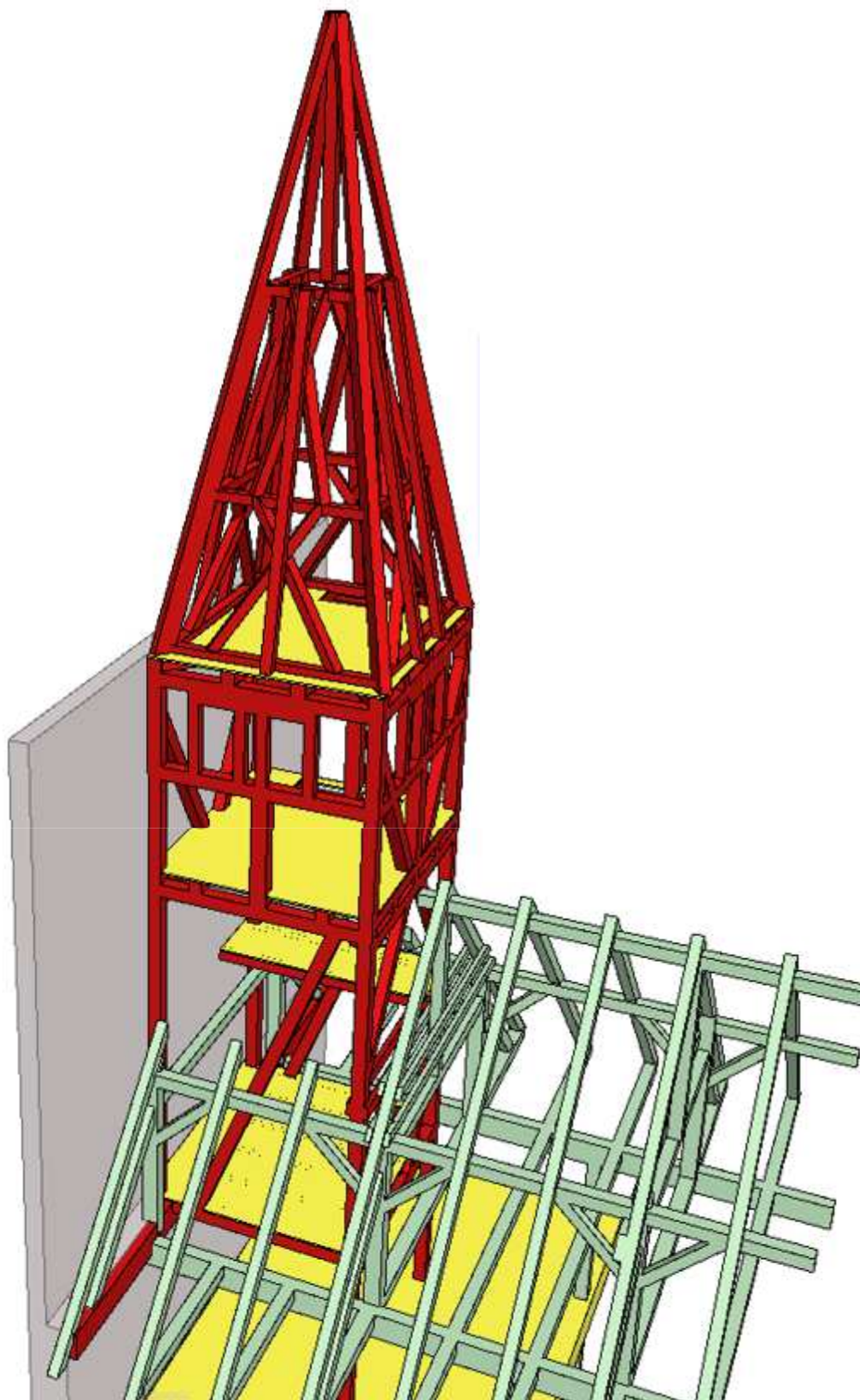


KONTROLNE OBLICZENIA STATYCZNE

Schemat układu konstrukcji dachu kościoła i wieży.



POZ.1.0. Analiza pracy krokwi dachu głównego.

Przyjęto uśrednione obciążenie na połac dachu $3,0 \text{ kN/m}^2$, krokwie co max. $1,2 \text{ m}$
 Uśrednione wymiary konstrukcji przyjęte na podstawie inwentaryzacji

- słupy, wieszaki 20/20, 21/20, 21/21 popękane - przyjęto 20/20
- słupy 23/23, 24/24, 25/25 popękane - przyjęto 24/24
- (niektóre słupy w przyziemiu są obudowane deską 2,0)
- belki (płatwie, rozpory) 19/20, 20/20, 20/21 - przyjęto 20/20
- zastrzały - przyjęto 14/16
- krokwie - przyjęto 16/18
- zastrzały wieszara - przyjęto 16/20
- deski podłóg 3,2
- łaty pod dachówki 6/4
- Nachylenie połaci dachu około 46°

Obciążenia:

Obciążenia	Charakterystyczne	γ_f	Obliczeniowe
- dachówki cer. + konstr.	$0,95 \text{ kN/m}^2$	1,1	$1,05 \text{ kN/m}^2$
- folia PCV x 2	$0,14 \text{ kN/m}^2$	1,2	$0,16 \text{ kN/m}^2$
	$1,09 \text{ kN/m}^2$	-	$1,21 \text{ kN/m}^2$
x 1,44 (46°)	$1,56 \text{ kN/m}^2$	1,12	$1,74 \text{ kN/m}^2$
- śnieg II strefa $\alpha = 46^\circ$ 0,53x0,9	$0,48 \text{ kN/m}^2$	1,5	$0,72 \text{ kN/m}^2$
Całkowite	$\Sigma = 2,04 \text{ kN/m}^2$	1,18	$\Sigma = 2,46 \text{ kN/m}^2$

Wiatr : Strefa I , przyjęto teren B

Parcie i ssanie $C = \pm 0,4$

$C_e = 0,8$

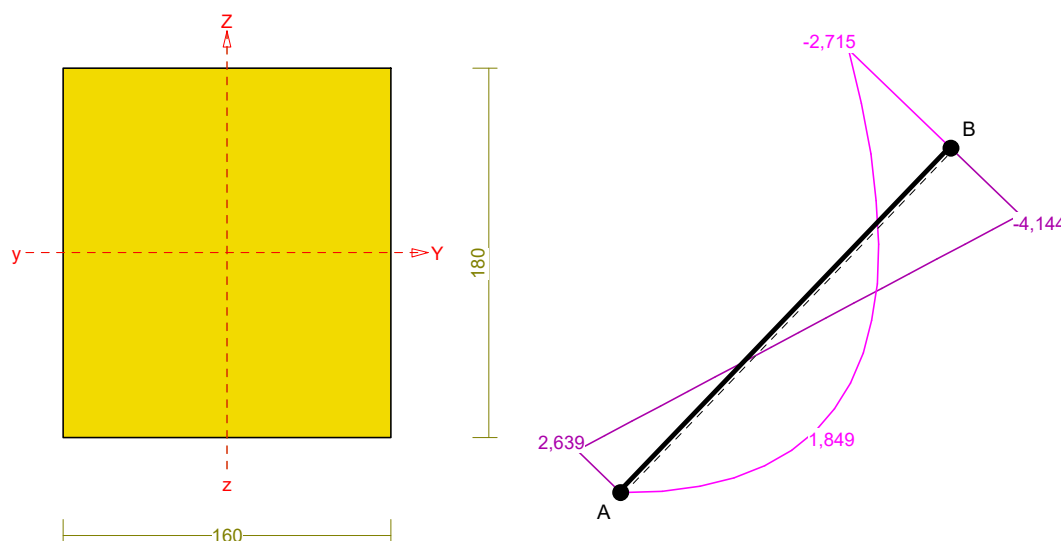
Konstrukcja niepodatna $\beta = 1,8$

$q_k = 0,25 \text{ kN/m}^2$, $\gamma_f = 1,3$

$p = s = 0,25 \times 1,8 \times 0,8 \times 0,4 \times 1,3 = 0,187$ około $0,2 \text{ kN/m}^2$

Krokwie 16/18 z drewna C22 w rozstawie co $1,2 \text{ m}$.

Pręt nr 1



Przekrój: 1 „B 18,0x16,0”

Wymiary przekroju:

$$h=180,0 \text{ mm} \quad b=160,0 \text{ mm}.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_y=7776,0; \quad J_z=6144,0 \text{ cm}^4; \quad A=288,00 \text{ cm}^2; \quad i_y=5,2; \quad i_z=4,6 \text{ cm}; \quad W_y=864,0; \quad W_z=768,0 \text{ cm}^3.$$

Własności techniczne drewna:

Przyjęto 1 klasę użytkowania konstrukcji (*temperatura powietrza 20° i wilgotności powyżej 65% 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 C22.**

$$f_{m,k} = 22,00$$

$$f_{m,d} = 10,15 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,k} = 13,00$$

$$f_{t,0,d} = 6,00 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,50$$

$$f_{t,90,d} = 0,23 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 20,00$$

$$f_{c,0,d} = 9,23 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 2,40$$

$$f_{c,90,d} = 1,11 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 2,40$$

$$f_{v,d} = 1,11 \text{ MPa}$$

$$E_{0,mean} = 10000 \text{ MPa}$$

$$E_{90,mean} = 330 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 6700 \text{ MPa}$$

$$G_{mean} = 630 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 340 \text{ kg/m}^3$$

Sprawdzenie nośności pręta nr 1

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-B-03150:2000. W obliczeniach uwzględniono ekstremalne wartości wielkości statycznych.

Nośność na rozciąganie:

Wyniki dla $x_a=3,61 \text{ m}$; $x_b=0,00 \text{ m}$, przy obciążeniach „ABC”.

Pole powierzchni przekroju netto $A_n = 288,00 \text{ cm}^2$.

$$\sigma_{t,0,d} = N / A_n = 2,852 / 288,00 \times 10 = \mathbf{0,10} < \mathbf{6,00} = f_{t,0,d}$$

Nośność na ściskanie:

Wyniki dla $x_a=0,00 \text{ m}$; $x_b=3,61 \text{ m}$, przy obciążeniach „ABC”.

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

$$l_c = \mu l = 0,831 \times 3,607 = 2,997 \text{ m}$$

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 3,607 = 3,607 \text{ m}$$

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

$$l_{c,y} = 2,997 \text{ m};$$

$$l_{c,z} = 3,607 \text{ m}$$

Współczynniki wyboczeniowe:

$$\lambda_y = l_{c,y} / i_y = 2,997 / 0,0520 = 57,68$$

$$\lambda_z = l_{c,z} / i_z = 3,607 / 0,0462 = 78,09$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_y^2 = 9,87 \times 6700 / (57,68)^2 = 19,87 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_z^2 = 9,87 \times 6700 / (78,09)^2 = 10,84 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,y}} = \sqrt{20/19,87} = 1,003$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,z}} = \sqrt{20/10,84} = 1,358$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (1,003 - 0,5) + (1,003)^2] = 1,054$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (1,358 - 0,5) + (1,358)^2] = 1,508$$

$$k_{c,y} = 1/(k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}) = 1/(1,054 + \sqrt{1,054^2 - 1,003^2}) = 0,727$$

$$k_{c,z} = 1/(k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}) = 1/(1,508 + \sqrt{1,508^2 - 1,358^2}) = 0,462$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju $A_d = 288,00 \text{ cm}^2$.

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 2,852 / 288,00 \times 10 = \mathbf{0,10} < \mathbf{4,27} = 0,462 \times 9,23 = k_{c,y} f_{c,0,d}$$

Ściskanie ze zginaniem dla $x_a=1,35 \text{ m}$; $x_b=2,25 \text{ m}$, przy obciążeniach „ABC”:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,02}{0,727 \times 9,23} + 0,7 \times \frac{0,00}{10,15} + \frac{2,14}{10,15} = \mathbf{0,214} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0,02}{0,462 \times 9,23} + \frac{0,00}{10,15} + 0,7 \times \frac{2,14}{10,15} = \mathbf{0,153} < \mathbf{1}$$

Nośność na zginanie:

Wyniki dla $x_a=3,61 \text{ m}$; $x_b=0,00 \text{ m}$, przy obciążeniach „ABC”.

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

$$l_d = 1,00 \times 3607 + 180 + 180 = 3967 \text{ mm}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{l_d h f_{m,d}}{\pi b^2 E_k}} \sqrt{\frac{E_{0,mean}}{G_{mean}}} = \sqrt{\frac{3967 \times 180 \times 10,15}{3,142 \times 160^2 \times 6700}} \times \sqrt{\frac{4 \times 10000}{630}} = 0,232$$

Wartość współczynnika zwichrzenia:

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

Warunek stateczności:

$$\sigma_{m,d} = M / W = 2,715 / 864,00 \times 10^3 = \mathbf{3,14} < \mathbf{10,15} = 1,000 \times 10,15 = k_{crit} f_{m,d}$$

Nośność dla $x_a=3,61 \text{ m}$; $x_b=0,00 \text{ m}$, przy obciążeniach „ABC”:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,10}{6,00} + \frac{3,14}{10,15} + 0,7 \times \frac{0,00}{10,15} = \mathbf{0,326} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,10}{6,00} + 0,7 \times \frac{3,14}{10,15} + \frac{0,00}{10,15} = \mathbf{0,233} < \mathbf{1}$$

Nośność ze ściskaniem dla $x_a=1,35 \text{ m}$; $x_b=2,25 \text{ m}$, przy obciążeniach „ABC”:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,02^2}{9,23^2} + \frac{2,14}{10,15} + 0,7 \times \frac{0,00}{10,15} = \mathbf{0,211} < \mathbf{1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}^2}{f_{c,0,d}^2} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,02^2}{9,23^2} + 0,7 \times \frac{2,14}{10,15} + \frac{0,00}{10,15} = \mathbf{0,148} < \mathbf{1}$$

Nośność na ścinanie:

Wyniki dla $x_a=3,61 \text{ m}$; $x_b=0,00 \text{ m}$, przy obciążeniach „ABC”.

Naprężenia tnące:

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / A = 1,5 \times 4,144 / 288,00 \times 10 = 0,22 \text{ MPa}$$

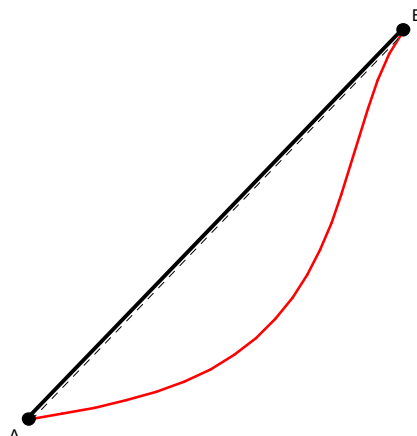
$$\tau_{y,d} = 1,5 V_y / A = 1,5 \times 0,000 / 288,00 \times 10 = 0,00 \text{ MPa}$$

Przyjęto $k_v = 1,000$.

Warunek nośności

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{z,d}^2 + \tau_{y,d}^2} = \sqrt{0,22^2 + 0,00^2} = \mathbf{0,22} < \mathbf{1,11} = 1,000 \times 1,11 = k_v f_{v,d}$$

Stan graniczny użytkowania:



Wyniki dla $x_a=1,58$ m; $x_b=2,03$ m, przy obciążeniach „ABC”.

Ugięcie graniczne

$$u_{\text{net,fin}} = l / 150 = 24,0 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń stałych (ciężar własny + „”):

$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = -0,1 \times (1 + 0,60) = -0,2 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = 0,0 \times (1 + 0,60) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcia od obciążeń zmiennych („ABC”):

Klasa trwania obciążeń zmiennych: **Stale** (więcej niż 10 lat, np. ciężar własny).

$$u_{z,\text{fin}} = u_{z,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = -1,9 \times (1 + 0,60) = -3,1 \text{ mm}$$

$$u_{y,\text{fin}} = u_{y,\text{inst}} (1+k_{\text{def}}) = 0,0 \times (1 + 0,60) = 0,0 \text{ mm}$$

Ugięcie całkowite:

$$u_{z,\text{fin}} = -0,2 + -3,1 = 3,3 < 24,0 = u_{\text{net,fin}}$$

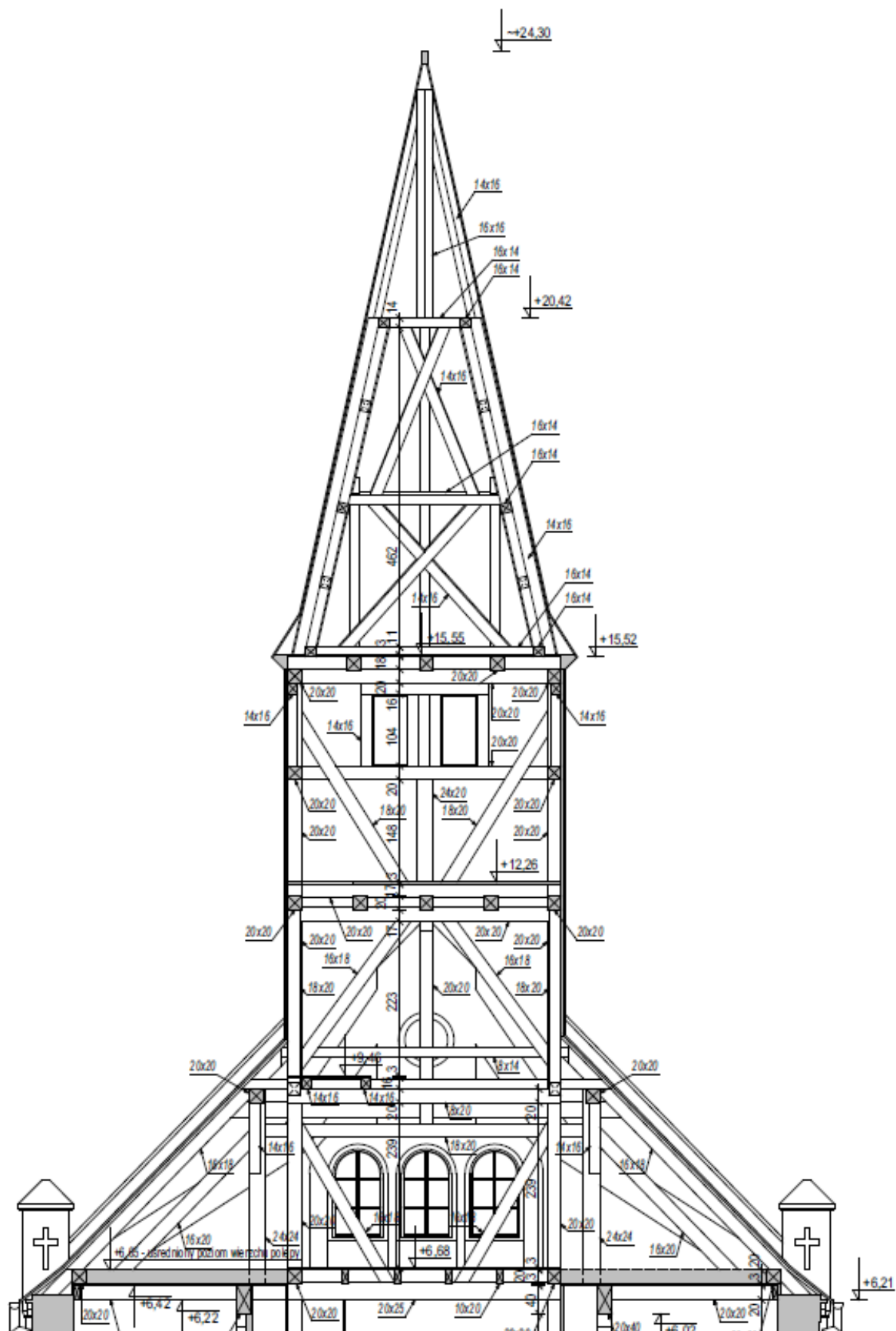
Przy przenoszeniu sił poziomych na płatwie i belki stropowe krokwie mają znaczny zapas nośności – mogą być dalej bezpiecznie eksploatowane (po kompleksowej impregnacji).

POZ.2.0. Analiza pracy konstrukcji wieży z przeniesieniem obciążeń na słupy i fundamenty.

Wieża została wykonana wtórnie. Została nadmurowana ściana szczytowa (co jest wyraźnie widoczne). Konstrukcja wieży wykonana została w konstrukcji drewnianej wspartej na niezależnej konstrukcji, po wycięciu fragmentu istniejącej konstrukcji dachu kościoła. Wieżę ustawiono na 2 słupach drewnianych (podtrzymujących jednocześnie strop chóru) oraz oparto na ścianie szczytowej kościoła.

Wieża jest w stanie przed katastrofalnym w związku z bardzo dużym pochyleniem się w kierunku środka kościoła. Konstrukcja wieży opiera się na ścianie szczytowej (nie osiadła) oraz na dwóch słupach przy organach. Słupy te osiadły około 5-7cm. Do poziomu +12,20 skrzywienie wieży wynika z osiadania słupów. Wyżej nie ma zastrzałów i skrzywienie się pogłębia w związku z mniejszą sztywnością konstrukcji.

W płaszczyźnie poziomej +6,50 belki krzyżowane płaszczyznami na styk. Na poddaszu krzyżowanie belek zazwyczaj na zakładkę 2-3cm. Kleszcze czasami na zakładkę 2-3 cm czasami (nowe) na styk.



15.03.2024 r.

Analiza obciążenia od wieży na słupy drewniane wewnętrzne.

Konstrukcja dachu wieży:

Elementy o przekroju 14/16 i 16/14 cm → łączna długość elementów to około 102 mb
 $102 \times 0,14 \times 0,16 \times 8 \text{ kN/m}^3 = 18,3 \text{ kN}$

Stropy → belki stropów $4/2 \times 12,8 \text{ kN} = 25,6 \text{ kN}$; deski stropowe 8,0 kN

Obciążenie użytkowe na stropach do $1,5 \text{ kN/m}^2 \rightarrow 1,5 \times 4 \times 2 \times 4 = 48 \text{ kN}$

Pozostała konstrukcja Słupy, zastrzały → 26,0 kN

Pokrycie na dachu około $0,5 \text{ kN/m}^2 \times 32 \text{ m}^2 = 16 \text{ kN}$

Pokrycie ścian wieży (dachówka karpiówka 1x) $42 \text{ m}^2 \times 0,6 \text{ kN/m}^2 = 25,2 \text{ kN}$

Organy około 20 kN

Obciążenie od śniegu – nie występuje

Obciążenie od wiatru – pominięto z uwagi na oddziaływani krótkotrwałe.

Sumarycznie $187 \text{ kN} / 2 = 93,5 \text{ kN}$ (na jeden słup).

Słupy w poziomie chóru mają przekrój 20/20 cm, w poziomie przyziemia 24/24 cm.

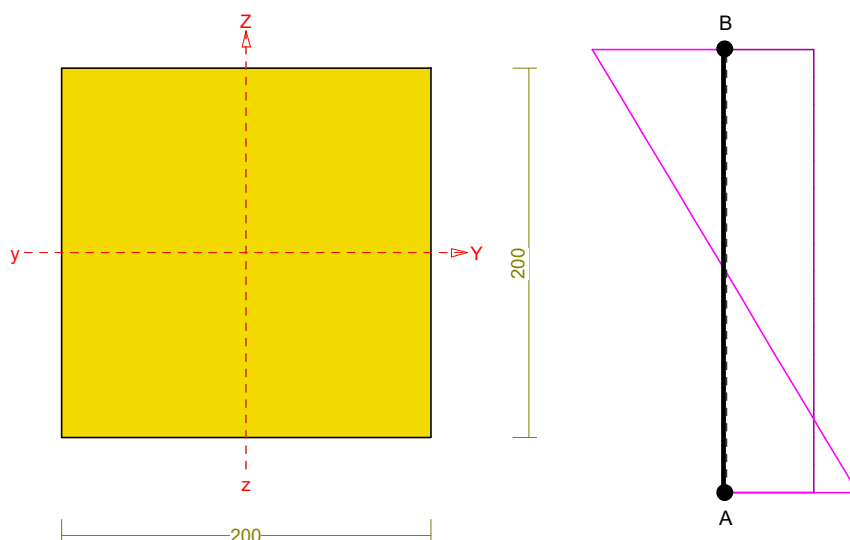
Analiza dla słupów w poziomie chóru.

Obciążenie łączne na słup to 93,5 kN – wysokość słupa 3,2 m.

Zakłada się, że słup jest usztywniony na poziomie stropu nad kościołem i w poziomie chóru.

Pręt nr 1

Zadanie:



Przekrój: 1 „B 20,0x20,0”

Wymiary przekroju:

$h=200,0 \text{ mm}$ $b=200,0 \text{ mm}$.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_y=13333,3$; $J_z=13333,3 \text{ cm}^4$; $A=400,00 \text{ cm}^2$; $i_y=5,8$; $i_z=5,8 \text{ cm}$; $W_y=1333,3$; $W_z=1333,3 \text{ cm}^3$.

Własności techniczne drewna:

Przyjęto 1 klasę użytkowania konstrukcji (*temperatura powietrza 20° i wilgotności powyżej 65% 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 C20.**

$$f_{m,k} = 20,00$$

$$f_{m,d} = 9,23 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,k} = 12,00$$

$$f_{t,0,d} = 5,54 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,50$$

$$f_{t,90,d} = 0,23 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 19,00$$

$$f_{c,0,d} = 8,77 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 2,30$$

$$f_{c,90,d} = 1,06 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 2,20$$

$$f_{v,d} = 1,02 \text{ MPa}$$

$$E_{0,mean} = 9500 \text{ MPa}$$

$$E_{90,mean} = 320 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 6400 \text{ MPa}$$

$$G_{mean} = 590 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 330 \text{ kg/m}^3$$

Sprawdzenie nośności pręta nr 1

Sprawdzenie nośności przeprowadzono wg PN-B-03150:2000. W obliczeniach uwzględniono ekstremalne wartości wielkości statycznych.

Nośność na ściskanie:

Wyniki dla $x_a=0,00 \text{ m}$; $x_b=3,20 \text{ m}$, przy obciążeniach „A”.

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

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 3,200 = 3,200 \text{ m}$$

- długość wyboczeniowa w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$l_c = \mu l = 1,000 \times 3,200 = 3,200 \text{ m}$$

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

$$l_{c,y} = 3,200 \text{ m};$$

$$l_{c,z} = 3,200 \text{ m}$$

Współczynniki wyboczeniowe:

$$\lambda_y = l_{c,y} / i_y = 3,200 / 0,0577 = 55,43$$

$$\lambda_z = l_{c,z} / i_z = 3,200 / 0,0577 = 55,43$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_y^2 = 9,87 \times 6400 / (55,43)^2 = 20,56 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_z^2 = 9,87 \times 6400 / (55,43)^2 = 20,56 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,y}} = \sqrt{19/20,56} = 0,961$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit,z}} = \sqrt{19/20,56} = 0,961$$

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (0,961 - 0,5) + (0,961)^2] = 1,008$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 [1 + 0,2 \times (0,961 - 0,5) + (0,961)^2] = 1,008$$

$$k_{c,y} = 1 / (k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}) = 1 / (1,008 + \sqrt{1,008^2 - 0,961^2}) = 0,762$$

$$k_{c,z} = 1 / (k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}) = 1 / (1,008 + \sqrt{1,008^2 - 0,961^2}) = 0,762$$

Powierzchnia obliczeniowa przekroju $A_d = 400,00 \text{ cm}^2$.

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 112,749 / 400,00 \times 10 = \mathbf{2,82} < \mathbf{6,68} = 0,762 \times 8,77 = k_c f_{c,0,d}$$

Nośność słupów jest wystarczająca.

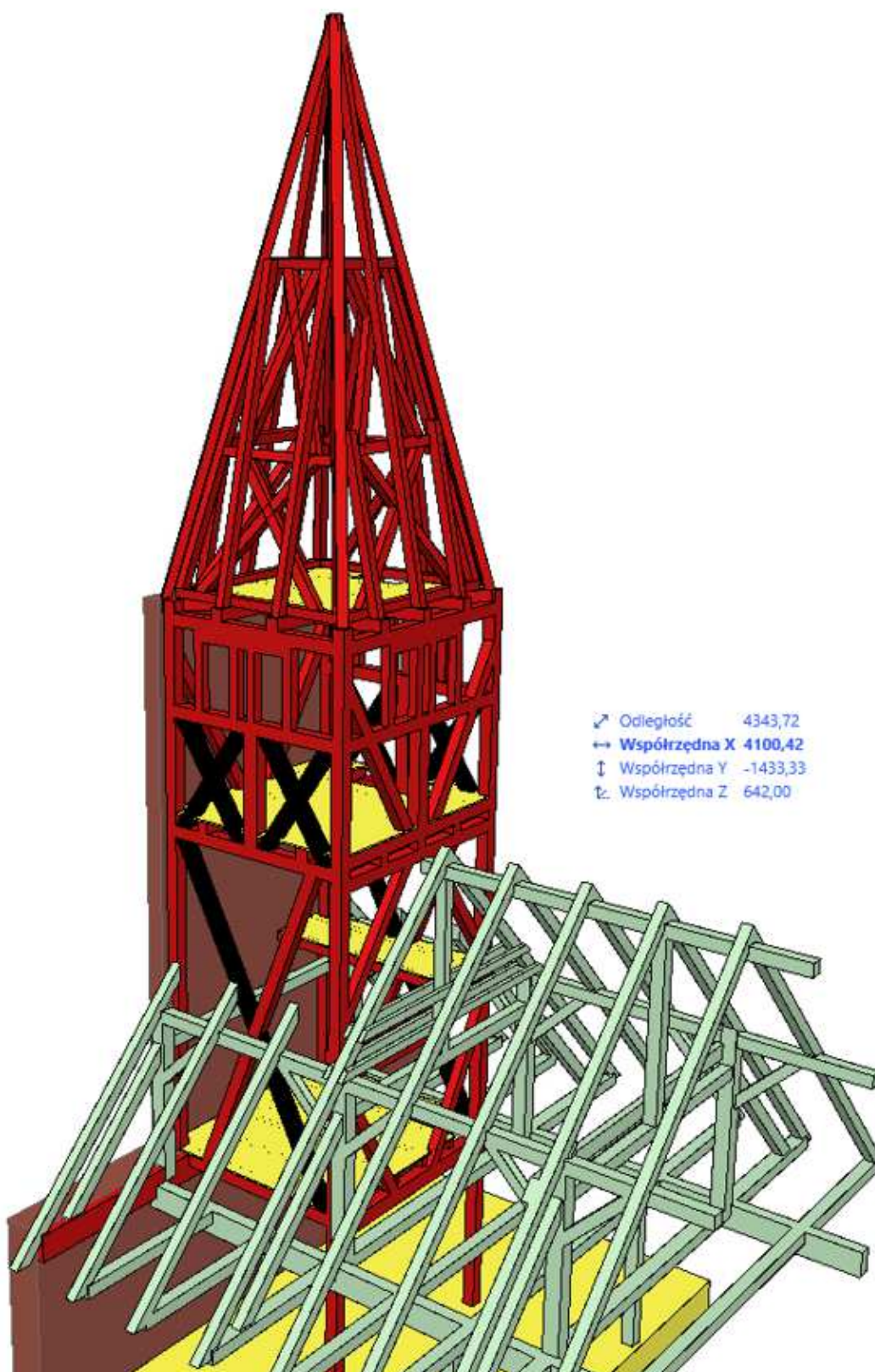
Słupów w poziomie przyziemia nie sprawdzono, ponieważ słupy mają większą nośność o 40 % w stosunku do nośności słupów na chórze.

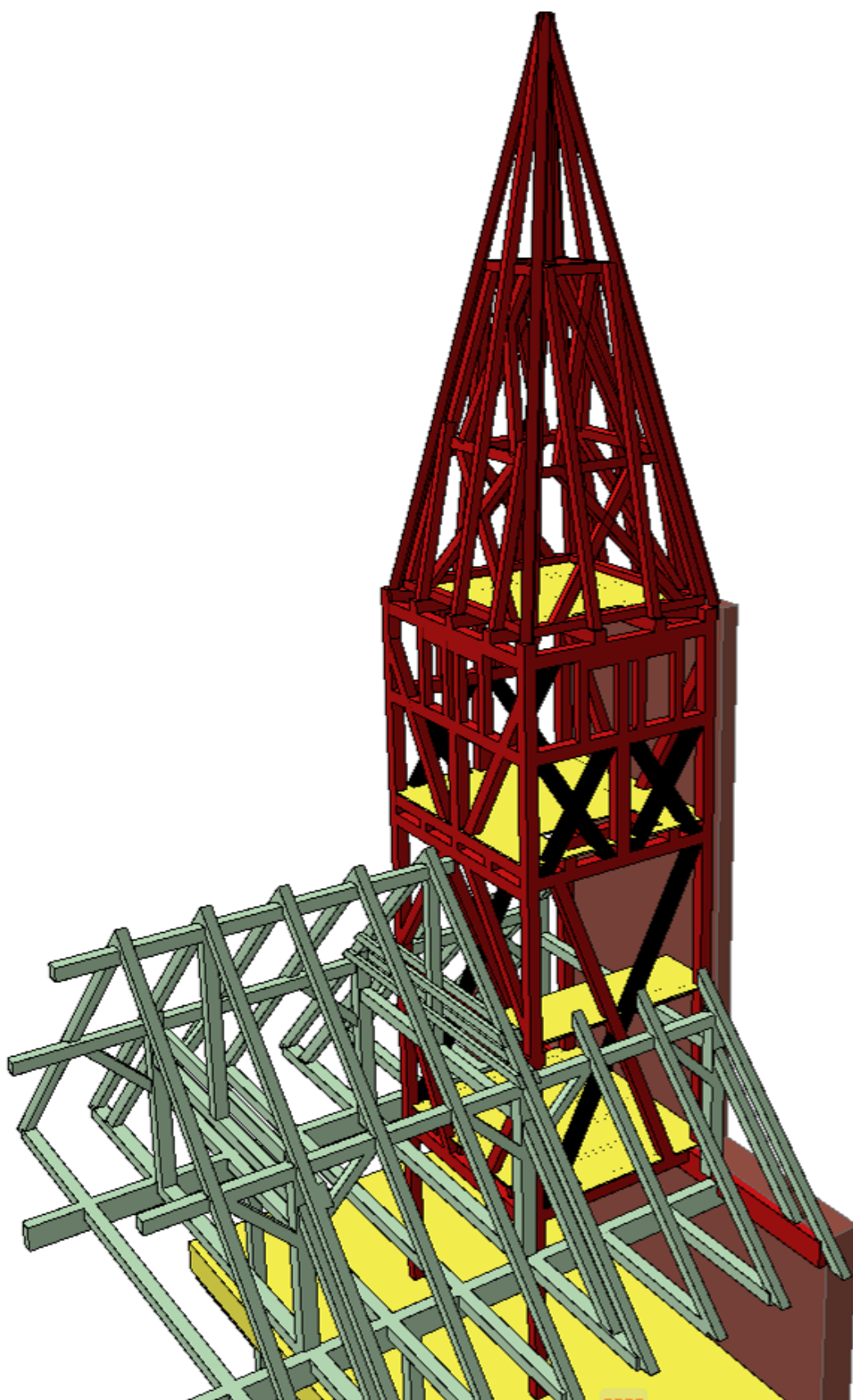
Generalnie należy wzmocnić fundament oraz wprowadzić dodatkowe usztywnienia (krzyżulce) konstrukcji wieży.

DODATKOWE ZASTRZAŁY



W kolorze czarnym pokazano dodatkowe zastrzały, zadaniem których jest usztywnienie zbyt wiotkich poziomów wieży. Zastosować drewno klasy C24 – przekrój elementów 14/16 cm (tak jak zastrzały istniejące). Nowe elementy zaimpregnować preparatami podanymi w opisie technicznym.





mgr inż. Krzysztof Świstowski

Nr upr. UAN-KZ-7210/99/88
do proj. bez ograniczeń w specj. konstrukcyjnej

15.03.2024 r.