

## 2.2. SPRAWDZENIE NOŚNOŚCI KROKWI WIEŻBY DREWNIANEJ

Budynek mieszkalny wielorodzinny w Poznaniu przy ul. Kantaka 8/9, w I strefie obciążenia wiatrem oraz II str obciążenia śniegiem. Krokwie wykonane z drewna sosnowego, pokrycie papa. Rozstaw max krokwi - 1,0m.

Pochylenie połaci: 23°. Dach części głównej dwuspadowy, dach oficyn jednospadowy.

Obliczenie przeprowadzono zgodnie z normą: PN-B-03150 - Konstrukcje drewniane. Obliczenia statyczne i projektowanie

### 2.2.1. Część główna (dach dwuspadowy) - 23° $\alpha := 23 \cdot \text{deg}$

Dane:

$$a := 1.0 \cdot \text{m} \quad \sin(\alpha) = 0.391 \quad \cos(\alpha) = 0.921$$

#### 2.2.1.1. Uzupełniające dane geometryczne:

$$l_{\text{w}} := 4.0 \cdot \text{m}$$

- długość max konstrukcyjna krokwi między punktami podparcia

#### 2.2.1.2. Zebranie obciążeń - planowane dociążenie krokwi:

- Składowe obciążenia połaci dachowej obliczono, korzystając z zależności:

$$g_{\text{I}} := g \cdot \cos(\alpha) \quad g_{\text{II}} := g \cdot \sin(\alpha) \quad s_{\text{I}} := s \cdot (\cos(\alpha))^2 \quad s_{\text{II}} := s \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\alpha)$$

L.P.	OBCIĄŻENIE	OBC. CHARAKTER.	WSP. OBL.	OBC. OBLICZENIOWE
1.	2xpapa 0,02x2 = 0,04 kN/m <sup>2</sup>	0,04	1,2	0,05
2.	Deski	0,25	1,2	0,30
3.	Ciężar własny krokwi	0,06	1,2	0,07
	RAZEM	$g_k = 0,35$		$g_d = 0,42$
4.	Obciążenie śniegiem: $Q = 0,90 \text{ kN/m}^2$ wsp. kształtu dachu dla $\alpha = 23^\circ$ $C = 0,8(60 - \alpha)/30 = 0,99$ $s_k = Q_k \times C = 0,12 \text{ kN/m}^2$	$S_k = 0,89$	1,5	$S_d = 1,34$
5.	Obciążenie wiatrem: - połać nawietrzna: $P_{k1} = 0,35 \times 1,0 \times (0,015 \times 23 - 0,2) \times 1,8 = 0,20$ - połać zawietrzna: $P_{k2} = 0,35 \times 1,0 \times (-0,4) \times 1,8 = -0,25$	$P_{k1} = 0,05$  $P_{k2} = -0,25$	1,3	$P_{d1} = 0,07$  $P_{d2} = -0,33$

L.P.	OBCIĄŻENIE	SKŁADOWE PROSTOPADŁE OBCIĄŻENIA		SKŁADOWE RÓWNOLEGŁE OBCIĄŻENIA	
		Wartość charakter. [kN/m <sup>2</sup> ]	Wartość oblicz. [kN/m <sup>2</sup> ]	Wartość charakter. [kN/m <sup>2</sup> ]	Wartość oblicz. [kN/m <sup>2</sup> ]
1.	Obciążenie stałe	$g_{k1} = 0,32$	$s_{d1} = 0,39$	$g_{k11} = 0,14$	$g_{d11} = 0,16$
2.	Obciążenie śniegiem	$s_{k1} = 0,75$	$S_{d1} = 1,13$	$s_{k11} = 0,32$	$s_{d11} = 0,48$
3.	Obciążenie wiatrem: - połać nawietrzna: - połać zawietrzna	$p_{k1} = 0,05$ $p_{k2} = -0,25$	$p_{d1} = 0,07$ $p_{d2} = -0,33$	- -	- -

- Zestawienie obciążeń na 1 m krokwi:  $a = 1,0 \text{ m}$  - rozstaw max krokwi.

Obciążenie prostopadłe do połaci dachowej działające od strony nawietrznej:

$$q_{dI1} := a \cdot (0.39 + 1.13 + 0.07) \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad q_{dI1} = 1.59 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Obciążenie prostopadłe do połaci dachowej działające od strony zawietrznej:

$$q_{dI2} := a \cdot (0.39 + 1.13 - 0.33) \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad q_{dI2} = 1.19 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Obciążenie równoległe do połaci dachowej:

$$q_{dII} := a \cdot (0.16 + 0.48) \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad q_{dII} = 0.64 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

### 2.2.1.3. Wymiarowanie krokwi:

Krokwie jako belki jednoprzęsłowe na sztywnych podporach.

- Zgodnie z tab. normy, gdy  $v=0.6$ :

$$k_1 := 0.035 \quad k_2 := 0.125 \quad n_1 := 0.2413 \quad n_2 := 0.113 \quad n_3 := 0.6457$$

$$M_D := k_1 \cdot q_{dII} \cdot l^2 \quad M_D = 0.89 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{ADmax} := k_2 \cdot q_{dII} \cdot l^2 \quad M_{ADmax} = 3.18 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$A_1 := n_1 \cdot q_{dII} \cdot l \quad A_1 = 1.535 \cdot \text{kN}$$

$$C_1 := n_2 \cdot q_{dII} \cdot l \quad C_1 = 0.719 \cdot \text{kN}$$

$$C_{11} := n_2 \cdot q_{dII} \cdot l \quad C_{11} = 0.719 \cdot \text{kN}$$

$$D_1 := n_3 \cdot q_{dII} \cdot l \quad D_1 = 4.107 \cdot \text{kN}$$

$$\alpha := 23 \cdot \text{deg}$$

$$\beta := 90 - 2 \cdot \alpha \quad \beta = 44$$

$$C_{11} := \left( \frac{-1}{\cos(\beta)} \right) \cdot C_{11} - C_1 \cdot \tan(\beta) \quad C_1 = -0.732 \cdot \text{kN}$$

- Siła ściskająca D2 na podporze D:

$$D_2 := -C_1 - q_{dII} \cdot l \quad D_2 = -1.828 \cdot \text{kN}$$

- Jeżeli krokiew będzie oparta na murłacie bez ograniczenia przesuwu, to dodatkowa siła rozciągająca w punkcie D:

$$A_2 := 0.5 \cdot q_{dII} \cdot l \quad A_2 = 1.28 \cdot \text{kN}$$

#### 2.2.1.3.1. Sprawdzenie naprężeń z uwzględnieniem wyboczenia w płaszczyźnie x-x (prosopadłej do powierzchni dachu):

- Istniejący przekrój krokwi: **13x16**

$$b := 13 \cdot \text{cm} \quad h := 16 \cdot \text{cm} \quad \mu := 0.85 \quad E_{0.05} := 8000 \cdot \text{MPa}$$

$$A := b \cdot h \quad A = 208 \cdot \text{cm}^2$$

$$W_y := \frac{b \cdot h^2}{6} \quad W_y = 554.667 \cdot \text{cm}^3$$

$$i_y := 0.289 \cdot h \quad i_y = 0.046 \text{ m}$$

$$\lambda_y := \frac{\mu \cdot l}{i_y} \quad \lambda_y = 73.529 \quad \lambda_y < \lambda_{lim} \quad 150$$

Nośność elementu sprawdzamy ze wzoru:

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \quad \sigma < \sigma_{lim} \quad 1.0$$

$$f_{c0k} := 23 \cdot \text{MPa} \quad f_{myk} := 30 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{crit}} := \frac{\pi^2 \cdot E_{0.05}}{\lambda_y^2} \quad \sigma_{\text{crit}} = 14.604 \cdot \text{MPa}$$

$$\lambda_{\text{rely}} := \sqrt{\frac{f_{c0k}}{\sigma_{\text{crit}}}} \quad \lambda_{\text{rely}} = 1.255$$

Współczynniki wyboczeniowe:

$$k_y := 0.5 \cdot \left[ 1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rely}} - 0.5) + \lambda_{\text{rely}}^2 \right]$$

$$\beta_c := 0.2 \quad \text{- współczynnik dotyczący prostoliniowości elementów dla drewna litego = 0.2}$$

$$k_y = 1.363$$

$$k_{cy} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{\text{rely}}^2}} \quad k_{cy} = 0.528$$

Przy ściskaniu równoległym do włókien:  $N := |A_2 + |D_2||$

$$\sigma_{c0d} := \frac{N}{A} \quad \sigma_{c0d} = 0.149 \cdot \text{MPa}$$

$$k_{\text{mod}} := 0.9 \quad \text{przyjęto dla warunków użytkowania = 1, klasa trwania obciążenia = krótkotrwałe (wg tab. 3.2.4. normy)}$$

$$f_{c0d} := \frac{f_{c0k} \cdot k_{\text{mod}}}{1.3} \quad f_{c0d} = 15.923 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{myd}} := \frac{M_{\text{ADmax}}}{W_y} \quad \sigma_{\text{myd}} = 5.733 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{\text{myd}} := \frac{f_{\text{myk}} \cdot k_{\text{mod}}}{1.3} \quad f_{\text{myd}} = 20.769 \cdot \text{MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} + \frac{\sigma_{\text{myd}}}{f_{\text{myd}}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{\text{mzd}}}{f_{\text{mzd}}} = 0.294 \quad \blacksquare < \blacksquare \quad 1.0 \quad \text{warunek spełniony}$$

Wyboczenia w płaszczyźnie y-y (równoległej do powierzchni dachu) nie sprawdza się.

#### 2.2.1.3.2. Obliczenie ugięć:

Z uwagi na małą wartość naprężeń od siły osiowej, wpływ tej siły na ugięcie krokwi pominięto.

Ugięcie od obciążenia ciężarem własnym:

$$k_{\text{def}} := 0.6 \quad E_{\text{mean}} := 12000 \cdot \text{MPa}$$

$$q_{kI1} := (0.32 + 0.14) \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot a \quad q_{kI1} = 0.46 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12} \quad I_y = 4.437 \times 10^3 \cdot \text{cm}^4$$

$$u_{\text{inst1}} := \frac{5 \cdot q_{\text{KI1}} \cdot l^4}{384 \cdot E_{\text{mean}} \cdot I_y} \quad u_{\text{inst1}} = 0.288 \cdot \text{cm}$$

$$u_{\text{fin1}} := u_{\text{inst1}} \cdot (1 + k_{\text{def}}) \quad u_{\text{fin1}} = 0.461 \cdot \text{cm}$$

Ugięcie od obciążenia śniegiem:

$$k_{\text{def}} := 0.25 \quad E_{\text{mean}} := 12000 \cdot \text{MPa}$$

$$s_{\text{KI1}} := (0.75 + 0.32) \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot a \quad s_{\text{KI1}} = 1.07 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$u_{\text{inst2}} := \frac{5 \cdot s_{\text{KI1}} \cdot l^4}{384 \cdot E_{\text{mean}} \cdot I_y} \quad u_{\text{inst2}} = 0.67 \cdot \text{cm}$$

$$u_{\text{fin2}} := u_{\text{inst2}} \cdot (1 + k_{\text{def}}) \quad u_{\text{fin2}} = 0.837 \cdot \text{cm}$$

Ugięcie od obciążenia wiatrem:

$$k_{\text{def}} := 0 \quad E_{\text{mean}} := 12000 \cdot \text{MPa}$$

$$q_{\text{KI3}} := 0.05 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot a \quad q_{\text{KI3}} = 0.05 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$u_{\text{inst3}} := \frac{5 \cdot q_{\text{KI3}} \cdot l^4}{384 \cdot E_{\text{mean}} \cdot I_y} \quad u_{\text{inst3}} = 0.031 \cdot \text{cm}$$

$$u_{\text{fin3}} := u_{\text{inst3}} \cdot (1 + k_{\text{def}}) \quad u_{\text{fin3}} = 0.031 \cdot \text{cm}$$

Ugięcie całkowite:

$$u_{\text{fin}} := u_{\text{fin1}} + u_{\text{fin2}} + u_{\text{fin3}} \quad u_{\text{net.fin}} := \frac{1}{200}$$

$$u_{\text{fin}} = 1.329 \cdot \text{cm} \quad \blacksquare < \blacksquare \quad u_{\text{net.fin}} = 2 \cdot \text{cm}$$

W obiektach starych remontowanych dopuszcza się zwiększenie wartości ugięcia  $U_{\text{net.fin}}$  o 50% (tablica 5.2.3. PN)

$$u_{\text{net.fin1}} := u_{\text{net.fin}} \cdot 1.50 \quad u_{\text{net.fin1}} = 3 \cdot \text{cm}$$

a zatem

$$\frac{u_{\text{fin}}}{u_{\text{net.fin1}}} = 0.443 \quad \blacksquare < \blacksquare \quad 1.0$$

**warunek spełniony**

### 2.2.2. Oficyna (dach jednospadowy) - 23°

$$\alpha := 23 \cdot \text{deg}$$

Dane:

$$a := 0.87 \cdot \text{m} \quad \sin(\alpha) = 0.391 \quad \cos(\alpha) = 0.921$$

#### 2.2.2.1. Uzupełniające dane geometryczne:

$$l := 4.76 \cdot \text{m} \quad - \text{długość max konstrukcyjna krokwi między punktami podparcia}$$

#### 2.2.2.2. Zebranie obciążeń - planowane dociążenie krokwi:

- Składowe obciążenia połaci dachowej obliczono, korzystając z zależności:

$$g_{\text{I}} := g \cdot \cos(\alpha) \quad g_{\text{II}} := g \cdot \sin(\alpha) \quad s_{\text{I}} := s \cdot (\cos(\alpha))^2 \quad s_{\text{II}} := s \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\alpha)$$

L.P.	OBCIĄŻENIE	OBC. CHARAKTER.	WSP. OBL.	OBC. OBLICZENIOWE
1.	2xpapa 0,02x2 = 0,04 kN/m <sup>2</sup>	0,04	1,2	0,05
2.	Deski	0,25	1,2	0,30
3.	Ciężar własny krokwi	0,06	1,2	0,07
	RAZEM	g <sub>k</sub> =0,35		g <sub>d</sub> =0,42
4.	Obciążenie śniegiem: Q=0,90kN/m <sup>2</sup> wsp. kształtu dachu dla α=23° C=0,8(60-α)/30 = 0,99 s <sub>k</sub> =Q <sub>k</sub> xC = 0,12 kN/m <sup>2</sup>	S <sub>k</sub> =0,89	1,5	S <sub>d</sub> =1,34
5.	Obciążenie wiatrem: - połać nawietrzna: P <sub>k1</sub> =0,35x1,0x(0,015x23-0,2)x1,8=0,20 - połać zawietrzna: P <sub>k2</sub> =0,35x1,0x(-0,4)x1,8=-0,25	P <sub>k1</sub> =0,05  P <sub>k2</sub> =-0,25	1,3	P <sub>d1</sub> =0,07  P <sub>d2</sub> =-0,33

L.P.	OBCIĄŻENIE	SKŁADOWE PROSTOPADŁE OBCIĄŻENIA		SKŁADOWE RÓWNOLEGŁE OBCIĄŻENIA	
		Wartość charakter. [kN/m <sup>2</sup> ]	Wartość oblicz. [kN/m <sup>2</sup> ]	Wartość charakter. [kN/m <sup>2</sup> ]	Wartość oblicz. [kN/m <sup>2</sup> ]
1.	Obciążenie stałe	g <sub>kI</sub> =0,32	s <sub>dI</sub> =0,39	g <sub>kII</sub> =0,14	g <sub>dII</sub> =0,16
2.	Obciążenie śniegiem	s <sub>kI</sub> =0,75	s <sub>dI</sub> =1,13	s <sub>kII</sub> =0,32	s <sub>dII</sub> =0,48
3.	Obciążenie wiatrem: - połać nawietrzna: - połać zawietrzna	p <sub>kI</sub> =0,05 p <sub>k2</sub> =-0,25	p <sub>dI</sub> =0,07 p <sub>d2</sub> =-0,33	- -	- -

- Zestawienie obciążeń na 1 m krokwi: a = 0,87 m - rozstaw max krokwi.

Obciążenie prostopadłe do połaci dachowej działające od strony nawietrznej:

$$q_{dI1} := a \cdot (0.39 + 1.13 + 0.07) \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad q_{dI1} = 1.383 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Obciążenie prostopadłe do połaci dachowej działające od strony zawietrznej:

$$q_{dI2} := a \cdot (0.39 + 1.13 - 0.33) \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad q_{dI2} = 1.035 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Obciążenie równoległe do połaci dachowej:

$$q_{dII} := a \cdot (0.16 + 0.48) \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad q_{dII} = 0.557 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

#### 2.2.2.3. Wymiarowanie krokwi:

Krokwie jako belki jednoprzęsłowe na sztywnych podporach.

- Zgodnie z tab. normy, gdy v=0.6:

$$k_1 := 0.035 \quad k_2 := 0.125 \quad n_1 := 0.2413 \quad n_2 := 0.113 \quad n_3 := 0.6457$$

$$M_D := k_1 \cdot q_{dII} \cdot l^2 \quad M_D = 1.097 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{ADmax} := k_2 \cdot q_{dII} \cdot l^2 \quad M_{ADmax} = 3.918 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$A_1 := n_1 \cdot q_{dII} \cdot l \quad A_1 = 1.589 \cdot \text{kN}$$

$$C_1 := n_2 \cdot q_{dII} \cdot l \quad C_1 = 0.744 \cdot \text{kN}$$

$$C_{11} := n_2 \cdot q_{dII} \cdot l \quad C_{11} = 0.744 \cdot \text{kN}$$

$$D_1 := n_3 \cdot q_{dII} \cdot l \quad D_1 = 4.252 \cdot \text{kN}$$

$$\alpha := 23 \cdot \text{deg}$$

$$\beta := 90 - 2 \cdot \alpha \quad \beta = 44$$

$$C_1 := \left( \frac{-1}{\cos(\beta)} \right) \cdot C_{11} - C_1 \cdot \tan(\beta) \quad C_1 = -0.757 \cdot \text{kN}$$

- Siła ściskająca D2 na podporze D:

$$D_2 := -C_1 - q_{dII} \cdot l \quad D_2 = -1.893 \cdot \text{kN}$$

- Jeżeli krokiew będzie oparta na murłacie bez ograniczenia przesuwu, to dodatkowa siła rozciągająca w punkcie D:

$$A_2 := 0.5 \cdot q_{dII} \cdot l \quad A_2 = 1.325 \cdot \text{kN}$$

#### 2.2.2.3.1. Sprawdzenie naprężeń z uwzględnieniem wyboczenia w płaszczyźnie x-x (prosopadłej do powierzchni dachu):

- Istniejący przekrój krokwi: **13x16**

$$b := 13 \cdot \text{cm} \quad h := 16 \cdot \text{cm} \quad \mu := 0.85 \quad E_{0.05} := 8000 \cdot \text{MPa}$$

$$A := b \cdot h \quad A = 208 \cdot \text{cm}^2$$

$$W_y := \frac{b \cdot h^2}{6} \quad W_y = 554.667 \cdot \text{cm}^3$$

$$i_y := 0.289 \cdot h \quad i_y = 0.046 \cdot \text{m}$$

$$\lambda_y := \frac{\mu \cdot l}{i_y} \quad \lambda_y = 87.5 \quad \lambda_y < \lambda_{lim} \quad 150$$

Nośność elementu sprawdzamy ze wzoru:

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1.0$$

$$f_{c0k} := 23 \cdot \text{MPa} \quad f_{myk} := 30 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{crit} := \frac{\pi^2 \cdot E_{0.05}}{\lambda_y^2} \quad \sigma_{crit} = 10.313 \cdot \text{MPa}$$

$$\lambda_{\text{rely}} := \sqrt{\frac{f_{c0k}}{\sigma_{\text{crit}}}} \quad \lambda_{\text{rely}} = 1.493$$

Współczynniki wyboczeniowe:

$$k_y := 0.5 \cdot \left[ 1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rely}} - 0.5) + \lambda_{\text{rely}}^2 \right]$$

$$\beta_c := 0.2 \quad \text{- współczynnik dotyczący prostoliniowości elementów dla drewna litego = 0.2}$$

$$k_y = 1.714$$

$$k_{cy} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{\text{rely}}^2}} \quad k_{cy} = 0.391$$

Przy ściskaniu równoległym do włókien:  $N := |A_2 + |D_2||$

$$\sigma_{c0d} := \frac{N}{A} \quad \sigma_{c0d} = 0.155 \cdot \text{MPa}$$

$$k_{\text{mod}} := 0.9 \quad \text{przyjęto dla warunków użytkowania = 1, klasa trwania obciążenia = krótkotrwałe (wg tab. 3.2.4. normy)}$$

$$f_{c0d} := \frac{f_{c0k} \cdot k_{\text{mod}}}{1.3} \quad f_{c0d} = 15.923 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{myd} := \frac{M_{AD\text{max}}}{W_y} \quad \sigma_{myd} = 7.063 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{myd} := \frac{f_{myk} \cdot k_{\text{mod}}}{1.3} \quad f_{myd} = 20.769 \cdot \text{MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.365 \quad \blacksquare < \blacksquare \quad 1.0 \quad \text{warunek spełniony}$$

Wyboczenia w płaszczyźnie y-y (równoległej do powierzchni dachu) nie sprawdza się.

#### 2.2.2.3.2. Obliczenie ugięć:

Z uwagi na małą wartość naprężeń od siły osiowej, wpływ tej siły na ugięcie krokwi pominięto.

Ugięcie od obciążenia ciężarem własnym:

$$k_{\text{def}} := 0.6 \quad E_{\text{mean}} := 12000 \cdot \text{MPa}$$

$$q_{k11} := (0.32 + 0.14) \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot a \quad q_{k11} = 0.4 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12} \quad I_y = 4.437 \times 10^3 \cdot \text{cm}^4$$

$$u_{inst1} := \frac{5 \cdot q_{kI1} \cdot l^4}{384 \cdot E_{mean} \cdot I_y} \quad u_{inst1} = 0.502 \cdot \text{cm}$$

$$u_{fin1} := u_{inst1} \cdot (1 + k_{def}) \quad u_{fin1} = 0.804 \cdot \text{cm}$$

Ugięcie od obciążenia śniegiem:

$$k_{def} := 0.25 \quad E_{mean} := 12000 \cdot \text{MPa}$$

$$s_{kI1} := (0.75 + 0.32) \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot a \quad s_{kI1} = 0.931 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$u_{inst2} := \frac{5 \cdot s_{kI1} \cdot l^4}{384 \cdot E_{mean} \cdot I_y} \quad u_{inst2} = 1.169 \cdot \text{cm}$$

$$u_{fin2} := u_{inst2} \cdot (1 + k_{def}) \quad u_{fin2} = 1.461 \cdot \text{cm}$$

Ugięcie od obciążenia wiatrem:

$$k_{def} := 0 \quad E_{mean} := 12000 \cdot \text{MPa}$$

$$q_{kI3} := 0.05 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot a \quad q_{kI3} = 0.044 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$u_{inst3} := \frac{5 \cdot q_{kI3} \cdot l^4}{384 \cdot E_{mean} \cdot I_y} \quad u_{inst3} = 0.055 \cdot \text{cm}$$

$$u_{fin3} := u_{inst3} \cdot (1 + k_{def}) \quad u_{fin3} = 0.055 \cdot \text{cm}$$

Ugięcie całkowite:

$$u_{fin} := u_{fin1} + u_{fin2} + u_{fin3} \quad u_{net,fin} := \frac{1}{200}$$

$$u_{fin} = 2.319 \cdot \text{cm} \quad \blacksquare < \blacksquare \quad u_{net,fin} = 2.38 \cdot \text{cm}$$

W obiektach starych remontowanych dopuszcza się zwiększenie wartości ugięcia  $u_{net,fin}$  o 50% (tablica 5.2.3. PN)

$$u_{net,fin1} := u_{net,fin} \cdot 1.50 \quad u_{net,fin1} = 3.57 \cdot \text{cm}$$

a zatem

$$\frac{u_{fin}}{u_{net,fin1}} = 0.65 \quad \blacksquare < \blacksquare \quad 1.0$$

**warunek spełniony**