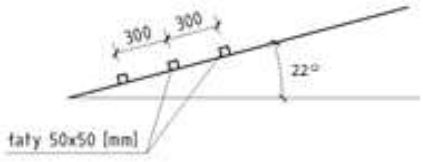
# III. OBLICZENIA STATYCZNO-WYTRZYMAŁOŚCIOWE

## POZ. 1. PODKŁAD POD POSZYCIE DACHU

Jako podkład pod poszycie z dachówki ceramicznej zakładkowej zastosowano łacenie, przyjęto łaty szerokości 50 mm i grubości 50 mm co 30 cm. Podkład będzie wykonany z drewna sosnowego klasy C22. Rozstaw dźwigarów kratowych przyjęto co 1,0 m.

### 1. Schemat statyczny podkładu pod poszycie




### 2. Zestawienie odziaływań charakterystycznych

#### 1) Obciążenia stałe

- dachówka ceramiczna zakładkowa $g = 0{,}600\ kN/m^2$
- wełna mineralna twarda 200mm $g = 0{,}100\ kN/m^2$
- łaty $50x50\ [mm]$ $g = 0{,}040\ kN/m^2$
- folia PE $g = 0{,}020\ kN/m^2$

$$\boldsymbol{g = 0{,}760\ kN/m^2}$$

#### 2) Obciążenie zmienne

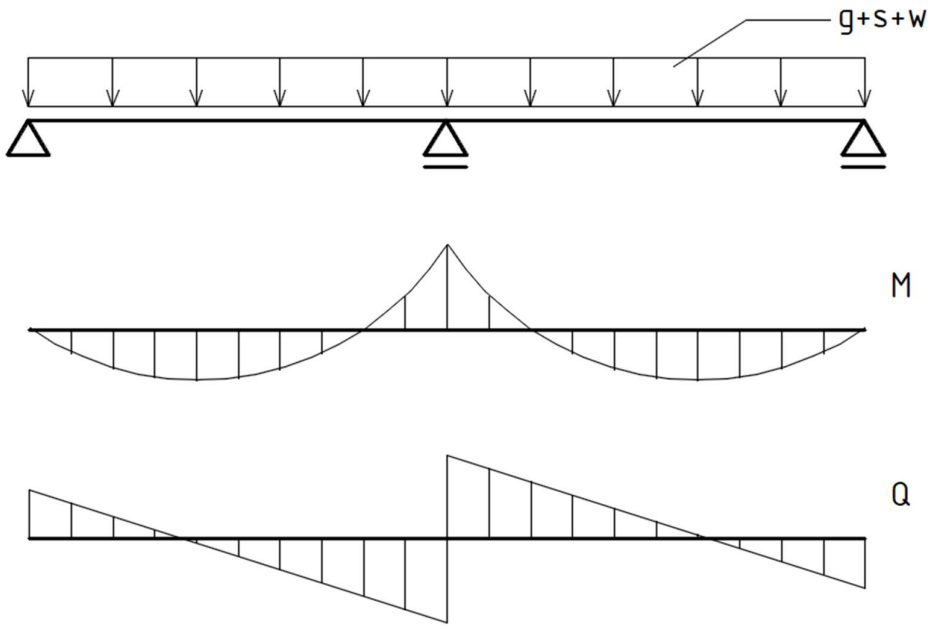
- obciążenie śniegiem $\boldsymbol{s = 1{,}28\ kN/m^2}$
- obciążenie wiatrem
  - ciśnienie zewnętrzne maksymalne: parcie $\boldsymbol{w_e = 0{,}215\ kN/m^2}$
  - ciśnienie wewnętrzne maksymalne: ssanie: $\boldsymbol{w_i = -0{,}150\ kN/m^2}$

Zestawienie obciążeń charakterystycznych na połać dachową

| Rodzaj obciążenia | Wartość obciążenia | Składowa | Wartość obciążenia na podkład |
|---|---|---|---|
| – | $[kN/m^2]$ | – | $[kN/m]$ |
| Stałe | 0,760 | ∥ | $0{,}760 \cdot 0{,}30 \cdot \sin 22° = 0{,}085$ |
| | | ⊥ | $0{,}760 \cdot 0{,}30 \cdot \cos 22° = 0{,}211$ |
| Śnieg | 1,280 | ∥ | $1{,}280 \cdot 0{,}30 \cdot \sin 22° \cdot \cos 22° = 0{,}133$ |
| | | ⊥ | $1{,}280 \cdot 0{,}30 \cdot \cos^2 22° = 0{,}330$ |
| Wiatr | 0,215 | ⊥ | $0{,}215 \cdot 0{,}30 = 0{,}065$ |
| | −0,150 | ⊥ | $0{,}150 \cdot 0{,}30 = 0{,}045$ |
| Montażowe ciągłe | $Q_c = 1{,}0$ | ∥ | $1{,}0 \cdot 0{,}30 \cdot \sin 22° = 0{,}112$ |
| | | ⊥ | $1{,}0 \cdot 0{,}30 \cdot \cos 22° = 0{,}278$ |
| Montażowe stałe | $P = 1{,}0\ kN$ | ∥ | $1{,}0 \cdot \sin 22° = 0{,}375\ kN$ |
| | | ⊥ | $1{,}0 \cdot \cos 22° = 0{,}927\ kN$ |

## 3. Obliczenia statyczne

### 1) Sytuacja trwała




- **<u>Kombinacje obciążeń wg PN-EN 1990</u>**
- **Obciążenia prostopadłe**

- KOMB1 (6.10a):

$$1{,}35 \cdot 0{,}211 + 1{,}5 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}330 + 1{,}5 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}110 = 0{,}796\ kN/m$$

- KOMB2 (6.10b):

$$0{,}85 \cdot 1{,}35 \cdot 0{,}211 + 1{,}5 \cdot 0{,}330 + 1{,}5 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}110 = \underline{1{,}000\ kN/m}$$

$$M_{y,max} = 0{,}125 \cdot q \cdot l^2 = 0{,}125 \cdot 1{,}000 \cdot 1{,}0^2 = 0{,}125\ kNm$$

- **Obciążenia równoległe**

- KOMB1 (6.10a)::

$$1{,}35 \cdot 0{,}085 + 1{,}5 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}133 = 0{,}215\ kN/m$$

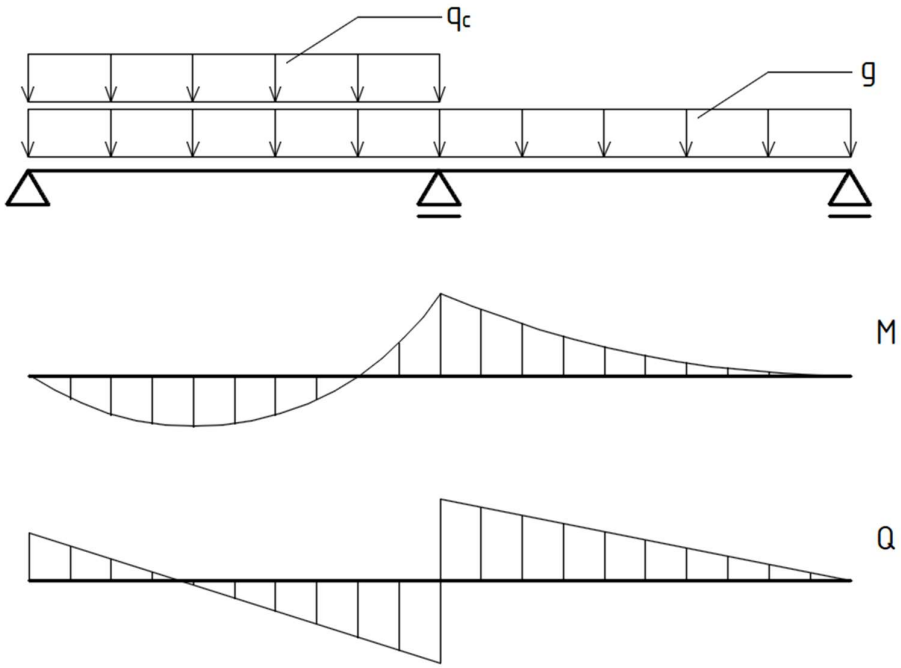
- KOMB2 (6.10b)::

$$0{,}85 \cdot 1{,}35 \cdot 0{,}085 + 1{,}5 \cdot 0{,}133 = \underline{0{,}298\ kN/m}$$

$$M_{z,max} = 0{,}125 \cdot q \cdot l^2 = 0{,}125 \cdot 0{,}298 \cdot 1{,}0^2 = 0{,}037\ kNm$$

## 2) Sytuacja przejściowa

### a) Obciążenie montażowe ciągłe



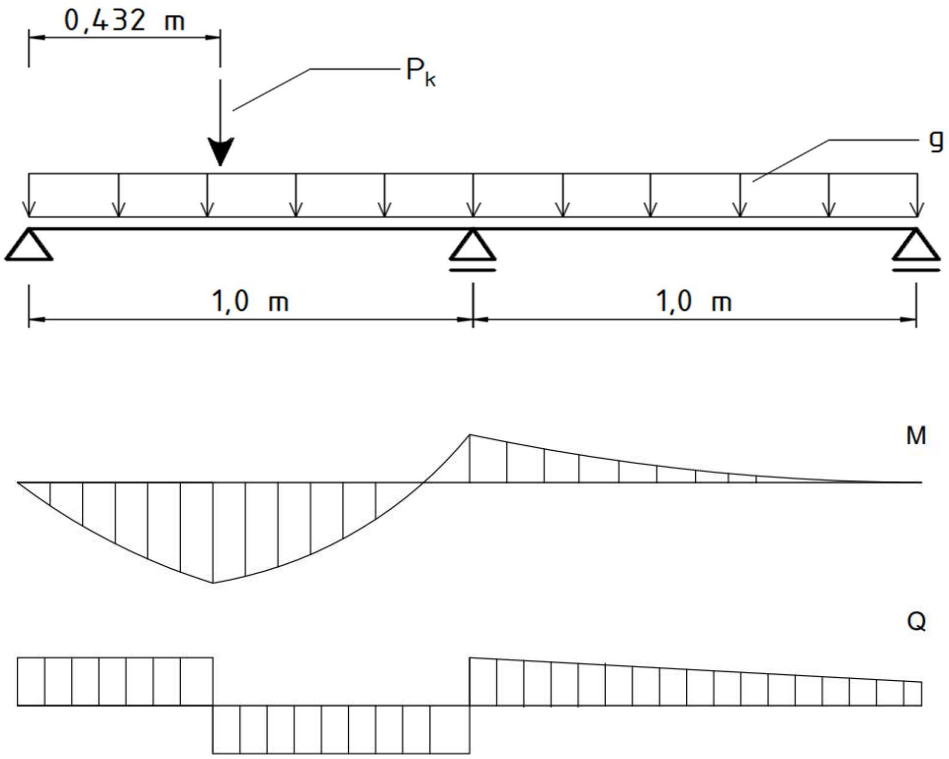

- **Obciążenie prostopadłe**

$g_{d\perp} = 1{,}35 \cdot 0{,}211 = 0{,}285\ kN/m$
$Q_{cd\perp} = 1{,}5 \cdot 0{,}278 = 0{,}417\ kN/m$
$M_{y,max} = 0{,}0703 \cdot g_{d\perp} \cdot l^2 + 0{,}096 \cdot Q_{d\perp} \cdot l^2$
$M_{y,max} = 0{,}0703 \cdot 0{,}285 \cdot 1{,}0^2 + 0{,}096 \cdot 0{,}417 \cdot 1{,}0^2 = 0{,}060\ kNm$

- **Obciążenie równoległe**

$g_{d\parallel} = 1{,}35 \cdot 0{,}085 = 0{,}115\ kN/m$
$Q_{cd\parallel} = 1{,}5 \cdot 0{,}112 = 0{,}169\ kN/m$
$M_{z,max} = 0{,}0703 \cdot g_{d\parallel} \cdot l^2 + 0{,}096 \cdot Q_{d\parallel} \cdot l^2$
$M_{z,max} = 0{,}0703 \cdot 0{,}115 \cdot 1{,}0^2 + 0{,}096 \cdot 0{,}169 \cdot 1{,}0^2 = 0{,}024\ kNm$

**b) Obciążenie montażowe skupione**




- **Obciążenie prostopadłe**

$g_{d\perp} = 1{,}35 \cdot 0{,}211 = 0{,}285\ kN/m$
$P_{d\perp} = 1{,}5 \cdot 0{,}927 = 1{,}391\ kN$
$M_{y,max} = 0{,}0703 \cdot g_{d\perp} \cdot l^2 + 0{,}096 \cdot P_{d\perp} \cdot l$
$M_{y,max} = 0{,}0703 \cdot 0{,}211 \cdot 1{,}0^2 + 0{,}096 \cdot 1{,}391 \cdot 1{,}0 = 0{,}153\ kNm$

- **Obciążenie równoległe**

$g_{d\parallel} = 1{,}35 \cdot 0{,}085 = 0{,}115\ kN/m$
$P_{d\parallel} = 1{,}5 \cdot 0{,}375 = 0{,}562\ kN$
$M_{z,max} = 0{,}0703 \cdot g_{d\parallel} \cdot l^2 + 0{,}096 \cdot P_{d\parallel} \cdot l$
$M_{z,max} = 0{,}0703 \cdot 0{,}115 \cdot 1{,}0^2 + 0{,}096 \cdot 0{,}562 \cdot 1{,}0 = 0{,}062\ kNm$

# 4. Sprawdzenie stanów granicznych nośności

## 1) Stan graniczny nośności

Dane:

- klasa użytkowania konstrukcji II
- drewno klasy C22
- przekrój łaty $50x50\ [mm]$
- **współczynnik** $\boldsymbol{k_m = 0,7}$ → dla drewna litego o przekroju prostokątnym

**- współczynnik** $\boldsymbol{k_{mod}}$ – współczynnik modyfikujący efekt czasu trwania obciążenia i zmiany wilgotności materiału;

$\boldsymbol{k_{mod} = 0,9}$ → dla obciążeń krótkotrwałych – sytuacja trwała

$\boldsymbol{k_{mod} = 1,1}$ → dla obciążeń chwilowych – sytuacja przejściowa

$\boldsymbol{\gamma_M = 1,3}$ → współczynnik wartości materiału

**a) Sytuacja trwała**

- **Warunki nośności**

**1°** $\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0$

**2°** $k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0$

$f_m$ – wytrzymałość obliczeniowa drewna na zginanie

$$f_{md} = k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_M}, \quad \boldsymbol{gdzie\ f_{mk} = 22\ MPa\ dla\ klasy\ drewna\ C22}$$

$$f_{md} = 0,9 \cdot \frac{22}{1,3} = 15,23\ MPa$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M}{W}, \quad gdzie\ W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{0,050 \cdot 0,050^2}{6} = 2,08 \cdot 10^{-5}\ m^3$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{0,125}{2,08 \cdot 10^{-5}} = 6000\ kPa = 6,00\ MPa$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M}{W}, \quad gdzie\ W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{0,050 \cdot 0,050^2}{6} = 2,08 \cdot 10^{-5}\ m^3$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{0,037}{2,08 \cdot 10^{-5}} = 1776\ kPa = 1,78\ MPa$$

<u>WARUNKI NOŚNOŚCI</u>

**1°** $\frac{6,00}{15,23} + 0,7 \cdot \frac{1,78}{15,23} = 0,48 < 1,0 \rightarrow WARUNEK\ SPEŁNIONY$

**2°** $0,7 \cdot \frac{6,00}{15,23} + \frac{1,78}{15,23} = 0,39 < 1,0 \rightarrow WARUNEK\ SPEŁNIONY$

**b) Sytuacja przejściowa**

Wybrano obciążenie montażowe skupione → większy moment zginający

$$f_{md} = 1,1 \cdot \frac{22}{1,3} = 18,62\ MPa$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{0,154}{2,08 \cdot 10^{-5}} = 7392,0\ kPa = 7,39\ MPa$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{0,062}{2,08 \cdot 10^{-5}} = 2976,0\ kPa = 2,98\ MPa$$

<u>WARUNKI NOŚNOŚCI</u>

**1°** $\frac{7,39}{18,62} + 0,7 \cdot \frac{2,98}{18,62} = 0,51 < 1,0 \rightarrow WARUNEK\ SPEŁNIONY$

**2°** $0,7 \cdot \frac{7,39}{18,62} + \frac{2,98}{18,62} = 0,44 < 1,0 \rightarrow WARUNEK\ SPEŁNIONY$

## 2) Stan graniczny użytkowalności

$E_{0,mean}$ – średni moduł sprężystości materiału wzdłuż włókien

$E_{0,mean} = 10\ GPa = 10000\ MPa \rightarrow$ klasa C22

- **Moment bezwładności przekroju względem osi Y i Z**

$$I_y = I_z = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0{,}050 \cdot 0{,}050^3}{6} = 5{,}21 \cdot 10^{-7}\ m^4$$

- **Współczynnik odkształceń**

$\boldsymbol{k_{def} = 0{,}8} \rightarrow$ klasa użytkowania II – drewno lite

WARUNKI UŻYTKOWALNOŚCI

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q1} + \sum u_{fin,Qi} \leq u_{net,fin}$$

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} \cdot \left(1 + k_{def}\right)$$

$$u_{fin,Q1} = u_{inst,Q1} \cdot \left(1 + \Psi_{2,1} \cdot k_{def}\right)$$

$$u_{fin,Qi} = u_{inst,Qi} \cdot \left(\Psi_{0,i} + \Psi_{2,1} \cdot k_{def}\right)$$

$$u = \sqrt{{u_{fin,y}}^2 + {u_{fin,z}}^2}$$

$$u_{net,fin} = \frac{l}{150} = \frac{1000}{150} = 6{,}7\ mm$$

**a) Ugięcie w sytuacji trwałej**

- **Ugięcie względem osi <u>y-y</u>**

– Obciążenie stałe

$g_\perp = 0{,}211\ kN/m$

$$u_{inst,g_\perp} = \frac{2{,}09 \cdot g_\perp \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot Iy} = \frac{2{,}09 \cdot 0{,}211 \cdot 1^4}{384 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 5{,}21 \cdot 10^{-7}} \cdot 1000 = 0{,}298\ mm$$

$$u_{fin,g_\perp} = u_{inst,g_\perp} \cdot \left(1 + k_{def}\right) = 0{,}298 \cdot (1 + 0{,}8) = 0{,}537\ mm$$

– Obciążenie śniegiem

$s_\perp = 0{,}330\ kN/m$

$$u_{inst,s_\perp} = \frac{2{,}09 \cdot s_\perp \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot Iy} = \frac{2{,}09 \cdot 0{,}330 \cdot 1^4}{384 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 5{,}21 \cdot 10^{-7}} \cdot 1000 = 0{,}466\ mm$$

$\Psi_{2,1} = 0 \rightarrow$ obciążenie śniegiem, wiatrem

$$u_{fin,s_\perp} = u_{inst,s_\perp} \cdot \left(1 + \Psi_{2,1} \cdot k_{def}\right) = 0{,}466 \cdot (1 + 0 \cdot 0{,}8) = 0{,}466\ mm$$

– Obciążenie wiatrem

$w_\perp = 0{,}110\ kN/m$

$$u_{inst,w_\perp} = \frac{2{,}09 \cdot w_\perp \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot Iy} = \frac{2{,}09 \cdot 0{,}110 \cdot 1^4}{384 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 5{,}21 \cdot 10^{-7}} \cdot 1000 = 0{,}155\ mm$$

$\Psi_{2,1} = 0$ , $\Psi_{0,i} = 0{,}6 \rightarrow$ obciążenie wiatrem

$$u_{fin,w_\perp} = u_{inst,w_\perp} \cdot \left(\Psi_{0,i} + \Psi_{2,1} \cdot k_{def}\right) = 0{,}155 \cdot (0{,}6 + 0 \cdot 0{,}8) = 0{,}093\ mm$$

$$u_{fin,y} = \sum u_{fin,\perp} = 0{,}537 + 0{,}466 + 0{,}093 = 1{,}096\ mm$$

- **Ugięcie względem osi <u>z-z</u>**
  - Obciążenie stałe

$g_{\parallel} = 0{,}085\ kN/m$

$$u_{inst,g_{\parallel}} = \frac{2{,}09 \cdot g_{\parallel} \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot Iz} = \frac{2{,}09 \cdot 0{,}085 \cdot 1^4}{384 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 5{,}21 \cdot 10^{-7}} \cdot 1000 = 0{,}120\ mm$$

$$u_{fin,g_{\parallel}} = u_{inst,g_{\parallel}} \cdot \left(1 + k_{def}\right) = 0{,}120 \cdot (1 + 0{,}8) = 0{,}216\ mm$$

  - Obciążenie śniegiem

$s_{\parallel} = 0{,}133\ kN/m$

$$u_{inst,\parallel} = \frac{2{,}09 \cdot s_{\parallel} \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot Iz} = \frac{2{,}09 \cdot 0{,}133 \cdot 1^4}{384 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 5{,}21 \cdot 10^{-7}} \cdot 1000 = 0{,}188\ mm$$

$\Psi_{2,1} = 0 \ \rightarrow$ obciążenie śniegiem

$$u_{fin,s_{\parallel}} = u_{inst,s_{\parallel}} \cdot \left(1 + \Psi_{2,1} \cdot k_{def}\right) = 0{,}188 \cdot (1 + 0 \cdot 0{,}8) = 0{,}188\ mm$$

$$u_{fin,z} = \sum u_{fin,\parallel} = 0{,}216 + 0{,}188 = 0{,}404\ mm$$

$$u = \sqrt{{u_{fin,y}}^2 + {u_{fin,z}}^2} = \sqrt{1{,}096^2 + 0{,}404^2} = 1{,}168\ mm$$

$u = 1{,}168\ mm < u_{net,fin} = 6{,}7\ mm \ \rightarrow$ $WARUNEK\ SPEŁNIONY$

**b) Ugięcia w sytuacji przejściowej**

- **Ugięcie względem osi <u>y-y</u>**
  - Obciążenie stałe

$g_{\perp} = 0{,}211\ kN/m$

$$u_{inst,g_{\perp}} = \frac{2{,}09 \cdot g_{\perp} \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot Iy} = \frac{2{,}09 \cdot 0{,}211 \cdot 1^4}{384 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 5{,}21 \cdot 10^{-7}} \cdot 1000 = 0{,}298\ mm$$

$$u_{fin,g_{\perp}} = u_{inst,g_{\perp}} \cdot \left(1 + k_{def}\right) = 0{,}298 \cdot (1 + 0{,}8) = 0{,}537\ mm$$

  - Obciążenie monterem

$P_{\perp} = 0{,}927\ kN$

$\Psi_{2,1} = 0{,}2 \ \rightarrow$ obciążenie wykonawcze

$$u_{inst,P_{\perp}} = 0{,}015 \cdot \frac{P_{\perp} \cdot l^3}{E \cdot I_y} = \frac{0{,}927 \cdot 1^3}{10 \cdot 10^6 \cdot 5{,}21 \cdot 10^{-7}} \cdot 1000 = 2{,}670\ mm$$

$$u_{fin,P_{\perp}} = u_{inst,P_{\perp}} \cdot \left(1 + \Psi_{2,1} \cdot k_{def}\right) = 2{,}670 \cdot (1 + 0{,}2 \cdot 0{,}8) = 4{,}806\ mm$$

$$u_{fin,y} = \sum u_{fin,\perp} = 0{,}537 + 4{,}806 = 5{,}342\ mm$$

- **gięcie względem osi <u>z-z</u>**
  - Obciążenie stałe

$g_{\parallel} = 0{,}085\ kN/m$

$$u_{inst,g_{\parallel}} = \frac{2{,}09 \cdot g_{\parallel} \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot Iz} = \frac{2{,}09 \cdot 0{,}085 \cdot 1^4}{384 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 5{,}21 \cdot 10^{-7}} \cdot 1000 = 0{,}120\ mm$$

$$u_{fin,g_{\parallel}} = u_{inst,g_{\parallel}} \cdot \left(1 + k_{def}\right) = 0{,}120 \cdot (1 + 0{,}8) = 0{,}216\ mm$$

– Obciążenie monterem

$P_{\parallel} = 0{,}375\ kN$

$\Psi_{2,1} = 0{,}2 \rightarrow$ obciążenie wykonawcze

$$u_{inst,P_{\parallel}} = \frac{P_{\parallel} \cdot l^3}{E \cdot I_z} = \frac{0{,}375 \cdot 1^3}{10 \cdot 10^6 \cdot 5{,}21 \cdot 10^{-7}} \cdot 1000 = 1{,}080\ mm$$

$$u_{fin,P_{\parallel}} = u_{inst,P_{\parallel}} \cdot \left(1 + \Psi_{2,1} \cdot k_{def}\right) = 1{,}080 \cdot (1 + 0{,}2 \cdot 0{,}8) = 1{,}944\ mm$$

$$u_{fin,z} = \sum u_{fin,\parallel} = 0{,}216 + 1{,}944 = 2{,}481\ mm$$

$$u = \sqrt{{u_{fin,y}}^2 + {u_{fin,z}}^2} = \sqrt{5{,}342^2 + 2{,}481^2} = 5{,}890\ mm$$

$u = 5{,}890\ mm < u_{net,fin} = 6{,}70\ mm \rightarrow$ *WARUNEK SPEŁNIONY*

## 3) Dobór zamocowania podkładu

- **Przyjęto gwoździe pierścieniowe ciesielskie CNA o średnicy 4,4mm i długości 100mm.**