

Załącznik nr 2

1 OBLICZENIA STATYCZNE

OBCIĄŻENIE WIATREM WG PN-EN 1991-1-4:2008

- strefa wiatrowa I
- kategoria terenu III – tereny regularnie pokryte roślinnością lub budynkami albo o pojedynczych przeszkodach, (takie jak wsie, tereny podmiejskie, stałe lasy)

1.1 Wyznaczenie podstawowej prędkości wiatru wg pn-en 1991-1-4:2008

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

$$v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 22,0 = 22,0 \text{ [m/s]}$$

1.2 Bazowe ciśnienie prędkości wiatru

$$q_b = 0,5 \cdot \rho_{air} \cdot v_b^2$$

$$q_b = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 22,0^2 = 302,5 \text{ [N/m}^2\text{]} = 0,303 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

1.3 Współczynnik terenu

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07}$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{0,30}{0,05} \right)^{0,07} = 0,215$$

1.4 Współczynnik chropowatości

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)$$

$$c_r(z) = 0,215 \cdot \ln \left(\frac{5,50}{0,30} \right) = 0,625$$

1.5 Współczynnik rzeźby terenu (orografii)

$$c_o(z) = 1,0$$

1.6 Współczynnik turbulencji

Według normy współczynnik turbulencji, zaleca się przyjmować:

$$k_t = 1,0$$

1.7 Intensywność turbulencji

$$I_V(z_s) = \frac{1}{\ln\left(\frac{z_s}{z_0}\right)}$$

$$I_V(z_s) = \frac{1}{\ln\left(\frac{5,5}{0,3}\right)} = 0,345$$

1.8 Szczytowe ciśnienie prędkości wiatru

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

gdzie:

$$c_e(z) = \left(1 + \frac{7 \cdot k_l \cdot k_r}{c_o(z) \cdot c_r(z)}\right) \cdot c_o^2(z) \cdot c_r^2(z)$$

$$c_e(z) = \left(1 + \frac{7 \cdot 1,0 \cdot 0,215}{1,0 \cdot 0,625}\right) \cdot 1,0^2 \cdot 0,625^2 = 1,33$$

wówczas:

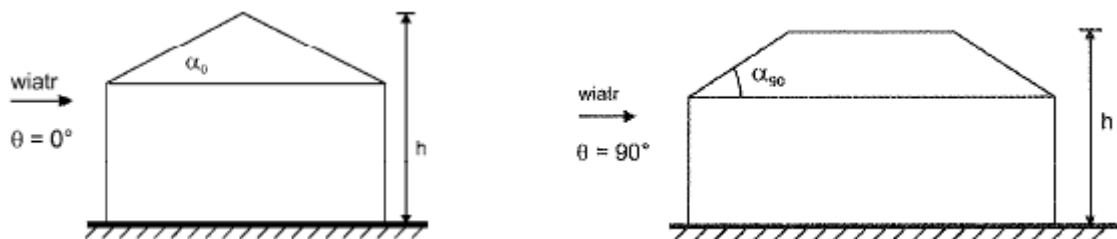
$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

$$q_p(z) = 1,33 \cdot 302,5 = 402,3 \text{ [N/m}^2\text{]} = 0,402 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

W przypadku parcia, przyjęto wartość dodatnią obciążenia wiatrem, w przypadku ssania wartość ujemną.

1.9 Ciśnienie wiatru wywierane na powierzchnię

1.9.1 Współczynnik ciśnienia zewnętrznego $c_{pe,10}$

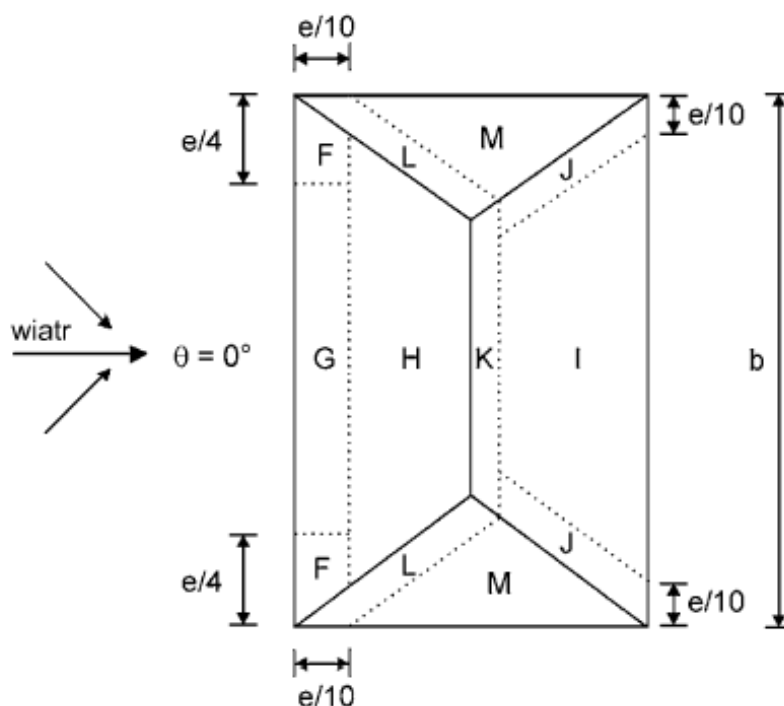


Rys. 1 Dach czterospadowy – widok z boku

$$\alpha_0 = 20,18^\circ$$

$$\alpha_{90} = 26,00^\circ$$

Dla kierunku wiatru $\theta = 0^\circ$

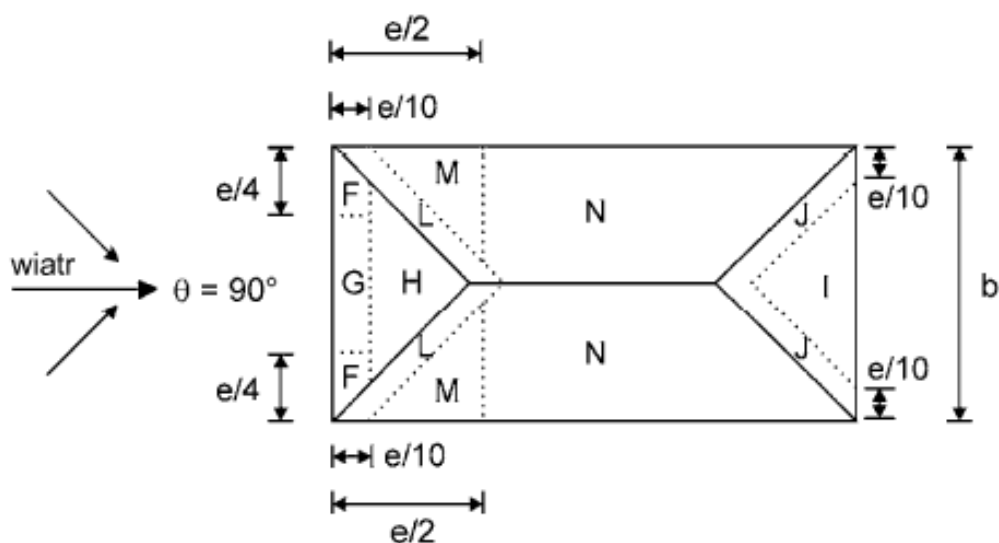


Rys. 2 Dach czterospadowy – kierunku wiatru $\theta = 0^\circ$

Tab. 1 Współczynnik ciśnienia zewnętrznego dla dachu czterospadowego
dla kierunku wiatru $\theta = 0^\circ$

Połąc nawietrzna (-)		Połąc nawietrzna (+)		Połąc zawietrzna	
pole F	$c_{pe,10} = -0,5$	pole F	$c_{pe,10} = +0,5$	pole I	$c_{pe,10} = -0,4$
pole G	$c_{pe,10} = -0,5$	pole G	$c_{pe,10} = +0,7$	pole J	$c_{pe,10} = -0,7$
pole H	$c_{pe,10} = -0,9$	pole H	$c_{pe,10} = +0,4$	pole K	$c_{pe,10} = -0,5$
				pole L	$c_{pe,10} = -1,4$
				pole M	$c_{pe,10} = -0,8$

Dla kierunku wiatru $\theta = 90,0^\circ$



Rys. 3 Dach czterospadowy – kierunku wiatru $\theta = 90^\circ$

Tab. 2 Współczynnik ciśnienia zewnętrznego dla dachu czterospadowego
dla kierunku wiatru $\theta = 90^\circ$

Połąc nawietrzna (-)		Połąc nawietrzna (+)		Połąc zawietrzna	
pole F	$c_{pe,10} = -0,5$	pole F	$c_{pe,10} = +0,5$	pole I	$c_{pe,10} = -0,4$
pole G	$c_{pe,10} = -0,5$	pole G	$c_{pe,10} = +0,7$	pole J	$c_{pe,10} = -0,7$
pole H	$c_{pe,10} = -0,9$	pole H	$c_{pe,10} = +0,4$	pole L	$c_{pe,10} = -0,5$
				pole M	$c_{pe,10} = -0,8$
				pole N	$c_{pe,10} = -0,2$

1.10 Współczynnik ciśnienia wewnętrznego

W rozpatrywanym przypadku wartość współczynnika c_{pi} jest bardziej niekorzystna gdy przyjmie się ją równą +0,2.

1.11 Siły wiatru wywierane na powierzchnie

$$w = (c_{pe} + c_{pi}) \cdot q_p \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Tab. 3 Napór wiatru na połac dachową dla kierunku wiatru $\theta = 0^\circ$ (połac nawietrzna (-))

Pole	F	G	H	I	J	K	L	M
C_{pe}	-0,5	-0,5	-0,9	-0,4	-0,7	-0,5	-1,4	-0,8
C_{pi}	+0,2							
w	-0,121	-0,121	-0,281	-0,80	-0,201	-0,121	-0,482	-0,241

Tab. 4 Napór wiatru na połac dachową dla kierunku wiatru $\theta = 0^\circ$ (połac nawietrzna (+))

Pole	F	G	H	I	J	K	L	M
C_{pe}	0,5	0,7	0,4	-0,4	-0,7	-0,5	-1,4	-0,8
C_{pi}	+0,2							
w	0,281	0,362	0,241	-0,80	-0,201	-0,121	-0,482	-0,241

Tab. 5 Napór wiatru na połac dachową dla kierunku wiatru $\theta = 90^\circ$ (połac nawietrzna (-))

Pole	F	G	H	I	J	K	M	M
C_{pe}	-0,5	-0,5	-0,9	-0,4	-0,7	-0,5	-0,8	0,0
C_{pi}	+0,2							
w	-0,121	-0,121	-0,281	-0,80	-0,201	-0,121	-0,241	0,000

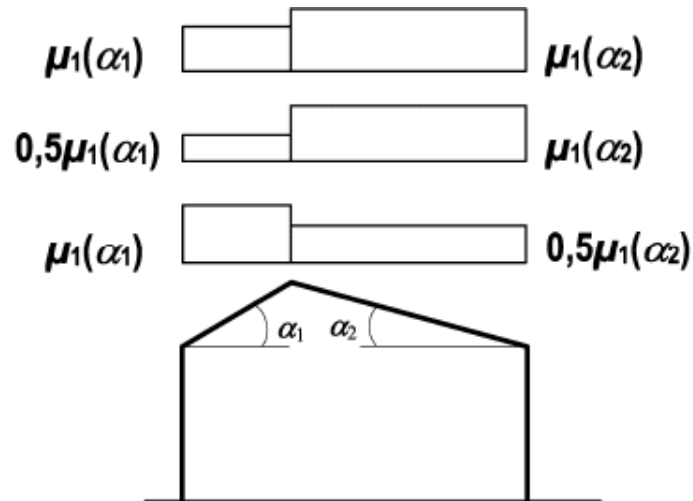
Tab. 6 Napór wiatru na połac dachową dla kierunku wiatru $\theta = 90^\circ$ (połac nawietrzna (+))

Pole	F	G	H	I	J	K	M	N
C_{pe}	0,5	0,7	0,4	-0,4	-0,7	-0,5	-0,8	-0,2
C_{pi}	+0,2							
w	0,281	0,362	0,241	-0,80	-0,201	-0,121	-0,482	0,000

2 Obciążenie śniegiem wg pn-en 1991-1-3

2.1 Obciążenie śniegiem dachu

$$s_k = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k$$



Rys. 4 Obciążenie śniegiem

2.2 Współczynnik kształtu dachu

Projektuje się dach czteropołaciowy, nie posiadający zabezpieczeń przed zsunieniem się śniegu z dachu. Współczynnik kształtu dachu dobrano zgodnie z PN-EN 1991-1-3/ Tablica 5.2

$$0^\circ \leq \alpha = 20,18^\circ \leq 30^\circ \Rightarrow \mu_1 = 0,80$$

$$0^\circ \leq \alpha = 26,00^\circ \leq 30^\circ \Rightarrow \mu_1 = 0,80$$

2.3 Współczynnik ekspozycji

Na obszarze, na którym zlokalizowany jest projektowany obiekt budowlany nie występuje znaczące przenoszenie śniegu przez wiatr na budowle z powodu ukształtowania terenu, innych budowli lub drzew – teren normalny.

$$C_e = 1,0$$

2.4 Współczynnik termiczny

$$C_t = 1,0$$

2.5 Obciążenie śniegiem gruntu

Wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem gruntu zależy od strefy klimatycznej.

$$s_k = 1,20 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

2.6 Obciążenie śniegiem dachu

Wartość charakterystyczna

$$s_k = \mu_i \cdot C_e \cdot C_z \cdot S_k$$

$$s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,20 = 0,96 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Wartość obliczeniowa

$$s = s_k \cdot V_f$$

$$s = 0,96 \cdot 1,5 = 1,44 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

3 Zestawienie obciążeń stałych

3.1 Obciążenie przekrycia – obciążenia charakterystyczne [kN/m²]

Tab. 7 Zestawienie obciążeń przekrycia

Lp.	Rodzaj obciążenia	Wartość
1	Blachodachówka $0,089 \text{ [kN/m}^2\text{]}$	0,089
2	Łaty $40 \times 60 \text{ mm}$ $(5,50 \text{ [kN/m}^3\text{]} \cdot 0,04 \cdot 0,06) / 0,825$	0,016
3	Kontrłaty $50 \times 25 \text{ mm}$ $(5,50 \text{ [kN/m}^3\text{]} \cdot 0,05 \cdot 0,025) / 0,825$	0,009
4	Krokiew $2 \times 45 \times 140 \text{ mm}$ $2 \times (5,50 \text{ [kN/m}^3\text{]} \cdot 0,045 \cdot 0,140) / 0,825$	0,084
Σ		0,198

3.2 Obciążenie przekrycia – obciążenia stałe obliczeniowe [kN/m²]

$$\sum g_o = \sum g_k \cdot V_G$$

$$\sum g_o = 0,198 \cdot 1,35 = 0,267 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

3.3 Obciążenie sufitem – obciążenia charakterystyczne [kN/m²]

Tab. 8 Zestawienie obciążeń sufitem

Lp.	Rodzaj obciążenia	Wartość
1	Wełna mineralna $1,20 \text{ [kN/m}^3\text{]} \cdot 0,200$	0,240
2	Płyta gipsowo – kartonowa H2 gr. 12,5 mm $12,00 \text{ [kN/m}^3\text{]} \cdot 0,0125$	0,150
3	Tynk gipsowy $12,00 \text{ [kN/m}^3\text{]} \cdot 0,001$	0,001
Σ		0,391

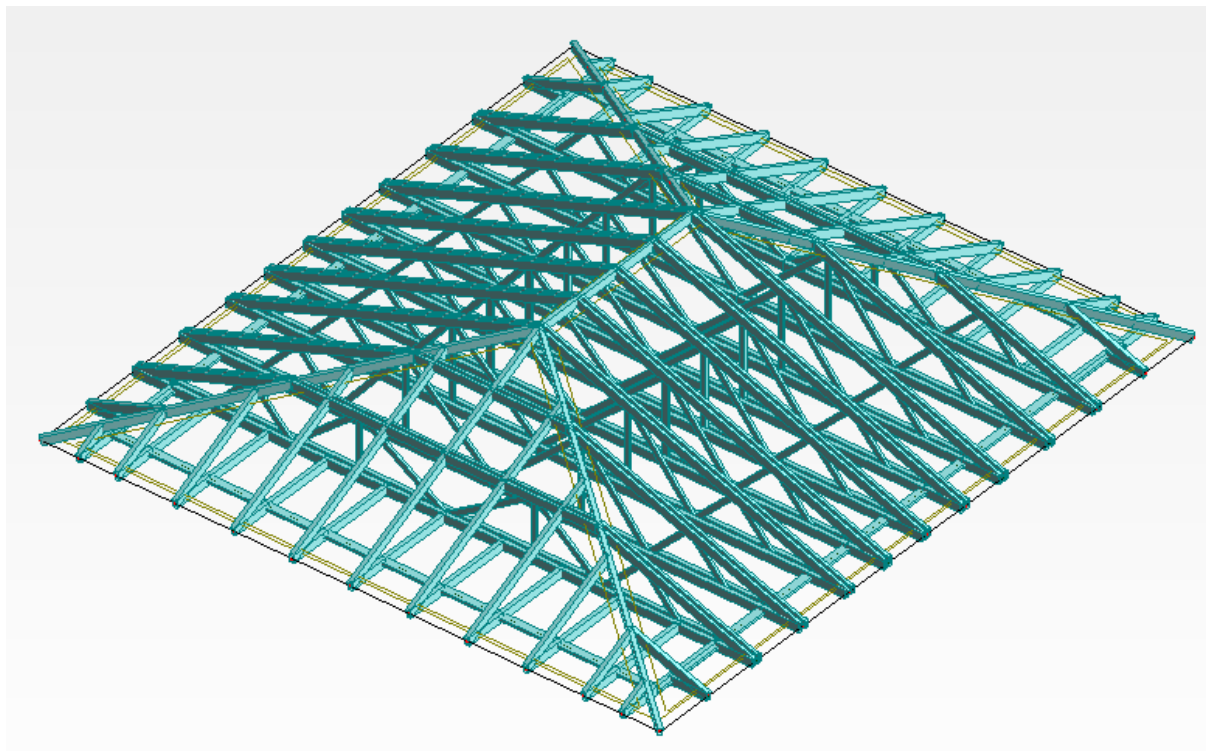
3.4 Obciążenie sufitem – obciążenia stałe obliczeniowe [kN/m²]

$$\sum g_o = \sum g_k \cdot \gamma_G$$

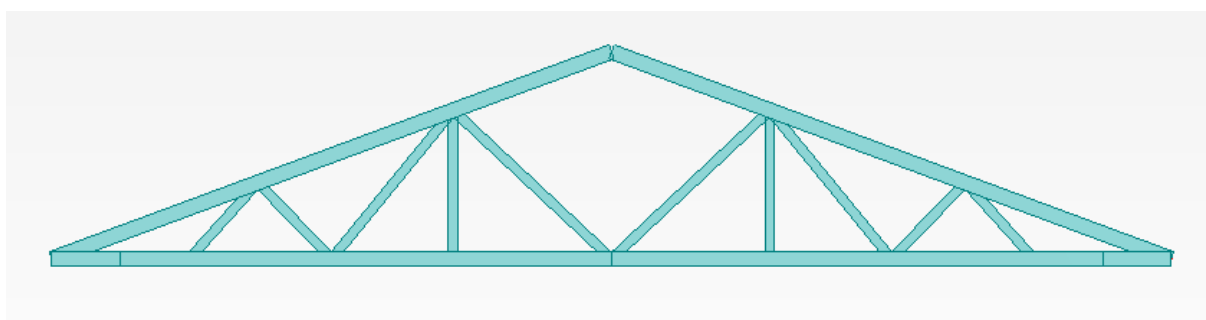
$$\sum g_o = 0,391 \cdot 1,35 = 0,528 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

4 Obliczenia statyczne

4.1 Model obliczeniowy



Rys. 5 Model obliczeniowy



Rys. 6 Dźwigar D-1 najbardziej wyężony

4.2 Reakcje SGN

Tab. 4 Reakcje SGN – ekstrema globalne

	F_x	F_y	F_z	M_x	M_y	M_z
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
MAX	15,88	1,64	13,74	0,61	4,03	0,17
Węzeł	185	167	185	67	100	123
Przypadek	4 (K)	4 (K)	4 (K)	4 (K)	4 (K)	4 (K)
MIN	-15,88	-1,64	0,40	-0,61	-4,03	-0,17
Węzeł	177	60	159	239	107	116
Przypadek	4 (K)	4 (K)	3	4 (K)	4 (K)	4 (K)

4.3 Przeszyczenia sgu

Tab. 5 Przeszyczenia SGU – ekstrema globalne

	U_x	U_y	U_z	R_x	R_y	R_z
	[cm]	[cm]	[cm]	[Rad]	[Rad]	[Rad]
MAX	0,1	0,1	0,0	0,002	0,001	0,001
Węzeł	105	250	79	225	248	225
Przypadek	1	2	1	2	2	2
MIN	-0,1	-0,1	-0,3	-0,002	-0,001	-0,001
Węzeł	97	152	99	49	246	207
Przypadek	1	2	2	2	2	2

5 Obliczenia elementów konstrukcyjnych

5.1 PAS GÓRNY 2 x 45 x 140

5.1.1 Geometria

$h = 14,0 \text{ (cm)}$	$A_y = 105,00 \text{ (cm}^2\text{)}$	$W_{ply} = 294,00 \text{ (cm}^3\text{)}$
$b = 4,5 \text{ (cm)}$	$A_z = 105,00 \text{ (cm}^2\text{)}$	$W_{plz} = 409,50 \text{ (cm}^3\text{)}$
$e_a = 4,5 \text{ (cm)}$	$A_x = 126,00 \text{ (cm}^2\text{)}$	
$e_s = 0,0 \text{ (cm)}$	$I_y = 2058,00 \text{ (cm}^4\text{)}$	
	$I_z = 2764,13 \text{ (cm}^4\text{)}$	
	$I_x = 678,30 \text{ (cm}^4\text{)}$	

5.1.2 Materiał

Drewno: C24;

5.1.3 Naprężenia

$$\begin{aligned}\sigma_{c,0,d} &= N/A_x = -9,62/126,00 = 0,76 \text{ (MPa)} \\ \sigma_{m,y,d} &= M_y/W_y = 2,31/294,00 = 7,87 \text{ (MPa)} \\ \sigma_{m,z,d} &= M_z/W_z = 0,00/409,50 = 0,00 \text{ (MPa)} \\ \tau_{y,d} &= 1,5 \times (0,00/126,00) = 0,00 \text{ (MPa)} \\ \tau_{z,d} &= 1,5 \times (-3,26/126,00) = -0,39 \text{ (MPa)} \\ \tau_{tory,d} &= 0,00 \text{ (MPa)} \\ \tau_{torz,d} &= 0,00 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

5.1.4 Naprężenia dopuszczalne

$$\begin{aligned}f_{t,0,d} &= 9,69 \text{ (MPa)} \\ f_{m,y,d} &= 11,23 \text{ (MPa)} \\ f_{m,z,d} &= 14,09 \text{ (MPa)} \\ f_{v,d} &= 1,85 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

5.1.5 Współczynniki

$$\begin{aligned}k_m &= 0,70 \\ k_h &= 1,27 \\ k_{mod} &= 0,60 \\ K_{sys} &= 1,00\end{aligned}$$

5.1.6 Formuły weryfikacyjne

$$\sigma_{t,0,d} / f_{t,0,d} + \sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} + k_m * \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} = 0,71 < 1,00$$

$$(\tau_{y,d} + \tau_{t,ory,d} / k_{shape}) / f_{v,d} = 0,00 < 1,00$$

$$(\tau_{z,d} + \tau_{torz,d} / k_{shape}) / f_{v,d} = 0,21 < 1,00$$

5.1.7 Ugięcia

$$u_y = 0,0 \text{ cm} < u_{y \max} = L/200.00 = 2,80 \text{ (cm)}$$

$$u_z = 0,2 \text{ cm} < u_{z \max} = L/200.00 = 2,80 \text{ (cm)}$$

Pas górny 2 x 45 x 140 przyjęty został poprawnie

5.2 PAS DOLNY 2 x 70 x 140

5.2.1 Geometria

$h = 14,0 \text{ (cm)}$	$A_y = 163,33 \text{ (cm}^2\text{)}$	$W_{ply} = 457,33 \text{ (cm}^3\text{)}$
$b = 7,0 \text{ (cm)}$	$A_z = 163,33 \text{ (cm}^2\text{)}$	$W_{plz} = 787,09 \text{ (cm}^3\text{)}$
$e_a = 4,5 \text{ (cm)}$	$A_x = 196,00 \text{ (cm}^2\text{)}$	
$e_s = 0,0 \text{ (cm)}$	$I_y = 3201,33 \text{ (cm}^4\text{)}$	
	$I_z = 7280,58 \text{ (cm}^4\text{)}$	
	$I_x = 2192,90 \text{ (cm}^4\text{)}$	

5.2.2 Materiał

Drewno: C24;

5.2.3 Naprężenia

$$\sigma_{c,0,d} = N/A_x = 8,23/196.00 = 0,42 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_y/W_y = 4,60/457,33 = 10,06 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_z/W_z = 0,07/787,09 = 0,09 \text{ (MPa)}$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 \times (0,04/196,00) = 0,00 \text{ (MPa)}$$

$$\tau_{z,d} = 1,5 \times (-9,05/196,00) = -0,69 \text{ (MPa)}$$

$$\tau_{t,ory,d} = 0,04 \text{ (MPa)}$$

$$\tau_{torz,d} = 0,05 \text{ (MPa)}$$

5.2.4 Naprężenia dopuszczalne

$$f_{t,0,d} = 9,69 \text{ (MPa)}$$

$$f_{m,y,d} = 11,23 \text{ (MPa)}$$

$$f_{m,z,d} = 12,90 \text{ (MPa)}$$

$$f_{v,d} = 1,85 \text{ (MPa)}$$

5.2.5 Współczynniki

$$k_m = 0,70$$

$$k_h = 1,16$$

$$k_{mod} = 0,60$$

$$K_{sys} = 1,00$$

5.2.6 Formuły weryfikacyjne

$$\sigma_{t,0,d} / f_{t,0,d} + \sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} + k_m * \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} = 0,90 < 1,00$$

$$(\tau_{y,d} + \tau_{torz,d} / k_{shape}) / f_{v,d} = 0,02 < 1,00$$

$$(\tau_{z,d} + \tau_{torz,d} / k_{shape}) / f_{v,d} = 0,39 < 1,00$$

5.2.7 Ugięcia

$$u_y = 0,0 \text{ cm} < u_{y \max} = L/200,00 = 2,30 \text{ (cm)}$$

$$u_z = 0,0 \text{ cm} < u_{z \max} = L/200,00 = 2,30 \text{ (cm)}$$

Pas dolny 2 x 70 x 140 przyjęty został poprawnie

5.3 SŁUPEK 45 x 90

5.3.1 Geometria

$$h = 9,0 \text{ (cm)}$$

$$A_y = 13,50 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$W_{ply} = 60,75 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$b = 4,5 \text{ (cm)}$$

$$A_z = 27,00 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$W_{plz} = 30,37 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$e_a = 2,3 \text{ (cm)}$$

$$A_x = 40,50 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$e_s = 2,3 \text{ (cm)}$$

$$I_y = 273,37 \text{ (cm}^4\text{)}$$

$$I_z = 68,34 \text{ (cm}^4\text{)}$$

$$I_x = 187,60 \text{ (cm}^4\text{)}$$

5.3.2 Materiał

Drewno: C24;

5.3.3 Naprężenia

$$\sigma_{t,0,d} = N/A_x = -1,76/40,50 = -0,43 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_y/W_y = -0,25/60,75 = -4,14 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_z/W_z = -0,01/30,37 = -0,39 \text{ (MPa)}$$

$$\tau_{y,d} = 1,5x(0,01/40,50) = 0,00 \text{ (MPa)}$$

$$\tau_{z,d} = 1,5x(-0,25/40,50) = -0,09 \text{ (MPa)}$$

$$\tau_{torz,d} = 0,01 \text{ (MPa)}$$

$$T_{\text{torz},d} = 0,01 \text{ (MPa)}$$

5.3.4 Naprężenia dopuszczalne

$$f_{t,0,d} = 8,22 \text{ (MPa)}$$

$$f_{m,y,d} = 12,27 \text{ (MPa)}$$

$$f_{m,z,d} = 14,09 \text{ (MPa)}$$

$$f_{v,d} = 1,85 \text{ (MPa)}$$

5.3.5 Współczynniki

$$k_m = 0,70$$

$$k_h = 1,27$$

$$k_{\text{mod}} = 0,60$$

$$K_{\text{sys}} = 1,00$$

5.3.6 Formuły weryfikacyjne

$$\sigma_{t,0,d} / f_{t,0,d} + \sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} + k_m * \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} = 0,41 < 1,00$$

$$(T_{y,d} + T_{\text{tory},d} / k_{\text{shape}}) / f_{v,d} = 0,01 < 1,00$$

$$(T_{z,d} + T_{\text{torz},d} / k_{\text{shape}}) / f_{v,d} = 0,06 < 1,00$$

5.3.7 Przemieszczenia

$$v_y = 0,1 \text{ cm} < v_{y \text{ max}} = L/150,00 = 0,90 \text{ (cm)}$$

$$v_z = 0,0 \text{ cm} < v_{z \text{ max}} = L/150,00 = 0,90 \text{ (cm)}$$

Słupek 45 x 90 przyjęty został poprawnie

5.4 Krzyżulec 45 x 90

5.4.1 Geometria

$$h = 9,0 \text{ (cm)}$$

$$A_y = 13,50 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$W_{ply} = 60,75 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$b = 4,5 \text{ (cm)}$$

$$A_z = 27,00 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$W_{plz} = 30,37 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$e_a = 2,3 \text{ (cm)}$$

$$A_x = 40,50 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$e_s = 2,3 \text{ (cm)}$$

$$I_y = 273,37 \text{ (cm}^4\text{)}$$

$$I_z = 68,34 \text{ (cm}^4\text{)}$$

$$I_x = 187,60 \text{ (cm}^4\text{)}$$

5.4.2 Materiał

Drewno: C24;

5.4.3 Naprężenia

$$\sigma_{c,0,d} = N/A_x = 12,71/40,50 = 3,14 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_y/W_y = 0,20/60,75 = 3,27 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_z/W_z = 0,01/30,37 = 0,20 \text{ (MPa)}$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 \times (0,01/40,50) = 0,00 \text{ (MPa)}$$

$$\tau_{z,d} = 1,5 \times (0,35/40,50) = 0,13 \text{ (MPa)}$$

$$\tau_{tory,d} = 0,01 \text{ (MPa)}$$

$$\tau_{torz,d} = 0,01 \text{ (MPa)}$$

5.4.4 Naprężenia dopuszczalne

$$f_{t,0,d} = 9,69 \text{ (MPa)}$$

$$f_{m,y,d} = 12,27 \text{ (MPa)}$$

$$f_{m,z,d} = 14,09 \text{ (MPa)}$$

$$f_{v,d} = 1,85 \text{ (MPa)}$$

5.4.5 Współczynniki

$$k_m = 0,70$$

$$k_h = 1,27$$

$$k_{mod} = 0,60$$

$$K_{sys} = 1,00$$

5.4.6 Formuły weryfikacyjne

$$\sigma_{t,0,d} / f_{t,0,d} + \sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} + k_m * \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} = 0,38 < 1,00$$

$$(\tau_{y,d} + \tau_{tory,d} / k_{shape}) / f_{v,d} = 0,01 < 1,00$$

$$(\tau_{z,d} + \tau_{torz,d} / k_{shape}) / f_{v,d} = 0,07 < 1,00$$

Krzyżulec 45 x 90 przyjęty został poprawnie

5.5 KROKIEW 70 x 140

5.5.1 Geometria

$$h = 14,0 \text{ (cm)}$$

$$A_y = 32,67 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$W_{ply} = 228,67 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$b = 7,0 \text{ (cm)}$$

$$A_z = 65,33 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$W_{plz} = 114,33 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$\begin{aligned}e_a &= 3,5 \text{ (cm)} & A_x &= 98,00 \text{ (cm}^2\text{)} \\e_s &= 3,5 \text{ (cm)} & I_y &= 1600,67 \text{ (cm}^4\text{)} \\& & I_z &= 400,17 \text{ (cm}^4\text{)} \\& & I_x &= 1096,50 \text{ (cm}^4\text{)}\end{aligned}$$

5.5.2 Materiał

Drewno: C24;

5.5.3 Naprężenia

$$\begin{aligned}\sigma_{c,0,d} &= N/A_x = 3,02/98,00 = 0,31 \text{ (MPa)} \\ \sigma_{m,y,d} &= M_y/W_y = 1,52/228,67 = 6,63 \text{ (MPa)} \\ \sigma_{m,z,d} &= M_z/W_z = 0,00/114,33 = 0,00 \text{ (MPa)} \\ \tau_{y,d} &= 1,5 \times (0,00/98,00) = 0,00 \text{ (MPa)} \\ \tau_{z,d} &= 1,5 \times (-2,47/126,00) = -0,38 \text{ (MPa)} \\ \tau_{t,ory,d} &= 0,00 \text{ (MPa)} \\ \tau_{t,orz,d} &= 0,00 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

5.5.4 Naprężenia dopuszczalne

$$\begin{aligned}f_{t,0,d} &= 9,69 \text{ (MPa)} \\ f_{m,y,d} &= 11,23 \text{ (MPa)} \\ f_{m,z,d} &= 12,98 \text{ (MPa)} \\ f_{v,d} &= 1,85 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

5.5.5 Współczynniki

$$\begin{aligned}k_m &= 0,70 \\ k_h &= 1,16 \\ k_{mod} &= 0,60 \\ K_{sys} &= 1,00\end{aligned}$$

5.5.6 Parametry zwichrzeniowe

$$\begin{aligned}l_{ef} &= 4,06 \text{ (m)} \\ \lambda_{rel,m} &= 0,99 \\ \sigma_{cr} &= 41,53 \text{ (MPa)} \\ k_{crit} &= 0,99\end{aligned}$$

5.5.7 Formuły weryfikacyjne

$$(\sigma_{c,0,d} / f_{c,0,d})^2 + \sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} + k_m * \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} = 0,59 < 1,00$$

$$\sigma_{m,y,d} / (k_{crit} * f_{m,y,d}) = 0,60 < 1,00$$

$$(\tau_{y,d} + \tau_{tory,d} / k_{shape}) / f_{v,d} = 0,00 < 1,00$$

$$(\tau_{z,d} + \tau_{torz,d} / k_{shape}) / f_{v,d} = 0,21 < 1,00$$

5.5.8 Ugięcia

$$u_y = 0,0 \text{ cm} < u_{y \max} = L/200,00 = 2,30 \text{ (cm)}$$

$$u_z = 0,2 \text{ cm} < u_{z \max} = L/200,00 = 2,30 \text{ (cm)}$$

Krokiew 70 x 140 przyjęta została poprawnie

5.6 KROKIEW KALENICOWA 45 x 160

5.6.1 Geometria

h= 16,0 (cm)	A _y = 15,80 (cm ²)	W _{ply} = 192,00 (cm ³)
b= 4,5 (cm)	A _z = 56,20 (cm ²)	W _{plz} = 54,00 (cm ³)
e _a = 2,3 (cm)	A _x = 72,00 (cm ²)	
e _s = 2,3 (cm)	I _y = 1536,00 (cm ⁴)	
	I _z = 121,50 (cm ⁴)	
	I _x = 399,90 (cm ⁴)	

5.6.2 Materiał

Drewno: C24;

5.6.3 Naprężenia

$$\sigma_{c,0,d} = N/A_x = 8,91/72,00 = 1,24 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_y/W_y = 1,04/192,00 = 5,44 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_z/W_z = 0,00/54,00 = 0,00 \text{ (MPa)}$$

$$\tau_{y,d} = 1,5x(0,00/72,00) = 0,00 \text{ (MPa)}$$

$$\tau_{z,d} = 1,5x(-1,66/72,00) = -0,35 \text{ (MPa)}$$

$$\tau_{tory,d} = 0,00 \text{ (MPa)}$$

$$\tau_{torz,d} = 0,00 \text{ (MPa)}$$

5.6.4 Naprężenia dopuszczalne

$$f_{t,0,d} = 9,69 \text{ (MPa)}$$

$$f_{m,y,d} = 11,08 \text{ (MPa)}$$

$$f_{m,z,d} = 14,09 \text{ (MPa)}$$

$$f_{v,d} = 1,85 \text{ (MPa)}$$

5.6.5 Współczynniki

$$k_m = 0,70$$

$$k_h = 1,27$$

$$k_{mod} = 0,60$$

$$K_{sys} = 1,00$$

5.6.6 Parametry zwichrzeniowe

$$l_{ef} = 1,49 \text{ (m)}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,73$$

$$\sigma_{cr} = 44,99 \text{ (MPa)}$$

$$k_{crit} = 1,00$$

5.6.7 Formuły weryfikacyjne

$$(\sigma_{c,0,d} / f_{c,0,d})^2 + \sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} + k_m * \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} = 0,51 < 1,00$$

$$\sigma_{m,y,d} / (k_{crit} * f_{m,y,d}) = 0,49 < 1,00$$

$$(\tau_{y,d} + \tau_{tort,y,d} / k_{shape}) / f_{v,d} = 0,00 < 1,00$$

$$(\tau_{z,d} + \tau_{tort,z,d} / k_{shape}) / f_{v,d} = 0,19 < 1,00$$

5.6.8 Ugięcia

$$u_y = 0,0 \text{ cm} < u_{y,max} = L/200,00 = 0,80 \text{ (cm)}$$

$$u_z = 0,0 \text{ cm} < u_{z,max} = L/200,00 = 0,80 \text{ (cm)}$$

Krokiew kalenicowa 45 x 160 przyjęta została poprawnie

5.7 KROKIEW KOSZOWA 70 x 140

5.7.1 Geometria

$$h = 14,0 \text{ (cm)}$$

$$A_y = 32,67 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$W_{ply} = 228,67 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$b = 7,0 \text{ (cm)}$$

$$A_z = 65,33 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$W_{plz} = 114,33 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$e_a = 3,5 \text{ (cm)}$$

$$A_x = 98,00 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$e_s = 3,5 \text{ (cm)}$$

$$I_y = 1600,67 \text{ (cm}^4\text{)}$$

$$I_z = 400,17 \text{ (cm}^4\text{)}$$

$$I_x = 1096,50 \text{ (cm}^4\text{)}$$

5.7.2 Materiał

Drewno: C24;

5.7.3 Naprężenia

$$\sigma_{c,0,d} = N/A_x = 6,44/98,00 = 0,66 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_y/W_y = 0,24/228,67 = 1,04 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{m,z,d} = M_z/W_z = 0,12/144,33 = 1,06 \text{ (MPa)}$$

$$\tau_{y,d} = 1,5x(-0,81/98,00) = -0,12 \text{ (MPa)}$$

$$\tau_{z,d} = 1,5x(-1,83/98,00) = -0,28 \text{ (MPa)}$$

$$\tau_{tory,d} = 1,53 \text{ (MPa)}$$

$$\tau_{torz,d} = 1,92 \text{ (MPa)}$$

5.7.4 Naprężenia dopuszczalne

$$f_{t,0,d} = 9,69 \text{ (MPa)}$$

$$f_{m,y,d} = 11,23 \text{ (MPa)}$$

$$f_{m,z,d} = 12,90 \text{ (MPa)}$$

$$f_{v,d} = 1,85 \text{ (MPa)}$$

5.7.5 Współczynniki

$$k_m = 0,70$$

$$k_h = 1,16$$

$$k_{mod} = 0,60$$

$$K_{sys} = 1,00$$

5.7.6 Parametry zwichtzeniowe

$$l_{ef} = 6,26 \text{ (m)}$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,94$$

$$\sigma_{cr} = 26,92 \text{ (MPa)}$$

$$k_{crit} = 0,85$$

5.7.7 Formuły weryfikacyjne

$$(\sigma_{c,0,d} / f_{c,0,d})^2 + \sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} + k_m * \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} = 0,15 < 1,00$$

$$\sigma_{m,y,d} / (k_{crit} * f_{m,y,d}) = 0,11 < 1,00$$

$$(\tau_{y,d} + \tau_{\text{tory},d} / k_{\text{shape}}) / f_{v,d} = 0,70 < 1,00$$

$$(\tau_{z,d} + \tau_{\text{torz},d} / k_{\text{shape}}) / f_{v,d} = 0,95 < 1,00$$

5.7.8 Ugięcia

$$u_y = 0,0 \text{ cm} < u_{y \text{ max}} = L/200,00 = 3,50 \text{ (cm)}$$

$$u_z = 0,1 \text{ cm} < u_{z \text{ max}} = L/200,00 = 3,50 \text{ (cm)}$$

Krokiew koszowa 70 x 140 przyjęta została poprawnie

6 Połączenie na gwoździe

Drewno C24 $\rho_{kd}=350 \text{ [kg/m}^3\text{]}$

Gwoździe dwucięte

6.1 Dobór średnicy gwoździa

- przyjęto gwoździe dwucięte: 4,5 x 125,0

Minimalna grubość elementu drewnianego złącza t

$$t = \max \left[7d; (13d - 30) \frac{p_k}{400} \right]$$

$$t = \max \left[7 \cdot 4,5; (13 \cdot 4,5 - 30) \frac{350}{400} \right] = \max[28,0; 24,9] = 28,0 \text{ [mm]}$$

Rzeczywista wartość:

$$t = 45,0 \text{ [mm]} > 28,0 \text{ [mm]}$$

Poprawność przyjętej średnicy gwoździa

$$\frac{t}{6} = \frac{45}{6} = 7,5 \geq 4,5 \geq \frac{t}{11} = \frac{45}{11} = 4,1 \text{ [mm]}$$

Przy założonym całkowitym wykorzystaniu nośności na 1 cięcie długość gwoździ powinna wynosić:

$$l_{gw} = t_1 + 1 + t_2 + 1 + 8 \cdot d + 1,5 \cdot d$$

$$l_{gw} = 45 + 1 + 45 + 1 + 8 \cdot 4,5 + 1,5 \cdot 4,5 = 134,75 \text{ [mm]}$$

Długość zakotwienia końca gwoździa w ostatnim elemencie:

$$t_1 = 125 - 45 - 1 - 45 - 1 - 1,5 \cdot 4,5 = 26,25 \text{ [mm]} \Rightarrow 26,25/4,5 = 5,83 \cdot d < 8 \cdot d$$

Oznacza to, że nie można przyjąć całkowitej nośności przyjętych gwoździ w danym przekroju. W obliczeniach przyjmujemy zmniejszoną nośność.

6.2 Wytrzymałość obliczeniowa na docisk

Wytrzymałość charakterystyczna drewna na docisk $f_{h,k}$

(bez uprzedniego rozwiercania otworów)

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_{kd} \cdot d^{-0,3}$$

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot 350 \cdot 4,5^{-0,3} = 18,28 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Wytrzymałość obliczeniowa na docisk

$$k_{\text{mod}} = 0,8$$

współczynnik modyfikujący

$$f_{h,1,d} = f_{h,2,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{h,k}}{Y_M}$$

$$f_{h,1,d} = f_{h,2,d} = \frac{0,8 \cdot 18,28}{1,3} = 11,25 \text{ [MPa]}$$

Moment charakterystyczny uplastycznienia łącznika (gwoździe okrągłe):

$$M_{y,k} = 180 \text{ d}^{2,6}$$

$$M_{y,k} = 180 \cdot 4,5^{2,6} = 8987,20 \text{ [Nmm]}$$

Moment obliczeniowy uplastycznienia łącznika (gwoździe okrągłe):

$$Y_M = 1,1$$

elementy stalowe w złączach

$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{Y_M}$$

$$M_{y,d} = \frac{8987,20}{1,1} = 8170,20 \text{ [Nmm]}$$

Stosunek wytrzymałości materiału na docisk β

$$\beta = \frac{f_{h,2,d}}{f_{h,1,d}} = \frac{11,25}{11,25} = 1,0$$

6.3 Nośność łącznika

$$R_d^1 = f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d$$

$$R_d^1 = 11,25 \cdot 26,25 \cdot 4,5 = 1338,90 \text{ [N]} = 1,34 \text{ [kN]}$$

$$R_d^2 = f_{h,1,d} \cdot t_2 \cdot d \cdot \beta$$

$$R_d^2 = 11,25 \cdot 45 \cdot 4,5 \cdot 1 = 1139,00 \text{ [N]} = 1,14 \text{ [kN]}$$

$$R_d^3 = 1,1 \cdot \frac{f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (1 + 2 \cdot \beta) \cdot M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot t_1^2 \cdot d}} - \beta \right]$$

$$R_d^3 = 1,1 \cdot \frac{11,25 \cdot 26,25 \cdot 4,5}{2 + 1} \left[\sqrt{2 \cdot 1 \cdot (1 + 1) + \frac{4 \cdot 1 \cdot (2 + 1) \cdot 8170,20}{11,25 \cdot 26,25^2 \cdot 4,5}} - 1 \right]$$

$$R_d^3 = 1174,56 \text{ [N]} = 1,17 \text{ [kN]}$$

$$R_d^4 = 1,1 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,1,d} \cdot d}$$

$$R_d^4 = 1,1 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{1 + 1}} \cdot \sqrt{2 \cdot 8170,20 \cdot 11,25 \cdot 4,5}$$

$$R_d^4 = 1000,48 \text{ [N]} = 1,00 \text{ [kN]}$$

Minimalna nośność gwoźdźcia na 1 cięcie

$$R_{d\min} = 1000,48 \text{ [N]} = 1,00 \text{ [kN]}$$

Potrzebna ilość gwoździ dla maksymalnej siły występującej w złączu najbardziej obciążonym:

$$n_s = \frac{P}{2 \cdot R_{d\min}}$$

$$n_s = \frac{12,44}{2 \cdot 1,0} = 6,22$$

przyjęto: $n_s = 7$ gwoździ

6.4 Rozmieszczenie gwoździ w złączu

Rozstaw gwoździ wzdłuż włókien

$$a_1 = (5 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$$

Rozstaw gwoździ w poprzek włókien:

$$a_2 = 5 \cdot d$$

$$a_2 = 5 \cdot 4,5 = 22,5 \text{ [mm]}$$

Odległość od końca nieobciążonej wzdłuż włókien:

$$a_{3c} = 10 \cdot d$$

$$a_{3c} = 10 \cdot 4,5 = 45 \text{ [mm]}$$

Odległość od końca obciążonego:

$$a_{3t} = (10 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$$

Odległość od krawędzi nieobciążonej:

$$a_{4c} = 5 \cdot d$$

$$a_{4c} = 5 \cdot 4,5 = 22,5 \text{ [mm]}$$

Odległość od krawędzi obciążonej:

$$a_{4t} = (5 + 5 \cdot \sin \alpha) d$$

Maksymalna ilość szeregów gwoździ w krzyżulcach i słupach:

$$\frac{90}{a_2} = \frac{90}{22,5} = 4$$

Liczba szeregów gwoździ w pasie dolnym i górnym:

$$\frac{140 - 2 \cdot a_{4t}}{a_2}$$