiculaire à l'axe « Z », nous avons envisagé une section conservatrice de 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

## EXEMPLES DE CALCUL – VERTICAUX

**Le facteur décisif est la déviation dans la direction perpendiculaire à l'axe « Z »**

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

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

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

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

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

✓ SATISFAISANT

### 2.3.6 Évaluation de la contrainte en traction au centre de gravité du panneau inférieur

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

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

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

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

✓ SATISFAISANT

### 2.3.7 Évaluation de la contrainte de cisaillement au centre de gravité de la section

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

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

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

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

✓ SATISFAISANT

### 2.3.8 Évaluation de la contrainte de cisaillement dans le panneau, au niveau du joint collé

**Commentaire :** Cas de rupture en cisaillement 1 selon ETA-11/0310. Il est supposé que les lamelles de surface, adjacentes au joint collé, cèdent en cisaillement.

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

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

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

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

✓ SATISFAISANT

### 2.3.9 Évaluation de la contrainte de cisaillement dans un joint collé

**Commentaire :** Cas de rupture en cisaillement 2 selon ETA-11/0310

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

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

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

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

✓ SATISFAISANT

## 2.4 Évaluation des états limites d'utilisabilité

### 2.4.1 Flèche élastique instantanée (combinaison caractéristique)

Part de la flexion :

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

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

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

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

# NOVATOP OPEN

## EXEMPLES DE CALCUL – VERTICAUX

Part du cisaillement :

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

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

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

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

Flèche instantanée causée par la charge permanente :

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

Flèche instantanée causée par la charge utile :

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

Flèche instantanée causée par la neige :

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

Flèche instantanée causée par le vent :

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

Flèche élastique instantanée (combinaison caractéristique)

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

### 2.4.2 Flèche finale (combinaison quasi-permanente)

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

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

### 2.4.3 Vérification des valeurs recommandées

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

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

**Conclusion :** Une poutre ayant une portée de 6,0 m est suffisante pour la charge attendue. Cette combinaison n'est pas indiquée dans les tableaux de conception préliminaires car dans ces tableaux, pour simplifier les choses, toutes les charges variables sont envisagées dans une seule direction (la plus défavorable). Le calcul ci-dessus est donc plus précis.

# NOVATOP OPEN

## EXEMPLES DE CALCUL – HORIZONTAUX

### 1. INFORMATIONS GÉNÉRALES

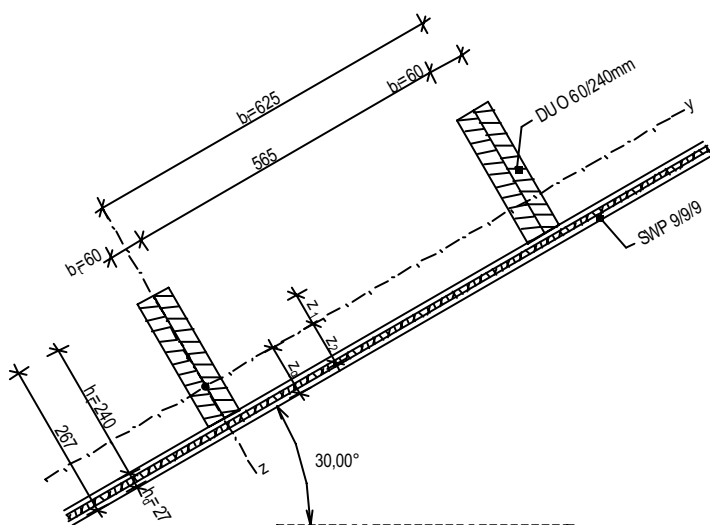
Le présent document vous présente un calcul détaillé réalisé sur un élément porteur (la direction des fibres des couches de surface des panneaux est dans le sens de la portée) et une évaluation en vertu de la norme ČSN EN 1995-1-1 + A1 + A2 (05/2015). L'évaluation porte sur les états limites de capacité et d'utilisabilité.

### 2. SYSTÈME ET CHARGES

#### 2.1. Matériel

NOVATOP OPEN – élément porteur – hauteur de 267 mm  
Nervures porteuses – équarris DUO 60 x 240 mm ( $b_t \times h_t$ )  
Entraxe des nervures  $b_f = 625$  mm  
Panneau sur la surface inférieure – SWP 9/9/9 –  $h_d = 27$  mm  
Portée d'une poutre simple  $L = 6,0$  m  
Inclinaison de  $30^\circ$  (poutres dans le sens de la pente)

Schéma d'un panneau, épaisseur de 267 mm :



# NOVATOP OPEN

## EXEMPLES DE CALCUL – HORIZONTALS

Panneau en bois massif SWP :

Propriété	---	Méthode d'essai	Classe / Catégorie d'utilisation / Valeur numérique <sup>1)</sup>
-----------	-----	-----------------	-------------------------------------------------------------------

Les panneaux sont joints bout à bout dans les couches intermédiaires

### Comportement mécanique dans le plan du panneau SWP

Composition des panneaux		6/15/6	9/9/9	9/15/9	9/42/9	
Résistance à la flexion $f_{m,0}$	N/mm <sup>2</sup>	ČSN EN 789	13,9	20,3	16,8	9,7
Résistance à la flexion $f_{m,90}$			8,6	5,3	7,1	10,7
Résistance à la traction $f_{t,0}$			9,3	13,6	11,2	6,5
Résistance à la traction $f_{t,90}$			5,7	3,6	4,7	7,1
Résistance à la compression $f_{c,0}$			13,9	20,3	16,8	9,7
Résistance à la compression $f_{c,90}$			8,6	5,3	7,1	10,7
Résistance au cisaillement $f_v$			3,0	3,0	3,0	3,0
Module d'élasticité $E_{m,0}$			5300	7800	6400	3700
Module d'élasticité $E_{m,90}$			3300	2050	2700	4100
Module d'élasticité en cisaillement G			600	600	600	600

### Comportement mécanique dans la direction perpendiculaire au plan du panneau SWP

Résistance à la flexion $f_{m,0}$	N/mm <sup>2</sup>	ČSN EN 789	25,0	28,9	27,3	20,1
Résistance à la flexion $f_{m,90}$			5,4	3,1	4,1	7,8
Module d'élasticité $E_{m,0}$			9600	11100	10500	7700
Module d'élasticité $E_{m,90}$			1150	400	710	2100
Module d'élasticité en cisaillement G			90	90	90	90
Résistance à la flexion $f_v$			1,1	1,1	1,1	1,1

### Joint collé entre la nervure et la bride

Résistance à la flexion $f_{v,k,glue,KVH}$	N/mm <sup>2</sup>	ETAG 019	1,10
Résistance à la flexion $f_{v,k,glue,LVL}$			4,40
Résistance à la flexion $f_{v,k,DUO,TRIO,I-nosniky}$			1,10
Résistance à la flexion $f_{v,k,glue,BSH}$			3,50

# NOVATOP OPEN

## EXEMPLES DE CALCUL – HORIZONTALS

Poutres DUO :

		KVH	DUO-TRIO
Classe de qualité		S10TS	S10TS
Classe de résistance selon la norme ČSN EN 1194: 1999		C24	C24
<b>Valeurs de résistance caractéristiques en N/mm<sup>2</sup></b>			
Résistance à la flexion	$f_{m,k}$	24	24
Résistance à la traction dans une direction parallèle aux fibres	$f_{t0,k}$	14	14
Résistance à la traction dans une direction perpendiculaire aux fibres	$f_{t90,k}$	0,5	0,4
Résistance à la compression dans une direction parallèle aux fibres	$f_{c0,k}$	21	21
Résistance à la compression dans une direction perpendiculaire aux fibres	$f_{c90,k}$	2,5	2,5
Résistance au cisaillement	$f_{vk}$	2,5	2
<b>Valeurs d'élasticité caractéristiques en kN/mm<sup>2</sup></b>			
Valeur moyenne du module d'élasticité dans une direction parallèle aux fibres	$E_{0,mean}$	11	11,6
5 % des quantiles du module d'élasticité dans une direction parallèle aux fibres	$E_{0,05}$	7,4	-
Valeur moyenne du module d'élasticité dans une direction perpendiculaire aux fibres	$E_{90,mean}$	0,37	0,37
Valeur moyenne du module d'élasticité en cisaillement	$G_{mean}$	0,69	0,69
<b>Densité en kg/m<sup>3</sup></b>			
Densité	$\rho_k$	350	350

### Caractéristiques de section :

Largeur participante du panneau  $b_1 = \min(b_f; L/10) = 0,6 \text{ m} = 600 \text{ mm}$

### Section de remplacement efficace :

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

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

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

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

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

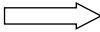
$$z_2 = 0,076 \text{ m}$$

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

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

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

## 2.2. Charges

Classe de service	1
Poids propre de l'élément	$g_1 = 0,25 \text{ kN/m}^2$
Autres charges permanentes	$g_k = 1,00 \text{ kN/m}^2$
Charge utile	$g_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$
Charge due à la neige	$s_k = 1,00 \text{ kN/m}^2$
Charge due au vent (pression)	$w_k = 0,25 \text{ kN/m}^2$
	$k_{mod} = 0,9$
	$\Psi_2 = 0,60$

# NOVATOP OPEN

## EXEMPLES DE CALCUL – HORIZONTALS

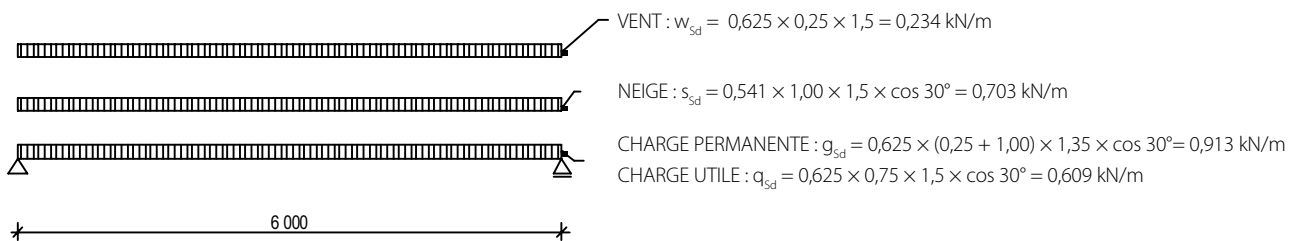
**L'élément est pivoté de 30°, la charge est donc répartie comme suit :**

- Poids propre de l'élément, autres charges permanentes, charge utile – largeur de charge 625 mm, répartie dans une direction perpendiculaire au plan de l'élément et parallèle au plan de l'élément
- Charge due à la neige – largeur de charge 625 mm \* cos 30° = 541 mm, répartie dans une direction perpendiculaire au plan de l'élément et parallèle au plan de l'élément
- Charge due au vent – largeur de charge 625 mm, agit uniquement dans une direction perpendiculaire au plan de l'élément

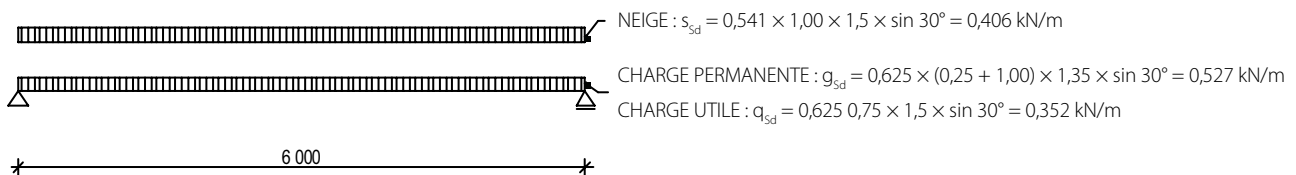
### 2.3. Évaluation des états limites de la capacité

#### 2.3.1 Schéma statique

Charge dans la direction perpendiculaire au plan de l'élément :



Charge dans la direction du plan de l'élément :



#### 2.3.2 Efforts internes maximaux

Les valeurs des efforts internes maximaux peuvent par exemple être calculées à l'aide d'un logiciel dédié à l'analyse statique des structures, ou par calcul manuel :

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

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

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

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

# NOVATOP OPEN

## EXEMPLES DE CALCUL – HORIZONTAUX

### 2.3.3 Évaluation de la contrainte en flexion dans les fibres inférieures tendues – dans la direction perpendiculaire au plan de l'élément

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

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

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

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

✓ SATISFAISANT

### 2.3.4 Évaluation de la contrainte en flexion dans les fibres inférieures tendues – dans la direction perpendiculaire au plan de l'élément (avec influence de la stabilité)

Distance entre les entretoises transversales –  $L_{vz} = 2,0 \text{ m}$

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

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

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

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

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

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

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

### 2.3.5 Évaluation de la contrainte en flexion dans les fibres inférieures tendues – dans la direction parallèle au plan de l'élément

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

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

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

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

✓ SATISFAISANT

# NOVATOP OPEN

## EXEMPLES DE CALCUL – HORIZONTALS

### 2.3.6 Évaluation de la contrainte en flexion – combinaison des deux directions principales

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

✓ SATISFAISANT

### 2.3.7 Évaluation de la contrainte en traction au centre de gravité du panneau inférieur

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

$$\sigma_{m,2,d} = \frac{M_{y,5,d}}{W_{y,2}} = \frac{11,066}{2,372 \times 10^{-3}} = 4665,3 \text{ kPa}$$

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

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

✓ SATISFAISANT

### 2.3.8 Évaluation de la contrainte de cisaillement au centre de gravité de la section

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

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

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

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

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

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

✓ SATISFAISANT

# NOVATOP OPEN

## EXEMPLES DE CALCUL – HORIZONTAUX

### 2.3.9 Évaluation de la contrainte de cisaillement dans le panneau, au niveau du joint collé

**Commentaire :** Cas de rupture en cisaillement 1 selon ETA-11/0310. Il est supposé que les lamelles de surface, adjacentes au joint collé, cèdent en cisaillement.

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

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

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

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

✓ SATISFAISANT

### 2.3.10 Évaluation de la contrainte de cisaillement dans un joint collé

**Commentaire :** Cas de rupture en cisaillement 2 selon ETA-11/0310.

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

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

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

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

✓ SATISFAISANT

## 2.4 Évaluation des états limites d'utilisabilité

(Pour simplifier, nous envisageons une flèche perpendiculaire au plan de l'élément. Pour calculer la flèche en coordonnées globales, nous vous recommandons d'utiliser un logiciel approprié)

### 2.4.1 Flèche élastique instantanée (combinaison caractéristique)

Part de la flexion :

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

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

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

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

# NOVATOP OPEN

## EXEMPLES DE CALCUL – HORIZONTALS

Part du cisaillement :

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

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

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

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

Flèche instantanée causée par la charge permanente :

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

Flèche instantanée causée par la charge utile :

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

Flèche instantanée causée par la neige :

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

Flèche instantanée causée par le vent :

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

Flèche élastique instantanée (combinaison caractéristique) :

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

### 2.4.2 Flèche finale (combinaison quasi-permanente)

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

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

### 2.4.3 Vérification des valeurs recommandées

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

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

**Conclusion :** Une poutre ayant une portée de 6,0 m est suffisante pour la charge attendue.

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

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:

