

## Obliczenia statyczno–wytrzymałościowe:

### 1. Wykaz norm:

- PN-EN 1991-1-1 oddziaływanie ogólne, ciężar objętościowy, ciężar własny,
- obciążenie użytkowe w budynkach
- PN-EN 1991-1-3 oddziaływanie śniegiem
- PN-EN 1991-1-4 oddziaływania wiatru
- PN-82/B-02001 obciążenia budowli
- PN-EN 338 Drewno konstrukcyjne – klasy wytrzymałości
- PN-B-031520:2000 Konstrukcje drewniane

### 2. Dane wyjściowe:

Obliczenia zostały wykonane numerycznie za pomocą macierzowej metody przemieszczeń. Do weryfikacji, przyjęto belki drewniane klasy C22 o przekrojach 12,5x14 (krokwie), 14x17,5 (jętki), 4,5x3,0 (łaty), przyjęte pole rozdziału dla więźby dachowej 0,98 m, dla łączenia przyjęto 03 m. Dodatkowe dane:

- konstrukcja dachu: krokwiowo-jętkowy z układem stolcowym
- rozstaw krokwi: 94~98 cm
- nachylenie połaci dachowej:  $\alpha = 40^\circ, 47^\circ$
- pokrycie dachu: dachówka cementowa karpiówka
- lokalizacja budynku: Kamienna Góra
- obciążenie śniegiem: 1 strefa
- obciążenie wiatrem: 3 strefa, III kategoria

Założono materiał więźby jako drewno sosnowe klasy C22 (klasa sortownicza KG, dla tarcicy o grubości  $\geq 38$  mm) o ciężarze objętościowym  $\gamma = 4,1 \frac{kN}{m^3}$ .

Wartości charakterystyczne:

- wartość charakterystyczna wytrzymałości na zginanie:  $f_{mk} = 22MPa$
- wartość charakterystyczna wytrzymałości na ściskanie wzdłuż włókien:  $f_{c,0,k} = 20MPa$
- wartość charakterystyczna wytrzymałości na ścinanie:  $f_{v,k} = 2,4MPa$
- średni moduł sprężystości wzdłuż włókien:  $E_m = 10GPa$

### 3. Geometria obliczanego wiązara:

Zgodnie z rysunkiem 1/2 przekrój konstrukcji dachu.

### 4. Obciążenia:

#### 4.1. Obciążenie zmienne, obciążenie charakterystyczne śniegiem:

$A = 450 \text{ m n.p.m.}$

1 strefa obciążenia śniegiem

$$s_k = 0,007 * 450 - 1,4 = 1,75 \frac{kN}{m^2} \geq 0,7$$

$\alpha = 40^\circ$

$$\mu_1 = 0,7$$

$$\mu_2 = 1,6$$

Przyjęto teren normalny

$$C_e = 1,0$$

$$C_t = 1,0$$

wysokość n.p.m. analizowanego budynku jest  $< 800 \text{ m n.p.m.}$ , zgodnie z zaleceniem EC pominięto dodatkowe obciążenie śniegiem

$$s = 1,75 * 0,7 * 1 * 1 = 1,225 \frac{kN}{m^2} \quad s_{red} = 1,75 * 0,7 * 1 * 1 = 0,613 \frac{kN}{m^2}$$

#### 4.2. Obciążenie zmienne, obciążenie charakterystyczne wiatrem:

$A = 450 \text{ m n.p.m.}$

3 strefa obciążenia wiatrem

III kategoria terenu

$$v_{b,0} = 22 * [1 + 0,0006 * (450 - 300)] = 23,98 \frac{m}{s}$$

$$c_{dir} = 1,0 \quad c_{season} = 1,0 \quad z_{0,III} = 0,3 \quad z_{min} < z = 10,5 \text{ m} < z_{max} \quad \rho = 0,25 \frac{kg}{m^3}$$

$$v_b = 23,98 * 1 * 1 = 23,98 \frac{m}{s}$$

$$c_r(z) = 0,8 * \left(\frac{10,5}{10}\right)^{0,19} = 0,808$$

$$v_m(z) = 0,808 * 1 * 23,98 = 19,38$$

$$I_v(z) = \frac{1}{\ln\left(\frac{10,5}{0,3}\right)} = 0,281$$

$$q_p(z) = [1 + 7 * 0,281] * \frac{1}{2} * 1,25 * 19,38^2 * 0,001 = 0,697 \frac{kN}{m^2}$$

$$e = 21 \Rightarrow e/4 = 5,25 m$$

$$e/10 = 2,1m$$

$$\alpha = 40^\circ \Rightarrow c_{pe}:$$

<b>kąt spadku</b>	<b>G</b>		<b>H</b>	<b>K</b>	<b>I</b>
30°	-0,5	-1,5	-0,2	-0,5	-0,4
	0,7		0,4		
40°	-0,2	-0,5	-0,1	-0,4	-0,3
	0,7		0,5		
45°	0,0		0,0	-0,3	-0,3
	0,7		0,6		
<b>w<sub>e</sub></b>	-0,116	-0,349	-0,046	-0,256	-0,232
	0,488		0,372		

#### 4.3. Obciążenie zmienne, obciążenie charakterystyczne użytkowe:

Przyjęto obciążenie użytkowe stropu na jętkach jako poddasza z dostępem z klatki schodowej :  $Q_k = 1,2 \frac{kN}{m^2}$

#### 4.4. Obciążenia stałe, charakterystyczne:

Ciężar stały elementów składowych więzara został uwzględniony w obliczeniach numerycznych zgodnie z wymaganiami EC podczas tworzenia modelu fizycznego konstrukcji. Ciężar stały elementów składowych uwzględniono przy obliczeniu sił wewnętrznych.

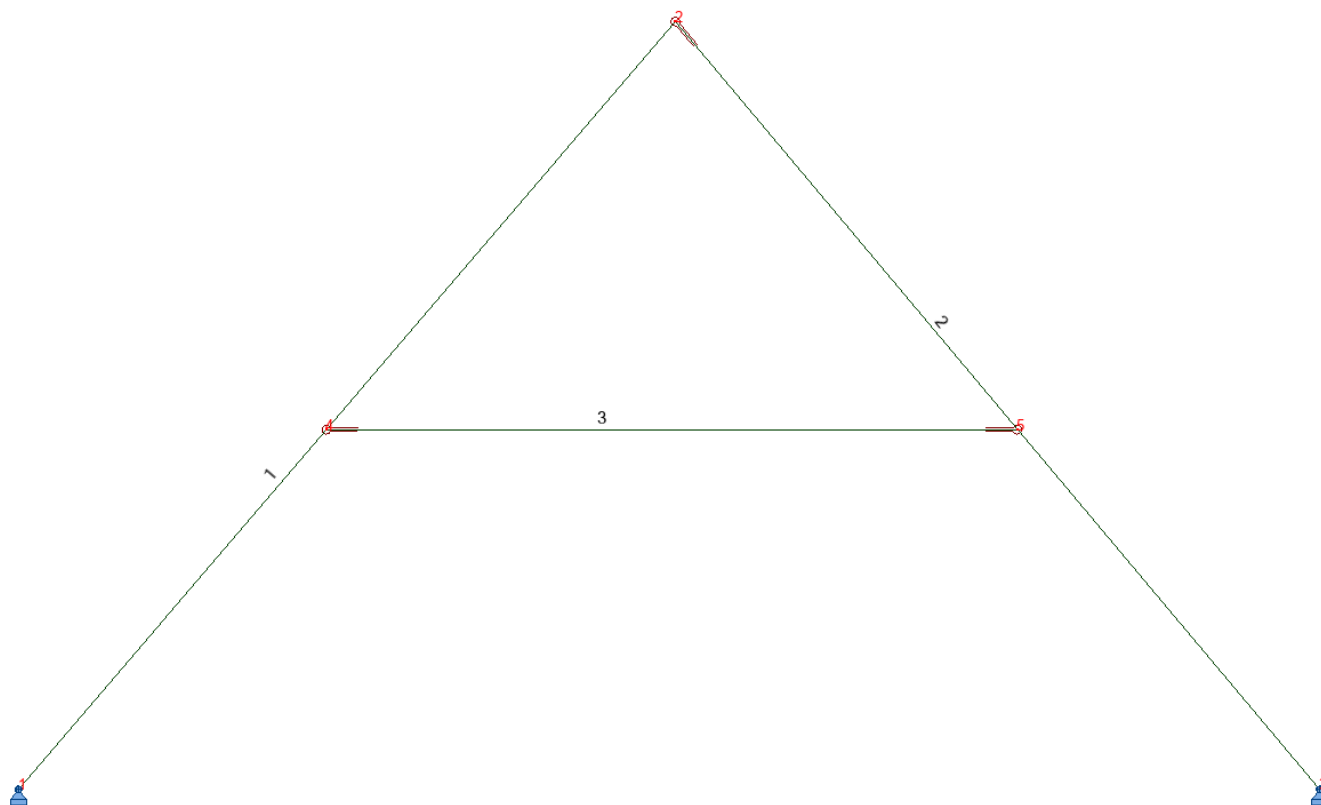
Do obliczeń ciężaru własnego przyjęto ciężar pokrycia dachowego jednostkowego bez uwzględnienia krokwi z uwzględnieniem deskowania :

$$G_{p,k} = 0,75 - 0,05 = 0,7 \frac{kN}{m^2}$$

Ciężar drewnianej posadzki strychu:  $G_{ps,k} = 7,5 \frac{kN}{m^3}$

5. Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe krokwi przed wzmocnieniem:

5.1. Model fizyczny:



## 5.2. Zestawienie obciążeń:

obciążenie	$E_k$	$\gamma_{G,Q}$	$E_D$
	kN/m		kN/m
<b>ciężar własny</b>			
ciężar warstw połaci	0,686	1,35	0,926
ciężar posadzki strychu	0,184	1,35	0,248
<b>śnieg</b>			
<i>zmniejszenie obciążenia jednej połaci o 50%</i>			
połac lewa	0,613	1,50	0,920
połac prawa	1,225	1,50	1,838
<i>obciążenie połaci const.</i>			
połac lewa i prawa (0,594*0,873)	1,201	1,50	1,801
<b>wiatr</b>			
<i>- parcie</i>			
pole G +	0,700	1,50	1,050
pole H +	0,500	1,50	0,750
<i>- ssanie</i>			
pole J +	-0,400	1,50	-0,600
pole I +	-0,300	1,50	-0,450
<i>- parcie</i>			
pole G -	-0,500	1,50	-0,750
pole H -	-0,400	1,50	-0,600
<i>- ssanie</i>			
pole J -	-0,400	1,50	-0,600
pole I -	-0,300	1,50	-0,450
<b>użytkowe</b>			
strop na jętce	1,176	1,50	1,764

### 5.3. Kombinacje obciążeń:

$$E_{d,1} = G * 1,35 + W_1 * 1,50 + S_1 * 1,50 * 0,5 + Q_1 * 1,5 * 0,7$$

$$E_{d,2} = G * 1,35 + W_2 * 1,50 + S_1 * 1,50 * 0,5 + Q_1 * 1,5 * 0,7$$

$$E_{d,3} = G * 1,35 + W_1 * 1,50 + S_2 * 1,50 * 0,5 + Q_1 * 1,5 * 0,7$$

$$E_{d,4} = G * 1,35 + W_2 * 1,50 + S_2 * 1,50 * 0,5 + Q_1 * 1,5 * 0,7$$

$$E_{d,5} = G * 1,35 + W_1 * 0,6 * 1,50 + S_1 * 1,50 + Q_1 * 1,5 * 0,7$$

$$E_{d,6} = G * 1,35 + W_2 * 0,6 * 1,50 + S_1 * 1,50 + Q_1 * 1,5 * 0,7$$

$$E_{d,7} = G * 1,35 + W_1 * 0,6 * 1,50 + S_2 * 1,50 + Q_1 * 1,5 * 0,7$$

$$E_{d,8} = G * 1,35 + W_2 * 0,6 * 1,50 + S_2 * 1,50 + Q_1 * 1,5 * 0,7$$

$$E_{(d,9)} = G * 1,35 + W_1 * 0,6 * 1,50 + S_1 * 0,5 * 1,50 + Q_1 * 1,5$$

$$E_{d,10} = G * 1,35 + W_2 * 0,6 * 1,50 + S_1 * 0,5 * 1,50 + Q_1 * 1,5$$

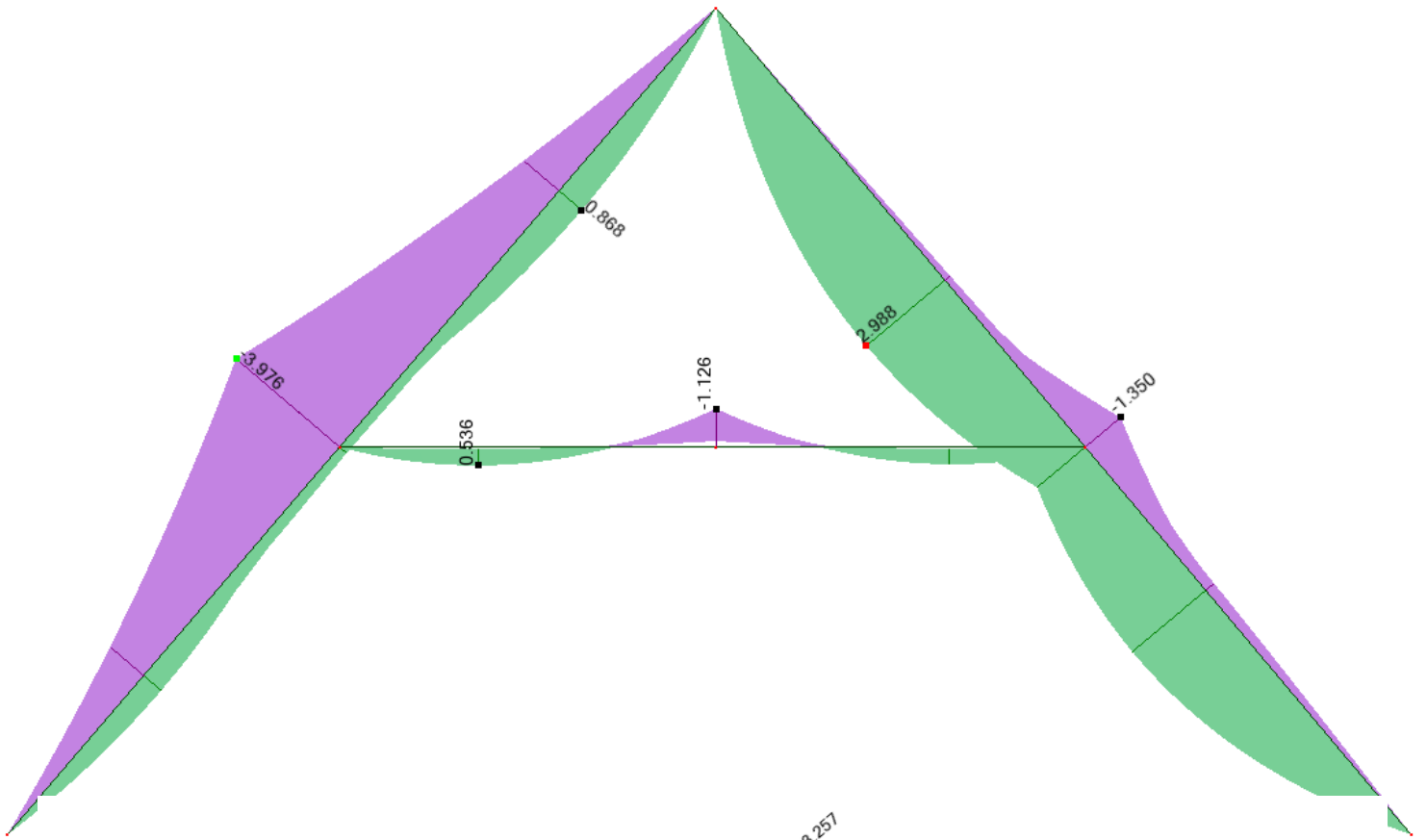
$$E_{d,11} = G * 1,35 + W_1 * 0,6 * 1,50 + S_2 * 0,5 * 1,50 + Q_1 * 1,5$$

$$E_{d,12} = G * 1,35 + W_2 * 0,6 * 1,50 + S_2 * 0,5 * 1,50 + Q_1 * 1,5$$

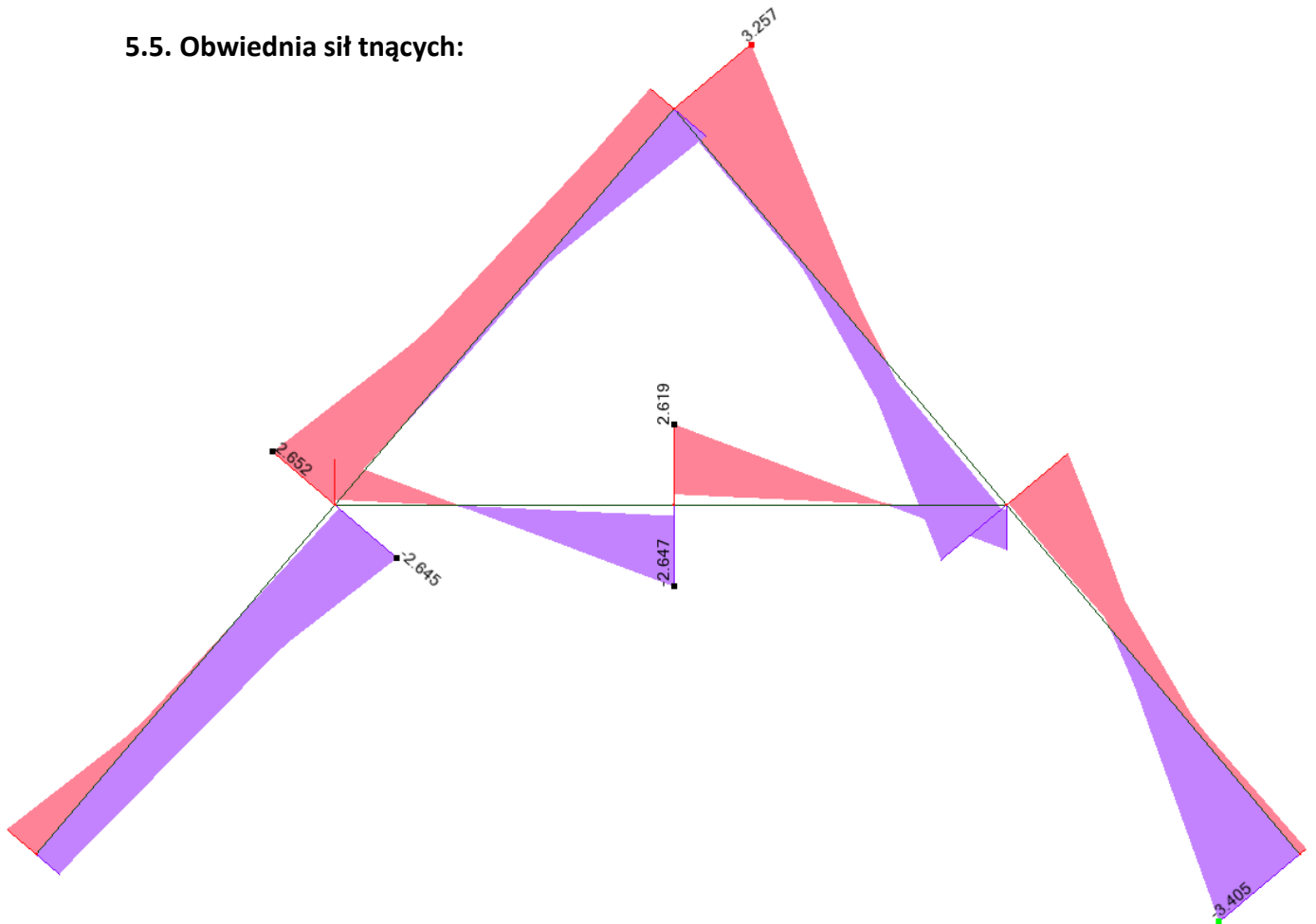
$$E_{d,13} = G * 1,35 + W_1 * 1,50$$

$$E_{d,14} = G * 1,35 + W_2 * 1,50$$

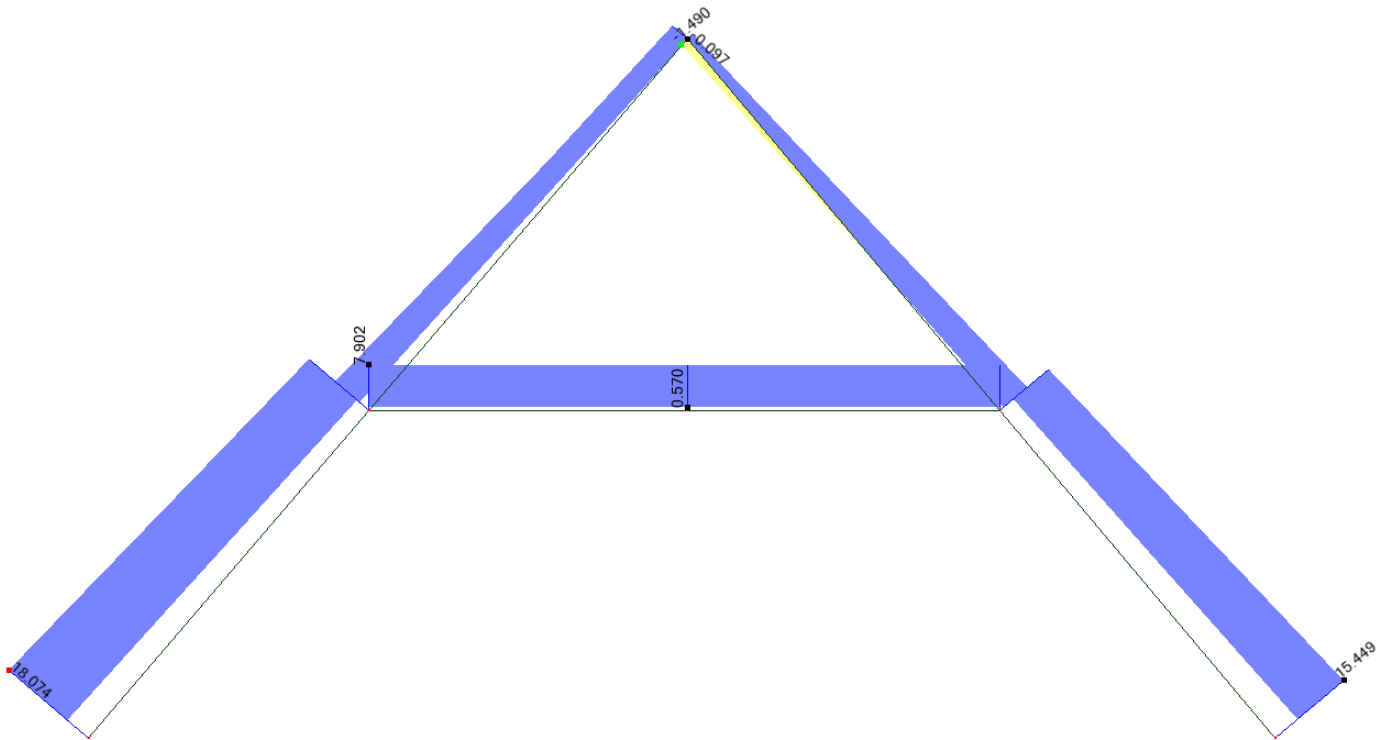
**5.4. Obwiednia momentów zginających:**



**5.5. Obwiednia sił tnących:**



## 5.6. Obwiednia sił normalnych:



## 5.7. Obliczenia wytrzymałościowe ULS:

Krokwie: 125x140:

Decydujący przypadek obciążenia  $E_{d,4}$ :  $M_{Ed,4} = 3,976 \text{ kNm}$        $N_{Ed,4} = -11,179 \text{ kN}$

$$A = 0,125 * 0,14 = 0,0175 \text{ m}^2 \quad W_y = \frac{0,125 * 0,14^2}{6} = 408,33 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{-11,179}{0,0175} = 0,639 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{3,976}{408,33 * 10^{-6}} = 9,737 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = 0,0$$

$$f_{c,0,d} = \frac{0,6 * 20,0}{1,3} = 9,23 \text{ MPa}$$

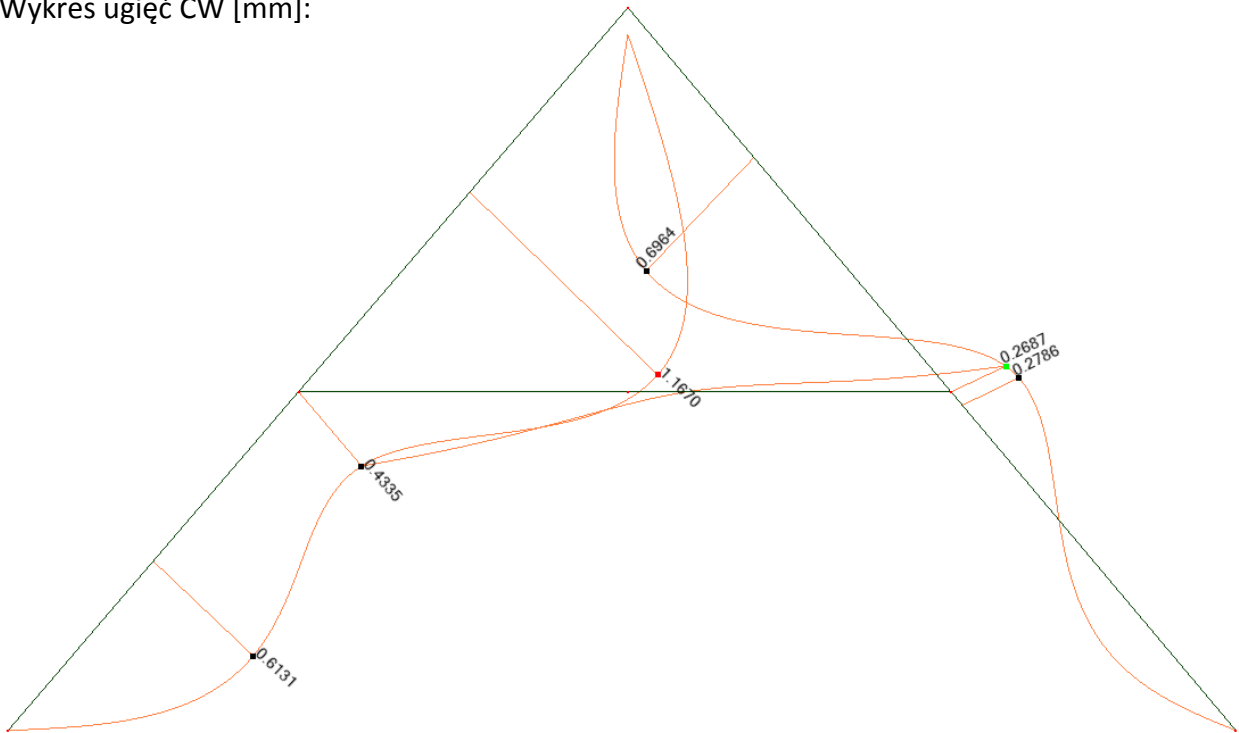
$$f_{m,y,d} = \frac{0,6 * 22,0}{1,3} = 10,295 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + 0,7 * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,951 < 1$$

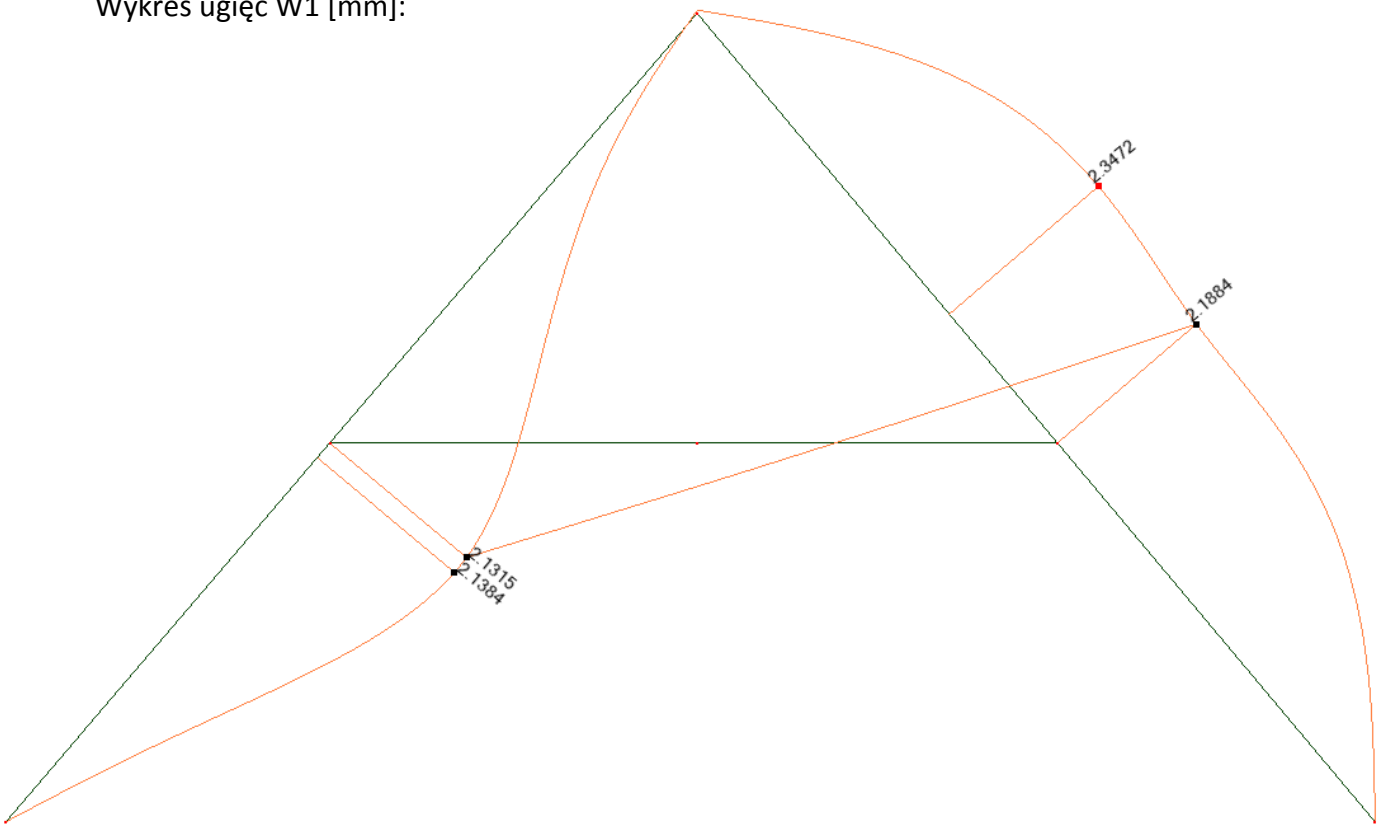


### 5.8. Obliczenia wytrzymałościowe SLS:

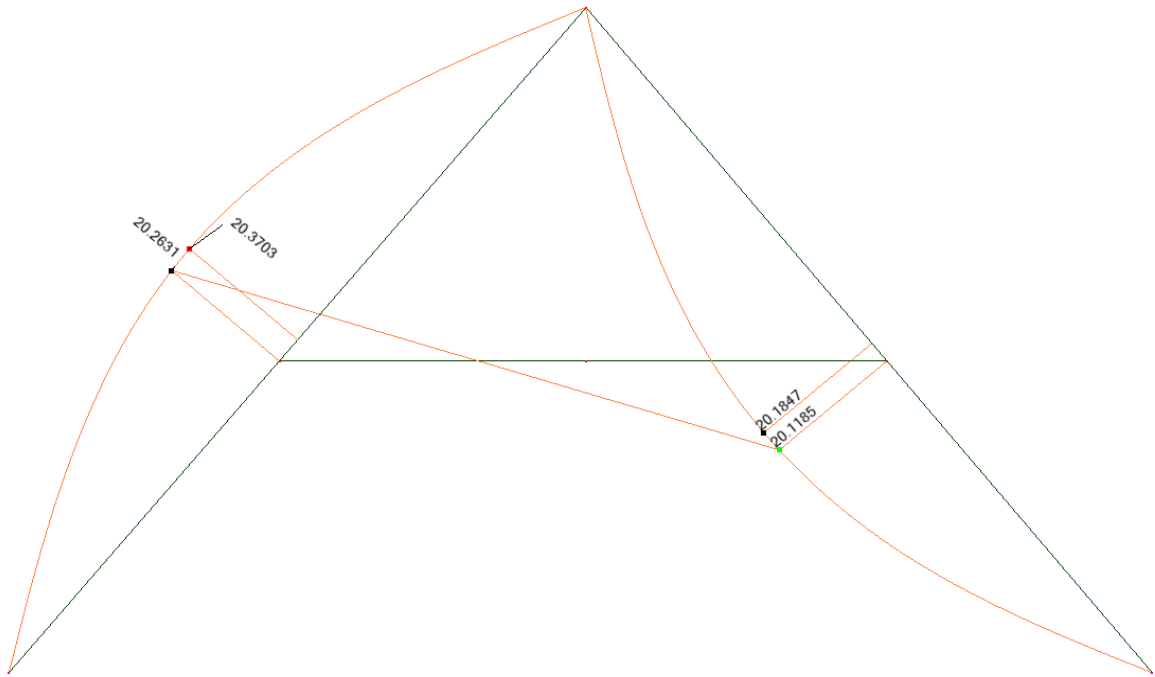
Wykres ugięć CW [mm]:



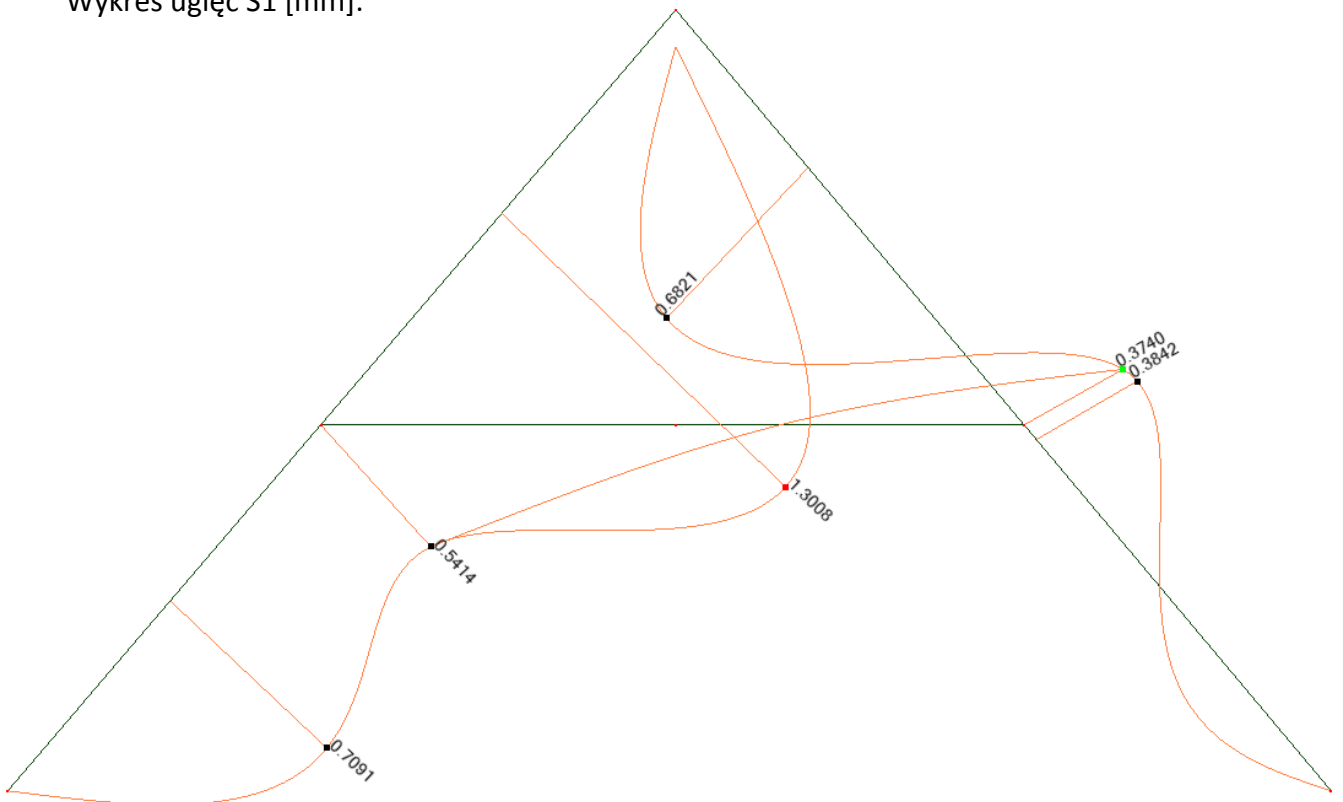
Wykres ugięć W1 [mm]:



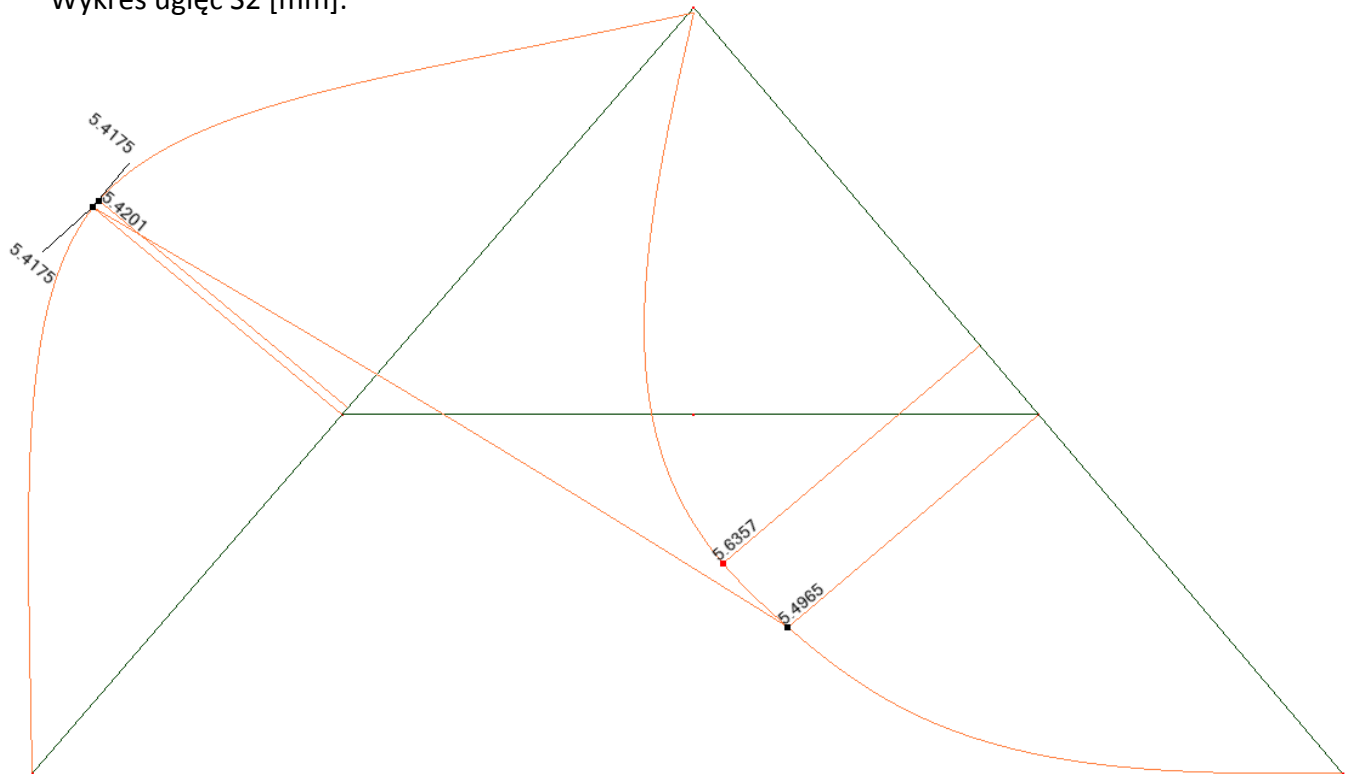
Wykres ugięć W2 [mm]:



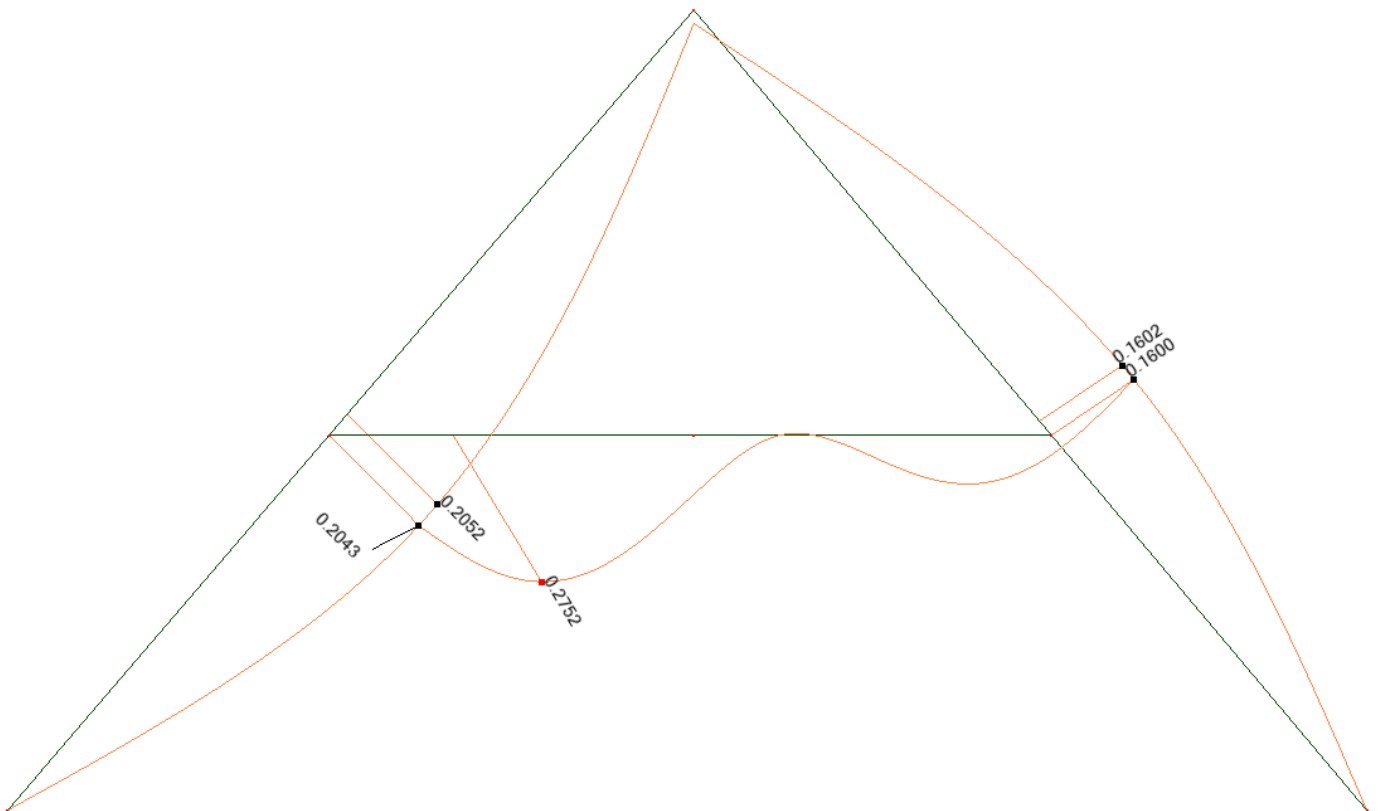
Wykres ugięć S1 [mm]:



Wykres ugięć S2 [mm]:



Wykres ugięć EKSP [mm]:

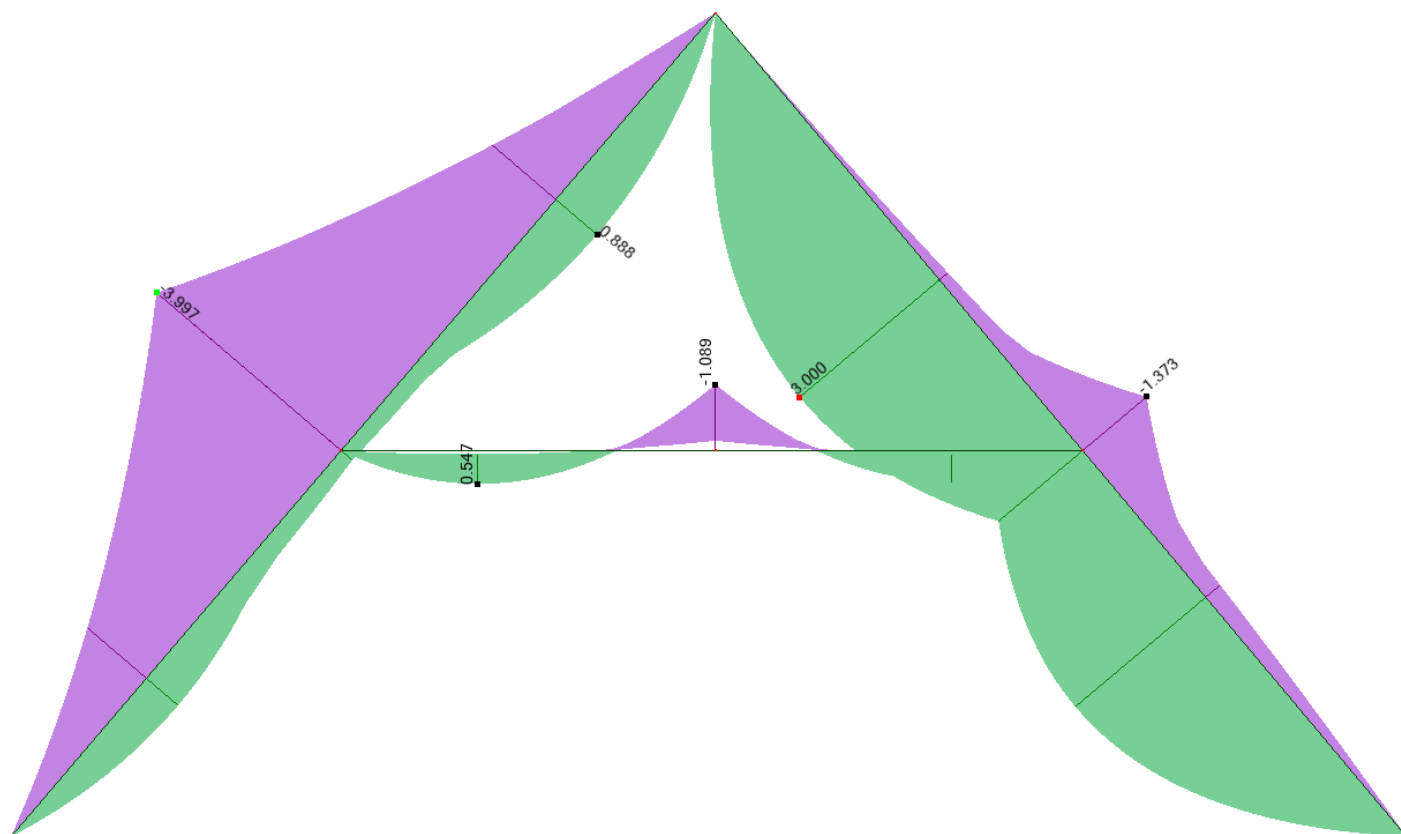


$$u_{net,fin} = \frac{5647}{200} = 28,24 \text{ mm}$$

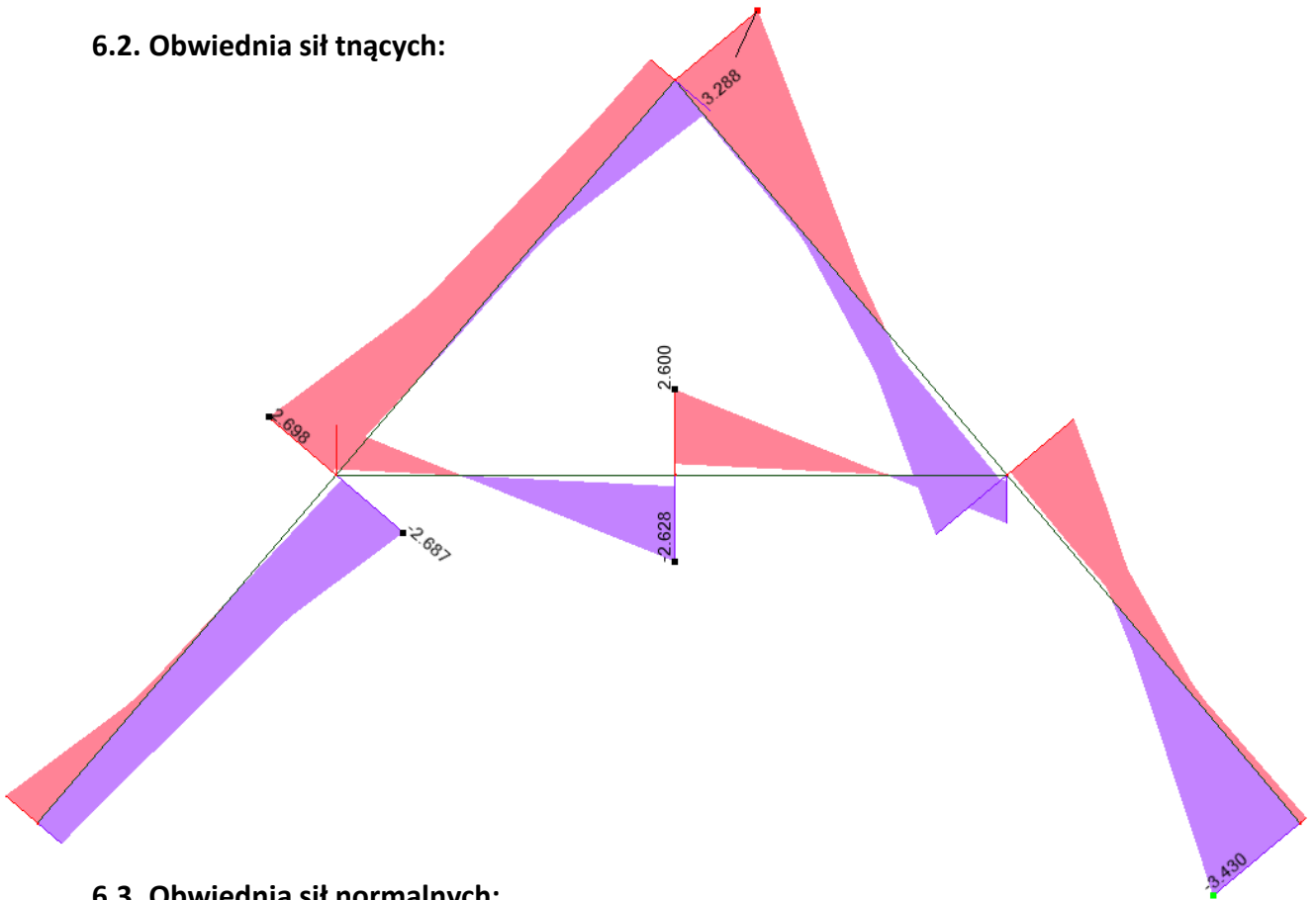
obciążenie	$k_{def}$	$u_{inst}$ [mm]	$u_{fin}$ [mm]
ciężar własny (st)	0,80	1,17	2,106
wiatr 1 (kr)	0,00	2,14	2,14
wiatr 2 (kr)	0,00	-20,37	-20,37
śnieg 1 (śr)	0,25	1,306	1,6325
śnieg 2 (śr)	0,25	-5,42	-6,775
eksp (kr)	0,00	0,21	0,21
$u_{fin}$ K1 [mm]		6,089	< 28,24 $u_{net,fin}$ [mm]
$u_{fin}$ K2 [mm]		16,422	< 28,24 $u_{net,fin}$ [mm]
$u_{fin}$ K3 [mm]		2,319	< 28,24 $u_{net,fin}$ [mm]
$u_{fin}$ K4 [mm]		24,829	< 28,24 $u_{net,fin}$ [mm]

## 6. Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe krokwi po wzmocnieniu:

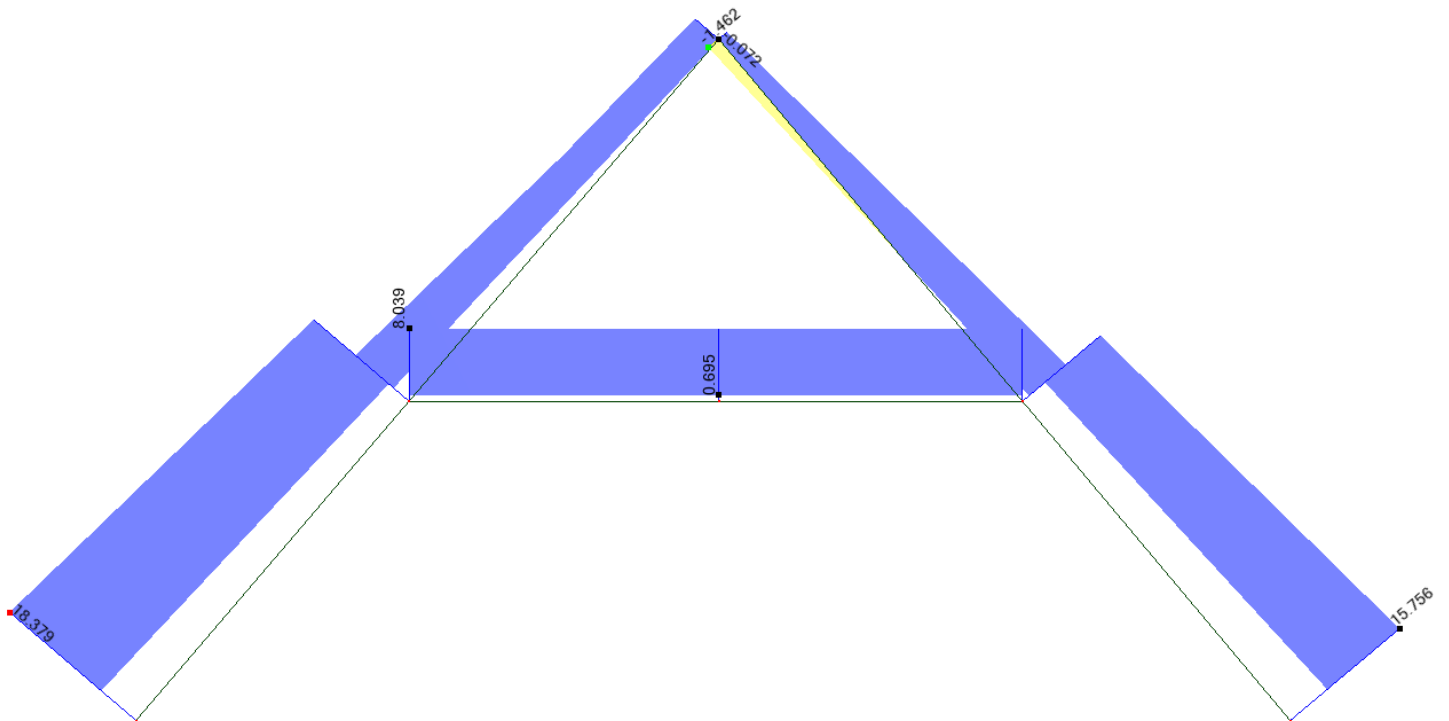
### 6.1. Obwiednia momentów zginających:



### 6.2. Obwiednia sił tnących:



### 6.3. Obwiednia sił normalnych:



#### 6.4. Obliczenia wytrzymałościowe ULS:

Krokwie: 189x140:

Decydujący przypadek obciążenia  $E_{d,4}$ :  $M_{Ed,4} = 3,997 \text{ kNm}$        $N_{Ed,4} = -11,394 \text{ kN}$

$$A = 0,189 * 0,14 = 0,0264 \text{ m}^2 \quad W_y = \frac{0,189 * 0,14^2}{6} = 617,4 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{-11,394}{0,0264} = 0,431 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{3,997}{617,4 * 10^{-6}} = 6,474 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = 0,0$$

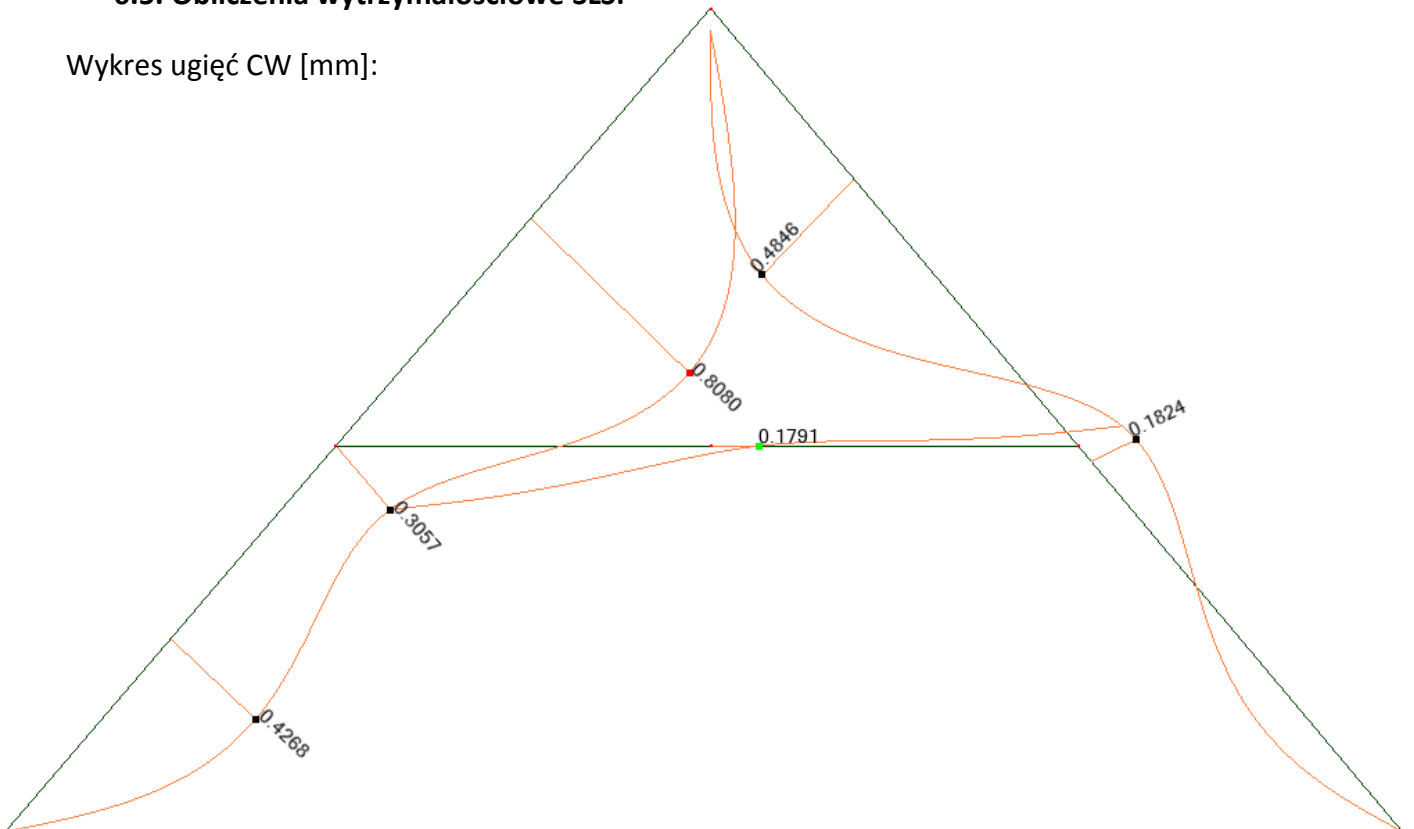
$$f_{c,0,d} = \frac{0,6 * 20,0}{1,3} = 9,23 \text{ MPa}$$

$$f_{m,y,d} = \frac{0,6 * 22,0}{1,3} = 10,295 \text{ MPa}$$

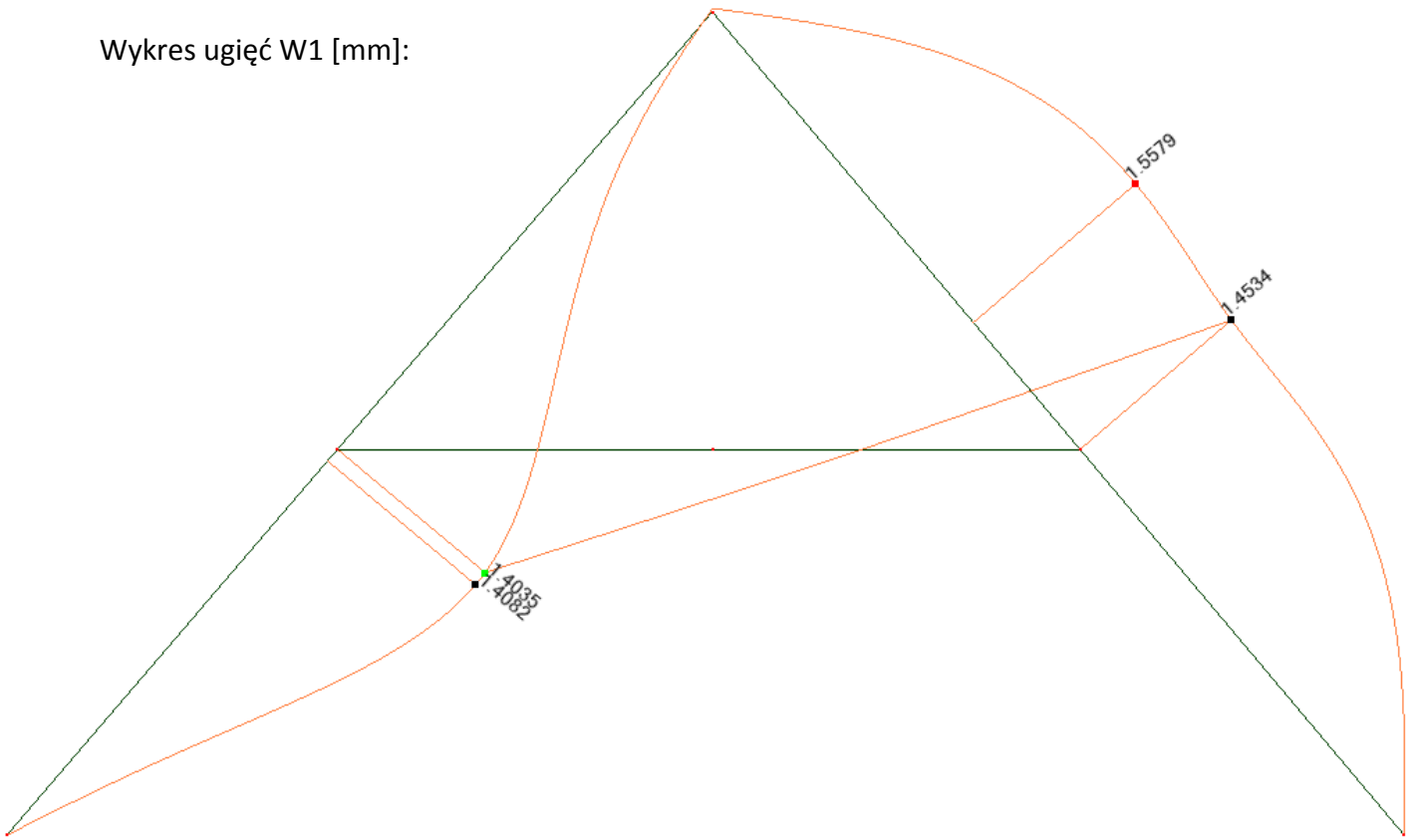
$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + 0,7 * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \mathbf{0,631} < \mathbf{1}$$

#### 6.5. Obliczenia wytrzymałościowe SLS:

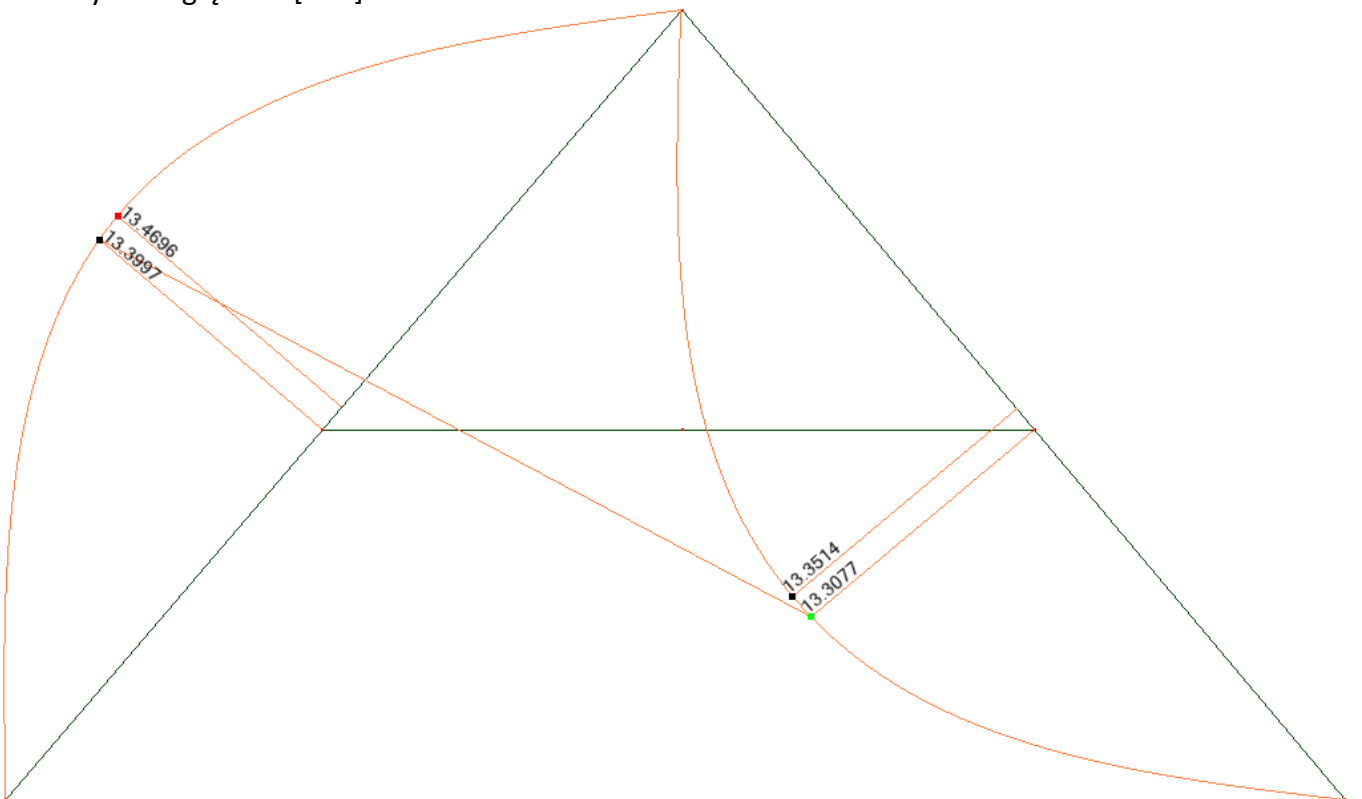
Wykres ugięć CW [mm]:



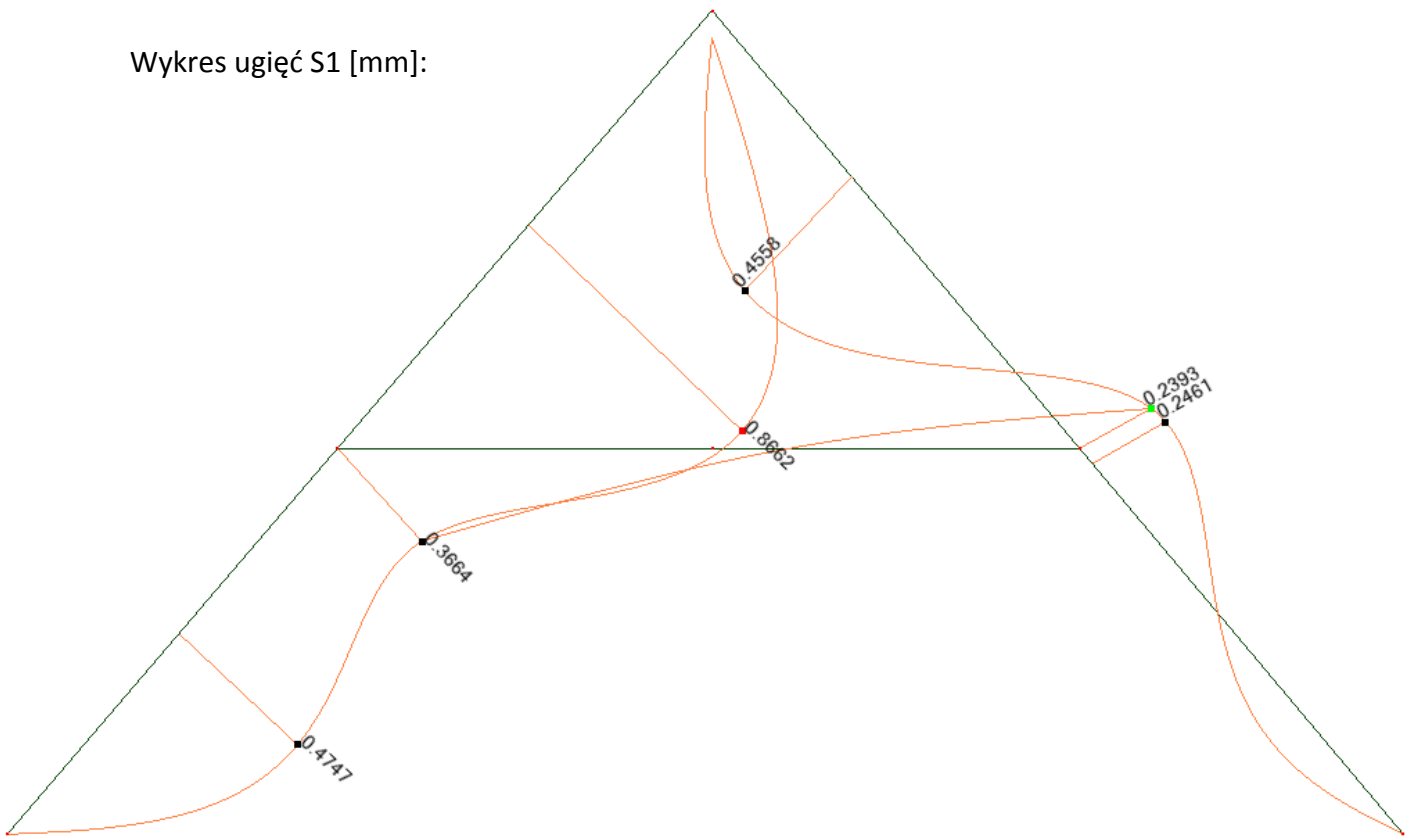
Wykres ugięć W1 [mm]:



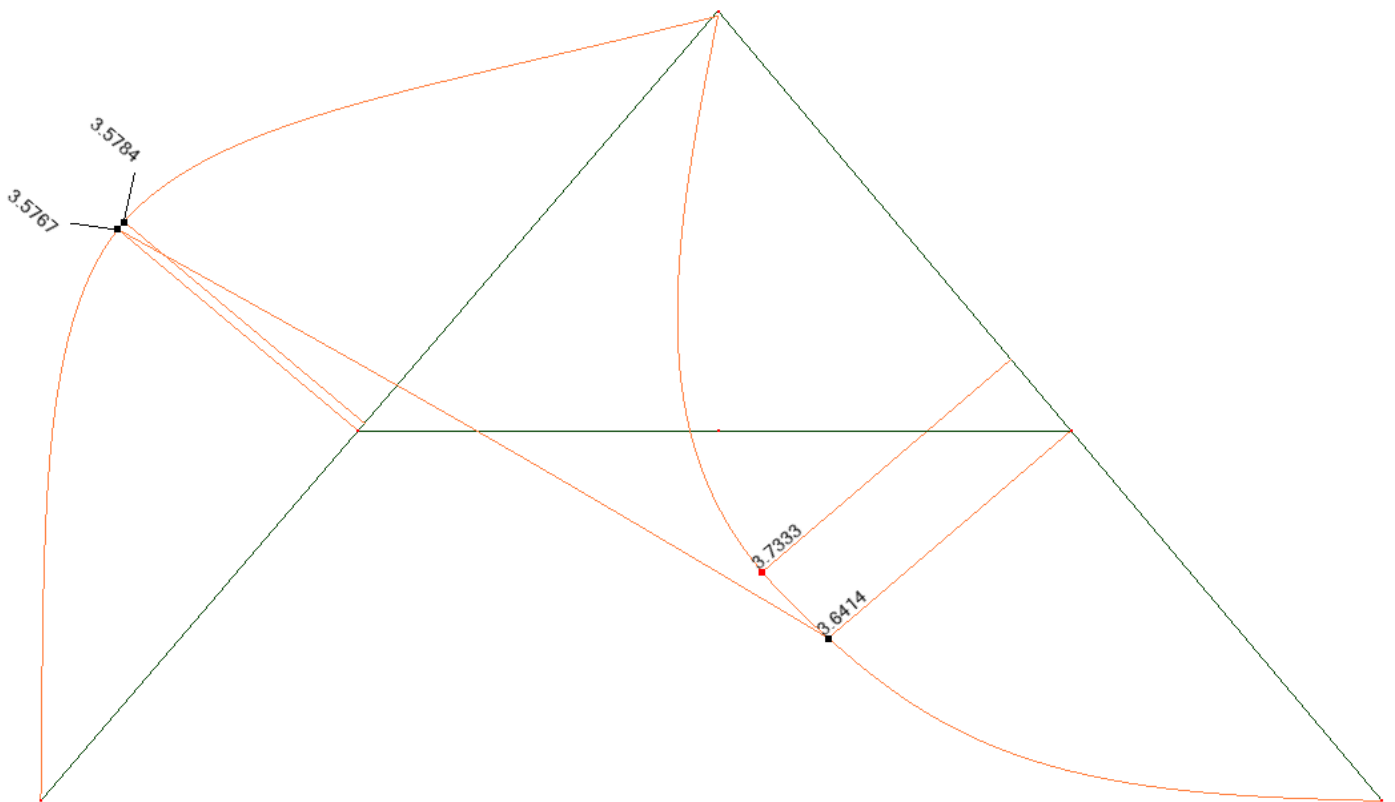
Wykres ugięć W2 [mm]:



Wykres ugięć S1 [mm]:

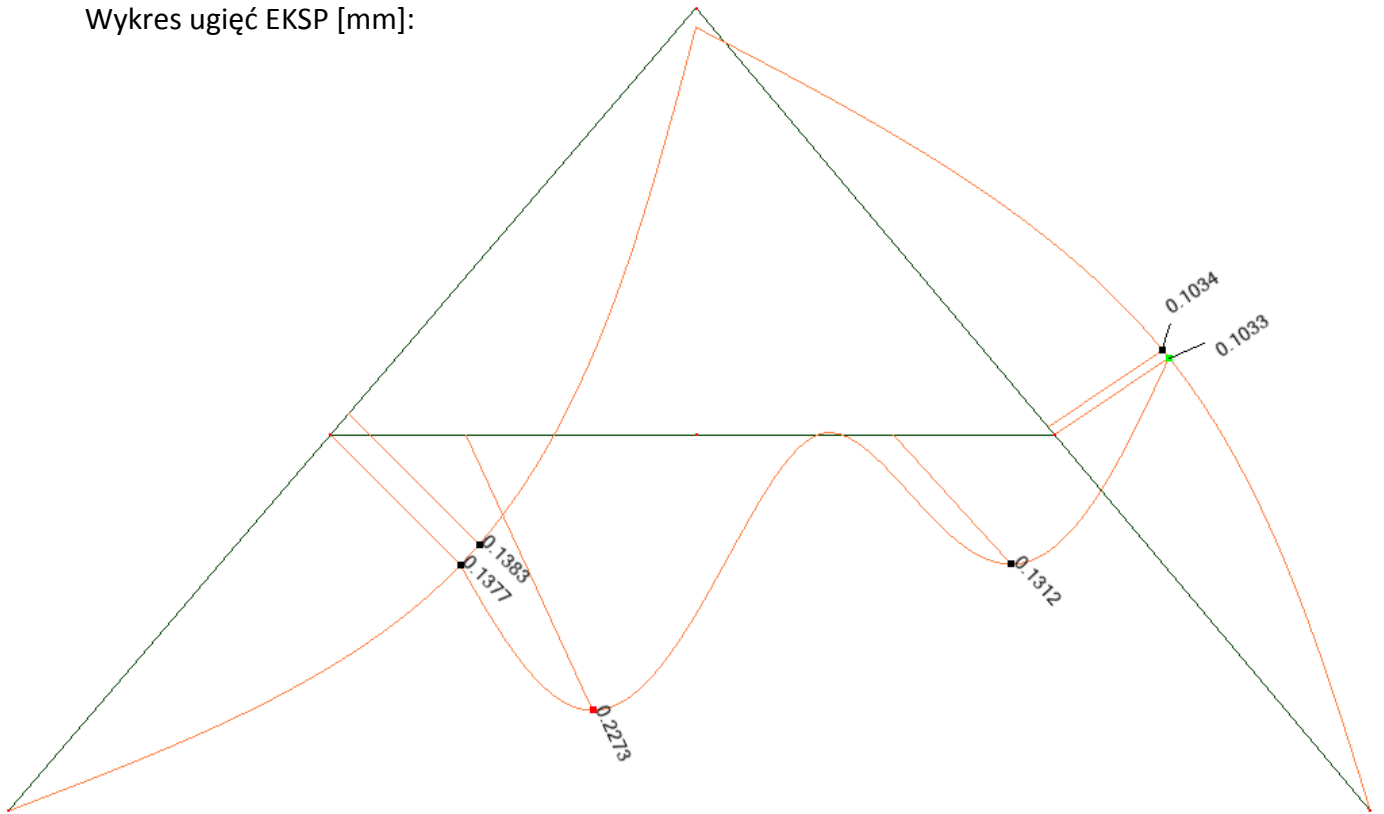


Wykres ugięć S2 [mm]:





Wykres ugięć EKSP [mm]:



$$u_{net,fin} = \frac{5647}{200} = 28,24 \text{ mm}$$

<i>obciążenie</i>	<i>k<sub>def</sub></i>	<i>u<sub>inst</sub></i> [mm]	<i>u<sub>fin</sub></i> [mm]			
<i>ciężar własny (st)</i>	0,80	0,808	1,4544			
<i>wiatr 1 (kr)</i>	0,00	1,41	1,41			
<i>wiatr 2 (kr)</i>	0,00	-13,46	-13,46			
<i>śnieg 1 (śr)</i>	0,25	0,87	1,0875			
<i>śnieg 2 (śr)</i>	0,25	3,58	4,475			
<i>eksp (kr)</i>	0,00	0,14	0,14			
<i>u<sub>fin</sub> K1 [mm]</i>		4,092		<	28,24	<i>u<sub>net,fin</sub></i> [mm]
<i>u<sub>fin</sub> K2 [mm]</i>		10,778		<	28,24	<i>u<sub>net,fin</sub></i> [mm]
<i>u<sub>fin</sub> K3 [mm]</i>		7,479		<	28,24	<i>u<sub>net,fin</sub></i> [mm]
<i>u<sub>fin</sub> K4 [mm]</i>		7,391		<	28,24	<i>u<sub>net,fin</sub></i> [mm]

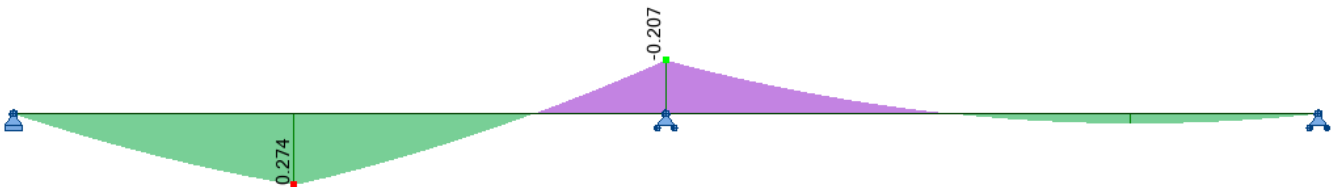
## 7. Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe łąty:

Zastosowano łąty o przekroju poprzecznym 4,5x3 cm, rozstaw łąt 30 cm

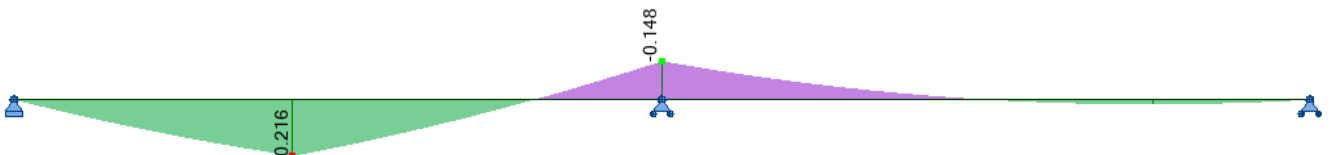
### 7.1. Zestawienie obciążeń:

obciążenie	$E_k$	$g_{G,Q}$	$E_D$	$\perp$		$\parallel$	
	kN/m		kN/m	$E_k$	$E_D$	$E_k$	$E_D$
ciężar własny pokrycia	0,700	1,350	0,945	0,724	0,465	0,450	0,607
obciążenie śniegiem	1,225	1,500	1,838	0,719	1,078	0,603	0,905
obciążenie wiatrem	0,700	1,500	1,050	0,700	1,050	0,000	0,000
$\Sigma$	2,625		3,833	2,143	2,594	1,053	1,512
obciążenie skupione	1,000	1,20	1,200	0,919	0,591	0,643	0,771

### 7.2. Wykres momentów zginających K1 $\perp$ :



### 7.3. Wykres momentów zginających K1 $\parallel$ :



### 7.4. Obliczenia wytrzymałościowe ULS:

$$W_y = \frac{0,043 \cdot 0,03^2}{6} = 6,45 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$W_z = \frac{0,03 \cdot 0,043^2}{6} = 9,245 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{0,274}{6,45 \cdot 10^{-6}} = 42,48 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{0,216}{9,245 \cdot 10^{-6}} = 23,36 \text{ MPa}$$

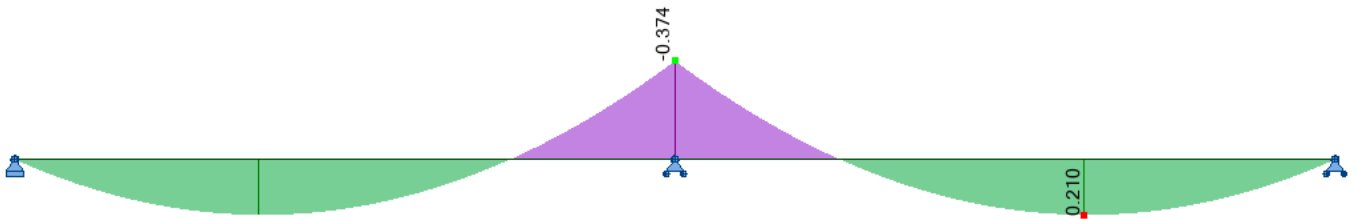
$$f_{m,y,d} = \frac{1,1 \cdot 22,0}{1,3} \cdot 1,3 = 24,206 \text{ MPa}$$

$$f_{m,z,d} = \frac{1,1 * 20,0}{1,3} * 1,3 = 24,206 \text{ MPa}$$

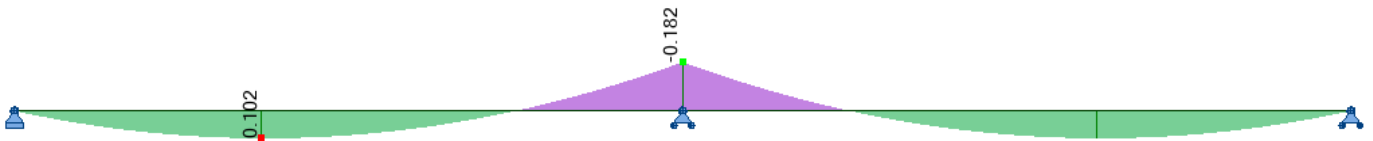
$$k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f'_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f'_{m,z,d}} = 0,7 * \frac{42,48}{24,206} + \frac{23,36}{24,206} = 2,19 > 1$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f'_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f'_{m,z,d}} = \frac{42,48}{24,206} + 0,7 * \frac{23,36}{24,206} = 2,43 > 1$$

### 7.5. Wykres momentów zginających K2 ⊥:



### 7.6. Wykres momentów zginających K2 ||:



### 7.7. Obliczenia wytrzymałościowe ULS:

$$W_y = \frac{0,043 * 0,03^2}{6} = 6,45 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$W_z = \frac{0,03 * 0,043^2}{6} = 9,245 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{0,21}{6,45 * 10^{-6}} = 32,56 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{0,102}{9,245 * 10^{-6}} = 11,03 \text{ MPa}$$

$$f'_{m,y,d} = \frac{1,1 * 22,0}{1,3} * 1,3 = 24,206 \text{ MPa}$$

$$f'_{m,z,d} = \frac{1,1 * 20,0}{1,3} * 1,3 = 24,206 \text{ MPa}$$

$$k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f'_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f'_{m,z,d}} = 1,38 > 1$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f'_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f'_{m,z,d}} = 1,66 > 1$$

## 7.8. Obliczenia wytrzymałościowe SLS:

SLS K1:

$$u_{net,fin} = \frac{980}{150} = 6,53 \text{ mm}$$

obciążenie	$k_{def}$	składowe $\perp$ [mm]		składowe $\parallel$ [mm]		
		$u_{inst,y}$	$u_{fin,y}$	$u_{inst,z}$	$u_{fin,z}$	
ciężar własny (st)	0,80	3,59	6,462	2,24	16,71488	
eksp (kr)	0,00	10,66	10,66	8,95	104,357	
$\Sigma u_{fin,y}$	$\Sigma u_{fin,z}$	17,122		121,072		
$u_{fin}$ [mm]		122,277				> 6,53 $u_{net,fin}$ [mm]

SLS K2:

$$u_{net,fin} = \frac{980}{150} = 6,53 \text{ mm}$$

obciążenie	$k_{def}$	składowe $\wedge$ [mm]		składowe $\parallel$ [mm]		
		$u_{inst}$	$u_{fin}$	$u_{inst}$	$u_{fin}$	
ciężar własny (st)	0,80	3,59	6,462	2,24	16,71488	
wiatr (kr)	0,00	3,45	3,45	0	0	
śnieg (śr)	0,25	3,54	4,425	2,96	16,058	
$\Sigma u_{fin,y}$	$\Sigma u_{fin,z}$	14,337		32,773		
$u_{fin}$ [mm]		35,772				> 6,53 $u_{net,fin}$ [mm]