

# 1. STAN ISTNIEJĄCY

## 1.1. ZEBRANIE OBCIĄŻEŃ

### 1.1.1. DACH

pasmo zbierania obciążeń 1,000 [m]

#### obciążenia stałe

	$g_k = [\text{kN/m}]$	$\gamma_f$	$g = [\text{kN/m}]$
blacha	0,100	1,2	0,120
deski $0,025 \cdot 5,5 =$	0,138	1,2	0,165
papa	0,050	1,2	0,060
$g_k =$	0,288	$g_0 =$	0,345

kąty nachylenia połaci dachowej wynoszą  $38,66^\circ$   $\cos\alpha$  0,781  
 $37,35^\circ$   $\cos\alpha$  0,795

obciążenie :	charakter. [kN/m]	$\gamma_f$	charakter. [kN/m]
-stałe 1 ( $g_{kl} / g_{01}$ )	<b>0,368</b>	1,20	<b>0,442</b>
-stałe 2 ( $g_{kl} / g_{01}$ )	<b>0,362</b>	1,20	<b>0,434</b>

#### obciążenia zmienne:

	$pk = [\text{kN/m}]$	$\gamma_f$	$p = [\text{kN/m}]$
śnieg 1 (II strefa) $0,9 \cdot 0,6 =$	<b>0,900</b>	1,5	<b>1,350</b>
śnieg 2 (II strefa) $0,9 \cdot 1,0 =$	<b>0,540</b>	1,5	<b>0,810</b>
wiatr 1 (I strefa) $0,25 \cdot 0,37 \cdot 1,0 \cdot 1,8 =$	<b>0,167</b>	1,3	<b>0,216</b>
wiatr 2 (I strefa) $0,25 \cdot (-0,37) \cdot 1,0 \cdot 1,8 =$	<b>-0,167</b>	1,3	<b>-0,216</b>

### 1.1.2. STROP

pasmo zbierania obciążeń 1,000 [m]

#### obciążenia stałe

	$g_k = [\text{kN/m}]$	$\gamma_f$	$g = [\text{kN/m}]$
deski	0,275	1,2	0,330
papa	0,050	1,2	0,060
suprema 5cm	0,400	1,3	0,520
$g_k =$	0,725	$g_0 =$	0,910

## 1.2. OBLICZENIA STATYCZNE

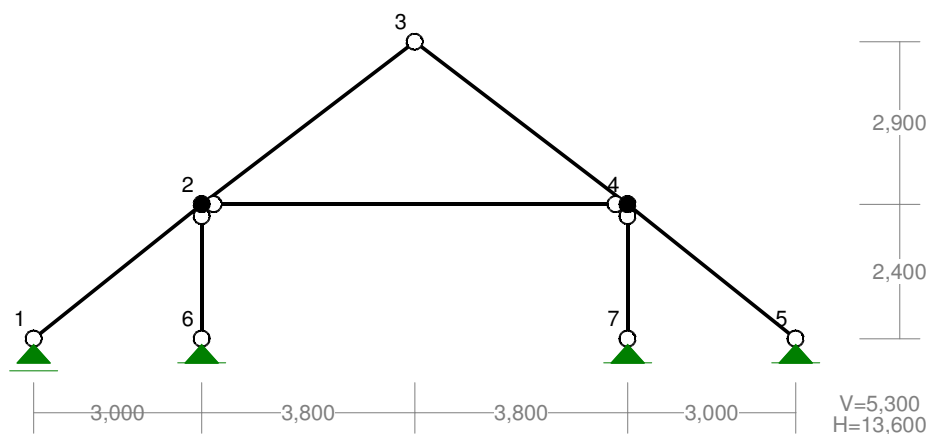
Obliczenia statyczne konstrukcji wykonano w programie RM-Win.

-stałe ( $g_{kl} / g_{01}$ )	<b>0,725</b>	1,26	<b>0,910</b>
------------------------------	--------------	------	--------------

WEZŁY:

#### obciążenia zmienne:

	$pk = [\text{kN/m}]$	$\gamma_f$	$p = [\text{kN/m}]$
użytkowe	<b>1,200</b>	1,4	<b>1,680</b>



**WĘZŁY:**

Nr:	X [m]:	Y [m]:	Nr:	X [m]:	Y [m]:
1	0,000	0,000	5	13,600	0,000
2	3,000	2,400	6	3,000	0,000
3	6,800	5,300	7	10,600	0,000
4	10,600	2,400			

**PODPORY:**

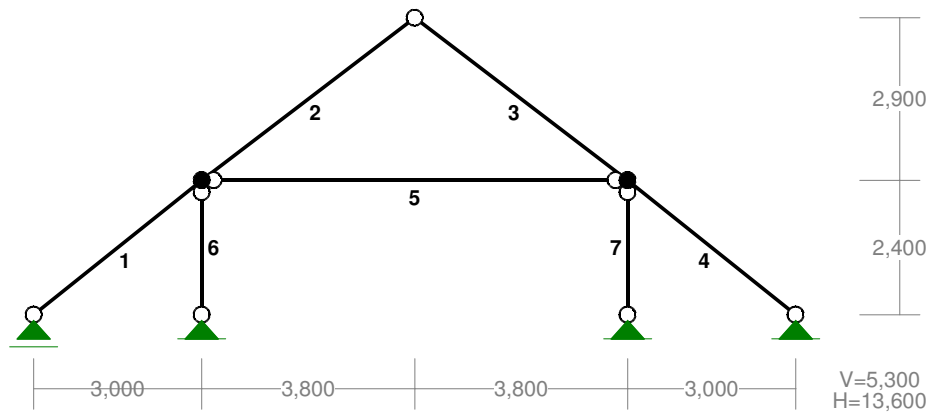
P o d a t n o ś c i

Węzeł:	Rodzaj:	Kąt:	Dx (Do*): [ m / k N ]	Dy:	DFi: [rad/kNm]
1	przesuwna	0,0	0,000E+00*		
5	stała	0,0	0,000E+00	0,000E+00	
6	stała	0,0	0,000E+00	0,000E+00	
7	stała	0,0	0,000E+00	0,000E+00	

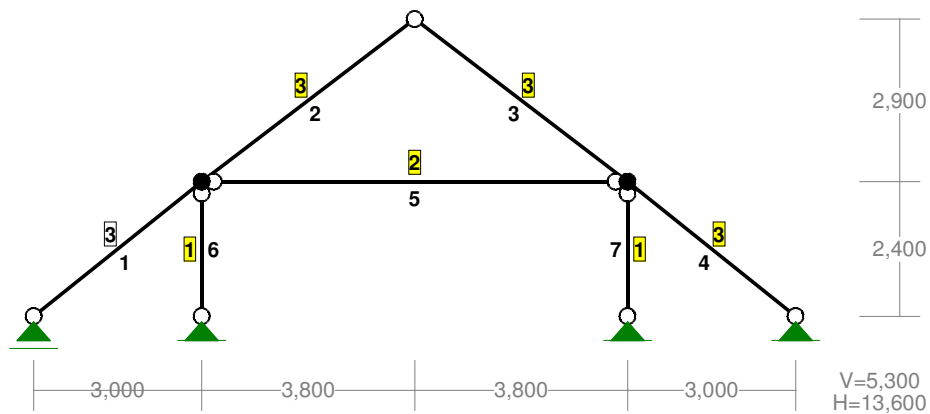
**OSIADANIA:**

Węzeł:	Kąt:	Wx (Wo*) [m]:	Wy [m]:	FIO [grad]:
B r a k O s i a d a ń				

**PRĘTY:**



**PRZEKROJE PRĘTÓW:**



**PRĘTY UKŁADU:**

Typy prętów: 00 - sztyw.-sztyw.; 01 - sztyw.-przegub;  
 10 - przegub-sztyw.; 11 - przegub-przegub  
 22 - ciągnio

Pręt:	Typ:	A:	B:	Lx[m]:	Ly[m]:	L[m]:	Red.EJ:	Przekrój:
1	10	1	2	3,000	2,400	3,842	1,000	3 B 18,0x18,0
2	01	2	3	3,800	2,900	4,780	1,000	3 B 18,0x18,0
3	10	3	4	3,800	-2,900	4,780	1,000	3 B 18,0x18,0
4	01	4	5	3,000	-2,400	3,842	1,000	3 B 18,0x18,0
5	11	2	4	7,600	0,000	7,600	1,000	2 B 22,0x20,0
6	11	6	2	0,000	2,400	2,400	1,000	1 B 12,0x12,0
7	11	4	7	0,000	-2,400	2,400	1,000	1 B 12,0x12,0

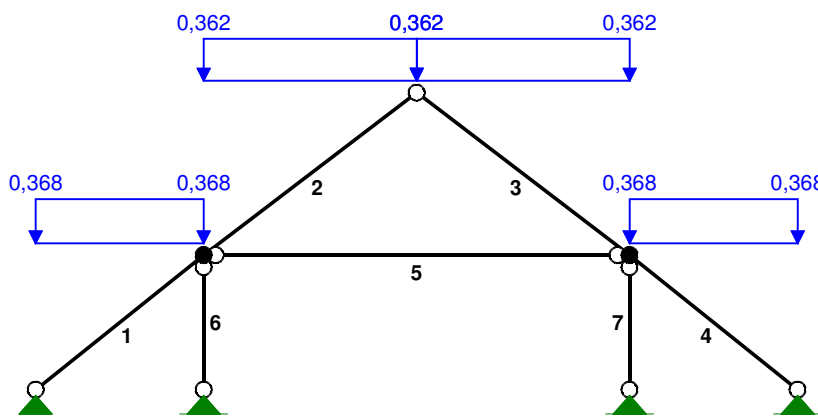
**WIELKOŚCI PRZEKROJOWE:**

Nr.	A[cm <sup>2</sup> ]	I <sub>x</sub> [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>y</sub> [cm <sup>4</sup> ]	W <sub>g</sub> [cm <sup>3</sup> ]	W <sub>d</sub> [cm <sup>3</sup> ]	h[cm]	Materiał:
1	144,0	1728	1728	288	288	12,0	46 Drewno C30
2	440,0	17747	14667	1613	1613	22,0	46 Drewno C30
3	324,0	8748	8748	972	972	18,0	46 Drewno C30

**STAŁE MATERIAŁOWE:**

Materiał:	Moduł E: [N/mm <sup>2</sup> ]	Napręż.gr.: [N/mm <sup>2</sup> ]	AlfaT: [1/K]
46 Drewno C30	12000	30,000	5,00E-06

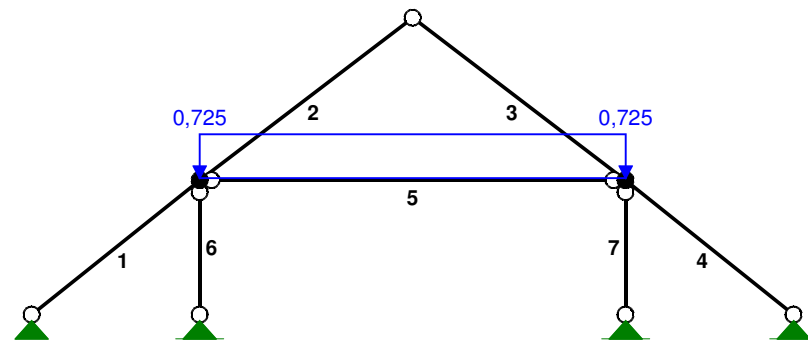
**OBCIĄŻENIA:**



**OBCIĄŻENIA:** ([kN], [kNm], [kN/m])

Pręt:	Rodzaj:	Kąt:	P1 (Tg):	P2 (Td):	a [m]:	b [m]:
Grupa:	A	"Stałe dach"		Stałe	$\gamma_f = 1,20$	
1	Liniowe-Y	0,0	0,368	0,368	0,00	3,84
2	Liniowe-Y	0,0	0,362	0,362	0,00	4,78
3	Liniowe-Y	0,0	0,362	0,362	0,00	4,78
4	Liniowe-Y	0,0	0,368	0,368	0,00	3,84

**OBCIĄŻENIA:**

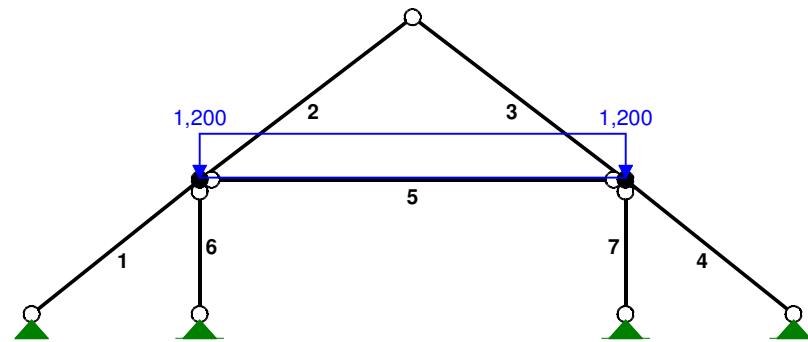


**OBCIĄŻENIA:** ([kN], [kNm], [kN/m])

Pręt: Rodzaj: Kąt: P1 (Tg): P2 (Td): a[m]: b[m]:

Grupa: B "Stałe strop"  
 5 Liniowe 0,0 0,725 0,725 0,00 7,60

OBCIĄŻENIA:

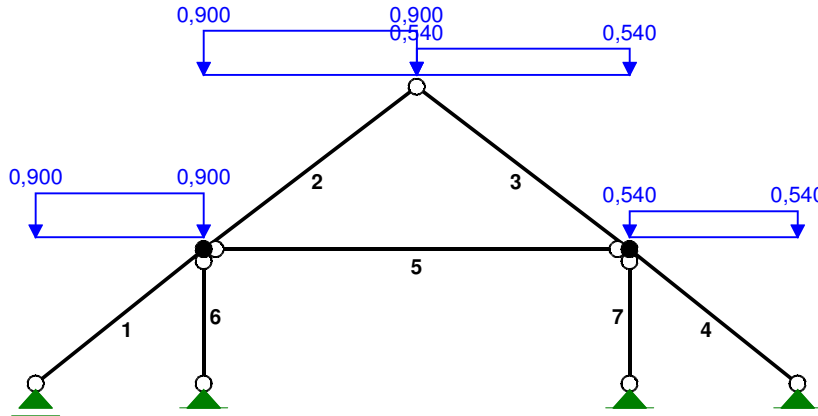


**OBCIĄŻENIA:** ([kN], [kNm], [kN/m])

Pręt: Rodzaj: Kąt: P1 (Tg): P2 (Td): a[m]: b[m]:

Grupa: C "Użytkowe"  
 5 Liniowe 0,0 1,200 1,200 0,00 7,60

OBCIĄŻENIA:

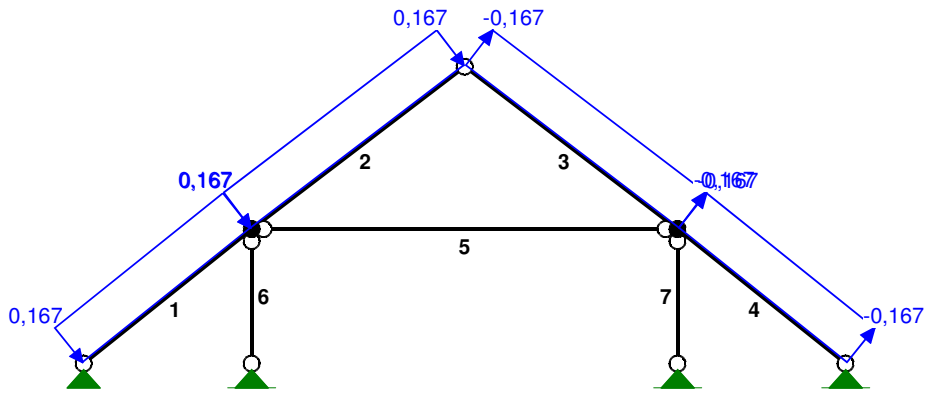


**OBCIĄŻENIA:** ([kN], [kNm], [kN/m])

Pręt: Rodzaj: Kąt: P1 (Tg): P2 (Td): a[m]: b[m]:

Grupa:	D	"Śnieg"	Zmienne	$\gamma_f = 1,50$		
1	Liniowe-Y	0,0	0,900	0,900	0,00	3,84
2	Liniowe-Y	0,0	0,900	0,900	0,00	4,78
3	Liniowe-Y	0,0	0,540	0,540	0,00	4,78
4	Liniowe-Y	0,0	0,540	0,540	0,00	3,84

OBCIĄŻENIA:

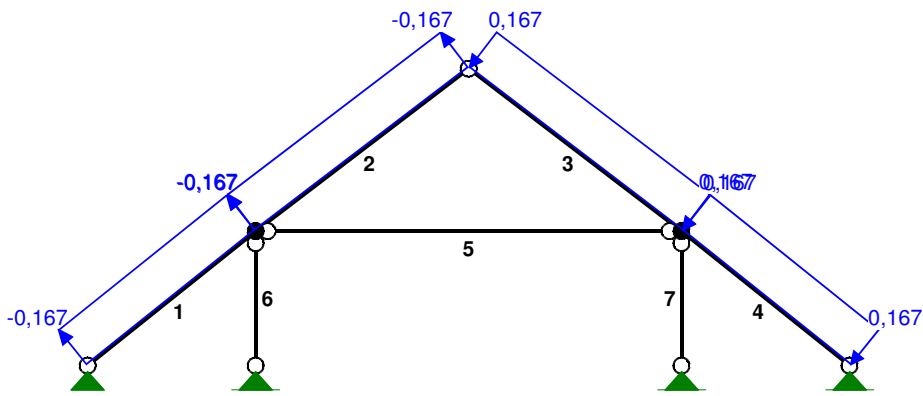


**OBCIĄŻENIA:** ([kN], [kNm], [kN/m])

Pręt: Rodzaj: Kąt: P1 (Tg): P2 (Td): a[m]: b[m]:

Grupa:	E	"Wiatr z lewej"	Zmienne	$\gamma_f = 1,30$		
1	Liniowe	38,7	0,167	0,167	0,00	3,84
2	Liniowe	37,3	0,167	0,167	0,00	4,78
3	Liniowe	-37,3	-0,167	-0,167	0,00	4,78
4	Liniowe	-38,7	-0,167	-0,167	0,00	3,84

OBCIĄŻENIA:



**OBCIĄŻENIA:** ([kN], [kNm], [kN/m])

Pręt:	Rodzaj:	Kąt:	P1 (Tg):	P2 (Td):	a [m]:	b [m]:
Grupa:	F	"Wiatr z prawej"		Zmienne	$\gamma_f = 1,30$	
1	Liniowe	38,7	-0,167	-0,167	0,00	3,84
2	Liniowe	37,3	-0,167	-0,167	0,00	4,78
3	Liniowe	-37,3	0,167	0,167	0,00	4,78
4	Liniowe	-38,7	0,167	0,167	0,00	3,84

**W Y N I K I**  
**Teoria I-go rzędu**  
**Kombinatoryka obciążeń**

**OBCIĄŻENIOWE WSPÓŁ. BEZPIECZ.:**

Grupa:	Znaczenie:	$\psi_d$ :	$\gamma_f$ :
Ciężar wł.			1,10
A -"Stałe dach"	Stałe		1,20
B -"Stałe strop"	Stałe		1,26
C -"Użytkowe"	Zmienne	1	1,40
D -"Śnieg"	Zmienne	1	1,50
E -"Wiatr z lewej"	Zmienne	1	1,30
F -"Wiatr z prawej"	Zmienne	1	1,30

**RELACJE GRUP OBCIĄŻEŃ:**

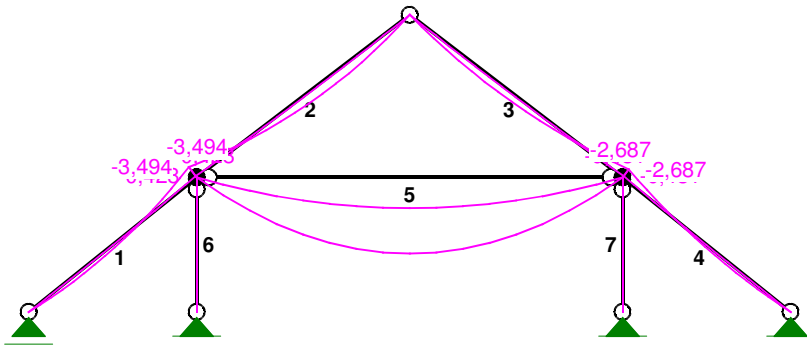
Grupa obc.:	Relacje:
Ciężar wł.	ZAWSZE
A -"Stałe dach"	ZAWSZE
B -"Stałe strop"	ZAWSZE
C -"Użytkowe"	EWENTUALNIE
D -"Śnieg"	EWENTUALNIE
E -"Wiatr z lewej"	EWENTUALNIE
	Nie występuje z: F
F -"Wiatr z prawej"	EWENTUALNIE
	Nie występuje z: E

**KRYTERIA KOMBINACJI OBCIĄŻEŃ:**

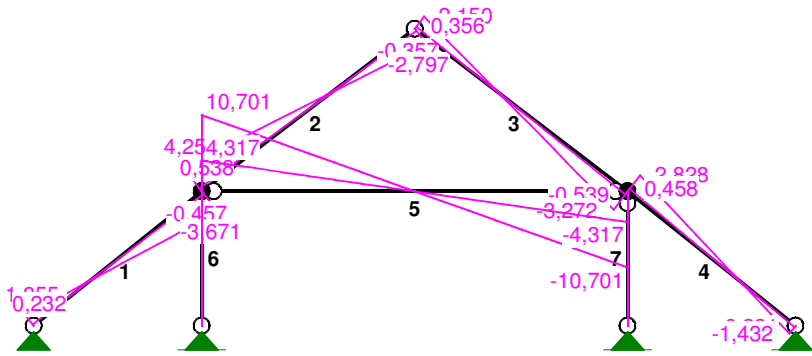
Nr:      Specyfikacja:

1      ZAWSZE      : A+B  
         EWENTUALNIE: C+D+E/F

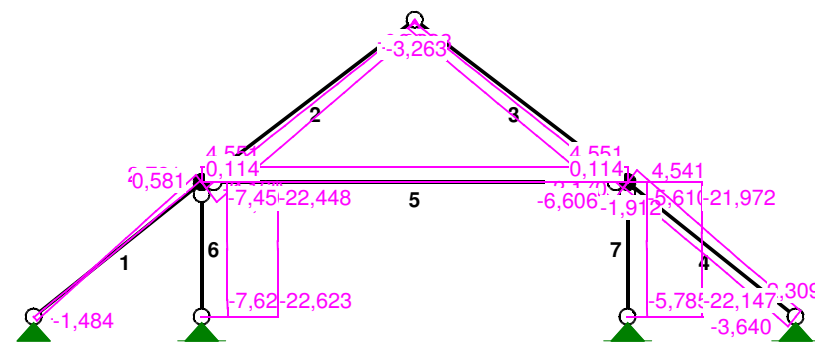
MOMENTY-OBWIEDNIE:



TNĄCE-OBWIEDNIE:



NORMALNE-OBWIEDNIE:



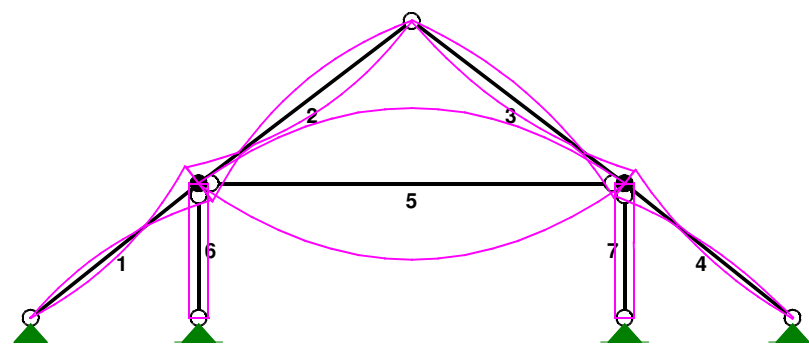
**SIŁY PRZEKROJOWE – WARTOŚCI EKSTREMALNE:** T.I rzędu  
 Obciążenia obl.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

Pręt:	x[m]:	M[kNm]:	Q[kN]:	N[kN]:	Kombinacja obciążeń:
1	1,201	<b>1,191*</b>	0,129	-0,312	ABCDE
	3,842	<b>-3,494*</b>	-3,671	2,269	ABDE
	3,842	-3,494	<b>-3,671*</b>	2,269	ABDE
	3,842	-2,457	-2,567	<b>2,721*</b>	ABDF
	0,000	0,000	1,855	<b>-1,484*</b>	ABCDE
2	2,988	<b>2,643*</b>	-0,153	-3,863	ABCDE
	0,000	<b>-3,494*</b>	4,257	-6,729	ABDE
	0,000	-3,494	<b>4,257*</b>	-6,729	ABDE
	4,780	0,000	-1,178	<b>-0,692*</b>	ABE
	0,000	-2,447	3,000	<b>-7,358*</b>	ABCDF
3	1,793	<b>2,032*</b>	0,118	-3,891	ABCDF
	4,780	<b>-2,687*</b>	-3,272	-5,979	ABDF
	4,780	-2,687	<b>-3,272*</b>	-5,979	ABDF
	0,000	0,000	1,178	<b>-0,693*</b>	ABF
	4,780	-1,646	-2,016	<b>-6,606*</b>	ABCDE
4	2,641	<b>0,921*</b>	-0,102	2,656	ABCDF
	0,000	<b>-2,687*</b>	2,828	4,541	ABDF
	0,000	-2,687	<b>2,828*</b>	4,541	ABDF
	0,000	-2,687	2,828	<b>4,541*</b>	ABDF
	3,842	0,000	-0,866	<b>-3,640*</b>	ABCDE
5	3,800	<b>20,333*</b>	-0,000	4,551	ABCDF
	0,000	<b>0,000*</b>	10,701	4,551	ABCDF
	0,000	0,000	<b>10,701*</b>	4,551	ABCDF
	0,000	0,000	10,701	<b>4,551*</b>	ABCDF
	3,800	20,333	-0,000	<b>4,551*</b>	ABCDF
	0,000	0,000	4,317	<b>0,114*</b>	ABE
	3,800	8,203	0,000	<b>0,114*</b>	ABE
6	0,000	<b>0,000*</b>	0,000	-22,623	ABCDE
	2,400	<b>0,000*</b>	0,000	-22,448	ABCDE
	0,000	<b>0,000*</b>	0,000	-22,623	ABCDE
	2,400	<b>0,000*</b>	0,000	-22,448	ABCDE
	0,000	0,000	<b>0,000*</b>	-22,623	ABCDE
	2,400	0,000	<b>0,000*</b>	-22,448	ABCDE

	2,400	0,000	0,000	<b>-7,450*</b>	ABF
	0,000	0,000	0,000	<b>-22,623*</b>	ABCDE
7	0,000	<b>0,000*</b>	0,000	-21,972	ABCDF
	2,400	<b>0,000*</b>	0,000	-22,147	ABCDF
	0,000	<b>0,000*</b>	0,000	-21,972	ABCDF
	2,400	<b>0,000*</b>	0,000	-22,147	ABCDF
	0,000	0,000	<b>0,000*</b>	-21,972	ABCDF
	2,400	0,000	<b>0,000*</b>	-22,147	ABCDF
	0,000	0,000	0,000	<b>-5,610*</b>	ABE
	2,400	0,000	0,000	<b>-22,147*</b>	ABCDF

\* = Wartości ekstremalne

NAPĘŻENIA-OBWIEDNIE:



**NAPĘŻENIA - WARTOŚCI EKSTREMALNE:** T.I rzędu  
Obciążenia obl.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

Pręt:	x[m]:	SigmaG:	SigmaD:	Sigma:	Kombinacja obciążeń:
		----- Ro		[MPa]	
1	3,842	<b>0,122*</b>		3,665	ABDE
	1,201	<b>-0,041*</b>		-1,235	ABCDE
	1,201		<b>0,041*</b>	1,215	ABCDE
	3,842		<b>-0,118*</b>	-3,525	ABDE
2	0,000	<b>0,113*</b>		3,387	ABDE
	2,988	<b>-0,095*</b>		-2,839	ABCDE
	2,988		<b>0,087*</b>	2,600	ABCDE
	0,000		<b>-0,127*</b>	-3,803	ABDE
3	4,780	<b>0,086*</b>		2,580	ABDF
	1,793	<b>-0,074*</b>		-2,211	ABCDF
	1,793		<b>0,066*</b>	1,971	ABCDF
	4,780		<b>-0,098*</b>	-2,949	ABDF
4	0,000	<b>0,097*</b>		2,905	ABDF
	2,641	<b>-0,029*</b>		-0,865	ABCDF
	2,641		<b>0,034*</b>	1,029	ABCDF
	0,000		<b>-0,087*</b>	-2,625	ABDF
5	7,600	<b>0,003*</b>		0,103	ABCDF

	3,800	<b>-0,420*</b>		-12,600	ABCE
	3,800		<b>0,424*</b>	12,706	ABCDF
	0,000		<b>0,000*</b>	0,003	ABE
6	2,400	<b>-0,017*</b>		-0,517	ABF
	0,000	<b>-0,052*</b>		-1,571	ABCDE
	2,400		<b>-0,017*</b>	-0,517	ABF
	0,000		<b>-0,052*</b>	-1,571	ABCDE
7	0,000	<b>-0,013*</b>		-0,390	ABE
	2,400	<b>-0,051*</b>		-1,538	ABCDF
	0,000		<b>-0,013*</b>	-0,390	ABE
	2,400		<b>-0,051*</b>	-1,538	ABCDF

-----  
\* = Wartości ekstremalne

**REAKCJE - WARTOŚCI EKSTREMALNE:** T.I rzędu  
Obciążenia obl.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

Węzeł:	H[kN]:	V[kN]:	R[kN]:	M[kNm]:	Kombinacja obciążeń:
1	<b>0,000*</b>	2,375	2,375		ABCDE
	<b>-0,000*</b>	0,297	0,297		ABF
	<b>0,000*</b>	0,658	0,658		AB
	0,000	<b>2,375*</b>	2,375		ABCDE
	-0,000	<b>0,297*</b>	0,297		ABF
	0,000	2,375	<b>2,375*</b>		ABCDE
5	<b>2,301*</b>	-0,006	2,301		ABCDF
	<b>2,301*</b>	-0,820	2,443		ABF
	<b>-2,301*</b>	2,950	3,741		ABCDE
	<b>-2,301*</b>	2,137	3,140		ABE
	-2,301	<b>2,950*</b>	3,741		ABCDE
	2,301	<b>-0,820*</b>	2,443		ABF
	-2,301	2,950	<b>3,741*</b>		ABCDE
6	<b>0,000*</b>	22,623	22,623		ABCDE
	<b>0,000*</b>	7,624	7,624		ABF
	<b>0,000*</b>	8,223	8,223		AB
	0,000	<b>22,623*</b>	22,623		ABCDE
	0,000	<b>7,624*</b>	7,624		ABF
	0,000	22,623	<b>22,623*</b>		ABCDE
7	<b>0,000*</b>	22,147	22,147		ABCDF
	<b>0,000*</b>	5,785	5,785		ABE
	<b>0,000*</b>	8,223	8,223		AB
	0,000	<b>22,147*</b>	22,147		ABCDF
	0,000	<b>5,785*</b>	5,785		ABE
	0,000	22,147	<b>22,147*</b>		ABCDF

-----  
\* = Wartości ekstremalne

**PRZEMIESZCZENIA - WARTOŚCI EKSTREMALNE:** T.I rzędu  
Obciążenia char.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

Węzeł:	Ux[m]:	Uy[m]:	Wypadkowe[m]:	Kombinacja obciążeń:
1	0,00045			ABCDF
		0,00000		ABCDE
			0,00045	ABCDF
2	0,00026			ABCDF
		0,00023		ABCDE
			0,00034	ABCDF
3	0,00024			ABCDF

		0,00033		ABCDF
			0,00041	ABCDF
4	0,00022			ABCDF
		0,00023		ABCDF
			0,00032	ABCDF
5	0,00000			ABCDE
		0,00000		ABCDE
			0,00000	
6	0,00000			ABCDE
		0,00000		
			0,00000	
7	0,00000			ABCDF
		0,00000		
			0,00000	

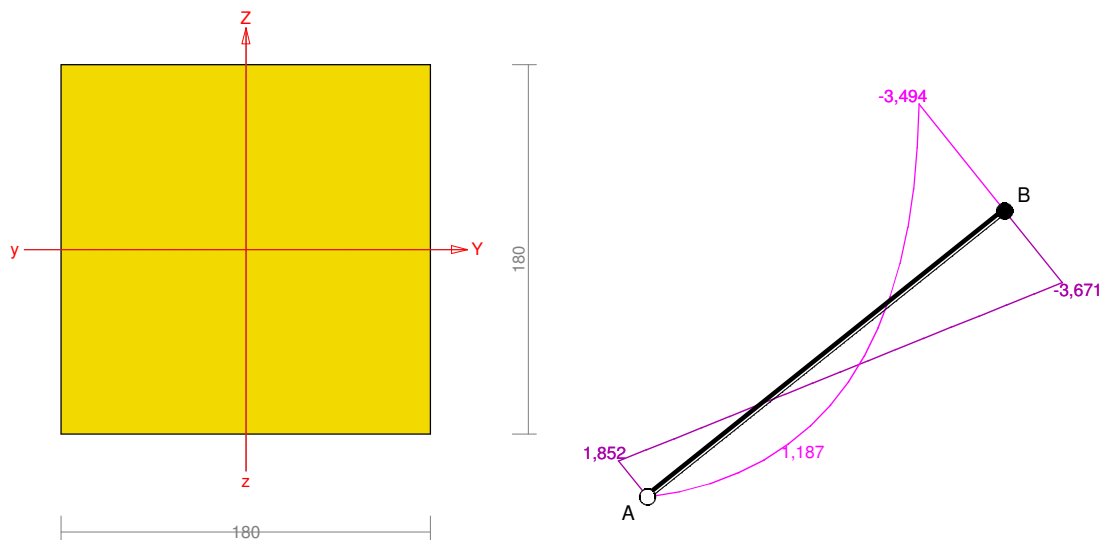
**DEFORMACJE - WARTOŚCI EKSTREMALNE:** T.I rzędu  
 Obciążenia char.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

Pręt:	L/f:	Kombinacja obciążeń:
1	5402,4	ABCDE
2	1328,1	ABCDE
3	1680,5	ABCDF
4	6756,9	ABCDF
5	175,1	ABCDF
6	1,0809E+16	ABD
7	1,0809E+16	ABC

### 1.3. WYMIAROWANIE KONSTRUKCJI

Wymiarowanie konstrukcji wykonano w programie RM-Win.

#### Pręt nr 1



**Przekrój: 3 "B 18,0x18,0"**

Wymiary przekroju:

$h=180,0$  mm  $b=180,0$  mm.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_{yg}=8748,0$ ;  $J_{zg}=8748,0$  cm<sup>4</sup>;  $A=324,00$  cm<sup>2</sup>;  $i_y=5,2$ ;  $i_z=5,2$  cm;  $W_y=972,0$ ;  $W_z=972,0$  cm<sup>3</sup>.

### Własności techniczne drewna:

Przyjęto 2 klasę użytkowania konstrukcji (*temperatura powietrza 20° i wilgotności powyżej 85% tylko przez kilka tygodni w roku*) oraz klasę trwania obciążenia: **Stale** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

$$K_{mod} = 0,60 \quad \gamma_M = 1,3$$

Cechy drewna: **Drewno C30**.

$$\begin{aligned} f_{m,k} &= 30,00 & f_{m,d} &= 13,85 \text{ MPa} \\ f_{t,0,k} &= 18,00 & f_{t,0,d} &= 8,31 \text{ MPa} \\ f_{t,90,k} &= 0,60 & f_{t,90,d} &= 0,28 \text{ MPa} \\ f_{c,0,k} &= 23,00 & f_{c,0,d} &= 10,62 \text{ MPa} \\ f_{c,90,k} &= 2,70 & f_{c,90,d} &= 1,25 \text{ MPa} \\ f_{v,k} &= 3,00 & f_{v,d} &= 1,38 \text{ MPa} \\ E_{0,mean} &= 12000 \text{ MPa} \\ E_{90,mean} &= 400 \text{ MPa} \\ E_{0,05} &= 8000 \text{ MPa} \\ G_{mean} &= 750 \text{ MPa} \\ \rho_k &= 380 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

### Sprawdzenie nośności pręta nr 1

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-B-03150:2000. W obliczeniach uwzględniono ekstremalne wartości wielkości statycznych przy uwzględnieniu niekorzystnych kombinacji obciążeń.

#### Nośność na rozciąganie:

Wyniki dla  $x_a=3,84$  m;  $x_b=0,00$  m, przy obciążeniach "ABDF".

Pole powierzchni przekroju netto  $A_n = 324,00$  cm<sup>2</sup>.

$$\sigma_{t,0,d} = N / A_n = 2,721 / 324,00 \times 10 = \mathbf{0,084} < \mathbf{8,31} = f_{t,0,d}$$

#### Nośność na ściskanie:

Wyniki dla  $x_a=0,00$  m;  $x_b=3,84$  m, przy obciążeniach "ABCDE".

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie układu (wyznaczona na podstawie podatności węzłów):

$$l_c = \mu l = 0,860 \times 3,842 = 3,304 \text{ m}$$

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 3,842 = 3,842 \text{ m}$$

Długości wyboczeniowe dla wyboczenia w płaszczyznach prostopadłych do osi głównych przekroju, wynoszą:

$$l_{c,y} = 3,304 \text{ m}; \quad l_{c,z} = 3,842 \text{ m}$$

Współczynniki wyboczeniowe:

$$\lambda_y = l_{c,y} / i_y = 3,304 / 0,0520 = 63,59$$

$$\lambda_z = l_{c,z} / i_z = 3,842 / 0,0520 = 73,94$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_y^2 = 9,87 \times 8000 / (63,59)^2 = 19,53 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_z^2 = 9,87 \times 8000 / (73,94)^2 = 14,44 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,y}} = \sqrt{23/19,53} = 1,085$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,z}} = \sqrt{23/14,44} = 1,262$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (1,085 - 0,5) + (1,085)^2] = 1,147$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (1,262 - 0,5) + (1,262)^2] = 1,372$$

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}) = 1 / (1,147 + \sqrt{1,147^2 - 1,085^2}) = 0,658$$

$$k_{c,z} = 1 / (k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}) = 1 / (1,372 + \sqrt{1,372^2 - 1,262^2}) = 0,523$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju  $A_d = 324,00 \text{ cm}^2$ .

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 1,484 / 324,00 \times 10 = \mathbf{0,046} < \mathbf{5,55} = 0,523 \times 10,62 = k_{c,y} f_{c,0,d}$$

Ściskanie ze zginaniem dla  $x_a = 1,20 \text{ m}$ ;  $x_b = 2,64 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABCDE":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,010}{0,658 \times 10,62} + 0,7 \times \frac{0,000}{13,85} + \frac{1,225}{13,85} = \mathbf{0,090} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,010}{0,523 \times 10,62} + \frac{0,000}{13,85} + 0,7 \times \frac{1,225}{13,85} = \mathbf{0,064} < \mathbf{1}$$

**Nośność na zginanie:**

Wyniki dla  $x_a = 3,84 \text{ m}$ ;  $x_b = 0,00 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABDE".

Długość obliczeniowa dla **pręta swobodnie podpartego, obciążonego równomiernie lub momentami na końcach**, przy obciążeniu przyłożonym do powierzchni górnej, wynosi:

$$l_d = 1,00 \times 3842 + 180 + 180 = 4202 \text{ mm}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{l_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = \sqrt{\frac{4202 \times 180 \times 13,85}{3,142 \times 180^2 \times 8000}} \times \sqrt[4]{\frac{12000}{750}} = 0,227$$

Wartość współczynnika zwiczenia:

$$\text{dla } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \quad k_{crit} = 1$$

Warunek stateczności:

$$\sigma_{m,d} = M / W = 3,494 / 972,00 \times 10^3 = \mathbf{3,595} < \mathbf{13,846} = 1,000 \times 13,85 = k_{crit} f_{m,d}$$

Nośność dla  $x_a = 3,84 \text{ m}$ ;  $x_b = 0,00 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABDE":

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,070}{8,31} + \frac{3,595}{13,85} + 0,7 \times \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,268} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,070}{8,31} + 0,7 \times \frac{3,595}{13,85} + \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,190} < \mathbf{1}$$

Nośność ze ściskaniem dla  $x_a = 1,20 \text{ m}$ ;  $x_b = 2,64 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABCDE":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,010^2}{10,62^2} + \frac{1,225}{13,85} + 0,7 \times \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,088} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,010^2}{10,62^2} + 0,7 \times \frac{1,225}{13,85} + \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,062} < \mathbf{1}$$

### Nośność na ścinanie:

Wyniki dla  $x_a=3,84$  m;  $x_b=0,00$  m, przy obciążeniach "ABDE".

Naprężenia tnące z uwzględnieniem redukcji sił poprzecznych przy podporach:

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / A = 1,5 \times 3,671 / 324,000 \times 10 = 0,170 \text{ MPa}$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 V_y / A = 1,5 \times 0,000 / 324,000 \times 10 = 0,000 \text{ MPa}$$

Przyjęto  $k_v = 1,000$ .

Warunek nośności

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{z,d}^2 + \tau_{y,d}^2} = \sqrt{0,170^2 + 0,000^2} = \mathbf{0,170} < \mathbf{1,385} = 1,000 \times 1,38 = k_{v,d} f_{v,d}$$

### Stan graniczny użytkowania:

Wyniki dla  $x_a=1,44$  m;  $x_b=2,40$  m, przy obciążeniach "ABDE".

Ugięcie graniczne

$$u_{\text{net,fin}} = l / 200 = 19,2 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń stałych (ciężar własny + "AB"):

$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = -0,2 \times (1 + 0,80) = -0,3 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = 0,0 \times (1 + 0,80) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń zmiennych ("DE"):

Klasa trwania obciążeń zmiennych: **Średniotrwałe** (1 tydzień - 6 miesięcy, np. obciążenie użytkowe).

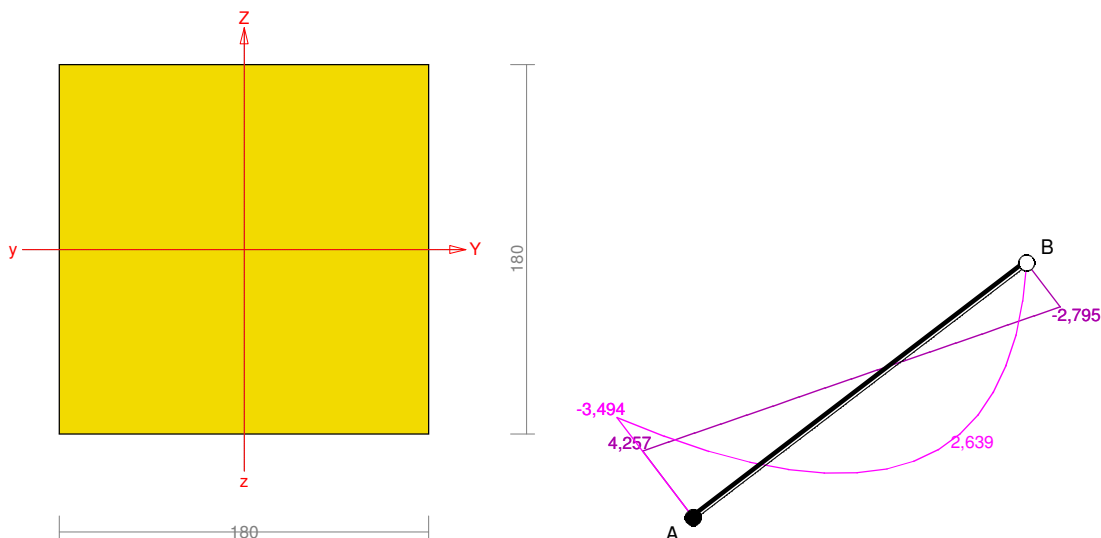
$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = -0,5 \times (1 + 0,25) = -0,6 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = 0,0 \times (1 + 0,25) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcie całkowite:

$$u_{z,\text{fin}} = -0,3 + -0,6 = \mathbf{0,9} < \mathbf{19,2} = u_{\text{net,fin}}$$

### Pręt nr 2



### Przekrój: 3 "B 18,0x18,0"

Wymiary przekroju:

$h=180,0$  mm  $b=180,0$  mm.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_y=8748,0$ ;  $J_z=8748,0$  cm<sup>4</sup>;  $A=324,00$  cm<sup>2</sup>;  $i_y=5,2$ ;  $i_z=5,2$  cm;  $W_y=972,0$ ;  $W_z=972,0$  cm<sup>3</sup>.

### Własności techniczne drewna:

Przyjęto 2 klasę użytkowania konstrukcji (*temperatura powietrza 20° i wilgotności powyżej 85% tylko przez kilka tygodni w roku*) oraz klasę trwania obciążenia: **Stale** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

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

$$\gamma_M = 1,3$$

Cechy drewna: **Drewno C30.**

$$f_{m,k} = 30,00$$

$$f_{m,d} = 13,85 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,k} = 18,00$$

$$f_{t,0,d} = 8,31 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,60$$

$$f_{t,90,d} = 0,28 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 23,00$$

$$f_{c,0,d} = 10,62 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 2,70$$

$$f_{c,90,d} = 1,25 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 3,00$$

$$f_{v,d} = 1,38 \text{ MPa}$$

$$E_{0,mean} = 12000 \text{ MPa}$$

$$E_{90,mean} = 400 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 8000 \text{ MPa}$$

$$G_{mean} = 750 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$$

### Sprawdzenie nośności pręta nr 2

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-B-03150:2000. W obliczeniach uwzględniono ekstremalne wartości wielkości statycznych przy uwzględnieniu niekorzystnych kombinacji obciążeń.

#### Nośność na ściskanie:

Wyniki dla  $x_a=0,00$  m;  $x_b=4,78$  m, przy obciążeniach "ABCDF".

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie układu (wyznaczona na podstawie podatności węzłów):

$$l_c = \mu l = 0,825 \times 4,780 = 3,943 \text{ m}$$

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 4,780 = 4,780 \text{ m}$$

Długości wyboczeniowe dla wyboczenia w płaszczyznach prostopadłych do osi głównych przekroju, wynoszą:

$$l_{c,y} = 3,944 \text{ m};$$

$$l_{c,z} = 4,780 \text{ m}$$

Współczynniki wyboczeniowe:

$$\lambda_y = l_{c,y} / i_y = 3,944 / 0,0520 = 75,90$$

$$\lambda_z = l_{c,z} / i_z = 4,780 / 0,0520 = 91,99$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_y^2 = 9,87 \times 8000 / (75,90)^2 = 13,71 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_z^2 = 9,87 \times 8000 / (91,99)^2 = 9,33 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,y}} = \sqrt{23/13,71} = 1,295$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,z}} = \sqrt{23/9,33} = 1,570$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \times [1 + 0,2 \times (1,295 - 0,5) + (1,295)^2] = 1,418$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \times [1 + 0,2 \times (1,570 - 0,5) + (1,570)^2] = 1,840$$

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}) = 1 / (1,418 + \sqrt{1,418^2 - 1,295^2}) = 0,501$$

$$k_{c,z} = 1 / (k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}) = 1 / (1,840 + \sqrt{1,840^2 - 1,570^2}) = 0,357$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju  $A_d = 324,00 \text{ cm}^2$ .

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 7,358 / 324,00 \times 10 = \mathbf{0,227} < \mathbf{3,79} = 0,357 \times 10,62 = k_c f_{c,0,d}$$

**Ściskanie ze zginaniem** dla  $x_a=0,00 \text{ m}$ ;  $x_b=4,78 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABDE":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,208}{0,501 \times 10,62} + 0,7 \times \frac{0,000}{13,85} + \frac{3,595}{13,85} = \mathbf{0,299} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,208}{0,357 \times 10,62} + \frac{0,000}{13,85} + 0,7 \times \frac{3,595}{13,85} = \mathbf{0,236} < \mathbf{1}$$

**Nośność na zginanie:**

Wyniki dla  $x_a=0,00 \text{ m}$ ;  $x_b=4,78 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABDE".

Długość obliczeniowa dla **pręta swobodnie podpartego, obciążonego równomiernie lub momentami na końcach**, przy obciążeniu przyłożonym do powierzchni górnej, wynosi:

$$l_d = 1,00 \times 4780 + 180 + 180 = 5140 \text{ mm}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{l_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = \sqrt{\frac{5140 \times 180 \times 13,85}{3,142 \times 180^2 \times 8000}} \times \sqrt[4]{\frac{12000}{750}} = 0,251$$

Wartość współczynnika zwichrzenia:

$$\text{dla } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \quad k_{crit} = 1$$

Warunek stateczności:

$$\sigma_{m,d} = M / W = 3,494 / 972,00 \times 10^3 = \mathbf{3,595} < \mathbf{13,846} = 1,000 \times 13,85 = k_{crit} f_{m,d}$$

Nośność dla  $x_a=0,00 \text{ m}$ ;  $x_b=4,78 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABE":

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{1,518}{13,85} + 0,7 \times \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,110} < \mathbf{1}$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,7 \times \frac{1,518}{13,85} + \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,077} < \mathbf{1}$$

Nośność ze ścisaniem dla  $x_a=0,00 \text{ m}$ ;  $x_b=4,78 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABDE":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,208^2}{10,62^2} + \frac{3,595}{13,85} + 0,7 \times \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,260} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,208^2}{10,62^2} + 0,7 \times \frac{3,595}{13,85} + \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,182} < \mathbf{1}$$

**Nośność na ścinanie:**

Wyniki dla  $x_a=0,00 \text{ m}$ ;  $x_b=4,78 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABDE".

Naprężenia tnące z uwzględnieniem redukcji sił poprzecznych przy podporach:

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / A = 1,5 \times 4,257 / 324,000 \times 10 = 0,197 \text{ MPa}$$

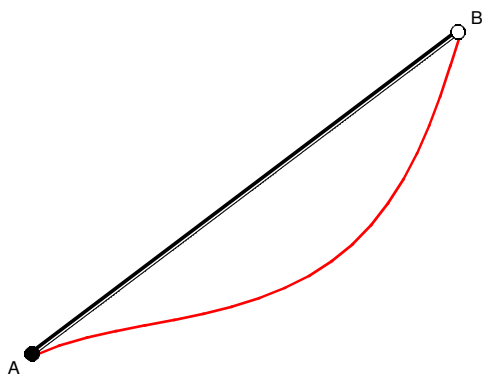
$$\tau_{y,d} = 1,5 V_y / A = 1,5 \times 0,000 / 324,000 \times 10 = 0,000 \text{ MPa}$$

Przyjęto  $k_v = 1,000$ .

Warunek nośności

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{z,d}^2 + \tau_{y,d}^2} = \sqrt{0,197^2 + 0,000^2} = \mathbf{0,197} < \mathbf{1,385} = 1,000 \times 1,38 = k_{v,d} f_{v,d}$$

**Stan graniczny użytkowania:**



Wyniki dla  $x_a = 2,69 \text{ m}$ ;  $x_b = 2,09 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABCDE".

Ugięcie graniczne

$$u_{\text{net,fin}} = l / 200 = 23,9 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń stałych (ciężar własny + "AB"):

$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} (1 + k_{\text{def}}) = -1,2 \times (1 + 0,80) = -2,1 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} (1 + k_{\text{def}}) = 0,0 \times (1 + 0,80) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń zmiennych ("CDE"):

Klasa trwania obciążeń zmiennych: **Średniotrwała** (1 tydzień - 6 miesięcy, np. obciążenie użytkowe).

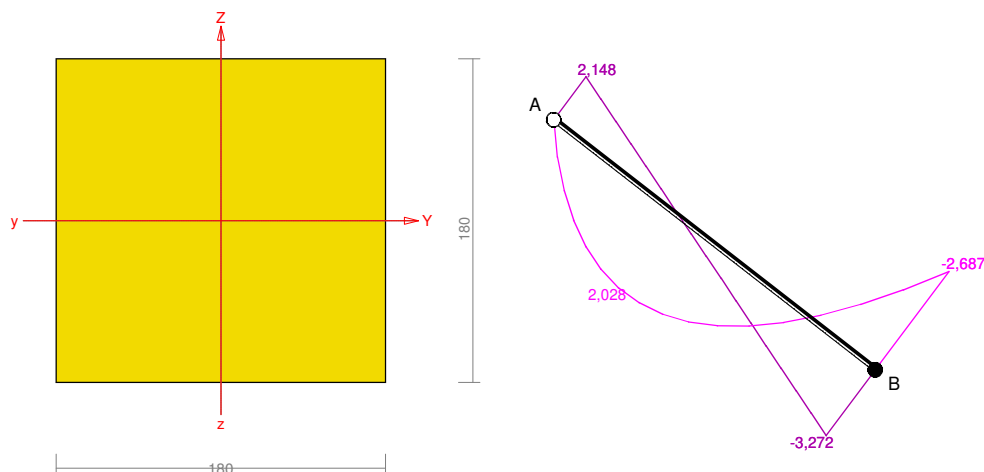
$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} (1 + k_{\text{def}}) = -2,5 \times (1 + 0,25) = -3,2 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} (1 + k_{\text{def}}) = 0,0 \times (1 + 0,25) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcie całkowite:

$$u_{z,\text{fin}} = -2,1 + -3,2 = \mathbf{5,3} < \mathbf{23,9} = u_{\text{net,fin}}$$

**Pręt nr 3**



### Przekrój: 3 "B 18,0x18,0"

Wymiary przekroju:

$h=180,0$  mm  $b=180,0$  mm.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_y=8748,0$ ;  $J_z=8748,0$  cm<sup>4</sup>;  $A=324,00$  cm<sup>2</sup>;  $i_y=5,2$ ;  $i_z=5,2$  cm;  $W_y=972,0$ ;  $W_z=972,0$  cm<sup>3</sup>.

### Własności techniczne drewna:

Przyjęto 2 klasę użytkowania konstrukcji (*temperatura powietrza 20° i wilgotności powyżej 85% tylko przez kilka tygodni w roku*) oraz klasę trwania obciążenia: **Stale** (*więcej niż 10 lat, np. ciężar własny*).

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

$$\gamma_M = 1,3$$

Cechy drewna: **Drewno C30.**

$$f_{m,k} = 30,00$$

$$f_{m,d} = 13,85 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,k} = 18,00$$

$$f_{t,0,d} = 8,31 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,60$$

$$f_{t,90,d} = 0,28 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 23,00$$

$$f_{c,0,d} = 10,62 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 2,70$$

$$f_{c,90,d} = 1,25 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 3,00$$

$$f_{v,d} = 1,38 \text{ MPa}$$

$$E_{0,mean} = 12000 \text{ MPa}$$

$$E_{90,mean} = 400 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 8000 \text{ MPa}$$

$$G_{mean} = 750 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$$

### Sprawdzenie nośności pręta nr 3

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-B-03150:2000. W obliczeniach uwzględniono ekstremalne wartości wielkości statycznych przy uwzględnieniu niekorzystnych kombinacji obciążeń.

#### Nośność na ściskanie:

Wyniki dla  $x_a=4,78$  m;  $x_b=0,00$  m, przy obciążeniach "ABCDE".

- długość wybocheniowa w płaszczyźnie układu (wyznaczona na podstawie podatności węzłów):

$$l_c = \mu l = 0,825 \times 4,780 = 3,943 \text{ m}$$

- długość wybocheniowa w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 4,780 = 4,780 \text{ m}$$

Długości wybocheniowe dla wybochenia w płaszczyznach prostopadłych do osi głównych przekroju, wynoszą:

$$l_{c,y} = 3,944 \text{ m};$$

$$l_{c,z} = 4,780 \text{ m}$$

Współczynniki wybocheniowe:

$$\lambda_y = l_{c,y} / i_y = 3,944 / 0,0520 = 75,90$$

$$\lambda_z = l_{c,z} / i_z = 4,780 / 0,0520 = 91,99$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_y^2 = 9,87 \times 8000 / (75,90)^2 = 13,71 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_z^2 = 9,87 \times 8000 / (91,99)^2 = 9,33 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,y}} = \sqrt{23 / 13,71} = 1,295$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,z}} = \sqrt{23 / 9,33} = 1,570$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (1,295 - 0,5) + (1,295)^2] = 1,418$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \times [1 + 0,2 \times (1,570 - 0,5) + (1,570)^2] = 1,840$$

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}) = 1 / (1,418 + \sqrt{1,418^2 - 1,295^2}) = 0,501$$

$$k_{c,z} = 1 / (k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}) = 1 / (1,840 + \sqrt{1,840^2 - 1,570^2}) = 0,357$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju  $A_d = 324,00 \text{ cm}^2$ .

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 6,606 / 324,00 \times 10 = \mathbf{0,204} < \mathbf{3,79} = 0,357 \times 10,62 = k_{c,y} f_{c,0,d}$$

Ściskanie ze zginaniem dla  $x_a=4,78 \text{ m}$ ;  $x_b=0,00 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABDF":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,185}{0,501 \times 10,62} + 0,7 \times \frac{0,000}{13,85} + \frac{2,765}{13,85} = \mathbf{0,234} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,185}{0,357 \times 10,62} + \frac{0,000}{13,85} + 0,7 \times \frac{2,765}{13,85} = \mathbf{0,188} < \mathbf{1}$$

**Nośność na zginanie:**

Wyniki dla  $x_a=4,78 \text{ m}$ ;  $x_b=0,00 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABDF".

Długość obliczeniowa dla *pręta swobodnie podpartego, obciążonego równomiernie lub momentami na końcach*, przy obciążeniu przyłożonym do powierzchni górnej, wynosi:

$$l_d = 1,00 \times 4780 + 180 + 180 = 5140 \text{ mm}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{l_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = \sqrt{\frac{5140 \times 180 \times 13,85}{3,142 \times 180^2 \times 8000}} \times \sqrt[4]{\frac{12000}{750}} = 0,251$$

Wartość współczynnika zwichrzenia:

$$\text{dla } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \quad k_{crit} = 1$$

Warunek stateczności:

$$\sigma_{m,d} = M / W = 2,687 / 972,00 \times 10^3 = \mathbf{2,765} < \mathbf{13,846} = 1,000 \times 13,85 = k_{crit} f_{m,d}$$

Nośność dla  $x_a=4,78 \text{ m}$ ;  $x_b=0,00 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABF":

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{1,515}{13,85} + 0,7 \times \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,109} < \mathbf{1}$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,7 \times \frac{1,515}{13,85} + \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,077} < \mathbf{1}$$

Nośność ze ściskaniem dla  $x_a=4,78 \text{ m}$ ;  $x_b=0,00 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABDF":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,185^2}{10,62^2} + \frac{2,765}{13,85} + 0,7 \times \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,200} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,185^2}{10,62^2} + 0,7 \times \frac{2,765}{13,85} + \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,140} < \mathbf{1}$$

**Nośność na ścinanie:**

Wyniki dla  $x_a=4,78 \text{ m}$ ;  $x_b=0,00 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABDF".

Naprężenia tnące z uwzględnieniem redukcji sił poprzecznych przy podporach:

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / A = 1,5 \times 3,272 / 324,000 \times 10 = 0,151 \text{ MPa}$$

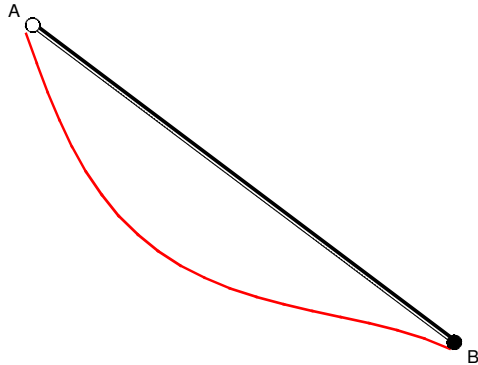
$$\tau_{y,d} = 1,5 V_y / A = 1,5 \times 0,000 / 324,000 \times 10 = 0,000 \text{ MPa}$$

Przyjęto  $k_v = 1,000$ .

Warunek nośności

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{z,d}^2 + \tau_{y,d}^2} = \sqrt{0,151^2 + 0,000^2} = 0,151 < 1,385 = 1,000 \times 1,38 = k_{v,d} f_{v,d}$$

**Stan graniczny użytkowania:**



Wyniki dla  $x_a=2,09$  m;  $x_b=2,69$  m, przy obciążeniach "ABCDF".

Ugięcie graniczne

$$u_{\text{net,fin}} = l / 200 = 23,9 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń stałych (ciężar własny + "AB"):

$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = -1,3 \times (1 + 0,80) = -2,3 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = 0,0 \times (1 + 0,80) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń zmiennych ("CDF"):

Klasa trwania obciążeń zmiennych: **Średniotrwała** (1 tydzień - 6 miesięcy, np. obciążenie użytkowe).

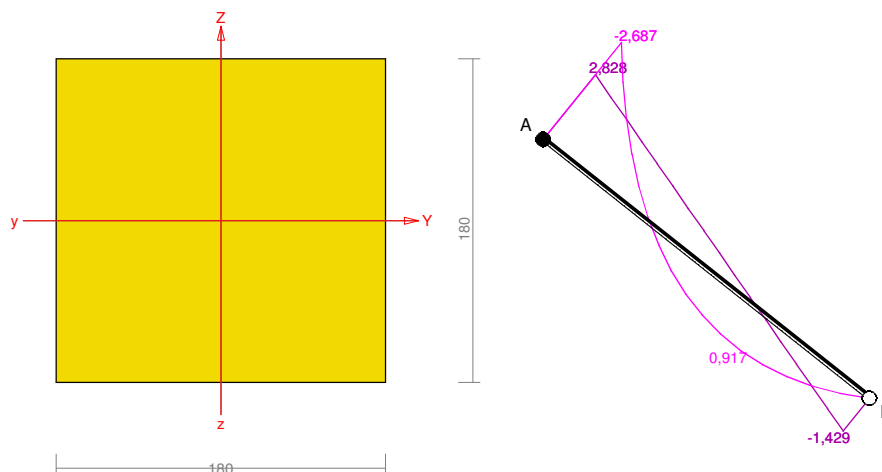
$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = -1,9 \times (1 + 0,25) = -2,4 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = 0,0 \times (1 + 0,25) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcia całkowite:

$$u_{z,\text{fin}} = -2,3 + -2,4 = 4,7 < 23,9 = u_{\text{net,fin}}$$

**Pręt nr 4**



### Przekrój: 3 "B 18,0x18,0"

Wymiary przekroju:

$h=180,0$  mm  $b=180,0$  mm.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_y=8748,0$ ;  $J_z=8748,0$  cm<sup>4</sup>;  $A=324,00$  cm<sup>2</sup>;  $i_y=5,2$ ;  $i_z=5,2$  cm;  $W_y=972,0$ ;  $W_z=972,0$  cm<sup>3</sup>.

### Własności techniczne drewna:

Przyjęto 2 klasę użytkowania konstrukcji (*temperatura powietrza 20° i wilgotności powyżej 85% tylko przez kilka tygodni w roku*) oraz klasę trwania obciążenia: **Stale** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

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

$$\gamma_M = 1,3$$

Cechy drewna: **Drewno C30**.

$$f_{m,k} = 30,00$$

$$f_{m,d} = 13,85 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,k} = 18,00$$

$$f_{t,0,d} = 8,31 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,60$$

$$f_{t,90,d} = 0,28 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 23,00$$

$$f_{c,0,d} = 10,62 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 2,70$$

$$f_{c,90,d} = 1,25 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 3,00$$

$$f_{v,d} = 1,38 \text{ MPa}$$

$$E_{0,mean} = 12000 \text{ MPa}$$

$$E_{90,mean} = 400 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 8000 \text{ MPa}$$

$$G_{mean} = 750 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$$

### Sprawdzenie nośności pręta nr 4

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-B-03150:2000. W obliczeniach uwzględniono ekstremalne wartości wielkości statycznych przy uwzględnieniu niekorzystnych kombinacji obciążeń.

#### Nośność na rozciąganie:

Wyniki dla  $x_a=0,00$  m;  $x_b=3,84$  m, przy obciążeniach "ABDF".

Pole powierzchni przekroju netto  $A_n = 324,00$  cm<sup>2</sup>.

$$\sigma_{t,0,d} = N / A_n = 4,541 / 324,00 \times 10 = \mathbf{0,140} < \mathbf{8,31} = f_{t,0,d}$$

#### Nośność na ściskanie:

Wyniki dla  $x_a=3,84$  m;  $x_b=0,00$  m, przy obciążeniach "ABCDE".

- długość wybożeniowa w płaszczyźnie układu (wyznaczona na podstawie podatności węzłów):

$$l_c = \mu l = 0,860 \times 3,842 = 3,304 \text{ m}$$

- długość wybożeniowa w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 3,842 = 3,842 \text{ m}$$

Długości wybożeniowe dla wybożenia w płaszczyznach prostopadłych do osi głównych przekroju, wynoszą:

$$l_{c,y} = 3,308 \text{ m};$$

$$l_{c,z} = 3,842 \text{ m}$$

Współczynniki wybożeniowe:

$$\lambda_y = l_{c,y} / i_y = 3,308 / 0,0520 = 63,66$$

$$\lambda_z = l_{c,z} / i_z = 3,842 / 0,0520 = 73,94$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_y^2 = 9,87 \times 8000 / (63,66)^2 = 19,48 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_z^2 = 9,87 \times 8000 / (73,94)^2 = 14,44 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,y}} = \sqrt{23/19,48} = 1,087$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,z}} = \sqrt{23/14,44} = 1,262$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (1,087 - 0,5) + (1,087)^2] = 1,149$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (1,262 - 0,5) + (1,262)^2] = 1,372$$

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}) = 1 / (1,149 + \sqrt{1,149^2 - 1,087^2}) = 0,657$$

$$k_{c,z} = 1 / (k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}) = 1 / (1,372 + \sqrt{1,372^2 - 1,262^2}) = 0,523$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju  $A_d = 324,00 \text{ cm}^2$ .

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 3,640 / 324,00 \times 10 = \mathbf{0,112} < \mathbf{5,55} = 0,523 \times 10,62 = k_{c,y} f_{c,0,d}$$

**Ściskanie ze zginaniem** dla  $x_a=0,00 \text{ m}$ ;  $x_b=3,84 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABDE":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,028}{0,657 \times 10,62} + 0,7 \times \frac{0,000}{13,85} + \frac{1,704}{13,85} = \mathbf{0,127} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,028}{0,523 \times 10,62} + \frac{0,000}{13,85} + 0,7 \times \frac{1,704}{13,85} = \mathbf{0,091} < \mathbf{1}$$

**Nośność na zginanie:**

Wyniki dla  $x_a=0,00 \text{ m}$ ;  $x_b=3,84 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABDF".

Długość obliczeniowa dla **pręta swobodnie podpartego, obciążonego równomiernie lub momentami na końcach**, przy obciążeniu przyłożonym do powierzchni górnej, wynosi:

$$l_d = 1,00 \times 3842 + 180 + 180 = 4202 \text{ mm}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{l_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = \sqrt{\frac{4202 \times 180 \times 13,85}{3,142 \times 180^2 \times 8000}} \times \sqrt[4]{\frac{12000}{750}} = 0,227$$

Wartość współczynnika zwichrzenia:

$$\text{dla } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \quad k_{crit} = 1$$

Warunek stateczności:

$$\sigma_{m,d} = M / W = 2,687 / 972,00 \times 10^3 = \mathbf{2,765} < \mathbf{13,846} = 1,000 \times 13,85 = k_{crit} f_{m,d}$$

Nośność dla  $x_a=0,00 \text{ m}$ ;  $x_b=3,84 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABDF":

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,140}{8,31} + \frac{2,765}{13,85} + 0,7 \times \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,217} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,140}{8,31} + 0,7 \times \frac{2,765}{13,85} + \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,157} < \mathbf{1}$$

Nośność ze ścisaniem dla  $x_a=0,00 \text{ m}$ ;  $x_b=3,84 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABDE":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,028^2}{10,62^2} + \frac{1,704}{13,85} + 0,7 \times \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,123} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,028^2}{10,62^2} + 0,7 \times \frac{1,704}{13,85} + \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,086} < \mathbf{1}$$

### Nośność na ścinanie:

Wyniki dla  $x_a=0,00$  m;  $x_b=3,84$  m, przy obciążeniach "ABDF".

Naprężenia tnące z uwzględnieniem redukcji sił poprzecznych przy podporach:

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / A = 1,5 \times 2,828 / 324,000 \times 10 = 0,131 \text{ MPa}$$

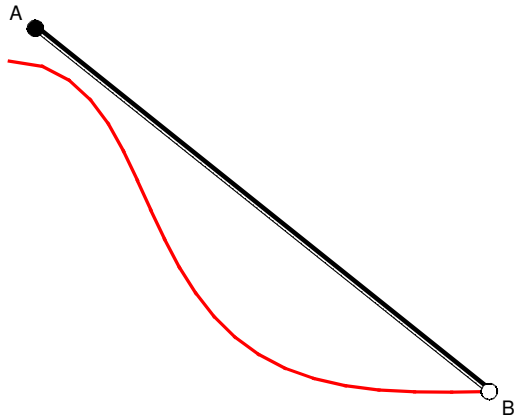
$$\tau_{y,d} = 1,5 V_y / A = 1,5 \times 0,000 / 324,000 \times 10 = 0,000 \text{ MPa}$$

Przyjęto  $k_v = 1,000$ .

Warunek nośności

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{z,d}^2 + \tau_{y,d}^2} = \sqrt{0,131^2 + 0,000^2} = \mathbf{0,131} < \mathbf{1,385} = 1,000 \times 1,38 = k_{v,d} f_{v,d}$$

### Stan graniczny użytkowania:



Wyniki dla  $x_a=2,40$  m;  $x_b=1,44$  m, przy obciążeniach "ABCDF".

Ugięcie graniczne

$$u_{\text{net,fin}} = l / 200 = 19,2 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń stałych (ciężar własny + "AB"):

$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = -0,3 \times (1 + 0,80) = -0,5 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = 0,0 \times (1 + 0,80) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń zmiennych ("CDF"):

Klasa trwania obciążeń zmiennych: **Średniotrwałe** (1 tydzień - 6 miesięcy, np. obciążenie użytkowe).

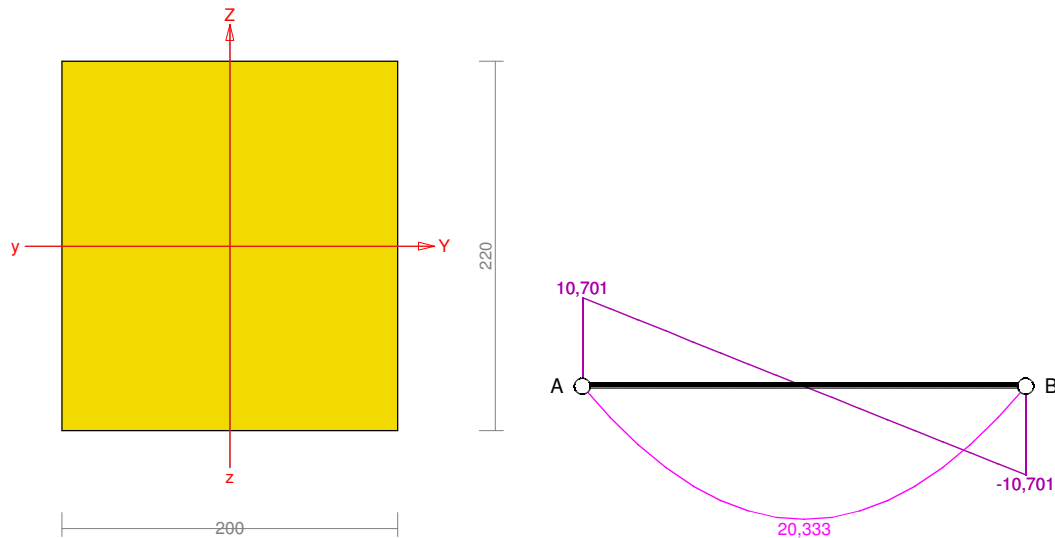
$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = -0,4 \times (1 + 0,25) = -0,5 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = 0,0 \times (1 + 0,25) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcie całkowite:

$$u_{z,\text{fin}} = -0,5 + -0,5 = \mathbf{1,0} < \mathbf{19,2} = u_{\text{net,fin}}$$

## Pręt nr 5



### Przekrój: 2 "B 22,0x20,0"

Wymiary przekroju:

$h=220,0$  mm  $b=200,0$  mm.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_y=17746,7$ ;  $J_z=14666,7$  cm<sup>4</sup>;  $A=440,00$  cm<sup>2</sup>;  $i_y=6,4$ ;  $i_z=5,8$  cm;  $W_y=1613,3$ ;  $W_z=1466,7$  cm<sup>3</sup>.

### Własności techniczne drewna:

Przyjęto 2 klasę użytkowania konstrukcji (*temperatura powietrza 20° i wilgotności powyżej 85% tylko przez kilka tygodni w roku*) oraz klasę trwania obciążenia: **Stale** (*więcej niż 10 lat, np. ciężar własny*).

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

$$\gamma_M = 1,3$$

Cechy drewna: **Drewno C30**.

$$f_{m,k} = 30,00$$

$$f_{m,d} = 13,85 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,k} = 18,00$$

$$f_{t,0,d} = 8,31 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,60$$

$$f_{t,90,d} = 0,28 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 23,00$$

$$f_{c,0,d} = 10,62 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 2,70$$

$$f_{c,90,d} = 1,25 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 3,00$$

$$f_{v,d} = 1,38 \text{ MPa}$$

$$E_{0,mean} = 12000 \text{ MPa}$$

$$E_{90,mean} = 400 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 8000 \text{ MPa}$$

$$G_{mean} = 750 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$$

## Sprawdzenie nośności pręta nr 5

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-B-03150:2000. W obliczeniach uwzględniono ekstremalne wartości wielkości statycznych przy uwzględnieniu niekorzystnych kombinacji obciążeń.

### Nośność na rozciąganie:

Wyniki dla  $x_a=0,00$  m;  $x_b=7,60$  m, przy obciążeniach "ABCDF".

Pole powierzchni przekroju netto  $A_n = 440,00$  cm<sup>2</sup>.

$$\sigma_{t,0,d} = N / A_n = 4,551 / 440,00 \times 10 = \mathbf{0,103} < \mathbf{8,31} = f_{t,0,d}$$

### Nośność na zginanie:

Wyniki dla  $x_a=3,80$  m;  $x_b=3,80$  m, przy obciążeniach "ABC".

Długość obliczeniowa dla *pręta swobodnie podpartego, obciążonego równomiernie lub momentami na końcach*, przy obciążeniu przyłożonym do powierzchni górnej, wynosi:

$$l_d = 1,00 \times 7600 + 220 + 220 = 8040 \text{ mm}$$

$$\lambda_{\text{rel,m}} = \sqrt{\frac{l_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = \sqrt{\frac{8040 \times 220 \times 13,85}{3,142 \times 200^2 \times 8000}} \times \sqrt[4]{\frac{12000}{750}} = 0,312$$

Wartość współczynnika zwiczenia:

$$\text{dla } \lambda_{\text{rel,m}} \leq 0,75 \quad k_{\text{crit}} = 1$$

Warunek stateczności:

$$\sigma_{m,d} = M / W = 20,333 / 1613,33 \times 10^3 = \mathbf{12,603} < \mathbf{13,846} = 1,000 \times 13,85 = k_{\text{crit}} f_{m,d}$$

Nośność dla  $x_a=3,80$  m;  $x_b=3,80$  m, przy obciążeniach "ABCDF":

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,103}{8,31} + \frac{12,603}{13,85} + 0,7 \times \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,923} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,103}{8,31} + 0,7 \times \frac{12,603}{13,85} + \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,650} < \mathbf{1}$$

### Nośność na ścinanie:

Wyniki dla  $x_a=7,60$  m;  $x_b=0,00$  m, przy obciążeniach "ABC".

Naprężenia tnące z uwzględnieniem redukcji sił poprzecznych przy podporach:

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / A = 1,5 \times 10,701 / 440,000 \times 10 = 0,365 \text{ MPa}$$

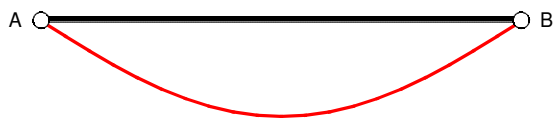
$$\tau_{y,d} = 1,5 V_y / A = 1,5 \times 0,000 / 440,000 \times 10 = 0,000 \text{ MPa}$$

Przyjęto  $k_v = 1,000$ .

Warunek nośności

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{z,d}^2 + \tau_{y,d}^2} = \sqrt{0,365^2 + 0,000^2} = \mathbf{0,365} < \mathbf{1,385} = 1,000 \times 1,38 = k_{v,d} f_{v,d}$$

### Stan graniczny użytkowania:



Wyniki dla  $x_a=3,80$  m;  $x_b=3,80$  m, przy obciążeniach "ABCDF".

Ugięcie graniczne

$$u_{\text{net,fin}} = l / 200 = 38,0 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń stałych (ciężar własny + "AB"):

$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} (1 + k_{\text{def}}) = -19,0 \times (1 + 0,80) = -34,2 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = 0,0 \times (1 + 0,80) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń zmiennych ("CDF"):

Klasa trwania obciążeń zmiennych: **Sredniotrwałe** (1 tydzień - 6 miesięcy, np. obciążenie użytkowe).

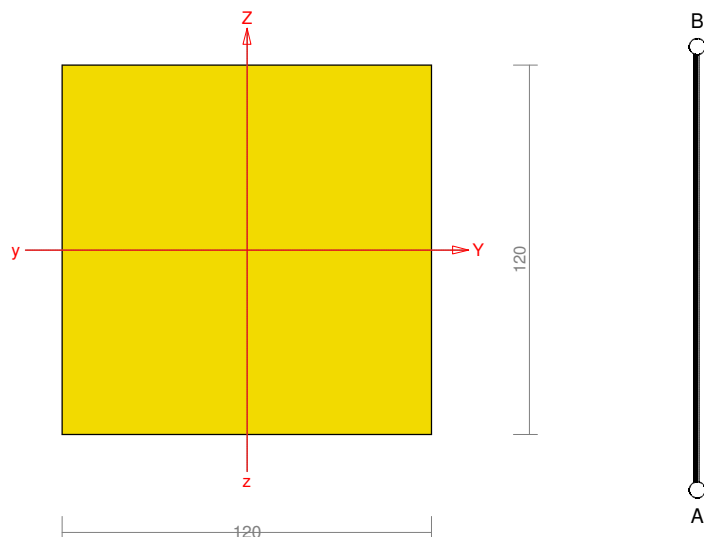
$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = -24,6 \times (1 + 0,25) = -30,8 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = 0,0 \times (1 + 0,25) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcie całkowite:

$$u_{z,\text{fin}} = -34,2 + -30,8 = \mathbf{65,0 > 38,0} = u_{\text{net,fin}}$$

## Pręt nr 6



### Przekrój: 1 "B 12,0x12,0"

Wymiary przekroju:

$$h=120,0 \text{ mm} \quad b=120,0 \text{ mm}.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_y=1728,0; \quad J_z=1728,0 \text{ cm}^4; \quad A=144,00 \text{ cm}^2; \quad i_y=3,5; \quad i_z=3,5 \text{ cm}; \quad W_y=288,0; \quad W_z=288,0 \text{ cm}^3.$$

### Własności techniczne drewna:

Przyjęto 2 klasę użytkowania konstrukcji (temperatura powietrza 20° i wilgotności powyżej 85% tylko przez kilka tygodni w roku) oraz klasę trwania obciążenia: **Stale** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

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

$$\gamma_M = 1,3$$

Cechy drewna: **Drewno C30.**

$$f_{m,k} = 30,00$$

$$f_{m,d} = 13,85 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,k} = 18,00$$

$$f_{t,0,d} = 8,31 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,60$$

$$f_{t,90,d} = 0,28 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 23,00$$

$$f_{c,0,d} = 10,62 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 2,70$$

$$f_{c,90,d} = 1,25 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 3,00$$

$$f_{v,d} = 1,38 \text{ MPa}$$

$$E_{0,\text{mean}} = 12000 \text{ MPa}$$

$$E_{90,\text{mean}} = 400 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 8000 \text{ MPa}$$

$$G_{\text{mean}} = 750 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$$

## Sprawdzenie nośności pręta nr 6

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-B-03150:2000. W obliczeniach uwzględniono ekstremalne wartości wielkości statycznych przy uwzględnieniu niekorzystnych kombinacji obciążeń.

### Nośność na ściskanie:

Wyniki dla  $x_a=0,00 \text{ m}$ ;  $x_b=2,40 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABCDE".

- długość wybocheniowa w płaszczyźnie układu (wyznaczona na podstawie podatności węzłów):

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 2,400 = 2,400 \text{ m}$$

- długość wybocheniowa w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 2,400 = 2,400 \text{ m}$$

Długości wybocheniowe dla wybochenia w płaszczyznach prostopadłych do osi głównych przekroju, wynoszą:

$$l_{c,y} = 2,400 \text{ m}; \quad l_{c,z} = 2,400 \text{ m}$$

Współczynniki wybocheniowe:

$$\lambda_y = l_{c,y} / i_y = 2,400 / 0,0346 = 69,28$$

$$\lambda_z = l_{c,z} / i_z = 2,400 / 0,0346 = 69,28$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_y^2 = 9,87 \times 8000 / (69,28)^2 = 16,45 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_z^2 = 9,87 \times 8000 / (69,28)^2 = 16,45 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,y}} = \sqrt{23 / 16,45} = 1,182$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,z}} = \sqrt{23 / 16,45} = 1,182$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (1,182 - 0,5) + (1,182)^2] = 1,267$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (1,182 - 0,5) + (1,182)^2] = 1,267$$

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}) = 1 / (1,267 + \sqrt{1,267^2 - 1,182^2}) = 0,580$$

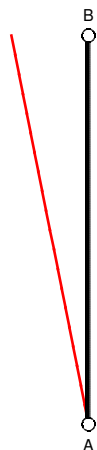
$$k_{c,z} = 1 / (k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}) = 1 / (1,267 + \sqrt{1,267^2 - 1,182^2}) = 0,580$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju  $A_d = 144,00 \text{ cm}^2$ .

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 22,623 / 144,00 \times 10 = \mathbf{1,571} < \mathbf{6,16} = 0,580 \times 10,62 = k_c f_{c,0,d}$$

### Stan graniczny użytkowania:



Wyniki dla  $x_a=2,40$  m;  $x_b=0,00$  m, przy obciążeniach "ABCDF".

Ugięcie graniczne

$$u_{\text{net,fin}} = l / 200 = 12,0 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń stałych (ciężar własny + "AB"):

$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = 0,1 \times (1 + 0,80) = 0,2 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = 0,0 \times (1 + 0,80) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń zmiennych ("CDF"):

Klasa trwania obciążeń zmiennych: **Średniotrwałe** (1 tydzień - 6 miesięcy, np. obciążenie użytkowe).

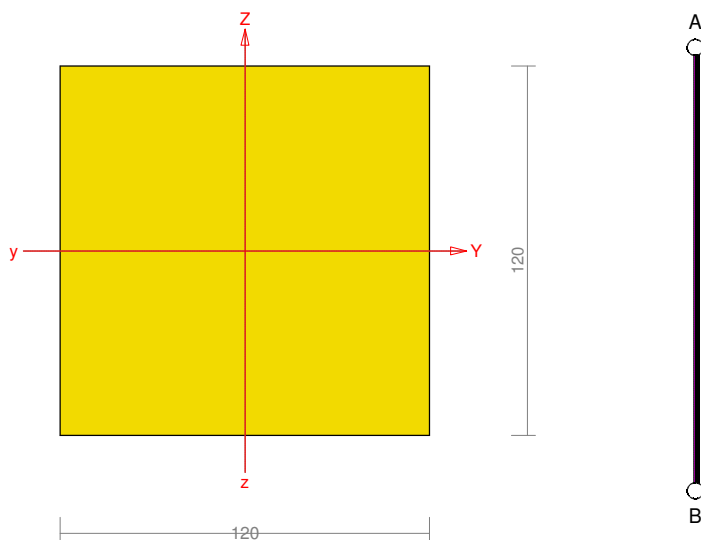
$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = 0,2 \times (1 + 0,25) = 0,2 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = 0,0 \times (1 + 0,25) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcie całkowite:

$$u_{z,\text{fin}} = 0,2 + 0,2 = \mathbf{0,4} < \mathbf{12,0} = u_{\text{net,fin}}$$

## Pręt nr 7



**Przekrój: 1** "B 12,0x12,0"

Wymiary przekroju:

$h=120,0$  mm  $b=120,0$  mm.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_y=1728,0$ ;  $J_z=1728,0$  cm<sup>4</sup>;  $A=144,00$  cm<sup>2</sup>;  $i_y=3,5$ ;  $i_z=3,5$  cm;  $W_y=288,0$ ;  $W_z=288,0$  cm<sup>3</sup>.

### Własności techniczne drewna:

Przyjęto 2 klasę użytkowania konstrukcji (*temperatura powietrza 20° i wilgotności powyżej 85% tylko przez kilka tygodni w roku*) oraz klasę trwania obciążenia: **Stale** (*więcej niż 10 lat, np. ciężar własny*).

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

$$\gamma_M = 1,3$$

Cechy drewna: **Drewno C30.**

$$f_{m,k} = 30,00$$

$$f_{m,d} = 13,85 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,k} = 18,00$$

$$f_{t,0,d} = 8,31 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,60$$

$$f_{t,90,d} = 0,28 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 23,00$$

$$f_{c,0,d} = 10,62 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 2,70$$

$$f_{c,90,d} = 1,25 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 3,00 \qquad f_{v,d} = 1,38 \text{ MPa}$$

$$E_{0,\text{mean}} = 12000 \text{ MPa}$$

$$E_{90,\text{mean}} = 400 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 8000 \text{ MPa}$$

$$G_{\text{mean}} = 750 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$$

## Sprawdzenie nośności pręta nr 7

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-B-03150:2000. W obliczeniach uwzględniono ekstremalne wartości wielkości statycznych przy uwzględnieniu niekorzystnych kombinacji obciążeń.

### Nośność na ściskanie:

Wyniki dla  $x_a=2,40 \text{ m}$ ;  $x_b=0,00 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABCFD".

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie układu (wyznaczona na podstawie podatności węzłów):

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 2,400 = 2,400 \text{ m}$$

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 2,400 = 2,400 \text{ m}$$

Długości wyboczeniowe dla wyboczenia w płaszczyznach prostopadłych do osi głównych przekroju, wynoszą:

$$l_{c,y} = 2,400 \text{ m}; \qquad l_{c,z} = 2,400 \text{ m}$$

Współczynniki wyboczeniowe:

$$\lambda_y = l_{c,y} / i_y = 2,400 / 0,0346 = 69,28$$

$$\lambda_z = l_{c,z} / i_z = 2,400 / 0,0346 = 69,28$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_y^2 = 9,87 \times 8000 / (69,28)^2 = 16,45 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_z^2 = 9,87 \times 8000 / (69,28)^2 = 16,45 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,y}} = \sqrt{23 / 16,45} = 1,182$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,z}} = \sqrt{23 / 16,45} = 1,182$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (1,182 - 0,5) + (1,182)^2] = 1,267$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (1,182 - 0,5) + (1,182)^2] = 1,267$$

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}) = 1 / (1,267 + \sqrt{1,267^2 - 1,182^2}) = 0,580$$

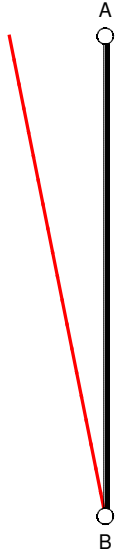
$$k_{c,z} = 1 / (k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}) = 1 / (1,267 + \sqrt{1,267^2 - 1,182^2}) = 0,580$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju  $A_d = 144,00 \text{ cm}^2$ .

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 22,147 / 144,00 \times 10 = \mathbf{1,538} < \mathbf{6,16} = 0,580 \times 10,62 = k_c f_{c,0,d}$$

### Stan graniczny użytkowania:



Wyniki dla  $x_a=0,00$  m;  $x_b=2,40$  m, przy obciążeniach “**ABCDF**”.

Ugięcia graniczne

$$u_{\text{net,fin}} = l / 200 = 12,0 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń stałych (ciężar własny + “AB”):

$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = -0,1 \times (1 + 0,80) = -0,1 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = 0,0 \times (1 + 0,80) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń zmiennych (“CDF”):

Klasa trwania obciążeń zmiennych: *Średniotrwałe* (1 tydzień - 6 miesięcy, np. obciążenie użytkowe).

$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = -0,1 \times (1 + 0,25) = -0,2 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = 0,0 \times (1 + 0,25) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcia całkowite:

$$u_{z,\text{fin}} = -0,1 + -0,2 = \mathbf{0,3} < \mathbf{12,0} = u_{\text{net,fin}}$$

## 2. STAN PROJEKTOWANY

### 2.1. ZEBRANIE OBCIĄŻEŃ

### 2.1.1. DACH

pasmo zbierania obciążeń		1,000	[m]	
<b>obciążenia stałe</b>		$g_k = [kN/m]$	$\gamma_f$	$g = [kN/m]$
dachówka karpiówka		0,800	1,2	0,960
łaty		0,050	1,2	0,060
$g_k =$		0,850	$g_0 =$	1,020

kąty nachylenia połaci dachowej wynoszą  $38,66^\circ$   $\cos\alpha$  0,781  
 $37,35^\circ$   $\cos\alpha$  0,795

obciążenie :		charakter. [kN/m]	$\gamma_f$	charakter. [kN/m]
-stałe 1 ( $g_{kl} / g_{01}$ )		<b>1,089</b>	1,20	<b>1,306</b>
-stałe 2 ( $g_{kl} / g_{01}$ )		<b>1,069</b>	1,20	<b>1,283</b>

<b>dodatkowe obc. stałe</b>		$g_k = [kN/m]$	$\gamma_f$	$g = [kN/m]$
włna mineralna 20cm	$0,30 \cdot 0,20 =$	0,060	1,2	0,072
łaty		0,060	1,3	0,078
$g_k =$		0,120	$g_0 =$	0,150

kąt nachylenia połaci dachowej wynosi  $38,66^\circ$   $\cos\alpha$  0,781

obciążenie :		charakter. [kN/m]	$\gamma_f$	charakter. [kN/m]
-stałe 1 ( $g_{kl} / g_{01}$ )		<b>0,154</b>	1,25	<b>0,192</b>

<b>obciążenia zmienne:</b>		$pk = [kN/m]$	$\gamma_f$	$p = [kN/m]$
śnieg 1 (II strefa)	$0,9 \cdot 0,6 =$	<b>0,900</b>	1,5	<b>1,350</b>
śnieg 2 (II strefa)	$0,9 \cdot 1,0 =$	<b>0,540</b>	1,5	<b>0,810</b>
wiatr 1 (I strefa)	$0,25 \cdot 0,37 \cdot 1,0 \cdot 1,8 =$	<b>0,167</b>	1,3	<b>0,216</b>
wiatr 2 (I strefa)	$0,25 \cdot (-0,37) \cdot 1,0 \cdot 1,8 =$	<b>-0,167</b>	1,3	<b>-0,216</b>

### 2.1.2. STROP

pasmo zbierania obciążeń		1,000	[m]	
<b>obciążenia stałe</b>		$g_k = [kN/m]$	$\gamma_f$	$g = [kN/m]$
deski		0,275	1,2	0,330
papa		0,050	1,2	0,060
włna mineralna 16cm	$0,80 \cdot 0,16 =$	0,128	1,2	0,154
$g_k =$		0,453	$g_0 =$	0,544

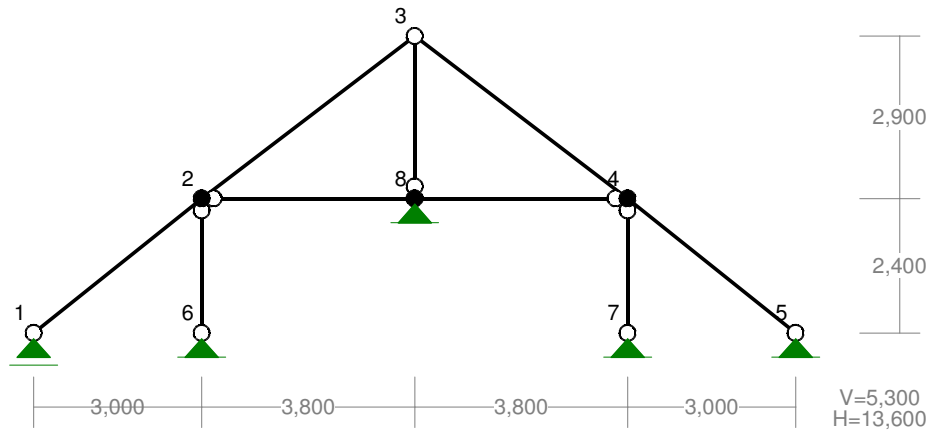
-stałe ( $g_{kl} / g_{01}$ )		<b>0,453</b>	1,20	<b>0,544</b>
------------------------------	--	--------------	------	--------------

<b>obciążenia zmienne:</b>		$pk = [kN/m]$	$\gamma_f$	$p = [kN/m]$
użytkowe		<b>1,200</b>	1,4	<b>1,680</b>

### 2.2. OBLICZENIA STATYCZNE

Obliczenia statyczne konstrukcji wykonano w programie RM-Win.

WĘZŁY:



WĘZŁY:

Nr:	X [m]:	Y [m]:	Nr:	X [m]:	Y [m]:
1	0,000	0,000	5	13,600	0,000
2	3,000	2,400	6	3,000	0,000
3	6,800	5,300	7	10,600	0,000
4	10,600	2,400	8	6,800	2,400

PODPORY:

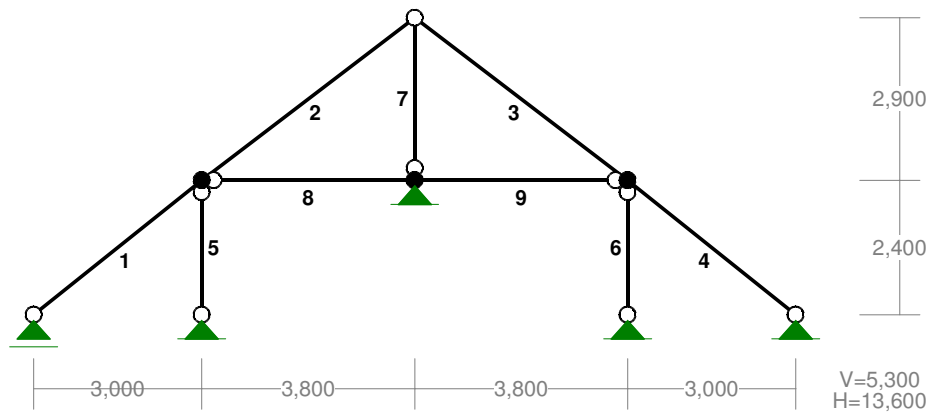
Podatności

Węzeł:	Rodzaj:	Kąt:	Dx(Do*): [ m / k N ]	Dy:	DFi: [rad/kNm]
1	przesuwna	0,0	0,000E+00*		
5	stała	0,0	0,000E+00	0,000E+00	
6	stała	0,0	0,000E+00	0,000E+00	
7	stała	0,0	0,000E+00	0,000E+00	
8	stała	0,0	0,000E+00	0,000E+00	

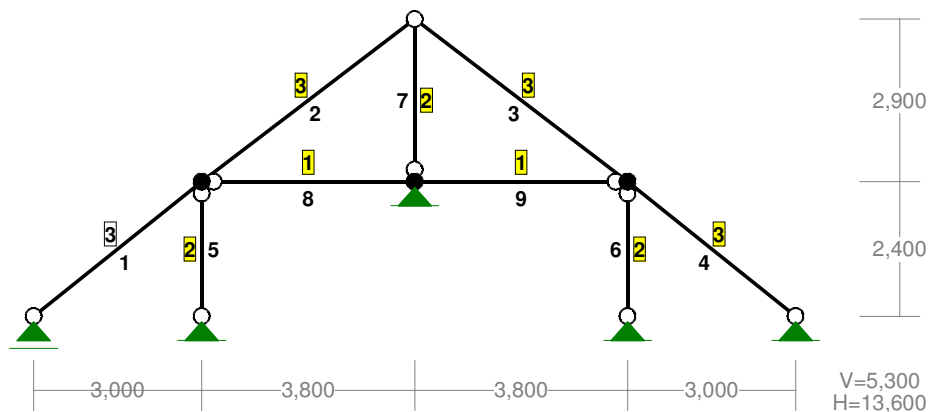
OSIADANIA:

Węzeł:	Kąt:	Wx(Wo*) [m]:	Wy[m]:	FIo[grad]:
B r a k   O s i a d a ń				

PRĘTY:



**PRZEKROJE PRĘTÓW:**



**PRĘTY UKŁADU:**

Typy prętów: 00 - sztyw.-sztyw.; 01 - sztyw.-przegub;  
 10 - przegub-sztyw.; 11 - przegub-przegub  
 22 - ciągnio

Pręt:	Typ:	A:	B:	Lx[m]:	Ly[m]:	L[m]:	Red.EJ:	Przekrój:
1	10	1	2	3,000	2,400	3,842	1,000	3 B 18,0x18,0
2	01	2	3	3,800	2,900	4,780	1,000	3 B 18,0x18,0
3	10	3	4	3,800	-2,900	4,780	1,000	3 B 18,0x18,0
4	01	4	5	3,000	-2,400	3,842	1,000	3 B 18,0x18,0
5	11	6	2	0,000	2,400	2,400	1,000	2 B 12,0x12,0
6	11	4	7	0,000	-2,400	2,400	1,000	2 B 12,0x12,0
7	11	3	8	0,000	-2,900	2,900	1,000	2 B 12,0x12,0
8	10	2	8	3,800	0,000	3,800	1,000	1 Ia 38x20
9	01	8	4	3,800	0,000	3,800	1,000	1 Ia 38x20

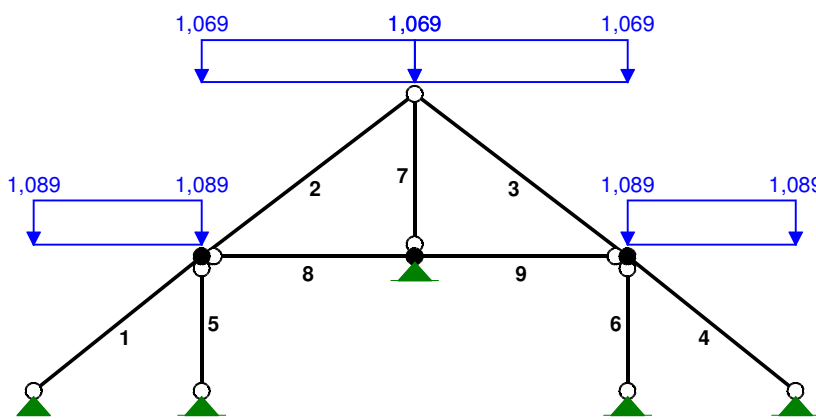
**WIELKOŚCI PRZEKROJOWE:**

Nr.	A[cm <sup>2</sup> ]	I <sub>x</sub> [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>y</sub> [cm <sup>4</sup> ]	W <sub>g</sub> [cm <sup>3</sup> ]	W <sub>d</sub> [cm <sup>3</sup> ]	h[cm]	Materiał:
1	568,0	56272	15349	2477	3682	38,0	46 Drewno C30
2	144,0	1728	1728	288	288	12,0	46 Drewno C30
3	324,0	8748	8748	972	972	18,0	46 Drewno C30

**STAŁE MATERIAŁOWE:**

Materiał:	Moduł E: [N/mm <sup>2</sup> ]	Napręż.gr.: [N/mm <sup>2</sup> ]	AlfaT: [1/K]
46 Drewno C30	12000	30,000	5,00E-06

**OBCIĄŻENIA:**

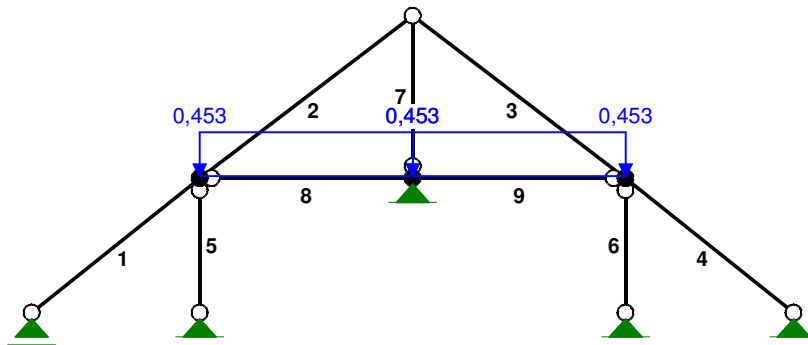


**OBCIĄŻENIA:**

( [kN], [kNm], [kN/m] )

Pręt:	Rodzaj:	Kąt:	P1 (Tg):	P2 (Td):	a [m]:	b [m]:
Grupa:	A	"Stałe dach 1"		Stałe	γ <sub>f</sub> = 1,20	
1	Liniowe-Y	0,0	1,089	1,089	0,00	3,84
2	Liniowe-Y	0,0	1,069	1,069	0,00	4,78
3	Liniowe-Y	0,0	1,069	1,069	0,00	4,78
4	Liniowe-Y	0,0	1,089	1,089	0,00	3,84

**OBCIĄŻENIA:**

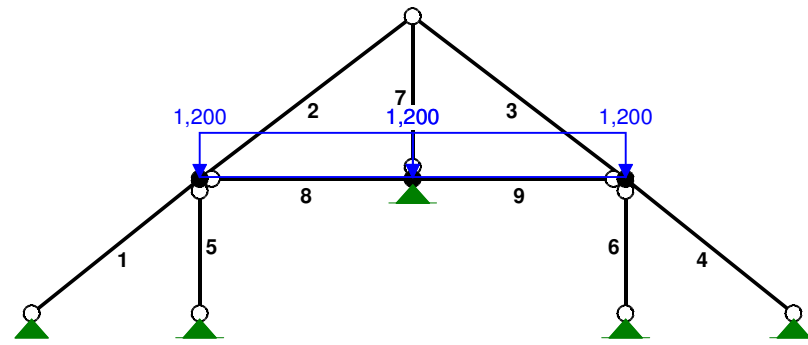


**OBCIĄŻENIA:** ([kN], [kNm], [kN/m])

Pręt: Rodzaj: Kąt: P1 (Tg): P2 (Td): a[m]: b[m]:

Pręt	Rodzaj	Kąt	P1 (Tg)	P2 (Td)	a[m]	b[m]
Grupa: B	" "			Zmienne	$\gamma_f = 1,20$	
8	Liniowe	0,0	0,453	0,453	0,00	3,80
9	Liniowe	0,0	0,453	0,453	0,00	3,80

OBCIĄŻENIA:

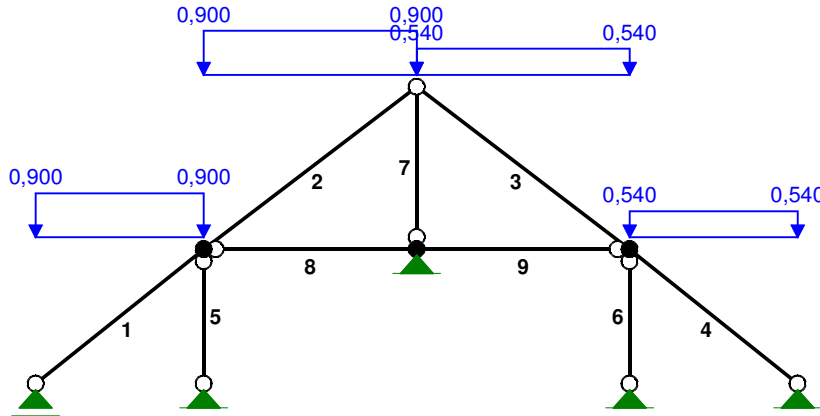


**OBCIĄŻENIA:** ([kN], [kNm], [kN/m])

Pręt: Rodzaj: Kąt: P1 (Tg): P2 (Td): a[m]: b[m]:

Pręt	Rodzaj	Kąt	P1 (Tg)	P2 (Td)	a[m]	b[m]
Grupa: C	" "			Zmienne	$\gamma_f = 1,40$	
8	Liniowe	0,0	1,200	1,200	0,00	3,80
9	Liniowe	0,0	1,200	1,200	0,00	3,80

OBCIĄŻENIA:

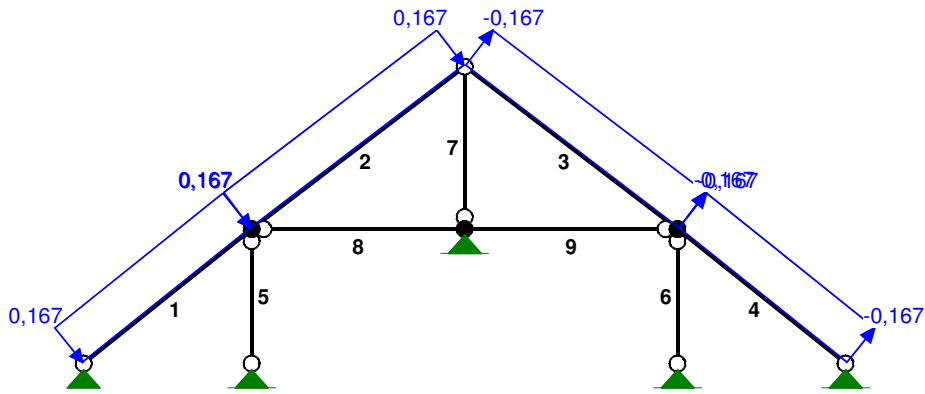


**OBCIĄŻENIA:** ([kN], [kNm], [kN/m])

Pręt: Rodzaj: Kąt: P1 (Tg): P2 (Td): a[m]: b[m]:

Grupa:	D	"Śnieg"	Zmienne	$\gamma_f = 1,50$		
1	Liniowe-Y	0,0	0,900	0,900	0,00	3,84
2	Liniowe-Y	0,0	0,900	0,900	0,00	4,78
3	Liniowe-Y	0,0	0,540	0,540	0,00	4,78
4	Liniowe-Y	0,0	0,540	0,540	0,00	3,84

OBCIĄŻENIA:

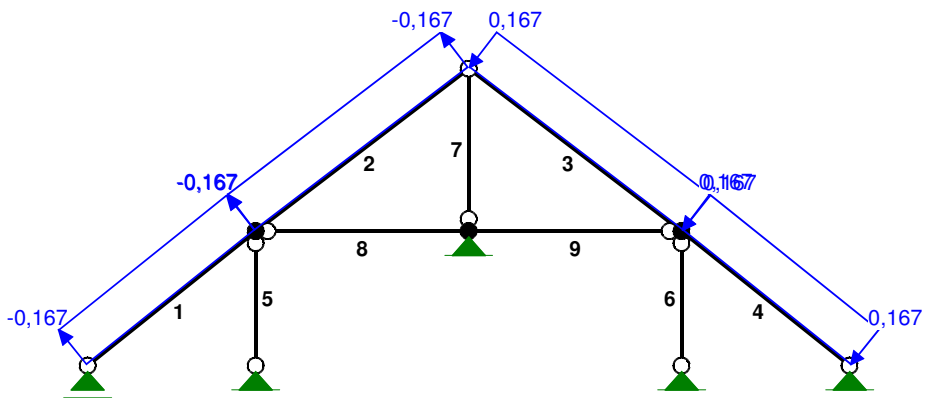


**OBCIĄŻENIA:** ([kN], [kNm], [kN/m])

Pręt: Rodzaj: Kąt: P1 (Tg): P2 (Td): a[m]: b[m]:

Grupa:	E	"Wiatr z lewej"	Zmienne	$\gamma_f = 1,30$		
1	Liniowe	38,7	0,167	0,167	0,00	3,84
2	Liniowe	37,3	0,167	0,167	0,00	4,78
3	Liniowe	-37,3	-0,167	-0,167	0,00	4,78
4	Liniowe	-38,7	-0,167	-0,167	0,00	3,84

OBCIĄŻENIA:

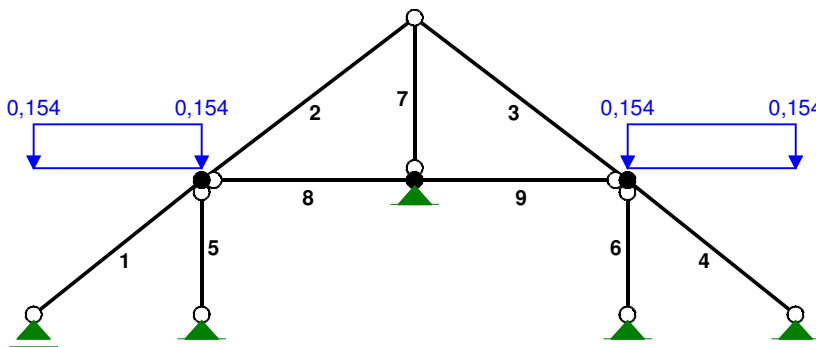


**OBCIĄŻENIA:** ([kN], [kNm], [kN/m])

Pręt: Rodzaj: Kąt: P1 (Tg): P2 (Td): a[m]: b[m]:

Pręt	Rodzaj	Kąt	P1 (Tg)	P2 (Td)	a[m]	b[m]
Grupa: F	"Wiatr z prawej"			Zmienne	$\gamma_f = 1,30$	
1	Liniowe	38,7	-0,167	-0,167	0,00	3,84
2	Liniowe	37,3	-0,167	-0,167	0,00	4,78
3	Liniowe	-37,3	0,167	0,167	0,00	4,78
4	Liniowe	-38,7	0,167	0,167	0,00	3,84

**OBCIĄŻENIA:**



**OBCIĄŻENIA:** ([kN], [kNm], [kN/m])

Pręt: Rodzaj: Kąt: P1 (Tg): P2 (Td): a[m]: b[m]:

Pręt	Rodzaj	Kąt	P1 (Tg)	P2 (Td)	a[m]	b[m]
Grupa: G	"Stałe dach 2"			Stałe	$\gamma_f = 1,25$	
1	Liniowe-Y	0,0	0,154	0,154	0,00	3,84
4	Liniowe-Y	0,0	0,154	0,154	0,00	3,84

=====

**W Y N I K I**  
**Teoria I-go rzędu**  
**Kombinatoryka obciążeń**

---

**OBCIĄŻENIOWE WSPÓŁ. BEZPIECZ.:**

---

Grupa:	Znaczenie:	$\psi_d$ :	$\gamma_f$ :
Ciężar wł.			1,10
A -"Stałe dach 1"	Stałe		1,20
B -""	Zmienne	1 1,00	1,20
C -""	Zmienne	1 1,00	1,40
D -"Śnieg"	Zmienne	1 1,00	1,50
E -"Wiatr z lewej"	Zmienne	1 1,00	1,30
F -"Wiatr z prawej"	Zmienne	1 1,00	1,30
G -"Stałe dach 2"	Stałe		1,25

---

**RELACJE GRUP OBCIĄŻEŃ:**

---

Grupa obc.:	Relacje:
Ciężar wł.	ZAWSZE
A -"Stałe dach 1"	ZAWSZE
B -""	ZAWSZE
G -"Stałe dach 2"	ZAWSZE
C -""	EWENTUALNIE
D -"Śnieg"	EWENTUALNIE
E -"Wiatr z lewej"	EWENTUALNIE Nie występuje z: F
F -"Wiatr z prawej"	EWENTUALNIE Nie występuje z: E

---

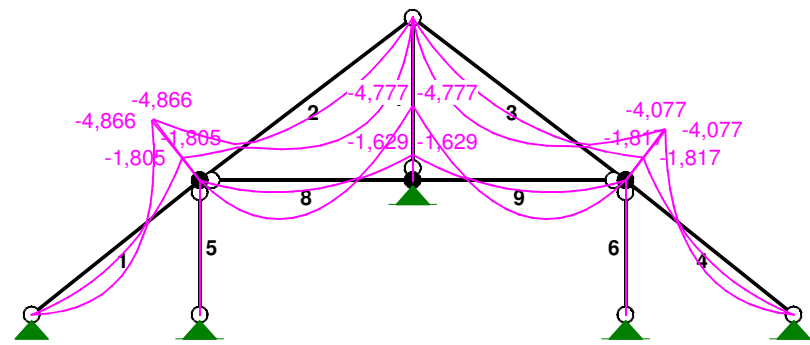
**KRYTERIA KOMBINACJI OBCIĄŻEŃ:**

---

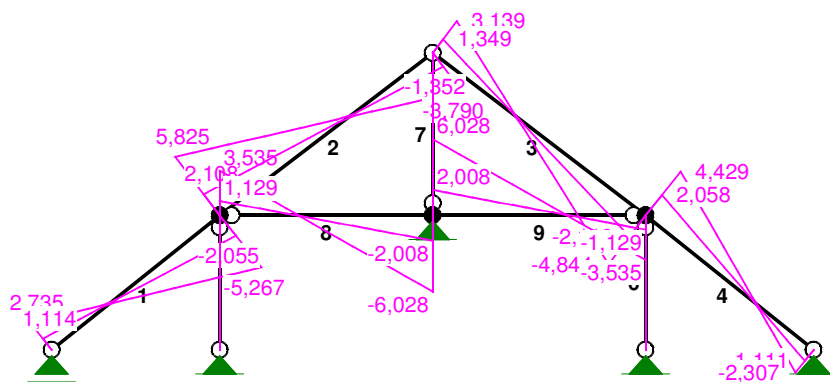
Nr:	Specyfikacja:
1	ZAWSZE : A+B+G EWENTUALNIE: C+D+E/F

---

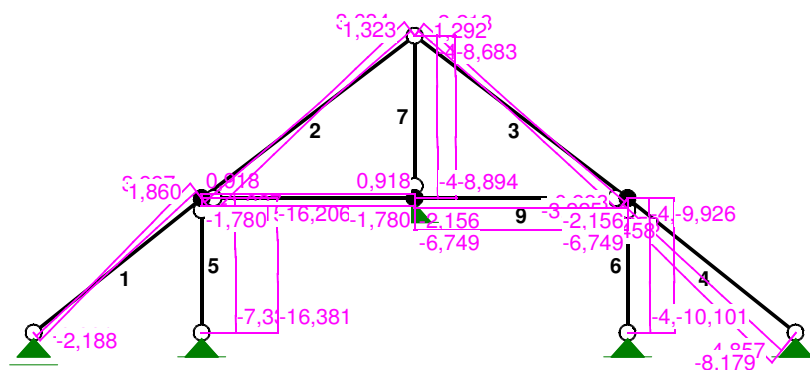
MOMENTY-OBWIEDNIE:



TNĄCE-OBWIEDNIE :



NORMALNE-OBWIEDNIE :



**SIŁY PRZEKROJOWE - WARTOŚCI EKSTREMALNE:** T.I rzędu

Obciążenia obl.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

Pręt:	x[m]:	M[kNm]:	Q[kN]:	N[kN]:	Kombinacja obciążeń:
1	1,201	<b>1,783*</b>	0,235	-0,396	ABCDEG
	3,842	<b>-4,866*</b>	-5,267	3,546	ABDEG
	3,842	-4,866	<b>-5,267*</b>	3,546	ABDEG
	3,842	-3,825	-4,162	<b>3,997*</b>	ABDFG
	0,000	0,000	2,735	<b>-2,188*</b>	ABCDEG
2	2,988	<b>3,562*</b>	-0,185	1,230	ABCDEG
	0,000	<b>-4,866*</b>	5,825	-3,349	ABDEG
	0,000	-4,866	<b>5,825*</b>	-3,349	ABDEG
	4,780	-0,000	-3,790	<b>3,684*</b>	ABCDEG
	0,000	-3,825	4,569	<b>-3,943*</b>	ABDFG
3	1,793	<b>2,944*</b>	0,145	1,230	ABCDFG
	4,780	<b>-4,077*</b>	-4,844	-2,571	ABDFG
	4,780	-4,077	<b>-4,844*</b>	-2,571	ABDFG
	0,000	0,000	3,139	<b>3,218*</b>	ABCDFG
	4,780	-3,036	-3,589	<b>-3,225*</b>	ABDEG
4	2,641	<b>1,507*</b>	-0,202	-6,704	ABCDFG
	0,000	<b>-4,077*</b>	4,429	-2,580	ABDFG
	0,000	-4,077	<b>4,429*</b>	-2,580	ABDFG
	0,000	-1,820	2,059	<b>-1,653*</b>	ABEG
	3,842	0,000	-2,307	<b>-8,179*</b>	ABCDFG
5	0,000	<b>0,000*</b>	0,000	-16,381	ABCDEG
	2,400	<b>0,000*</b>	0,000	-16,206	ABCDEG
	0,000	<b>0,000*</b>	0,000	-16,381	ABCDEG
	2,400	<b>0,000*</b>	0,000	-16,206	ABCDEG
	0,000	0,000	<b>0,000*</b>	-16,381	ABCDEG
	2,400	0,000	<b>0,000*</b>	-16,206	ABCDEG
	2,400	0,000	0,000	<b>-7,156*</b>	ABFG
	0,000	0,000	0,000	<b>-16,381*</b>	ABCDEG
6	0,000	<b>0,000*</b>	0,000	-9,926	ABCDFG
	2,400	<b>0,000*</b>	0,000	-10,101	ABCDFG
	0,000	<b>0,000*</b>	0,000	-9,926	ABCDFG
	2,400	<b>0,000*</b>	0,000	-10,101	ABCDFG



Ro

1	3,842	<b>0,171*</b>		5,116	ABDEG
	1,201	<b>-0,062*</b>		-1,846	ABCDEG
	1,441		<b>0,061*</b>	1,829	ABCDEG
	3,842		<b>-0,163*</b>	-4,897	ABDEG
2	0,000	<b>0,164*</b>		4,913	ABCDEG
	2,988	<b>-0,121*</b>		-3,640	ABDEG
	2,988		<b>0,123*</b>	3,703	ABCDEG
	0,000		<b>-0,170*</b>	-5,110	ABDEG
3	4,780	<b>0,138*</b>		4,128	ABCDFG
	1,793	<b>-0,100*</b>		-3,005	ABDFG
	1,793		<b>0,102*</b>	3,067	ABCDFG
	4,780		<b>-0,142*</b>	-4,274	ABDFG
4	0,000	<b>0,137*</b>		4,115	ABDFG
	2,641	<b>-0,059*</b>		-1,757	ABCDFG
	2,401		<b>0,046*</b>	1,376	ABDFG
	0,000		<b>-0,143*</b>	-4,299	ABCDFG
5	2,400	<b>-0,017*</b>		-0,497	ABFG
	0,000	<b>-0,038*</b>		-1,138	ABCDEG
	2,400		<b>-0,017*</b>	-0,497	ABFG
	0,000		<b>-0,038*</b>	-1,138	ABCDEG
6	0,000	<b>-0,011*</b>		-0,327	ABEG
	2,400	<b>-0,023*</b>		-0,701	ABCDFG
	0,000		<b>-0,011*</b>	-0,327	ABEG
	2,400		<b>-0,023*</b>	-0,701	ABCDFG
7	0,000	<b>-0,011*</b>		-0,330	ABEG
	2,900	<b>-0,021*</b>		-0,618	ABCDFG
	0,000		<b>-0,011*</b>	-0,330	ABEG
	2,900		<b>-0,021*</b>	-0,618	ABCDFG
8	3,800	<b>0,065*</b>		1,937	ABCDFG
	1,425	<b>-0,035*</b>		-1,035	ABCEG
	1,425		<b>0,023*</b>	0,685	ABCDFG
	3,800		<b>-0,044*</b>	-1,328	ABCDEG
9	0,000	<b>0,062*</b>		1,847	ABCDEG
	2,375	<b>-0,037*</b>		-1,111	ABCDFG
	2,375		<b>0,021*</b>	0,619	ABCEG
	0,000		<b>-0,047*</b>	-1,416	ABCDFG

\* = Wartości ekstremalne

**REAKCJE - WARTOŚCI EKSTREMALNE:** T.I rzędu  
Obciążenia obl.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

Węzeł:	H[kN]:	V[kN]:	R[kN]:	M[kNm]:	Kombinacja obciążeń:
1	<b>-0,000*</b>	3,502	3,502		ABCDEG
	<b>0,000*</b>	1,427	1,427		ABFG
	<b>0,000*</b>	1,787	1,787		ABG
	-0,000	<b>3,502*</b>	3,502		ABCDEG
	0,000	<b>1,427*</b>	1,427		ABFG
	-0,000	3,502	<b>3,502*</b>		ABCDEG
5	<b>-2,918*</b>	4,479	5,345		ABFG
	<b>-5,126*</b>	6,334	8,149		ABCDEG

	-4,945	<b>6,911*</b>	8,498	ABCDFG
	-3,098	<b>3,902*</b>	4,982	ABEG
	-4,945	6,911	<b>8,498*</b>	ABCDFG
6	<b>0,000*</b>	16,381	16,381	ABCDEG
	<b>0,000*</b>	7,331	7,331	ABFG
	<b>0,000*</b>	7,940	7,940	ABG
	0,000	<b>16,381*</b>	16,381	ABCDEG
	0,000	<b>7,331*</b>	7,331	ABFG
	0,000	16,381	<b>16,381*</b>	ABCDEG
7	<b>0,000*</b>	10,101	10,101	ABCDFG
	<b>0,000*</b>	4,877	4,877	ABEG
	<b>0,000*</b>	5,540	5,540	ABG
	0,000	<b>10,101*</b>	10,101	ABCDFG
	0,000	<b>4,877*</b>	4,877	ABEG
	0,000	10,101	<b>10,101*</b>	ABCDFG
8	<b>7,246*</b>	20,950	22,168	ABCDFG
	<b>0,798*</b>	8,973	9,009	ABEG
	7,246	<b>20,950*</b>	22,168	ABCDFG
	0,798	<b>8,973*</b>	9,009	ABEG
	7,246	20,950	<b>22,168*</b>	ABCDFG

-----  
\* = Wartości ekstremalne

=====

**W Y N I K I**  
**Teoria I-go rzędu**  
**Kombinatoryka obciążeń**

=====

**OBCIĄŻENIOWE WSPÓŁ. BEZPIECZ.:**

-----

Grupa:	Znaczenie:	$\psi_d$ :	$\gamma_f$ :
Ciężar wł.			1,10
A -"Stałe dach 1"	Stałe		1,20
B -""	Zmienne	1 1,00	1,20
C -""	Zmienne	1 1,00	1,40
D -"Śnieg"	Zmienne	1 1,00	1,50
E -"Wiatr z lewej"	Zmienne	1 1,00	1,30
F -"Wiatr z prawej"	Zmienne	1 1,00	1,30
G -"Stałe dach 2"	Stałe		1,25

-----

**RELACJE GRUP OBCIĄŻEŃ:**

-----

Grupa obc.:	Relacje:
Ciężar wł.	ZAWSZE
A -"Stałe dach 1"	ZAWSZE
B -""	ZAWSZE
G -"Stałe dach 2"	ZAWSZE
C -""	EWENTUALNIE
D -"Śnieg"	EWENTUALNIE
E -"Wiatr z lewej"	EWENTUALNIE
F -"Wiatr z prawej"	Nie występuje z: F
	EWENTUALNIE
	Nie występuje z: E

-----

**KRYTERIA KOMBINACJI OBCIĄŻEŃ:**

-----

Nr:      Specyfikacja:

-----

1      ZAWSZE      : A+B+G

EWENTUALNIE: C+D+E/F

Współczynniki obciążeniowe nie są uwzględniane.

**PRZEMIESZCZENIA - WARTOŚCI EKSTREMALNE:** T.I rzędu

Obciążenia char.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

Węzeł:	Ux[m]:	Uy[m]:	Wypadkowe[m]:	Kombinacja obciążeń:
1	0,00014	0,00000	0,00014	ABCDFG ABCDEG ABCDFG
2	0,00001	0,00017	0,00017	ABCDEG ABCDEG ABCDEG
3	0,00004	0,00011	0,00012	ABCDFG ABCDFG ABCDFG
4	0,00003	0,00011	0,00011	ABCDFG ABCDFG ABCDFG
5	0,00000	0,00000	0,00000	ABCDEG ABCDFG
6	0,00000	0,00000	0,00000	ABCDEG
7	0,00000	0,00000	0,00000	ABCDFG
8	0,00000	0,00000	0,00000	ABCDFG ABCDFG

**DEFORMACJE - WARTOŚCI EKSTREMALNE:** T.I rzędu

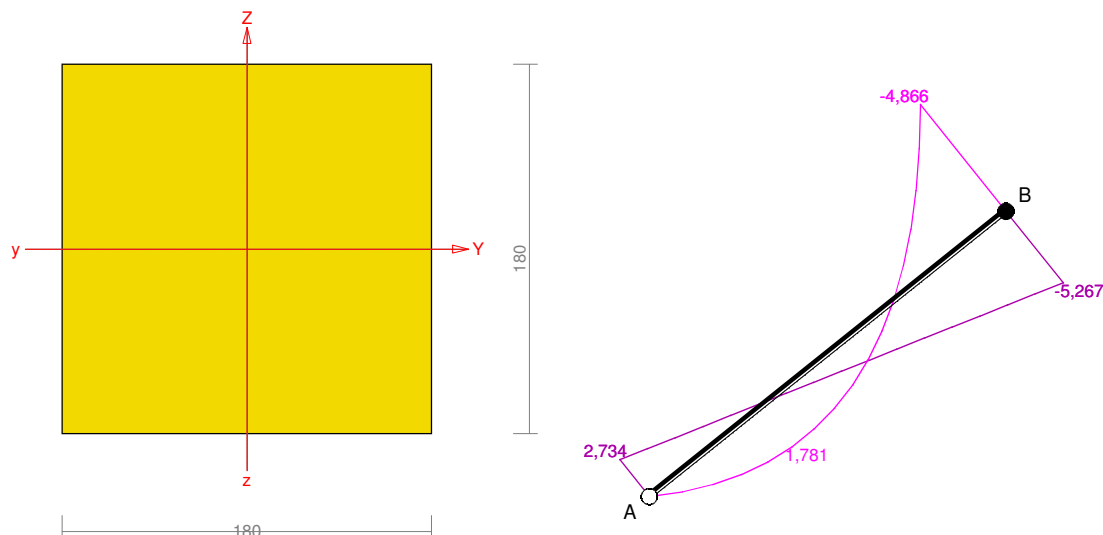
Obciążenia char.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

Pręt:	L/f:	Kombinacja obciążeń:
1	3251,6	ABCDEG
2	961,8	ABCDEG
3	1139,5	ABCDFG
4	3740,2	ABCDFG
5	3,4588E+17	ABEG
6	8,6469E+16	ABCG
7	5,2242E+16	ABDG
8	12554,2	ABCEG
9	12554,2	ABCEG

### 2.3. WYMIAROWANIE KONSTRUKCJI

Wymiarowanie konstrukcji wykonano w programie RM-Win.

**Pręt nr 1**



### Przekrój: 3 "B 18,0x18,0"

Wymiary przekroju:

$h=180,0$  mm  $b=180,0$  mm.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_y=8748,0$ ;  $J_z=8748,0$  cm<sup>4</sup>;  $A=324,00$  cm<sup>2</sup>;  $i_y=5,2$ ;  $i_z=5,2$  cm;  $W_y=972,0$ ;  $W_z=972,0$  cm<sup>3</sup>.

### Własności techniczne drewna:

Przyjęto 2 klasę użytkowania konstrukcji (*temperatura powietrza 20° i wilgotności powyżej 85% tylko przez kilka tygodni w roku*) oraz klasę trwania obciążenia: **Stale** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

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

$$\gamma_M = 1,3$$

Cechy drewna: **Drewno C30.**

$$f_{m,k} = 30,00$$

$$f_{m,d} = 13,85$$
 MPa

$$f_{t,0,k} = 18,00$$

$$f_{t,0,d} = 8,31$$
 MPa

$$f_{t,90,k} = 0,60$$

$$f_{t,90,d} = 0,28$$
 MPa

$$f_{c,0,k} = 23,00$$

$$f_{c,0,d} = 10,62$$
 MPa

$$f_{c,90,k} = 2,70$$

$$f_{c,90,d} = 1,25$$
 MPa

$$f_{v,k} = 3,00$$

$$f_{v,d} = 1,38$$
 MPa

$$E_{0,mean} = 12000$$
 MPa

$$E_{90,mean} = 400$$
 MPa

$$E_{0,05} = 8000$$
 MPa

$$G_{mean} = 750$$
 MPa

$$\rho_k = 380$$
 kg/m<sup>3</sup>

### Sprawdzenie nośności pręta nr 1

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-B-03150:2000. W obliczeniach uwzględniono ekstremalne wartości wielkości statycznych przy uwzględnieniu niekorzystnych kombinacji obciążeń.

### Nośność na rozciąganie:

Wyniki dla  $x_a=3,84$  m;  $x_b=0,00$  m, przy obciążeniach "ABDFG".

Pole powierzchni przekroju netto  $A_n = 324,00$  cm<sup>2</sup>.

$$\sigma_{t,0,d} = N / A_n = 3,997 / 324,00 \times 10 = \mathbf{0,123} < \mathbf{8,31} = f_{t,0,d}$$

### Nośność na ściskanie:

Wyniki dla  $x_a=0,00$  m;  $x_b=3,84$  m, przy obciążeniach "ABCDEG".

- długość wybocheniowa w płaszczyźnie układu (wyznaczona na podstawie podatności węzłów):

$$l_c = \mu l = 0,860 \times 3,842 = 3,304 \text{ m}$$

- długość wybocheniowa w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 3,842 = 3,842 \text{ m}$$

Długości wybocheniowe dla wybochenia w płaszczyznach prostopadłych do osi głównych przekroju, wynoszą:

$$l_{c,y} = 3,304 \text{ m}; \quad l_{c,z} = 3,842 \text{ m}$$

Współczynniki wybocheniowe:

$$\lambda_y = l_{c,y} / i_y = 3,304 / 0,0520 = 63,59$$

$$\lambda_z = l_{c,z} / i_z = 3,842 / 0,0520 = 73,94$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_y^2 = 9,87 \times 8000 / (63,59)^2 = 19,53 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_z^2 = 9,87 \times 8000 / (73,94)^2 = 14,44 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,y}} = \sqrt{23 / 19,53} = 1,085$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,z}} = \sqrt{23 / 14,44} = 1,262$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (1,085 - 0,5) + (1,085)^2] = 1,147$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (1,262 - 0,5) + (1,262)^2] = 1,372$$

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}) = 1 / (1,147 + \sqrt{1,147^2 - 1,085^2}) = 0,658$$

$$k_{c,z} = 1 / (k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}) = 1 / (1,372 + \sqrt{1,372^2 - 1,262^2}) = 0,523$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju  $A_d = 324,00 \text{ cm}^2$ .

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 2,188 / 324,00 \times 10 = \mathbf{0,068} < \mathbf{5,55} = 0,523 \times 10,62 = k_{c,y} f_{c,0,d}$$

**Ściskanie ze zginaniem** dla  $x_a=1,20$  m;  $x_b=2,64$  m, przy obciążeniach "ABCDEG":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,012}{0,658 \times 10,62} + 0,7 \times \frac{0,000}{13,85} + \frac{1,834}{13,85} = \mathbf{0,134} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,012}{0,523 \times 10,62} + \frac{0,000}{13,85} + 0,7 \times \frac{1,834}{13,85} = \mathbf{0,095} < \mathbf{1}$$

### Nośność na zginanie:

Wyniki dla  $x_a=3,84$  m;  $x_b=0,00$  m, przy obciążeniach "ABDEG".

Długość obliczeniowa dla *pręta swobodnie podpartego, obciążonego równomiernie lub momentami na końcach*, przy obciążeniu przyłożonym do powierzchni górnej, wynosi:

$$l_d = 1,00 \times 3842 + 180 + 180 = 4202 \text{ mm}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{l_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = \sqrt{\frac{4202 \times 180 \times 13,85}{3,142 \times 180^2 \times 8000}} \times \sqrt[4]{\frac{12000}{750}} = 0,227$$

Wartość współczynnika zwichrzenia:

$$\text{dla } \lambda_{\text{rel,m}} \leq 0,75 \quad k_{\text{crit}} = 1$$

Warunek stateczności:

$$\sigma_{\text{m,d}} = M / W = 4,866 / 972,00 \times 10^3 = \mathbf{5,007} < \mathbf{13,846} = 1,000 \times 13,85 = k_{\text{crit}} f_{\text{m,d}}$$

Nośność dla  $x_a=3,84$  m;  $x_b=0,00$  m, przy obciążeniach "ABDEG":

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,109}{8,31} + \frac{5,007}{13,85} + 0,7 \times \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,375} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,109}{8,31} + 0,7 \times \frac{5,007}{13,85} + \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,266} < \mathbf{1}$$

Nośność ze ściskaniem dla  $x_a=1,20$  m;  $x_b=2,64$  m, przy obciążeniach "ABCDEG":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,012^2}{10,62^2} + \frac{1,834}{13,85} + 0,7 \times \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,132} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,012^2}{10,62^2} + 0,7 \times \frac{1,834}{13,85} + \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,093} < \mathbf{1}$$

### Nośność na ścinanie:

Wyniki dla  $x_a=3,84$  m;  $x_b=0,00$  m, przy obciążeniach "ABDEG".

Naprężenia tnące z uwzględnieniem redukcji sił poprzecznych przy podporach:

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / A = 1,5 \times 5,267 / 324,000 \times 10 = 0,244 \text{ MPa}$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 V_y / A = 1,5 \times 0,000 / 324,000 \times 10 = 0,000 \text{ MPa}$$

Przyjęto  $k_v = 1,000$ .

Warunek nośności

$$\tau = \sqrt{\tau_{z,d}^2 + \tau_{y,d}^2} = \sqrt{0,244^2 + 0,000^2} = \mathbf{0,244} < \mathbf{1,385} = 1,000 \times 1,38 = k_{v,d} f_{v,d}$$

### Stan graniczny użytkowania:

Wyniki dla  $x_a=1,44$  m;  $x_b=2,40$  m, przy obciążeniach "ABCDEG".

Ugięcie graniczne

$$u_{\text{net,fin}} = l / 200 = 19,2 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń stałych (ciężar własny + "AG"):

$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = -0,7 \times (1 + 0,80) = -1,3 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = 0,0 \times (1 + 0,80) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń zmiennych ("BCDE"):

Klasa trwania obciążeń zmiennych: **Średniotrwałe** (1 tydzień - 6 miesięcy, np. obciążenie użytkowe).

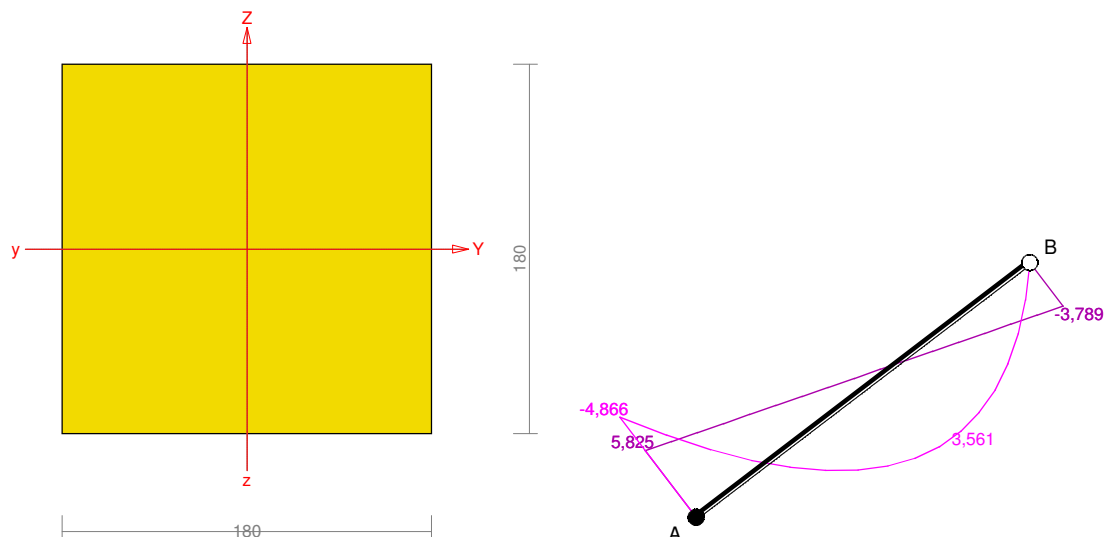
$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = -0,5 \times (1 + 0,25) = -0,6 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = 0,0 \times (1 + 0,25) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcie całkowite:

$$u_{z,\text{fin}} = -1,3 + -0,6 = \mathbf{1,9} < \mathbf{19,2} = u_{\text{net,fin}}$$

## Pręt nr 2



### Przekrój: 3 "B 18,0x18,0"

Wymiary przekroju:

$h=180,0$  mm  $b=180,0$  mm.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_y=8748,0$ ;  $J_z=8748,0$  cm<sup>4</sup>;  $A=324,00$  cm<sup>2</sup>;  $i_y=5,2$ ;  $i_z=5,2$  cm;  $W_y=972,0$ ;  $W_z=972,0$  cm<sup>3</sup>.

### Własności techniczne drewna:

Przyjęto 2 klasę użytkowania konstrukcji (*temperatura powietrza 20° i wilgotności powyżej 85% tylko przez kilka tygodni w roku*) oraz klasę trwania obciążenia: **Stałe** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

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

$$\gamma_M = 1,3$$

Cechy drewna: **Drewno C30.**

$$f_{m,k} = 30,00$$

$$f_{m,d} = 13,85$$
 MPa

$$f_{t,0,k} = 18,00$$

$$f_{t,0,d} = 8,31$$
 MPa

$$f_{t,90,k} = 0,60$$

$$f_{t,90,d} = 0,28$$
 MPa

$$f_{c,0,k} = 23,00$$

$$f_{c,0,d} = 10,62$$
 MPa

$$f_{c,90,k} = 2,70$$

$$f_{c,90,d} = 1,25$$
 MPa

$$f_{v,k} = 3,00$$

$$f_{v,d} = 1,38$$
 MPa

$$E_{0,mean} = 12000$$
 MPa

$$E_{90,mean} = 400$$
 MPa

$$E_{0,05} = 8000$$
 MPa

$$G_{mean} = 750$$
 MPa

$$\rho_k = 380$$
 kg/m<sup>3</sup>

### Sprawdzenie nośności pręta nr 2

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-B-03150:2000. W obliczeniach uwzględniono ekstremalne wartości wielkości statycznych przy uwzględnieniu niekorzystnych kombinacji obciążeń.

### Nośność na rozciąganie:

Wyniki dla  $x_a=4,78$  m;  $x_b=0,00$  m, przy obciążeniach "ABCDEG".

Pole powierzchni przekroju netto  $A_n = 324,00$  cm<sup>2</sup>.

$$\sigma_{t,0,d} = N / A_n = 3,684 / 324,00 \times 10 = \mathbf{0,114} < \mathbf{8,31} = f_{t,0,d}$$

### Nośność na ściskanie:

Wyniki dla  $x_a=0,00$  m;  $x_b=4,78$  m, przy obciążeniach "ABDFG".

- długość wybocheniowa w płaszczyźnie układu (wyznaczona na podstawie podatności węzłów):

$$l_c = \mu l = 0,825 \times 4,780 = 3,943 \text{ m}$$

- długość wybocheniowa w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 4,780 = 4,780 \text{ m}$$

Długości wybocheniowe dla wybochenia w płaszczyznach prostopadłych do osi głównych przekroju, wynoszą:

$$l_{c,y} = 3,944 \text{ m}; \quad l_{c,z} = 4,780 \text{ m}$$

Współczynniki wybocheniowe:

$$\lambda_y = l_{c,y} / i_y = 3,944 / 0,0520 = 75,90$$

$$\lambda_z = l_{c,z} / i_z = 4,780 / 0,0520 = 91,99$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_y^2 = 9,87 \times 8000 / (75,90)^2 = 13,71 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_z^2 = 9,87 \times 8000 / (91,99)^2 = 9,33 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,y}} = \sqrt{23 / 13,71} = 1,295$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,z}} = \sqrt{23 / 9,33} = 1,570$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (1,295 - 0,5) + (1,295)^2] = 1,418$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (1,570 - 0,5) + (1,570)^2] = 1,840$$

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}) = 1 / (1,418 + \sqrt{1,418^2 - 1,295^2}) = 0,501$$

$$k_{c,z} = 1 / (k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}) = 1 / (1,840 + \sqrt{1,840^2 - 1,570^2}) = 0,357$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju  $A_d = 324,00 \text{ cm}^2$ .

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 3,943 / 324,00 \times 10 = \mathbf{0,122} < \mathbf{3,79} = 0,357 \times 10,62 = k_{c,y} f_{c,0,d}$$

**Ściskanie ze zginaniem** dla  $x_a=0,00$  m;  $x_b=4,78$  m, przy obciążeniach "ABDEG":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,103}{0,501 \times 10,62} + 0,7 \times \frac{0,000}{13,85} + \frac{5,007}{13,85} = \mathbf{0,381} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,103}{0,357 \times 10,62} + \frac{0,000}{13,85} + 0,7 \times \frac{5,007}{13,85} = \mathbf{0,280} < \mathbf{1}$$

### Nośność na zginanie:

Wyniki dla  $x_a=0,00$  m;  $x_b=4,78$  m, przy obciążeniach "ABDEG".

Długość obliczeniowa dla **pręta swobodnie podpartego, obciążonego równomiernie lub momentami na końcach**, przy obciążeniu przyłożonym do powierzchni górnej, wynosi:

$$l_d = 1,00 \times 4780 + 180 + 180 = 5140 \text{ mm}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{l_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = \sqrt{\frac{5140 \times 180 \times 13,85}{3,142 \times 180^2 \times 8000}} \times \sqrt[4]{\frac{12000}{750}} = 0,251$$

Wartość współczynnika zwichtnienia:

$$\text{dla } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \quad k_{crit} = 1$$

Warunek stateczności:

$$\sigma_{m,d} = M / W = 4,866 / 972,00 \times 10^3 = \mathbf{5,007} < \mathbf{13,846} = 1,000 \times 13,85 = k_{\text{crit}} f_{m,d}$$

Nośność dla  $x_a=2,99$  m;  $x_b=1,79$  m, przy obciążeniach "ABCDEG":

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,038}{8,31} + \frac{3,665}{13,85} + 0,7 \times \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,269} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,038}{8,31} + 0,7 \times \frac{3,665}{13,85} + \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,190} < \mathbf{1}$$

Nośność ze ściskaniem dla  $x_a=0,00$  m;  $x_b=4,78$  m, przy obciążeniach "ABDEG":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,103^2}{10,62^2} + \frac{5,007}{13,85} + 0,7 \times \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,362} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,103^2}{10,62^2} + 0,7 \times \frac{5,007}{13,85} + \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,253} < \mathbf{1}$$

### Nośność na ścinanie:

Wyniki dla  $x_a=0,00$  m;  $x_b=4,78$  m, przy obciążeniach "ABDEG".

Naprężenia tnące z uwzględnieniem redukcji sił poprzecznych przy podporach:

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / A = 1,5 \times 5,825 / 324,000 \times 10 = 0,270 \text{ MPa}$$

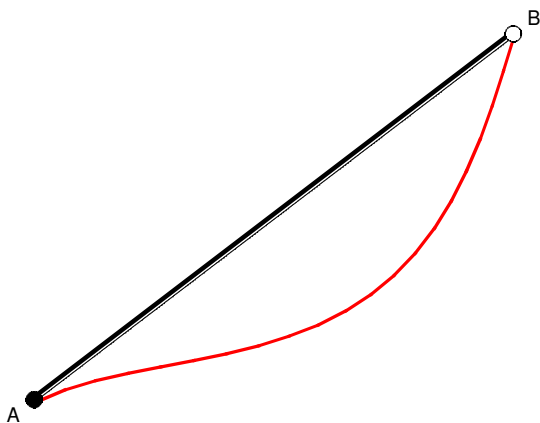
$$\tau_{y,d} = 1,5 V_y / A = 1,5 \times 0,000 / 324,000 \times 10 = 0,000 \text{ MPa}$$

Przyjęto  $k_v = 1,000$ .

Warunek nośności

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{z,d}^2 + \tau_{y,d}^2} = \sqrt{0,270^2 + 0,000^2} = \mathbf{0,270} < \mathbf{1,385} = 1,000 \times 1,38 = k_{v,d} f_{v,d}$$

### Stan graniczny użytkowania:



Wyniki dla  $x_a=2,69$  m;  $x_b=2,09$  m, przy obciążeniach "ABCDEG".

Ugięcia graniczne

$$u_{\text{net,fin}} = l / 200 = 23,9 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń stałych (ciężar własny + "AG"):

$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} (1 + k_{\text{def}}) = -2,6 \times (1 + 0,80) = -4,6 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} (1 + k_{\text{def}}) = 0,0 \times (1 + 0,80) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń zmiennych ("BCDE"):

Klasa trwania obciążeń zmiennych: **Średniotrwałe** (1 tydzień - 6 miesięcy, np. obciążenie użytkowe).

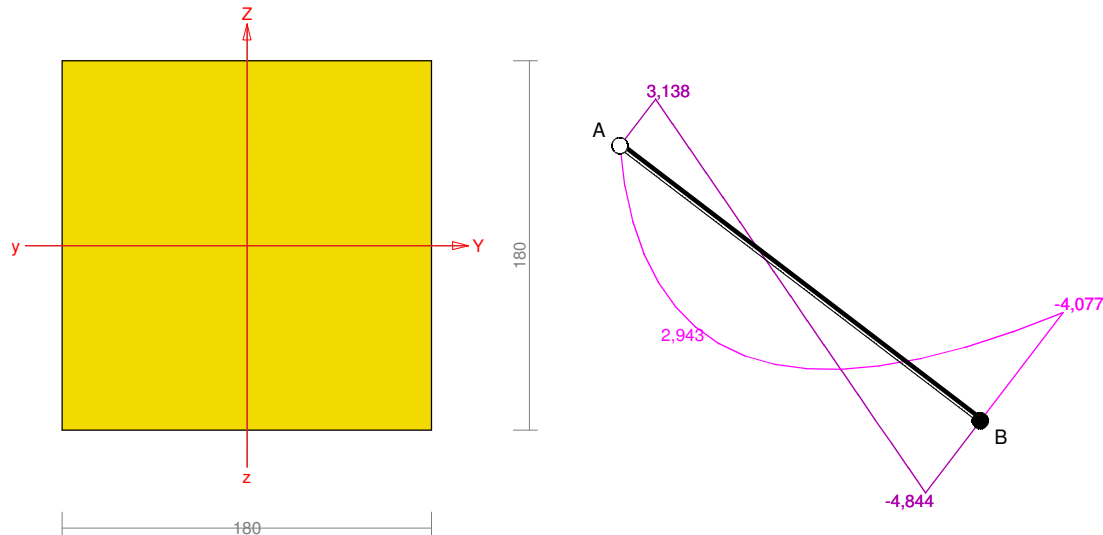
$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = -2,5 \times (1 + 0,25) = -3,1 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = 0,0 \times (1 + 0,25) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcie całkowite:

$$u_{z,\text{fin}} = -4,6 + -3,1 = 7,8 < 23,9 = u_{\text{net,fin}}$$

### Pręt nr 3



### Przekrój: 3 "B 18,0x18,0"

Wymiary przekroju:

$h=180,0 \text{ mm}$   $b=180,0 \text{ mm}$ .

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_y=8748,0$ ;  $J_z=8748,0 \text{ cm}^4$ ;  $A=324,00 \text{ cm}^2$ ;  $i_y=5,2$ ;  $i_z=5,2 \text{ cm}$ ;  $W_y=972,0$ ;  $W_z=972,0 \text{ cm}^3$ .

### Własności techniczne drewna:

Przyjęto 2 klasę użytkowania konstrukcji (temperatura powietrza  $20^\circ$  i wilgotności powyżej 85% tylko przez kilka tygodni w roku) oraz klasę trwania obciążenia: **Stale** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

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

$$\gamma_M = 1,3$$

Cechy drewna: **Drewno C30**.

$$f_{m,k} = 30,00$$

$$f_{m,d} = 13,85 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,k} = 18,00$$

$$f_{t,0,d} = 8,31 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,60$$

$$f_{t,90,d} = 0,28 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 23,00$$

$$f_{c,0,d} = 10,62 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 2,70$$

$$f_{c,90,d} = 1,25 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 3,00$$

$$f_{v,d} = 1,38 \text{ MPa}$$

$$E_{0,\text{mean}} = 12000 \text{ MPa}$$

$$E_{90,\text{mean}} = 400 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 8000 \text{ MPa}$$

$$G_{\text{mean}} = 750 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$$

### Sprawdzenie nośności pręta nr 3

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-B-03150:2000. W obliczeniach uwzględniono ekstremalne wartości wielkości statycznych przy uwzględnieniu niekorzystnych kombinacji obciążeń.

#### Nośność na rozciąganie:

Wyniki dla  $x_a=0,00$  m;  $x_b=4,78$  m, przy obciążeniach "ABCDFG".

Pole powierzchni przekroju netto  $A_n = 324,00$  cm<sup>2</sup>.

$$\sigma_{t,0,d} = N / A_n = 3,218 / 324,00 \times 10 = \mathbf{0,099} < \mathbf{8,31} = f_{t,0,d}$$

#### Nośność na ściskanie:

Wyniki dla  $x_a=4,78$  m;  $x_b=0,00$  m, przy obciążeniach "ABDEG".

- długość wybocheniowa w płaszczyźnie układu (wyznaczona na podstawie podatności węzłów):

$$l_c = \mu l = 0,825 \times 4,780 = 3,943 \text{ m}$$

- długość wybocheniowa w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 4,780 = 4,780 \text{ m}$$

Długości wybocheniowe dla wybochenia w płaszczyznach prostopadłych do osi głównych przekroju, wynoszą:

$$l_{c,y} = 3,944 \text{ m}; \quad l_{c,z} = 4,780 \text{ m}$$

Współczynniki wybocheniowe:

$$\lambda_y = l_{c,y} / i_y = 3,944 / 0,0520 = 75,90$$

$$\lambda_z = l_{c,z} / i_z = 4,780 / 0,0520 = 91,99$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_y^2 = 9,87 \times 8000 / (75,90)^2 = 13,71 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_z^2 = 9,87 \times 8000 / (91,99)^2 = 9,33 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,y}} = \sqrt{23/13,71} = 1,295$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,z}} = \sqrt{23/9,33} = 1,570$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (1,295 - 0,5) + (1,295)^2] = 1,418$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (1,570 - 0,5) + (1,570)^2] = 1,840$$

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}) = 1 / (1,418 + \sqrt{1,418^2 - 1,295^2}) = 0,501$$

$$k_{c,z} = 1 / (k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}) = 1 / (1,840 + \sqrt{1,840^2 - 1,570^2}) = 0,357$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju  $A_d = 324,00$  cm<sup>2</sup>.

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 3,225 / 324,00 \times 10 = \mathbf{0,100} < \mathbf{3,79} = 0,357 \times 10,62 = k_{c,z} f_{c,0,d}$$

Ściskanie ze zginaniem dla  $x_a=4,78$  m;  $x_b=0,00$  m, przy obciążeniach "ABDFG":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,079}{0,501 \times 10,62} + 0,7 \times \frac{0,000}{13,85} + \frac{4,195}{13,85} = \mathbf{0,318} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,079}{0,357 \times 10,62} + \frac{0,000}{13,85} + 0,7 \times \frac{4,195}{13,85} = \mathbf{0,233} < \mathbf{1}$$

#### Nośność na zginanie:

Wyniki dla  $x_a=4,78$  m;  $x_b=0,00$  m, przy obciążeniach "ABDFG".

Długość obliczeniowa dla *pręta swobodnie podpartego, obciążonego równomiernie lub momentami na*

**końcach**, przy obciążeniu przyłożonym do powierzchni **górnjej**, wynosi:

$$l_d = 1,00 \times 4780 + 180 + 180 = 5140 \text{ mm}$$

$$\lambda_{\text{rel,m}} = \sqrt{\frac{l_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,\text{mean}}}{G_{\text{mean}}}} = \sqrt{\frac{5140 \times 180 \times 13,85}{3,142 \times 180^2 \times 8000}} \times \sqrt[4]{\frac{12000}{750}} = 0,251$$

Wartość współczynnika zwichrzenia:

$$\text{dla } \lambda_{\text{rel,m}} \leq 0,75 \quad k_{\text{crit}} = 1$$

Warunek stateczności:

$$\sigma_{m,d} = M / W = 4,077 / 972,00 \times 10^3 = \mathbf{4,195} < \mathbf{13,846} = 1,000 \times 13,85 = k_{\text{crit}} f_{m,d}$$

Nośność dla  $x_a=1,79$  m;  $x_b=2,99$  m, przy obciążeniach "ABCDGF":

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,038}{8,31} + \frac{3,029}{13,85} + 0,7 \times \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,223} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,038}{8,31} + 0,7 \times \frac{3,029}{13,85} + \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,158} < \mathbf{1}$$

Nośność ze ściskaniem dla  $x_a=4,78$  m;  $x_b=0,00$  m, przy obciążeniach "ABDFG":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,079^2}{10,62^2} + \frac{4,195}{13,85} + 0,7 \times \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,303} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,079^2}{10,62^2} + 0,7 \times \frac{4,195}{13,85} + \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,212} < \mathbf{1}$$

### Nośność na ścinanie:

Wyniki dla  $x_a=4,78$  m;  $x_b=0,00$  m, przy obciążeniach "ABDFG".

Naprężenia tnące z uwzględnieniem redukcji sił poprzecznych przy podporach:

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / A = 1,5 \times 4,844 / 324,000 \times 10 = 0,224 \text{ MPa}$$

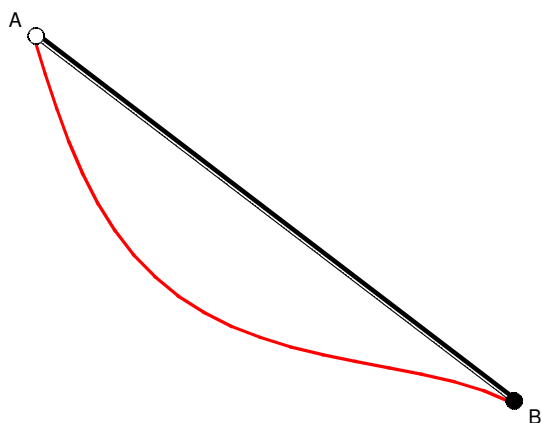
$$\tau_{y,d} = 1,5 V_y / A = 1,5 \times 0,000 / 324,000 \times 10 = 0,000 \text{ MPa}$$

Przyjęto  $k_v = 1,000$ .

Warunek nośności

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{z,d}^2 + \tau_{y,d}^2} = \sqrt{0,224^2 + 0,000^2} = \mathbf{0,224} < \mathbf{1,385} = 1,000 \times 1,38 = k_{v,d} f_{v,d}$$

### Stan graniczny użytkowania:



Wyniki dla  $x_a=2,09$  m;  $x_b=2,69$  m, przy obciążeniach “ABCDFG”.

Ugięcie graniczne

$$u_{\text{net,fin}} = l / 200 = 23,9 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń stałych (ciężar własny + “AG”):

$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = -2,6 \times (1 + 0,80) = -4,6 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = 0,0 \times (1 + 0,80) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń zmiennych (“BCDF”):

Klasa trwania obciążeń zmiennych: **Średniotrwałe** (1 tydzień - 6 miesięcy, np. obciążenie użytkowe).

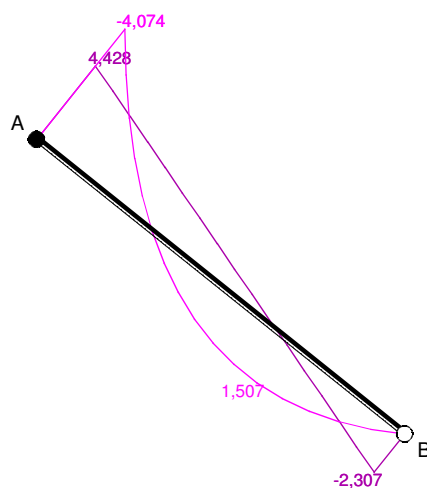
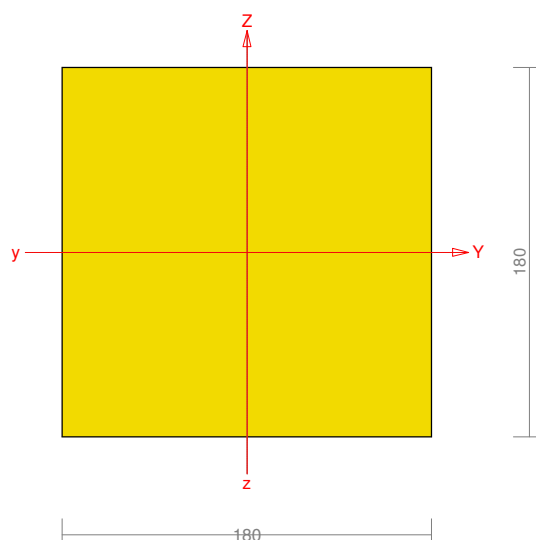
$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = -1,7 \times (1 + 0,25) = -2,2 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = 0,0 \times (1 + 0,25) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcie całkowite:

$$u_{z,\text{fin}} = -4,6 + -2,2 = \mathbf{6,8} < \mathbf{23,9} = u_{\text{net,fin}}$$

## Pręt nr 4



### Przekrój: 3 “B 18,0x18,0”

Wymiary przekroju:

$h=180,0$  mm  $b=180,0$  mm.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_{yg}=8748,0$ ;  $J_{zg}=8748,0$  cm<sup>4</sup>;  $A=324,00$  cm<sup>2</sup>;  $i_y=5,2$ ;  $i_z=5,2$  cm;  $W_y=972,0$ ;  $W_z=972,0$  cm<sup>3</sup>.

## Własności techniczne drewna:

Przyjęto 2 klasę użytkowania konstrukcji (*temperatura powietrza 20° i wilgotności powyżej 85% tylko przez kilka tygodni w roku*) oraz klasę trwania obciążenia: **Stale** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

$$K_{mod} = 0,60 \quad \gamma_M = 1,3$$

Cechy drewna: **Drewno C30.**

$$f_{m,k} = 30,00 \quad f_{m,d} = 13,85 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,k} = 18,00 \quad f_{t,0,d} = 8,31 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,60 \quad f_{t,90,d} = 0,28 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 23,00 \quad f_{c,0,d} = 10,62 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 2,70 \quad f_{c,90,d} = 1,25 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 3,00 \quad f_{v,d} = 1,38 \text{ MPa}$$

$$E_{0,mean} = 12000 \text{ MPa}$$

$$E_{90,mean} = 400 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 8000 \text{ MPa}$$

$$G_{mean} = 750 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$$

## Sprawdzenie nośności pręta nr 4

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-B-03150:2000. W obliczeniach uwzględniono ekstremalne wartości wielkości statycznych przy uwzględnieniu niekorzystnych kombinacji obciążeń.

### Nośność na ściskanie:

Wyniki dla  $x_a=3,84 \text{ m}$ ;  $x_b=0,00 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABCDFG".

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie układu (wyznaczona na podstawie podatności węzłów):

$$l_c = \mu l = 0,860 \times 3,842 = 3,304 \text{ m}$$

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 3,842 = 3,842 \text{ m}$$

Długości wyboczeniowe dla wyboczenia w płaszczyznach prostopadłych do osi głównych przekroju, wynoszą:

$$l_{c,y} = 3,304 \text{ m}; \quad l_{c,z} = 3,842 \text{ m}$$

Współczynniki wyboczeniowe:

$$\lambda_y = l_{c,y} / i_y = 3,304 / 0,0520 = 63,59$$

$$\lambda_z = l_{c,z} / i_z = 3,842 / 0,0520 = 73,94$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_y^2 = 9,87 \times 8000 / (63,59)^2 = 19,53 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_z^2 = 9,87 \times 8000 / (73,94)^2 = 14,44 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,y}} = \sqrt{23/19,53} = 1,085$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,z}} = \sqrt{23/14,44} = 1,262$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (1,085 - 0,5) + (1,085)^2] = 1,147$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (1,262 - 0,5) + (1,262)^2] = 1,372$$

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}) = 1 / (1,147 + \sqrt{1,147^2 - 1,085^2}) = 0,658$$

$$k_{c,z} = 1 / (k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}) = 1 / (1,372 + \sqrt{1,372^2 - 1,262^2}) = 0,523$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju  $A_d = 324,00 \text{ cm}^2$ .

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 8,179 / 324,00 \times 10 = \mathbf{0,252} < \mathbf{5,55} = 0,523 \times 10,62 = k_c f_{c,0,d}$$

Ściskanie ze zginaniem dla  $x_a=0,00 \text{ m}$ ;  $x_b=3,84 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABCDGF":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,107}{0,658 \times 10,62} + 0,7 \times \frac{0,000}{13,85} + \frac{4,192}{13,85} = \mathbf{0,318} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,107}{0,523 \times 10,62} + \frac{0,000}{13,85} + 0,7 \times \frac{4,192}{13,85} = \mathbf{0,231} < \mathbf{1}$$

### Nośność na zginanie:

Wyniki dla  $x_a=0,00 \text{ m}$ ;  $x_b=3,84 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABDFG".

Długość obliczeniowa dla *pręta swobodnie podpartego, obciążonego równomiernie lub momentami na końcach*, przy obciążeniu przyłożonym do powierzchni górnej, wynosi:

$$l_d = 1,00 \times 3842 + 180 + 180 = 4202 \text{ mm}$$

$$\lambda_{\text{rel},m} = \sqrt{\frac{l_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,\text{mean}}}{G_{\text{mean}}}} = \sqrt{\frac{4202 \times 180 \times 13,85}{3,142 \times 180^2 \times 8000}} \times \sqrt[4]{\frac{12000}{750}} = 0,227$$

Wartość współczynnika zwichrzenia:

$$\text{dla } \lambda_{\text{rel},m} \leq 0,75 \quad k_{\text{crit}} = 1$$

Warunek stateczności:

$$\sigma_{m,d} = M / W = 4,077 / 972,00 \times 10^3 = \mathbf{4,195} < \mathbf{13,846} = 1,000 \times 13,85 = k_{\text{crit}} f_{m,d}$$

Nośność dla  $x_a=0,00 \text{ m}$ ;  $x_b=3,84 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABEG":

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{1,873}{13,85} + 0,7 \times \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,135} < \mathbf{1}$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,7 \times \frac{1,873}{13,85} + \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,095} < \mathbf{1}$$

Nośność ze ściskaniem dla  $x_a=0,00 \text{ m}$ ;  $x_b=3,84 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABDFG":

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,080^2}{10,62^2} + \frac{4,195}{13,85} + 0,7 \times \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,303} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,080^2}{10,62^2} + 0,7 \times \frac{4,195}{13,85} + \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,212} < \mathbf{1}$$

### Nośność na ścinanie:

Wyniki dla  $x_a=0,00 \text{ m}$ ;  $x_b=3,84 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABDFG".

Naprężenia tnące z uwzględnieniem redukcji sił poprzecznych przy podporach:

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / A = 1,5 \times 4,429 / 324,000 \times 10 = 0,205 \text{ MPa}$$

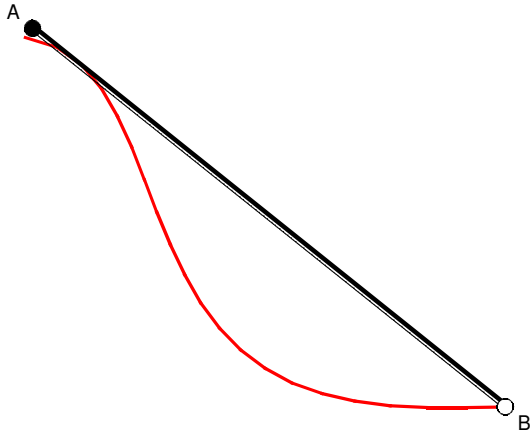
$$\tau_{y,d} = 1,5 V_y / A = 1,5 \times 0,000 / 324,000 \times 10 = 0,000 \text{ MPa}$$

Przyjęto  $k_v = 1,000$ .

Warunek nośności

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{z,d}^2 + \tau_{y,d}^2} = \sqrt{0,205^2 + 0,000^2} = 0,205 < 1,385 = 1,000 \times 1,38 = k f_{v,d}$$

**Stan graniczny użytkowania:**



Wyniki dla  $x_a=2,40$  m;  $x_b=1,44$  m, przy obciążeniach "ABCDFG".

Ugięcie graniczne

$$u_{net,fin} = l / 200 = 19,2 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń stałych (ciężar własny + "AG"):

$$u_{z,fin} = u_{z,inst} (1+k_{def}) = -0,7 \times (1 + 0,80) = -1,3 \text{ mm}$$

$$u_{y,fin} = u_{y,inst} (1+k_{def}) = 0,0 \times (1 + 0,80) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń zmiennych ("BCDF"):

Klasa trwania obciążeń zmiennych: **Średniotrwałe** (1 tydzień - 6 miesięcy, np. obciążenie użytkowe).

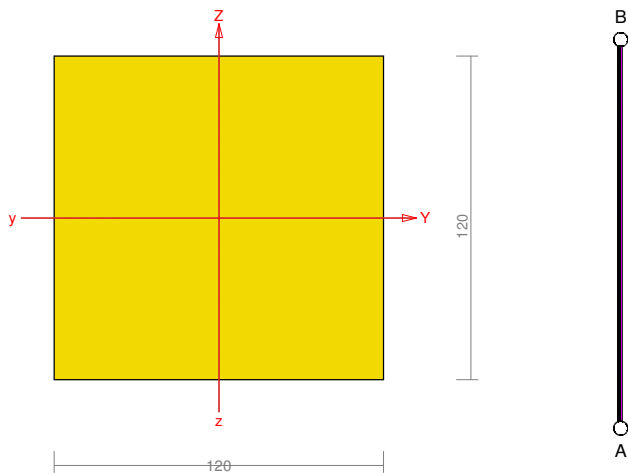
$$u_{z,fin} = u_{z,inst} (1+k_{def}) = -0,3 \times (1 + 0,25) = -0,4 \text{ mm}$$

$$u_{y,fin} = u_{y,inst} (1+k_{def}) = 0,0 \times (1 + 0,25) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcie całkowite:

$$u_{z,fin} = -1,3 + -0,4 = 1,7 < 19,2 = u_{net,fin}$$

**Pręt nr 5**



**Przekrój: 2** "B 12,0x12,0"

Wymiary przekroju:

$h=120,0$  mm  $b=120,0$  mm.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_y=1728,0$ ;  $J_z=1728,0 \text{ cm}^4$ ;  $A=144,00 \text{ cm}^2$ ;  $i_y=3,5$ ;  $i_z=3,5 \text{ cm}$ ;  $W_y=288,0$ ;  $W_z=288,0 \text{ cm}^3$ .

### Własności techniczne drewna:

Przyjęto 2 klasę użytkowania konstrukcji (*temperatura powietrza 20° i wilgotności powyżej 85% tylko przez kilka tygodni w roku*) oraz klasę trwania obciążenia: **Stale** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

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

$$\gamma_M = 1,3$$

Cechy drewna: **Drewno C30**.

$$f_{m,k} = 30,00$$

$$f_{m,d} = 13,85 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,k} = 18,00$$

$$f_{t,0,d} = 8,31 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,60$$

$$f_{t,90,d} = 0,28 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 23,00$$

$$f_{c,0,d} = 10,62 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 2,70$$

$$f_{c,90,d} = 1,25 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 3,00$$

$$f_{v,d} = 1,38 \text{ MPa}$$

$$E_{0,mean} = 12000 \text{ MPa}$$

$$E_{90,mean} = 400 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 8000 \text{ MPa}$$

$$G_{mean} = 750 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$$

### Sprawdzenie nośności pręta nr 5

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-B-03150:2000. W obliczeniach uwzględniono ekstremalne wartości wielkości statycznych przy uwzględnieniu niekorzystnych kombinacji obciążeń.

#### Nośność na ściskanie:

Wyniki dla  $x_a=0,00 \text{ m}$ ;  $x_b=2,40 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABCDEG".

- długość wybocheniowa w płaszczyźnie układu (wyznaczona na podstawie podatności węzłów):

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 2,400 = 2,400 \text{ m}$$

- długość wybocheniowa w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 2,400 = 2,400 \text{ m}$$

Długości wybocheniowe dla wybochenia w płaszczyznach prostopadłych do osi głównych przekroju, wynoszą:

$$l_{c,y} = 2,400 \text{ m};$$

$$l_{c,z} = 2,400 \text{ m}$$

Współczynniki wybocheniowe:

$$\lambda_y = l_{c,y} / i_y = 2,400 / 0,0346 = 69,28$$

$$\lambda_z = l_{c,z} / i_z = 2,400 / 0,0346 = 69,28$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_y^2 = 9,87 \times 8000 / (69,28)^2 = 16,45 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_z^2 = 9,87 \times 8000 / (69,28)^2 = 16,45 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,y}} = \sqrt{23 / 16,45} = 1,182$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,z}} = \sqrt{23 / 16,45} = 1,182$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (1,182 - 0,5) + (1,182)^2] = 1,267$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (1,182 - 0,5) + (1,182)^2] = 1,267$$

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}) = 1 / (1,267 + \sqrt{1,267^2 - 1,182^2}) = 0,580$$

$$k_{c,z} = 1 / (k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}) = 1 / (1,267 + \sqrt{1,267^2 - 1,182^2}) = 0,580$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju  $A_d = 144,00 \text{ cm}^2$ .

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 16,381 / 144,00 \times 10 = \mathbf{1,138} < \mathbf{6,16} = 0,580 \times 10,62 = k_c f_{c,0,d}$$

**Stan graniczny użytkowania:**



Wyniki dla  $x_a = 2,40 \text{ m}$ ;  $x_b = 0,00 \text{ m}$ , przy obciążeniach “ABCDEG”.

Ugięcie graniczne

$$u_{net,fin} = l / 200 = 12,0 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń stałych (ciężar własny + “AG”):

$$u_{z,fin} = u_{z,inst} (1 + k_{def}) = 0,0 \times (1 + 0,80) = 0,0 \text{ mm}$$

$$u_{y,fin} = u_{y,inst} (1 + k_{def}) = 0,0 \times (1 + 0,80) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń zmiennych (“BCDE”):

Klasa trwania obciążeń zmiennych: *Średniotrwałe* (1 tydzień - 6 miesięcy, np. obciążenie użytkowe).

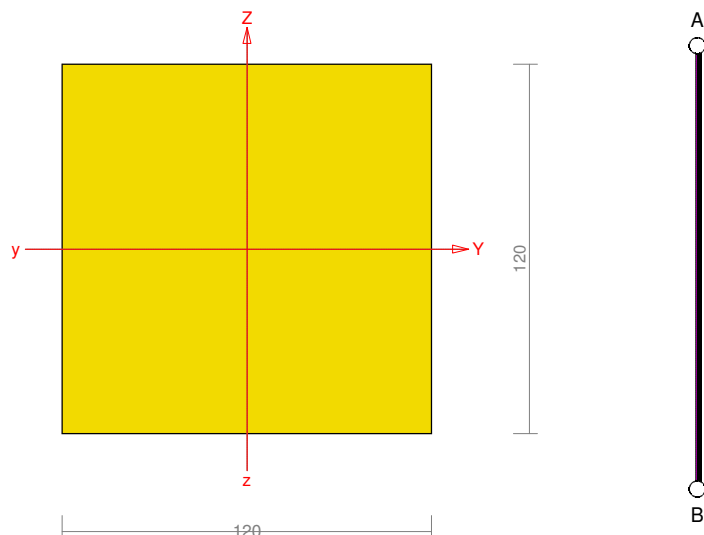
$$u_{z,fin} = u_{z,inst} (1 + k_{def}) = 0,0 \times (1 + 0,25) = 0,0 \text{ mm}$$

$$u_{y,fin} = u_{y,inst} (1 + k_{def}) = 0,0 \times (1 + 0,25) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcie całkowite:

$$u_{z,fin} = 0,0 + 0,0 = \mathbf{0,0} < \mathbf{12,0} = u_{net,fin}$$

**Pręt nr 6**



### Przekrój: 2 "B 12,0x12,0"

Wymiary przekroju:

$h=120,0$  mm  $b=120,0$  mm.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_y=1728,0$ ;  $J_z=1728,0$  cm<sup>4</sup>;  $A=144,00$  cm<sup>2</sup>;  $i_y=3,5$ ;  $i_z=3,5$  cm;  $W_y=288,0$ ;  $W_z=288,0$  cm<sup>3</sup>.

### Własności techniczne drewna:

Przyjęto 2 klasę użytkowania konstrukcji (*temperatura powietrza 20° i wilgotności powyżej 85% tylko przez kilka tygodni w roku*) oraz klasę trwania obciążenia: **Stałe** (*więcej niż 10 lat, np. ciężar własny*).

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

$$\gamma_M = 1,3$$

Cechy drewna: **Drewno C30.**

$$f_{m,k} = 30,00$$

$$f_{m,d} = 13,85$$
 MPa

$$f_{t,0,k} = 18,00$$

$$f_{t,0,d} = 8,31$$
 MPa

$$f_{t,90,k} = 0,60$$

$$f_{t,90,d} = 0,28$$
 MPa

$$f_{c,0,k} = 23,00$$

$$f_{c,0,d} = 10,62$$
 MPa

$$f_{c,90,k} = 2,70$$

$$f_{c,90,d} = 1,25$$
 MPa

$$f_{v,k} = 3,00$$

$$f_{v,d} = 1,38$$
 MPa

$$E_{0,mean} = 12000$$
 MPa

$$E_{90,mean} = 400$$
 MPa

$$E_{0,05} = 8000$$
 MPa

$$G_{mean} = 750$$
 MPa

$$\rho_k = 380$$
 kg/m<sup>3</sup>

### Sprawdzenie nośności pręta nr 6

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-B-03150:2000. W obliczeniach uwzględniono ekstremalne wartości wielkości statycznych przy uwzględnieniu niekorzystnych kombinacji obciążeń.

#### Nośność na ściskanie:

Wyniki dla  $x_a=2,40$  m;  $x_b=0,00$  m, przy obciążeniach "ABCDFG".

- długość wybocheniowa w płaszczyźnie układu (wyznaczona na podstawie podatności węzłów):

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 2,400 = 2,400$$
 m

- długość wybocheniowa w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 2,400 = 2,400 \text{ m}$$

Długości wybocheniowe dla wybochenia w płaszczyznach prostopadłych do osi głównych przekroju, wynoszą:

$$l_{c,y} = 2,400 \text{ m}; \quad l_{c,z} = 2,400 \text{ m}$$

Współczynniki wybocheniowe:

$$\lambda_y = l_{c,y} / i_y = 2,400 / 0,0346 = 69,28$$

$$\lambda_z = l_{c,z} / i_z = 2,400 / 0,0346 = 69,28$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_y^2 = 9,87 \times 8000 / (69,28)^2 = 16,45 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_z^2 = 9,87 \times 8000 / (69,28)^2 = 16,45 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,y}} = \sqrt{23 / 16,45} = 1,182$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,z}} = \sqrt{23 / 16,45} = 1,182$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (1,182 - 0,5) + (1,182)^2] = 1,267$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (1,182 - 0,5) + (1,182)^2] = 1,267$$

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}) = 1 / (1,267 + \sqrt{1,267^2 - 1,182^2}) = 0,580$$

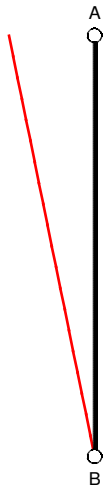
$$k_{c,z} = 1 / (k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}) = 1 / (1,267 + \sqrt{1,267^2 - 1,182^2}) = 0,580$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju  $A_d = 144,00 \text{ cm}^2$ .

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 10,101 / 144,00 \times 10 = \mathbf{0,701} < \mathbf{6,16} = 0,580 \times 10,62 = k_{c,y} f_{c,0,d}$$

**Stan graniczny użytkowania:**



Wyniki dla  $x_a = 0,00 \text{ m}$ ;  $x_b = 2,40 \text{ m}$ , przy obciążeniach "ABCDFG".

Ugięcie graniczne

$$u_{net,fin} = l / 200 = 12,0 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń stałych (ciężar własny + "AG"):

$$u_{z,fin} = u_{z,inst} (1 + k_{def}) = 0,0 \times (1 + 0,80) = 0,0 \text{ mm}$$

$$u_{y,fin} = u_{y,inst} (1 + k_{def}) = 0,0 \times (1 + 0,80) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń zmiennych ("BCDF"):

Klasa trwania obciążeń zmiennych: **Średniotrwałe** (1 tydzień - 6 miesięcy, np. obciążenie użytkowe).

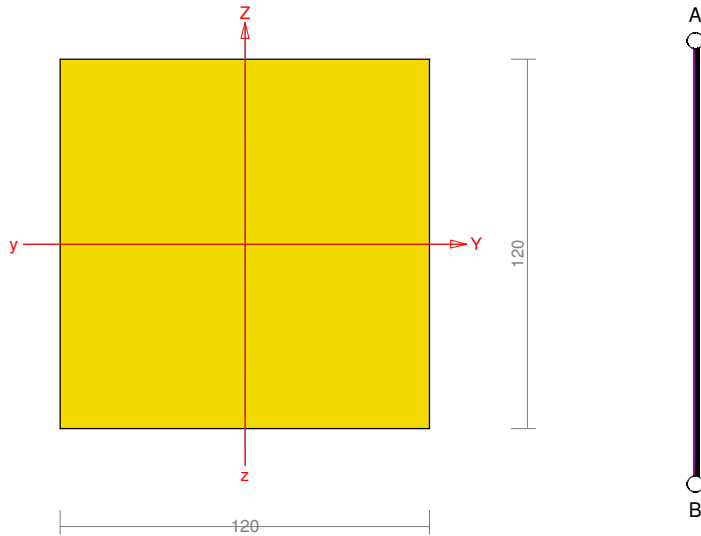
$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = 0,0 \times (1 + 0,25) = 0,0 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = 0,0 \times (1 + 0,25) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcie całkowite:

$$u_{z,\text{fin}} = 0,0 + 0,0 = \mathbf{0,0} < \mathbf{12,0} = u_{\text{net,fin}}$$

## Pręt nr 7



### Przekrój: 2 "B 12,0x12,0"

Wymiary przekroju:

$$h=120,0 \text{ mm} \quad b=120,0 \text{ mm.}$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_{y,g}=1728,0; \quad J_{z,g}=1728,0 \text{ cm}^4; \quad A=144,00 \text{ cm}^2; \quad i_y=3,5; \quad i_z=3,5 \text{ cm}; \quad W_y=288,0; \quad W_z=288,0 \text{ cm}^3.$$

### Własności techniczne drewna:

Przyjęto 2 klasę użytkowania konstrukcji (*temperatura powietrza 20° i wilgotności powyżej 85% tylko przez kilka tygodni w roku*) oraz klasę trwania obciążenia: **Stałe** (*więcej niż 10 lat, np. ciężar własny*).

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

$$\gamma_M = 1,3$$

Cechy drewna: **Drewno C30.**

$$f_{m,k} = 30,00$$

$$f_{m,d} = 13,85 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,k} = 18,00$$

$$f_{t,0,d} = 8,31 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,60$$

$$f_{t,90,d} = 0,28 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 23,00$$

$$f_{c,0,d} = 10,62 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 2,70$$

$$f_{c,90,d} = 1,25 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 3,00$$

$$f_{v,d} = 1,38 \text{ MPa}$$

$$E_{0,\text{mean}} = 12000 \text{ MPa}$$

$$E_{90,\text{mean}} = 400 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 8000 \text{ MPa}$$

$$G_{\text{mean}} = 750 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$$

## Sprawdzenie nośności pręta nr 7

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-B-03150:2000. W obliczeniach uwzględniono ekstremalne wartości wielkości statycznych przy uwzględnieniu niekorzystnych kombinacji obciążeń.

### Nośność na ściskanie:

Wyniki dla  $x_a=2,90$  m;  $x_b=0,00$  m, przy obciążeniach "ABCDFG".

- długość wybocheniowa w płaszczyźnie układu (wyznaczona na podstawie podatności węzłów):

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 2,900 = 2,900 \text{ m}$$

- długość wybocheniowa w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 2,900 = 2,900 \text{ m}$$

Długości wybocheniowe dla wybochenia w płaszczyznach prostopadłych do osi głównych przekroju, wynoszą:

$$l_{c,y} = 2,900 \text{ m}; \quad l_{c,z} = 2,900 \text{ m}$$

Współczynniki wybocheniowe:

$$\lambda_y = l_{c,y} / i_y = 2,900 / 0,0346 = 83,72$$

$$\lambda_z = l_{c,z} / i_z = 2,900 / 0,0346 = 83,72$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_y^2 = 9,87 \times 8000 / (83,72)^2 = 11,27 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_z^2 = 9,87 \times 8000 / (83,72)^2 = 11,27 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,y}} = \sqrt{23 / 11,27} = 1,429$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,z}} = \sqrt{23 / 11,27} = 1,429$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (1,429 - 0,5) + (1,429)^2] = 1,614$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (1,429 - 0,5) + (1,429)^2] = 1,614$$

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}) = 1 / (1,614 + \sqrt{1,614^2 - 1,429^2}) = 0,423$$

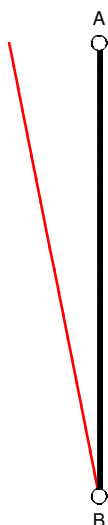
$$k_{c,z} = 1 / (k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}) = 1 / (1,614 + \sqrt{1,614^2 - 1,429^2}) = 0,423$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju  $A_d = 144,00 \text{ cm}^2$ .

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 8,894 / 144,00 \times 10 = \mathbf{0,618} < \mathbf{4,49} = 0,423 \times 10,62 = k_c f_{c,0,d}$$

### Stan graniczny użytkowania:



Wyniki dla  $x_a=0,00$  m;  $x_b=2,90$  m, przy obciążeniach "ABCDFG".

Ugięcie graniczne

$$u_{\text{net,fin}} = l / 200 = 14,5 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń stałych (ciężar własny + "AG"):

$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = 0,0 \times (1 + 0,80) = 0,0 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = 0,0 \times (1 + 0,80) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń zmiennych ("BCDF"):

Klasa trwania obciążeń zmiennych: **Średniotrwała** (1 tydzień - 6 miesięcy, np. obciążenie użytkowe).

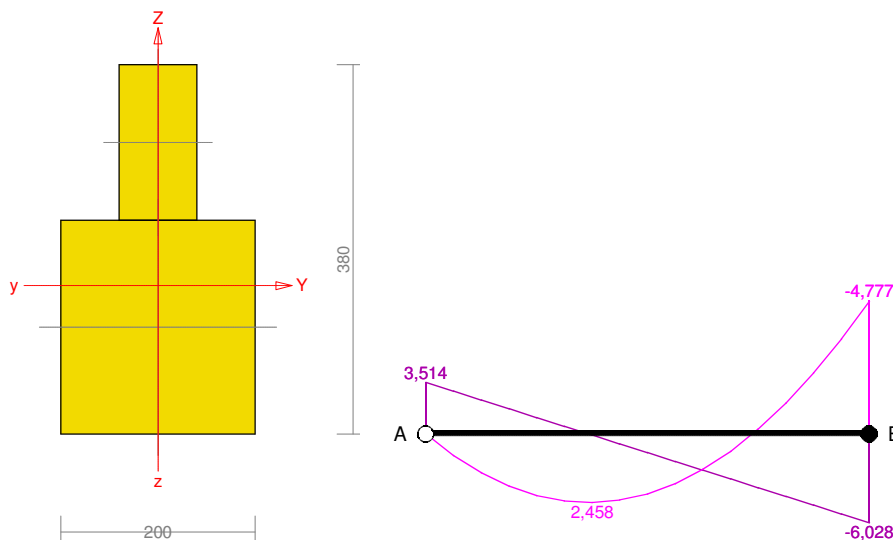
$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = 0,0 \times (1 + 0,25) = 0,0 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = 0,0 \times (1 + 0,25) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcie całkowite:

$$u_{z,\text{fin}} = 0,0 + 0,0 = \mathbf{0,1} < \mathbf{14,5} = u_{\text{net,fin}}$$

## Pręt nr 8



### Przekrój: 1 "Ia 38x20"

Wymiary przekroju:

$$h=380,0 \text{ mm} \quad b=200,0 \text{ mm.}$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_{yg}=56272,3; \quad J_{zg}=15349,3 \text{ cm}^4; \quad A=568,00 \text{ cm}^2; \quad i_y=10,0; \quad i_z=5,2 \text{ cm}; \quad W_y=2477,0; \quad W_z=1534,9 \text{ cm}^3.$$

### Własności techniczne drewna:

Przyjęto 2 klasę użytkowania konstrukcji (*temperatura powietrza 20° i wilgotności powyżej 85% tylko przez kilka tygodni w roku*) oraz klasę trwania obciążenia: **Stale** (*więcej niż 10 lat, np. ciężar własny*).

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

$$\gamma_M = 1,3$$

Cechy drewna: **Drewno C30.**

$$f_{m,k} = 30,00$$

$$f_{m,d} = 13,85 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,k} = 18,00$$

$$f_{t,0,d} = 8,31 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,60$$

$$f_{t,90,d} = 0,28 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 23,00$$

$$f_{c,0,d} = 10,62 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 2,70$$

$$f_{c,90,d} = 1,25 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 3,00$$

$$f_{v,d} = 1,38 \text{ MPa}$$

$$E_{0,\text{mean}} = 12000 \text{ MPa}$$

$$E_{90,\text{mean}} = 400 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 8000 \text{ MPa}$$

$$G_{\text{mean}} = 750 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$$

## Sprawdzenie nośności pręta nr 8

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-B-03150:2000. W obliczeniach uwzględniono ekstremalne wartości wielkości statycznych przy uwzględnieniu niekorzystnych kombinacji obciążeń.

### Nośność na rozciąganie:

Wyniki dla  $x_a=0,00 \text{ m}$ ;  $x_b=3,80 \text{ m}$ , przy obciążeniach „ABFG”.

Pole powierzchni przekroju netto  $A_n = 568,00 \text{ cm}^2$ .

$$\sigma_{t,0,d} = N / A_n = 0,918 / 568,00 \times 10 = \mathbf{0,016} < \mathbf{8,31} = f_{t,0,d}$$

### Charakterystyka zastępcza przekroju:

Gałęzie przekroju połączone są łącznikami mechanicznymi w postaci gwoździ o średnicy 15,0 mm.

Podatność łączników:

$$K_u = 2/3 \rho_k^{1,5} d^{0,8} / 25 = 2/3 \cdot 380^{1,5} \times 15,0^{0,8} / 25 = 1724 \text{ N/mm}$$

### Dla płaszczyzny prostopadłej do szwów:

$$\gamma_1 = [1 + \pi^2 E A_1 s_1 / (K l)^2]^{-1} = [1 + 3,142^2 \times 8000 \times 128,0 \times 100 / (1724 \times 3,203^2) \times 10^{-4}]^{-1} = 0,149$$

$$\gamma_2 = 1$$

Współrzędne środków elementów przekroju wynoszą:

$$a_1 = 18,21;$$

$$a_2 = 0,79 \text{ cm}$$

Zastępczy moment bezwładności:

$$I_{ef} = \Sigma (I_i + \gamma_i A_i a_i^2) = 2730,7 + 0,149 \times 128,0 \times 18,21^2 + 17746,7 + 1,000 \times 440,0 \times 0,79^2 = 27074,8 \text{ cm}^4$$

### Nośność na ściskanie:

Wyniki dla  $x_a=0,00 \text{ m}$ ;  $x_b=3,80 \text{ m}$ , przy obciążeniach „ABCDEG”.

- długość wybocheniowa w płaszczyźnie układu (wyznaczona na podstawie podatności węzłów):

$$l_c = \mu l = 0,843 \times 3,800 = 3,203 \text{ m}$$

- długość wybocheniowa w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 3,800 = 3,800 \text{ m}$$

Długości wybocheniowe dla wybochenia w płaszczyznach prostopadłych do osi głównych przekroju, wynoszą:

$$l_{c,y} = 3,203 \text{ m};$$

$$l_{c,z} = 3,800 \text{ m}$$

Współczynniki wybocheniowe:

$$\lambda_y = l_{c,y} / \sqrt{I_{ef,y} / A_{tot}} = 320,3 / \sqrt{27074,8 / 568,00} = 46,40$$

$$\lambda_z = l_{c,z} / \sqrt{I_{ef,z} / A_{tot}} = 380,0 / \sqrt{15349,3 / 568,00} = 73,10$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_y^2 = 9,87 \times 8000 / (46,40)^2 = 36,68 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_z^2 = 9,87 \times 8000 / (73,10)^2 = 14,78 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{\text{rel,y}} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,\text{crit,y}}} = \sqrt{23/36,68} = 0,792$$

$$\lambda_{\text{rel,z}} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,\text{crit,z}}} = \sqrt{23/14,78} = 1,248$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{\text{rel,y}} - 0,5) + \lambda_{\text{rel,y}}^2] = 0,5 \times [1 + 0,2 \times (0,792 - 0,5) + (0,792)^2] = 0,843$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{\text{rel,z}} - 0,5) + \lambda_{\text{rel,z}}^2] = 0,5 \times [1 + 0,2 \times (1,248 - 0,5) + (1,248)^2] = 1,353$$

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{\text{rel,y}}^2}) = 1 / (0,843 + \sqrt{0,843^2 - 0,792^2}) = 0,884$$

$$k_{c,z} = 1 / (k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{\text{rel,z}}^2}) = 1 / (1,353 + \sqrt{1,353^2 - 1,248^2}) = 0,533$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju  $A_d = 568,00 \text{ cm}^2$ .

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 1,780 / 568,00 \times 10 = \mathbf{0,031} < \mathbf{5,66} = 0,533 \times 10,62 = k_{c,y} f_{c,0,d}$$

Ściskanie ze zginaniem dla  $x_a = 3,80 \text{ m}$ ;  $x_b = 0,00 \text{ m}$ , przy obciążeniach „ABCDEG”:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,031}{0,884 \times 10,62} + 1,0 \times \frac{0,000}{13,85} + \frac{1,940}{13,85} = \mathbf{0,143} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,031}{0,533 \times 10,62} + \frac{0,000}{13,85} + 1,0 \times \frac{1,940}{13,85} = \mathbf{0,146} < \mathbf{1}$$

### Nośność na zginanie:

Wyniki dla  $x_a = 3,80 \text{ m}$ ;  $x_b = 0,00 \text{ m}$ , przy obciążeniach „ABCDFG”.

Największe naprężenia dla zginania:

$$\sigma_{m,i} + \sigma_i = (0,5 h_i + \gamma_i a_i) M / I_{ef} = (0,5 \times 22,0 + 1,000 \times 0,8) \times 4,777 / 27074,8 \times 10^3 = \mathbf{2,080} < \mathbf{13,846} = f_{m,d}$$

Największe naprężenia dla ściskania:

$$\sigma_i = \gamma_i a_i M / I_{ef} = 1,000 \times 0,8 \times 4,777 / 27074,8 \times 10^3 = \mathbf{0,139} < \mathbf{10,615} = f_{c,0,d}$$

Największe naprężenia dla rozciągania:

$$\sigma_i = \gamma_i a_i M / I_{ef} = 0,149 \times 18,2 \times 4,777 / 27074,8 \times 10^3 = \mathbf{0,479} < \mathbf{8,31} = f_{c,0,t}$$

Nośność dla  $x_a = 3,80 \text{ m}$ ;  $x_b = 0,00 \text{ m}$ , przy obciążeniach „ABCDFG”:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,009}{8,31} + \frac{2,080}{13,85} + 1,0 \times \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,151} < \mathbf{1}$$

Nośność ze ściskaniem dla  $x_a = 3,80 \text{ m}$ ;  $x_b = 0,00 \text{ m}$ , przy obciążeniach „ABCDFG”:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,011^2}{10,62^2} + \frac{2,080}{13,85} + 1,0 \times \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,150} < \mathbf{1}$$

### Nośność na ścinanie:

Wyniki dla  $x_a = 3,80 \text{ m}$ ;  $x_b = 0,00 \text{ m}$ , przy obciążeniach „ABCDEG”.

Naprężenia tnące dla ścinania w płaszczyźnie prostopadłej do szwów:

$$\tau = (\gamma_3 A_3 a_3 + 0,5 b_2 h^2) V / b_2 I_{ef} = (0,5 \times 20,00 \times 11,79^2) \times 6,028 / (20,00 \times 27074,8) \times 10 = 0,155$$

Naprężenia tnące dla ścinania w płaszczyźnie równoległej do szwów:

$$\tau' = \frac{V' S'}{b' I'} = \frac{0,000 \times 1228,0}{38,00 \times 15349,3} \times 10 = 0,000$$

Nośność na ścinanie:

$$\sqrt{\tau^2 + \tau'^2} = \sqrt{0,155^2 + 0,000^2} = \mathbf{0,155} < \mathbf{1,38} = f_{v,d}$$

### Nośność łączników:

Do połączenia gałęzi przekroju, przyjęto łączniki mechaniczne w postaci gwoździ długości 304 mm o średnicy 15,0 mm.

$$f_{h,k} = 0,082 \times 380 \times 15,0^{-0,3} = 13,83$$

$$f_{h,d} = f_{h,k} k_{mod} / 1,3 = 13,83 \times 0,60 / 1,3 = 6,38 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = 180 \times 15,0^{2,6} = 205641,03$$

$$M_{y,d} = M_{y,k} / 1,1 = 186946,39 \text{ Nmm}$$

$$R_{d,1} = f_{h,1,d} t_1 d = 6,38 \times 160,0 \times 15,0 = 15317,5 \text{ N}$$

$$R_{d,2} = f_{h,1,d} t_2 d \beta = 6,38 \times 120,5 \times 15,0 \times 1,00 = 11536,0 \text{ N}$$

$$R_{d,3} = f_{h,1,d} t_1 d / (1 + \beta) [\sqrt{\beta + 2\beta^2 (1 + t_2 / t_1 + t_2^2 / t_1^2)} + \beta^3 t_2^2 / t_1^2 - \beta (1 + t_2 / t_1)] = 6,38 \times 160,0 \times 15,0 / (1 + 1,00) \times [\sqrt{1,00 + 2 \times 1,00^2 \times (1 + 120,5 / 160,0 + 120,5^2 / 160,0^2)} + 1,00^3 \times 120,5^2 / 160,0^2 - 1,00 \times (1 + 120,5 / 160,0)] = 5655,5 \text{ N}$$

$$R_{d,4} = 1,1 f_{h,1,d} t_2 d / (1 + 2\beta) [\sqrt{2\beta^2 (1 + \beta) + 4\beta (1 + 2\beta) M_{y,d} / f_{h,1,d} d t_2^2} - \beta] = 1,1 \times 6,38 \times 120,5 \times 15,0 / (1 + 2 \times 1,00) \times [\sqrt{2 \times 1,00^2 \times (1 + 1,00) + 4 \times 1,00 \times (1 + 2 \times 1,00) \times 186946,39 / (6,38 \times 15,0 \times 120,5^2)} - 1,00] = 5792,2 \text{ N}$$

$$R_{d,5} = 1,1 f_{h,1,d} t_1 d / (2 + \beta) [\sqrt{2\beta (1 + \beta) + 4\beta (2 + \beta) M_{y,d} / f_{h,1,d} d t_1^2} - \beta] = 1,1 \times 6,38 \times 160,0 \times 15,0 / (2 + 1,00) \times [\sqrt{2 \times 1,00 \times (1 + 1,00) + 4 \times 1,00 \times (2 + 1,00) \times 186946,39 / (6,38 \times 15,0 \times 160,0^2)} - 1,00] = 6835,5 \text{ N}$$

$$R_{d,6} = 1,1 \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,1,d} d 2\beta / (1 + \beta)} = 1,1 \times \sqrt{2 \times 186946,39 \times 6,38 \times 15,0 \times 2 \times 1,00 / (1 + 1,00)} = 6581,1 \text{ N}$$

Nośność łącznika na jedno cięcie  $R_d = 5655,5 \text{ N}$ .

Siła przypadająca na jeden łącznik pochodząca od siły rozwarstwiającej:

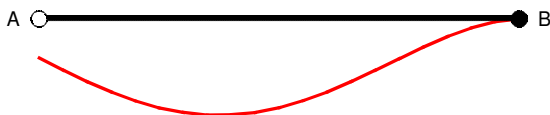
Dla prętów ściskanych należy uwzględnić dodatkową siłę poprzeczną przy wyboczeniu:

$$\text{dla } 30 < \lambda_{ef} \leq 60 \quad V_d = F_{c,d} \lambda_{ef} / (3600 k_c) = 1,780 \times 46,40 / (3600 \times 0,533) = 0,026 \text{ kN}$$

$$F_1 = \gamma_1 A_1 a_1 s V / I_{ef} = 0,149 \times 128,0 \times 18,21 \times 10,0 \times 6,054 / 27074,8 \times 10^3 = 776,4 \text{ N}$$

$$F_1 = \mathbf{776,4} < \mathbf{5655,5} = R_d$$

### Stan graniczny użytkowania:



Wyniki dla  $x_a = 1,43 \text{ m}$ ;  $x_b = 2,38 \text{ m}$ , przy obciążeniach „ABCDEG”.

Ugięcie graniczne

$$u_{net,fin} = l / 150 = 25,3 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń stałych (ciężar własny + „AG”):

$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{\text{def}}) = -0,2 \times [1 + 19,2 \times (380,0/3800)^2] (1 + 0,80) = -0,4 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{\text{def}}) = 0,0 \times [1 + 19,2 \times (200,0/3800)^2] (1 + 0,80) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń zmiennych („BCDE”):

Klasa trwania obciążeń zmiennych: **Średniotrwała** (1 tydzień - 6 miesięcy, np. obciążenie użytkowe).

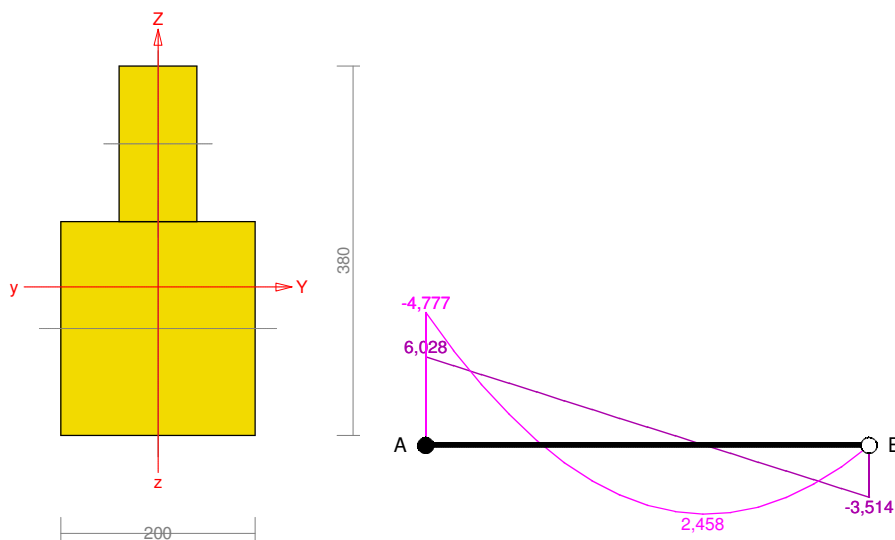
$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{\text{def}}) = -0,7 \times [1 + 19,2 \times (380,0/3800)^2] (1 + 0,25) = -1,0 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{\text{def}}) = 0,0 \times [1 + 19,2 \times (200,0/3800)^2] (1 + 0,25) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcie całkowite:

$$u_{z,\text{fin}} = -0,4 + -1,0 = 1,4 < 25,3 = u_{\text{net,fin}}$$

## Pręt nr 9



### Przekrój: 1 “Ia 38x20”

Wymiary przekroju:

$$h=380,0 \text{ mm} \quad b=200,0 \text{ mm.}$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_{yg}=56272,3; \quad J_{zg}=15349,3 \text{ cm}^4; \quad A=568,00 \text{ cm}^2; \quad i_y=10,0; \quad i_z=5,2 \text{ cm}; \quad W_y=2477,0; \quad W_z=1534,9 \text{ cm}^3.$$

### Własności techniczne drewna:

Przyjęto 2 klasę użytkowania konstrukcji (temperatura powietrza 20° i wilgotności powyżej 85% tylko przez kilka tygodni w roku) oraz klasę trwania obciążenia: **Stale** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

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

$$\gamma_M = 1,3$$

Cechy drewna: **Drewno C30.**

$$f_{m,k} = 30,00$$

$$f_{m,d} = 13,85 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,k} = 18,00$$

$$f_{t,0,d} = 8,31 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,60$$

$$f_{t,90,d} = 0,28 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 23,00$$

$$f_{c,0,d} = 10,62 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 2,70$$

$$f_{c,90,d} = 1,25 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 3,00$$

$$f_{v,d} = 1,38 \text{ MPa}$$

$$E_{0,\text{mean}} = 12000 \text{ MPa}$$

$$E_{90,\text{mean}} = 400 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 8000 \text{ MPa}$$

$$G_{\text{mean}} = 750 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$$

## Sprawdzenie nośności pręta nr 9

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-B-03150:2000. W obliczeniach uwzględniono ekstremalne wartości wielkości statycznych przy uwzględnieniu niekorzystnych kombinacji obciążeń.

### Charakterystyka zastępcza przekroju:

Gałęzie przekroju połączone są łącznikami mechanicznymi w postaci gwoździ o średnicy 15,0 mm.

Podatność łączników:

$$K_u = 2/3 \rho_k^{1,5} d^{0,8} / 25 = 2/3 \cdot 380^{1,5} \times 15,0^{0,8} / 25 = 1724 \text{ N/mm}$$

### Dla płaszczyzny prostopadłej do szwów:

$$\gamma_1 = [1 + \pi^2 E A_1 s_1 / (K l)^2]^{-1} = [1 + 3,142^2 \times 8000 \times 128,0 \times 100 / (1724 \times 3,203^2) \times 10^{-4}]^{-1} = 0,149$$

$$\gamma_2 = 1$$

Współrzędne środków elementów przekroju wynoszą:

$$a_1 = 18,21;$$

$$a_2 = 0,79 \text{ cm}$$

Zastępczy moment bezwładności:

$$I_{ef} = \Sigma (I_i + \gamma_i A_i a_i^2) = 2730,7 + 0,149 \times 128,0 \times 18,21^2 + 17746,7 + 1,000 \times 440,0 \times 0,79^2 = 27074,8 \text{ cm}^4$$

### Nośność na ściskanie:

Wyniki dla  $x_a=0,00 \text{ m}$ ;  $x_b=3,80 \text{ m}$ , przy obciążeniach „ABCDFG”.

- długość wybocheniowa w płaszczyźnie układu (wyznaczona na podstawie podatności węzłów):

$$l_c = \mu l = 0,843 \times 3,800 = 3,203 \text{ m}$$

- długość wybocheniowa w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 3,800 = 3,800 \text{ m}$$

Długości wybocheniowe dla wybochenia w płaszczyznach prostopadłych do osi głównych przekroju, wynoszą:

$$l_{c,y} = 3,203 \text{ m};$$

$$l_{c,z} = 3,800 \text{ m}$$

Współczynniki wybocheniowe:

$$\lambda_y = l_{c,y} / \sqrt{I_{ef,y} / A_{tot}} = 320,3 / \sqrt{27074,8 / 568,00} = 46,40$$

$$\lambda_z = l_{c,z} / \sqrt{I_{ef,z} / A_{tot}} = 380,0 / \sqrt{15349,3 / 568,00} = 73,10$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_y^2 = 9,87 \times 8000 / (46,40)^2 = 36,68 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_z^2 = 9,87 \times 8000 / (73,10)^2 = 14,78 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,y}} = \sqrt{23/36,68} = 0,792$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,z}} = \sqrt{23/14,78} = 1,248$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (0,792 - 0,5) + (0,792)^2] = 0,843$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (1,248 - 0,5) + (1,248)^2] = 1,353$$

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}) = 1 / (0,843 + \sqrt{0,843^2 - 0,792^2}) = 0,884$$

$$k_{c,z} = 1 / (k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}) = 1 / (1,353 + \sqrt{1,353^2 - 1,248^2}) = 0,533$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju  $A_d = 568,00 \text{ cm}^2$ .

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N/A_d = 6,749 / 568,00 \times 10 = \mathbf{0,119} < \mathbf{5,66} = 0,533 \times 10,62 = k_{c,y} f_{c,0,d}$$

Ściskanie ze zginaniem dla  $x_a=0,00 \text{ m}$ ;  $x_b=3,80 \text{ m}$ , przy obciążeniach „ABCDFG”:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,119}{0,884 \times 10,62} + 1,0 \times \frac{0,000}{13,85} + \frac{1,941}{13,85} = \mathbf{0,153} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,119}{0,533 \times 10,62} + \frac{0,000}{13,85} + 1,0 \times \frac{1,941}{13,85} = \mathbf{0,161} < \mathbf{1}$$

### Nośność na zginanie:

Wyniki dla  $x_a=0,00 \text{ m}$ ;  $x_b=3,80 \text{ m}$ , przy obciążeniach „ABCDFG”.

Największe naprężenia dla zginania:

$$\sigma_{m,i} + \sigma_i = (0,5 h_i + \gamma_i a_i) M / I_{ef} = (0,5 \times 22,0 + 1,000 \times 0,8) \times 4,777 / 27074,8 \times 10^3 = \mathbf{2,080} < \mathbf{13,846} = f_{m,d}$$

Największe naprężenia dla ściskania:

$$\sigma_i = \gamma_i a_i M / I_{ef} = 1,000 \times 0,8 \times 4,777 / 27074,8 \times 10^3 = \mathbf{0,139} < \mathbf{10,615} = f_{c,0,d}$$

Największe naprężenia dla rozciągania:

$$\sigma_i = \gamma_i a_i M / I_{ef} = 0,149 \times 18,2 \times 4,777 / 27074,8 \times 10^3 = \mathbf{0,479} < \mathbf{8,31} = f_{c,0,t}$$

Nośność dla  $x_a=0,00 \text{ m}$ ;  $x_b=3,80 \text{ m}$ , przy obciążeniach „ABDG”:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,744}{13,85} + 1,0 \times \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,054} < \mathbf{1}$$

Nośność ze ściskaniem dla  $x_a=0,00 \text{ m}$ ;  $x_b=3,80 \text{ m}$ , przy obciążeniach „ABCDFG”:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,119^2}{10,62^2} + \frac{2,080}{13,85} + 1,0 \times \frac{0,000}{13,85} = \mathbf{0,150} < \mathbf{1}$$

### Nośność na ścinanie:

Wyniki dla  $x_a=0,00 \text{ m}$ ;  $x_b=3,80 \text{ m}$ , przy obciążeniach „ABCDFG”.

Naprężenia tnące dla ścinania w płaszczyźnie prostopadłej do szwów:

$$\tau = (\gamma_3 A_3 a_3 + 0,5 b_2 h^2) V / b_2 I_{ef} = (0,5 \times 20,00 \times 11,79^2) \times 6,028 / (20,00 \times 27074,8) \times 10 = 0,155$$

Naprężenia tnące dla ścinania w płaszczyźnie równoległej do szwów:

$$\tau' = \frac{V' S'}{b' I'} = \frac{0,000 \times 1228,0}{38,00 \times 15349,3} \times 10 = 0,000$$

Nośność na ścinanie:

$$\sqrt{\tau^2 + \tau'^2} = \sqrt{0,155^2 + 0,000^2} = \mathbf{0,155} < \mathbf{1,38} = f_{v,d}$$

### Nośność łączników:

Do połączenia gałęzi przekroju, przyjęto łączniki mechaniczne w postaci gwoździ długości 304 mm o średnicy 15,0 mm.

$$f_{h,k} = 0,082 \times 380 \times 15,0^{-0,3} = 13,83$$

$$f_{h,d} = f_{h,k} k_{mod} / 1,3 = 13,83 \times 0,60 / 1,3 = 6,38 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = 180 \times 15,0^{2,6} = 205641,03$$

$$M_{y,d} = M_{y,k} / 1,1 = 186946,39 \text{ Nmm}$$

$$R_{d,1} = f_{h,1,d} t_1 d = 6,38 \times 160,0 \times 15,0 = 15317,5 \text{ N}$$

$$R_{d,2} = f_{h,1,d} t_2 d \beta = 6,38 \times 120,5 \times 15,0 \times 1,00 = 11536,0 \text{ N}$$

$$R_{d,3} = f_{h,1,d} t_1 d / (1 + \beta) [\sqrt{\beta + 2\beta^2 (1 + t_2 / t_1 + t_2^2 / t_1^2)} + \beta^3 t_2^2 / t_1^2 - \beta (1 + t_2 / t_1)] = 6,38 \times 160,0 \times 15,0 / (1 + 1,00) \times [\sqrt{1,00 + 2 \times 1,00^2 \times (1 + 120,5 / 160,0 + 120,5^2 / 160,0^2)} + 1,00^3 \times 120,5^2 / 160,0^2 - 1,00 \times (1 + 120,5 / 160,0)] = 5655,5 \text{ N}$$

$$R_{d,4} = 1,1 f_{h,1,d} t_2 d / (1 + 2\beta) [\sqrt{2\beta^2 (1 + \beta) + 4\beta (1 + 2\beta) M_{y,d} / f_{h,1,d} d t_2^2} - \beta] = 1,1 \times 6,38 \times 120,5 \times 15,0 / (1 + 2 \times 1,00) \times [\sqrt{2 \times 1,00^2 \times (1 + 1,00) + 4 \times 1,00 \times (1 + 2 \times 1,00) \times 186946,39 / (6,38 \times 15,0 \times 120,5^2)} - 1,00] = 5792,2 \text{ N}$$

$$R_{d,5} = 1,1 f_{h,1,d} t_1 d / (2 + \beta) [\sqrt{2\beta (1 + \beta) + 4\beta (2 + \beta) M_{y,d} / f_{h,1,d} d t_1^2} - \beta] = 1,1 \times 6,38 \times 160,0 \times 15,0 / (2 + 1,00) \times [\sqrt{2 \times 1,00 \times (1 + 1,00) + 4 \times 1,00 \times (2 + 1,00) \times 186946,39 / (6,38 \times 15,0 \times 160,0^2)} - 1,00] = 6835,5 \text{ N}$$

$$R_{d,6} = 1,1 \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,1,d} d} 2\beta / (1 + \beta) = 1,1 \times \sqrt{2 \times 186946,39 \times 6,38 \times 15,0 \times 2 \times 1,00 / (1 + 1,00)} = 6581,1 \text{ N}$$

Nośność łącznika na jedno cięcie  $R_d = 5655,5 \text{ N}$ .

Siła przypadająca na jeden łącznik pochodząca od siły rozwarstwiającej:

Dla prętów ściskanych należy uwzględnić dodatkową siłę poprzeczną przy wyboczeniu:

$$\text{dla } 30 < \lambda_{ef} \leq 60 \quad V_d = F_{c,d} \lambda_{ef} / (3600 k_c) = 6,749 \times 46,40 / (3600 \times 0,533) = 0,098 \text{ kN}$$

$$F_1 = \gamma_1 A_1 a_1 s V / I_{ef} = 0,149 \times 128,0 \times 18,21 \times 10,0 \times 6,126 / 27074,8 \times 10^3 = 785,7 \text{ N}$$

$$F_1 = 785,7 < 5655,5 = R_d$$

### Stan graniczny użytkowania:



Wyniki dla  $x_a = 2,38 \text{ m}$ ;  $x_b = 1,43 \text{ m}$ , przy obciążeniach „ABCDFG”.

Ugięcie graniczne

$$u_{\text{net,fin}} = l / 150 = 25,3 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń stałych (ciężar własny + „AG”):

$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{\text{def}}) = -0,1 \times [1 + 19,2 \times (380,0/3800)^2] (1 + 0,80) = -0,3 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{\text{def}}) = 0,0 \times [1 + 19,2 \times (200,0/3800)^2] (1 + 0,80) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń zmiennych („BCDF”):

Klasa trwania obciążeń zmiennych: **Średniotrwałe** (1 tydzień - 6 miesięcy, np. obciążenie użytkowe).

$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{\text{def}}) = -0,6 \times [1 + 19,2 \times (380,0/3800)^2] (1 + 0,25) = -0,9 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} [1 + \eta_1 (h/L)^2] (1 + k_{\text{def}}) = 0,0 \times [1 + 19,2 \times (200,0/3800)^2] (1 + 0,25) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcie całkowite:

$$u_{z,\text{fin}} = -0,3 + -0,9 = 1,2 < 25,3 = u_{\text{net,fin}}$$