

**MK – MOSTY**

Krzysztof Mac  
35 – 056 Rzeszów  
ul. Długosza 6/21



NAZWA INWESTORA I JEGO ADRES	<b>POWIAT ROPCZYCKO – SĘDZISZOWSKI</b> <b>ul. Konopnickiej 5</b> <b>39 – 100 Ropczyce</b>			
NAZWA, ADRES OBIEKTU BUDOWLANEGO I NUMERY DZIAŁEK, NA KTÓRYCH OBIEKT JEST USYTUOWANY	<b>PRZEBUDOWA MOSTU PRZEZ RZECĘ WIEŁOPOLKA(BRZEŹNICA) W CIĄGU DROGI POWIATOWEJ NR 1329 R ZDŻARY – WITKOWICE KM 5 + 873</b>			
FAZA OPRACOWANIA	<b>PROJEKT WYKONAWCZY</b>			
CZĘŚĆ OPRACOWANIA	<b>OBLICZENIA STATYCZNO – WYTRZYMAŁOŚCIOWE</b>			
NR EGZEMPLARZA	<b>1</b>			

## Obliczenia statyczno – wytrzymałościowe

### Przebudowa mostu przez rzekę Wielopolka w m. Kozodrza

#### 1. Dane wstępne:

a) most stały jednoprzęsłowy o parametrach:

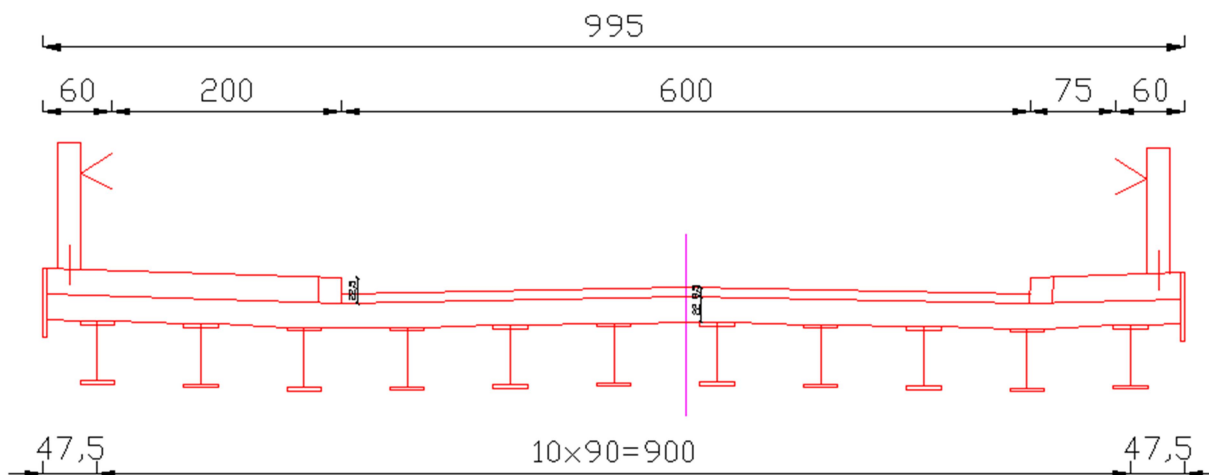
- długość  $L_c = 34,42$  m
- rozpiętość teoretyczna  $L_t = 33,00$  m
- szerokość całkowita:  $B = 9,95$  m
- szerokość użytkowa:  $B_u = 8,75$  m

b) konstrukcja mostu:

- ustrój nośny – zespolony (płyta żelbetowa gr. 18 cm z bet. B35 + belki stalowe HEB 550 (stal 18G2A), w rozstawie 0,90 m, stężone poprzecznkami z dwuteowników HEB 200, co ok. 3,30 m, stal j.w.
- podpory betonowe, na palach wierconych

c) Parametry użytkowe:      klasa obc. „B” + tłum pieszych

d) Schemat mostu:



#### 2. Zestawienie obciążeń:

##### 2.1. Obciążenia stałe:

$$\begin{aligned}
 \text{a) nawierzchnia bitumiczna jezdni: } & 0,08 \times 23 = 1,84 \times 1,5 = 2,76 \text{ kN/m}^2 \\
 & \quad \quad \quad \times 0,9 = 1,66 \text{ kN/m}^2 \\
 & 14,0 \times 0,005 = 0,07 \times 1,5 = 0,11 \text{ kN/m}^2 \\
 & \quad \quad \quad \times 0,9 = 0,06 \text{ kN/m}^2 \\
 \hline
 & g_j = 2,87 \text{ kN/m}^2 \\
 & \quad = 1,72 \text{ kN/m}^2 \\
 & \quad = 1,91 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

b) chodnik

$$0,006 \times 23 = 0,14 \times 1,5 = 0,21 \text{ kN/m}^2$$

$$\times 0,9 = 0,13 \text{ kN/m}^2$$

$$0,22 \times 25 = 5,50 \times 1,2 = 6,60 \text{ kN/m}^2$$

$$\times 0,9 = 4,95 \text{ kN/m}^2$$

$$14,0 \times 0,005 = 0,07 \times 1,5 = 0,11 \text{ kN/m}^2$$

$$\times 0,9 = 0,06 \text{ kN/m}^2$$

---

Razem:  $6,92 \text{ kN/m}^2$   
 $5,14 \text{ kN/m}^2$   
 $5,71 \text{ kN/m}^2$

c) płyta żelbetowa:  $g_p = 0,22 \times 25 = 5,50 \times 1,2 = 6,60 \text{ kN/m}^2$   
 $\times 0,9 = 4,95 \text{ kN/m}^2$

d) belka gzymsowa:  $G_g = 0,04 \times 0,60 \times 26 = 0,62 \times 1,2 = 0,75 \text{ kN/m}$   
 $\times 0,9 = 0,56 \text{ kN/m}$

e) barieroporęcz:  $G_{bp} = 0,7 \times 1,5 = 1,05 \text{ kN/m}$   
 $\times 0,9 = 0,63 \text{ kN/m}$

h) belka stalowa, walcowana: HEB 600, wzmocniona blachą 350 x 30 mm i 350 x 20 mm  
 $g_l = 3,85 \times 1,015 = 3,91 \times 1,2 = 4,69 \text{ kN/m}$   
 $\times 0,9 = 3,52 \text{ kN/m}$

j) poprzecznice (HEB 200):

$$G_p = 0,90 \times 0,613 \times 1,05 = 0,58 \times 1,2 = 0,70 \text{ kN}$$

$$\times 0,9 = 0,52 \text{ kN}$$

## 2.2. Obciążenia użytkowe kl. „B”:

$$K = 600 : 8 = 75 \times 1,5 = 112,5 \text{ kN}; \quad \phi = 1,35 - 0,005 \times 33,0 = 1,185$$

$$q = 3,0 \times 1,5 = 4,50 \text{ kN/m}^2$$

$$K_\phi = 112,5 \times 1,185 = 133,31 \text{ kN}$$

### b) obciążenie tłumem:

$$q_t = 2,5 \times 1,5 = 3,75 \text{ kN/m}^2$$

## 2.3. Rozkład poprzeczny obciążeń:

Rozkład wg sztywnej poprzecznicy – dla belki skrajnej: 356,40

### a) belka skrajna: 445,90

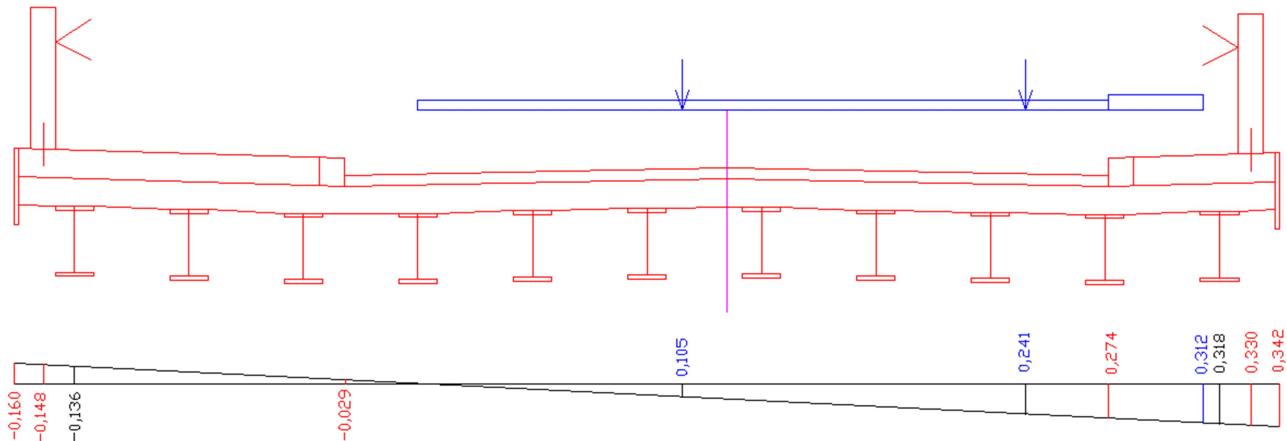
$$y_0 = \frac{1}{11} + \frac{9,0^2}{2 \times (9,0^2 + 7,20^2 + 5,40^2 + 3,60^2 + 1,8^2)} = 0,091 + 0,227 = 0,318$$

$$y_1 = 0,091 - 0,227 = -0,136$$

### b) belka Nr 2: 356,4

$$y_0 = \frac{1}{11} + \frac{9,0 \times 7,20}{2 \times (9,00^2 + 7,20^2 + 5,40^2 + 3,6^2 + 1,8^2)} = 0,091 + 0,181 = 0,272 < 0,257$$

$$y_1 = 0,091 - 0,181 = -0,09 > -0,115$$



$$g_n^{\max} = 0,342 \times 0,75 - 0,16 \times 0,56 + 0,33 \times 1,05 - 0,148 \times 0,63 + 0,416 \times 6,92 - 0,245 \times 5,14 + 0,743 \times 2,87 - 0,008 \times 1,72 = 0,26 - 0,09 + 0,35 - 0,09 + 2,88 - 1,26 + 2,13 - 0,01 = 4,17 \text{ kN/m}$$

$$g_n^{\min} = 0,342 \times 0,56 - 0,16 \times 0,75 + 0,33 \times 0,63 - 0,148 \times 1,05 + 0,416 \times 5,14 - 0,245 \times 6,92 + 0,743 \times 1,72 - 0,008 \times 2,87 = 0,19 - 0,12 + 0,21 - 0,16 + 2,14 - 1,70 + 1,28 - 0,02 = 1,82 \text{ kN/m}$$

$$g_n = (0,342 - 0,16) \times 0,62 + (0,33 - 0,148) \times 0,70 + (0,416 - 0,245) \times 5,71 + (0,743 - 0,008) \times 1,91 = 0,11 + 0,13 + 0,97 + 1,40 = 2,61 \text{ kN/m}$$

$$K^r = (0,241 + 0,105) \times 133,31 = 46,13 \text{ kN};$$

$$q^r = 0,743 \times 4,50 = 3,34 \text{ kN/m}$$

$$q_t^r = 0,22 \times 3,75 = 0,83 \text{ kN/mb}$$

$$K^n = 46,13 : 1,5 = 30,75 \text{ kN};$$

$$q^n = 3,34 : 1,5 = 2,23 \text{ kN/mb}$$

$$q_t^n = 0,83 : 1,5 = 0,55 \text{ kN/mb}$$

### 2.3. Obciążenia w poszczególnych fazach pracy konstrukcji:

#### 2.3.1. Faza – nie zespolona:

$$g_{\max}^r = 6,60 \times 0,88 + 4,69 = 10,50 \text{ kN/m};$$

$$g_{\min}^r = 4,95 \times 0,88 + 3,52 = 7,88 \text{ kN/m};$$

$$g^n = 5,50 \times 0,88 + 3,91 = 8,75 \text{ kN/m}$$

$$G_{\max}^p = 0,70 \text{ kN}; G_{\min}^p = 0,52 \text{ kN}; G^p = 0,58 \text{ kN};$$

#### 2.3.2. Faza zespolona:

$$g_n^{\max} = 4,17 \text{ kN/m}$$

$$g_{\min}^n = 1,82 \text{ kN/m}$$

$$g^n = 2,61 \text{ /m}$$

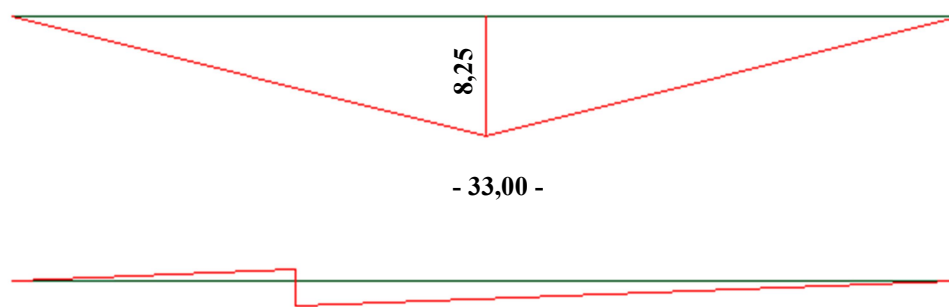
$$K^r = 46,13 \text{ kN};$$

$$q^r = 3,34 + 0,83 = 4,17 \text{ kN/m}$$

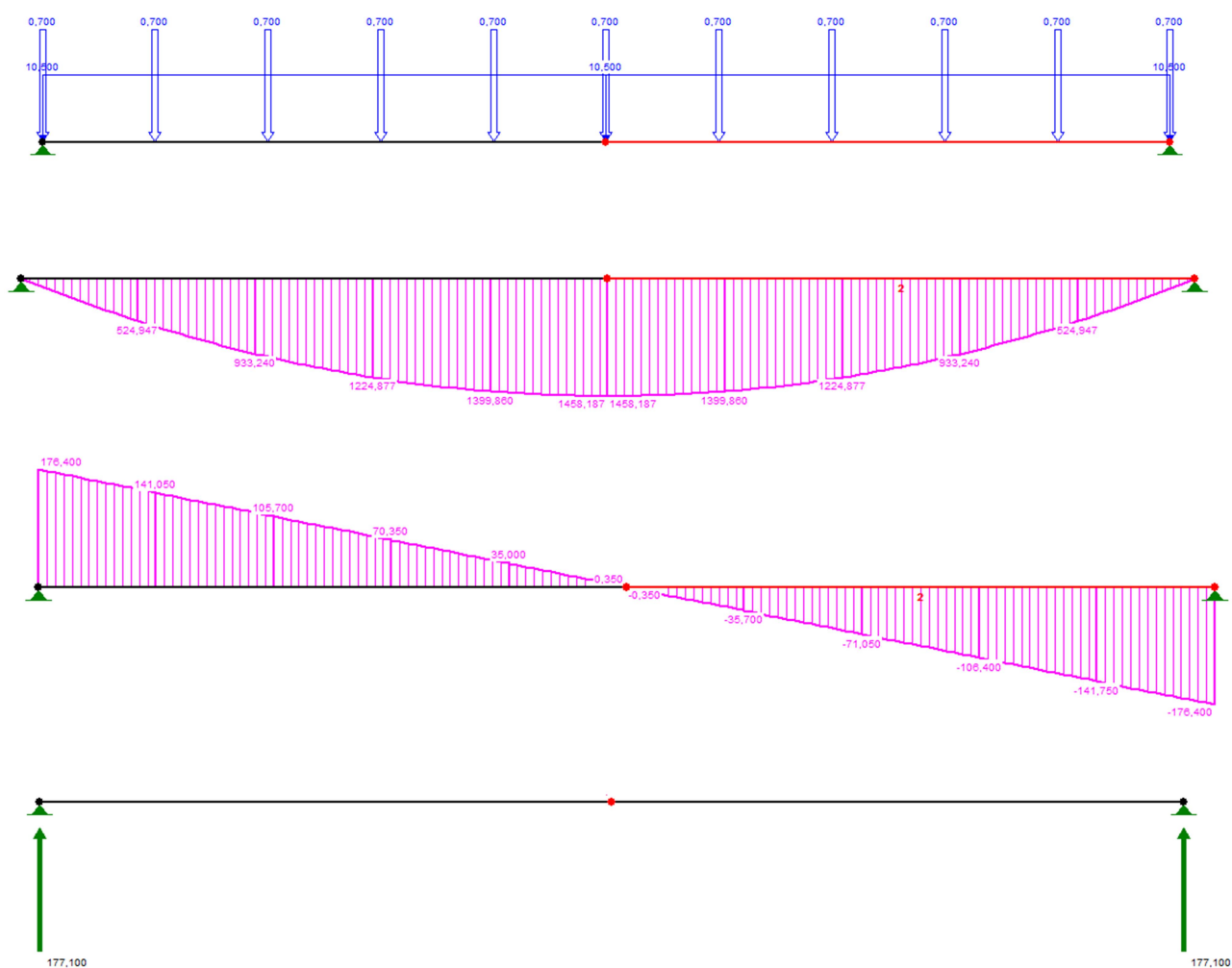
$$K^{n'} = 46,13 / 1,50 \times 1,185 = 25,95 \text{ kN};$$

$$q^n = 4,17 : 1,5 = 2,78 \text{ kN/m}$$

## 2.4. Siły wewnętrzne w poszczególnych fazach:



### 2.4.1. Faza niezespolona:



$$M = 1458,18$$

$$R = 175,62 \text{ kN}$$

$$T_o = 177,10 \text{ kN}$$

$$T_{0,5l} = 16,50 \times 0,50 \times 0,5 \times (10,50 - 7,88) = 10,81 \text{ kN}$$

## 2.4.2. Faza zespolona

### 2.4.2.1 Nawierzchnia:

$$M = 4,17 \times 33,0^2 \times 0,125 = 567,64 \text{ kNm}$$

$$R = T_0 = 4,17 \times 33,00 \times 0,5 = 68,81 \text{ kN}$$

$$T_{0,15l=4,95m} = 0,85 \times 28,05 \times 0,5 \times 4,17 - 0,15 \times 4,95 \times 0,5 \times 1,82 = 49,71 - 0,68 = 49,03 \text{ kN}$$

$$T_{0,25l=8,25m} = 0,75 \times 24,75 \times 0,5 \times 4,17 - 0,25 \times 8,25 \times 0,5 \times 1,82 = 38,70 - 1,88 = 36,82 \text{ kN}$$

$$T_{0,35l=11,55m} = 0,65 \times 21,45 \times 0,5 \times 4,17 - 0,35 \times 11,55 \times 0,5 \times 1,82 = 29,07 - 3,68 = 25,39 \text{ kN}$$

$$T_{0,5l=16,50m} = 16,50 \times 0,50 \times 0,5 \times (4,17 - 1,82) = 9,69 \text{ kN}$$

### 2.4.2.2. Obciążenia użytkowe:

$$M = 33,00^2 \times 4,17 \times 0,125 + (8,25 + 2 \times 7,65 + 7,05) \times 46,13 = 567,64 + 1411,58 = 1979,22 \text{ kNm}$$

$$R = T_0 = 33,00 \times 1,0 \times 0,5 \times 4,17 + 46,13 \times (1 + 0,963 + 0,927 + 0,891) = 68,81 + 174,42 = 243,23 \text{ kN}$$

$$T_{0,15l=4,95m} = 0,85 \times 28,05 \times 0,5 \times 4,17 + 46,13 \times (0,85 + 0,814 + 0,777 + 0,741) = 49,71 + 146,79 = 196,50 \text{ kN}$$

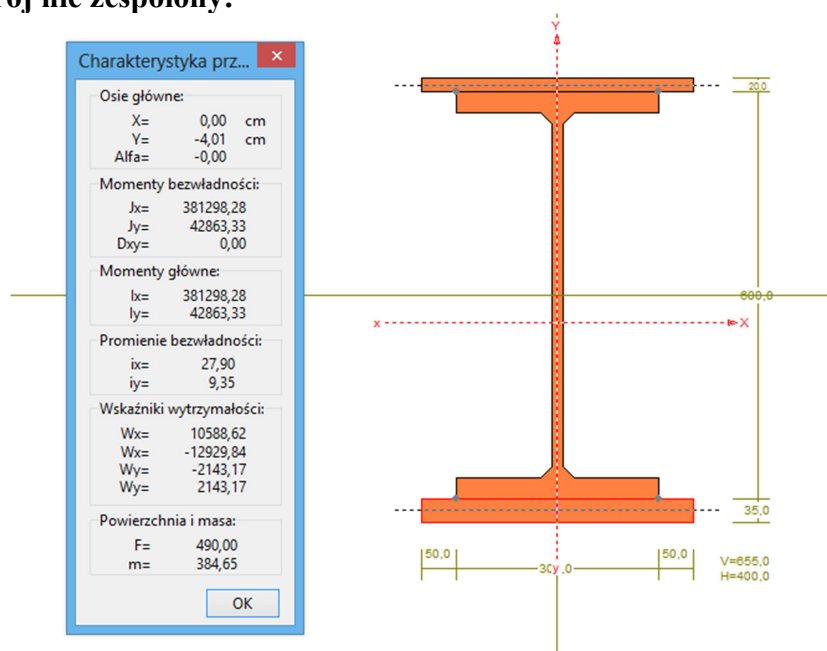
$$T_{0,25l=8,25m} = 0,75 \times 24,75 \times 0,5 \times 4,17 + 46,13 \times (0,75 + 0,714 + 0,677 + 0,641) = 38,70 + 128,33 = 167,03 \text{ kN}$$

$$T_{0,35l=11,55m} = 0,65 \times 21,45 \times 0,5 \times 4,17 + 46,13 \times (0,65 + 0,614 + 0,577 + 0,541) = 29,07 + 109,88 = 138,95 \text{ kN}$$

$$T_{0,5l=16,50m} = 10,60 \times 0,50 \times 0,5 \times 4,17 + 46,13 \times (0,50 + 0,464 + 0,427 + 0,391) = 11,05 + 82,20 = 93,25 \text{ kN}$$

## 4. Charakterystyka wytrzymałościowa dźwigara:

### 4.1. Przekrój nie zespolony:



**4.2. Przekrój zespolony:**

$$t/h = 0,18 : 0,86 = 0,21; \quad b_o/l = 0,425 : 33,00 = 0,013; \quad b_l/l = 0,35 : 33,00 = 0,011; \quad \lambda = 1,0$$

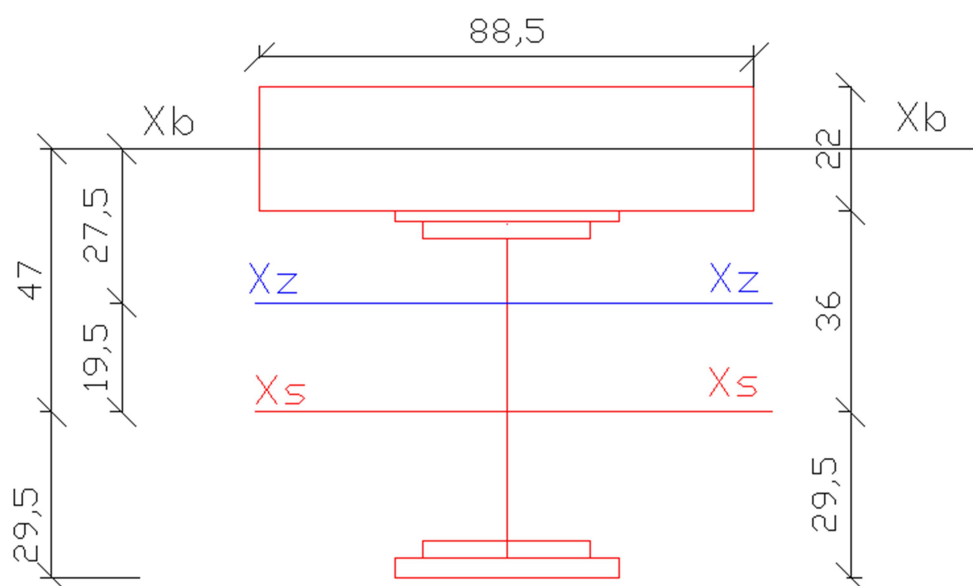
$$b_2/l = 0,434 : 33,00 = 0,013 \rightarrow \lambda = 1,0 \quad b_m = 0,435 + 0,45 = 0,885 \text{ m}$$

$$n = 206 : 36,4 = 5,66$$

**4.1. Płyta żelbetowa:**

$$F_b = 0,885 \times 0,22 = 0,1947 \text{ m}^2$$

$$I_b = 0,22^3 \times 0,885 / 12 = 0,00079 \text{ m}^4$$

**4.2. Przekrój zespolony:**

$$F_c = 0,1947 / 5,66 + 0,049 = 0,0834 \text{ m}^2$$

$$a_z = 0,1947 \times 0,47 / 5,66 \times 0,0834 = 0,195 \text{ m}$$

$$I_c = 0,003813 + 0,00079 / 5,66 + 0,049 \times 0,195^2 + 0,275^2 \times 0,1947 / 5,66 = 0,003813 + 0,00014 + 0,001863 + 0,002601 = 0,008417 \text{ m}^4$$

$$w_g = 0,008417 : 0,165 = 0,051 \text{ m}^3$$

$$w_d = 0,008417 : 0,49 = 0,0172 \text{ m}^3$$

$$w_{dp} = 0,051 \times 5,66 = 0,289 \text{ m}^3$$

$$w_{gp} = 0,008417 \times 5,66 / 0,385 = 0,124 \text{ m}^3$$

**4.3. Ścinanie:****4.3.1) Faza niezespolona:**

$$S_N(N) = 0,035 \times 0,40 \times 0,278 + 0,031 \times 0,3 \times 0,245 + 0,229^2 \times 0,016 \times 0,5 = 0,0039 + 0,00228 + 0,00042 = 0,0066 \text{ m}^3$$

$$S_N(Z) = 0,035 \times 0,40 \times 0,473 + 0,031 \times 0,3 \times 0,444 + 0,229 \times 0,016 \times 0,31 = 0,00662 + 0,00413 + 0,00114 = 0,012 \text{ m}^3$$

**b) Faza zespolona:**

$$S_{Z(N)} = 0,1947 \times 0,47 / 5,66 + 0,02 \times 0,4 \times 0,35 + 0,30 \times 0,031 \times 0,3245 + 0,016 \times 0,114 \times 0,222 = 0,0162 + 0,0028 + 0,00301 + 0,0004 = 0,02241 \text{ m}^3$$

$$S_{Z(Z)} = 0,1947 \times 0,275 / 5,66 + 0,40 \times 0,02 \times 0,155 + 0,30 \times 0,031 \times 0,13 + 0,016 \times 0,114^2 \times 0,5 = 0,0096 + 0,00124 + 0,00121 + 0,000104 = 0,01215 \text{ m}^3$$

**5. Obliczenie naprężeń w konstrukcji:**

(+) – ściskanie

**5.1. Faza I - nie zespolona:**

$$M_{\max} = 1458,18 \text{ kNm}$$

$$w_g = 0,01293 \text{ m}^3; w_d = 0,01059$$

$$\sigma_d = -1458,18 \times 1 / 0,01293 = -112774 \text{ kN/m}^2 < R_a = 280000 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_g = 1458,18 \times 1 / 0,01059 = 137694 \text{ kN/m}^2 < R_a = 280000 \text{ kN/m}^2$$

**5.1.2. Faza II - zespolona:**

$$M = 567,65 + 1979,22 = 2546,87 \text{ kNm}$$

$$\sigma_d = -2546,87 \times 1 / 0,0172 = -148074 \text{ kN/m}^2 < R = 280000 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_g = 2546,87 \times 1 / 0,051 = 49939 \text{ kN/m}^2 < R$$

$$\sigma_{dp} = 2546,87 \times 1 / 0,289 = 8813 \text{ kN/m}^2 < R_b = 25600 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{gp} = 2546,87 \times 1 / 0,124 = 20539 \text{ kN/m}^2 < R_b$$

**5.1.3. Naprężenia reologiczne:****5.3.1. Naprężenia od pełzania betonu:**

$$M = M(g) = 567,65 \text{ kNm}$$

$$n_{bz} = \frac{F_s \cdot a_z}{I_c} = \frac{0,049 \times 0,195}{0,008417} = 1,135$$

$$m_b = \frac{I_b}{n I_c} = \frac{0,00079}{5,66 \times 0,008417} = 0,017$$

$$m_z = \frac{I_s}{I_c} = \frac{0,003813}{0,008417} = 0,453$$

$$\text{sprawdzenie: } a n_{bz} + m_b + m_z = 1,135 \times 0,47 + 0,017 + 0,453 = 1,003 \approx 1,0$$

$$e_m = 2 \times 0,1947 / 0,755 = 0,52 - \text{ dla } e_m = 600 \text{ mm} \rightarrow \phi_p = 2,0$$



$$\alpha = \frac{F_s \cdot I_s}{F_c (I_c - \frac{1}{n} I_b)} = \frac{0,049 \times 0,003813}{0,0834 \times (0,008417 - 0,00079/5,66)} = \frac{0,000187}{0,00069} = 0,271$$

$$\alpha \phi_p = 2,0 \times 0,271 = 0,542; \quad \alpha / (1 - \alpha) = 0,372$$

$$N_{bo} = M \times n_{bz} = 567,65 \times 1,135 = 644,28 \text{ kN}$$

$$\Delta N_b = N_{bo} (1 - e^{-\alpha \phi}) = 644,28 \times (1 - 2,7182818285^{-0,542}) = 644,28 \times (1 - 0,582) = 269,31 \text{ kN}$$

$$\Delta M_z = a \cdot \Delta N_b = 0,47 \times 269,31 = 126,58 \text{ kNm}$$

$$\Delta M_b = M \cdot m_b (1 - e^{-\phi}) - a N_{bo} \frac{I_b}{n I_s} \frac{\alpha}{1 - \alpha} (e^{-\alpha \phi} - e^{-\phi}) = 567,65 \times 0,017 \times (1 - 2,7182818285^{-2,0}) -$$

$$- 0,47 \times 644,28 \times \frac{0,00079}{5,66 \times 0,003813} \times 0,372 \times (2,7182818285^{-0,542} - 2,7182818285^{-2,0}) =$$

$$= 9,65 \times 0,865 - 302,81 \times 0,0136 \times (0,572 - 0,135) = 8,35 - 1,80 = 6,55 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{gp} = - \left( - \frac{\Delta N_b}{F_b} - \frac{\Delta M_b \cdot y_b}{I_b} \right) = - \left( - \frac{269,31}{0,1947} - \frac{6,55 \times 0,11}{0,00079} \right) = - (-1383 - 912) = - 2295 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{dp} = - \left( - \frac{\Delta N_b}{F_b} + \frac{\Delta M_b \cdot y'_b}{I_b} \right) = - \left( - \frac{269,31}{0,1947} + \frac{6,55 \times 0,11}{0,00079} \right) = - (-1383 + 912) = - 471 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_g = - \left( \frac{\Delta N_b}{F_s} - \frac{\Delta M_z}{w_{zg}} \right) = - \left( \frac{269,31}{0,049} - \frac{126,58}{0,051} \right) = - (5496 - 2482) = - 3014 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_d = - \left( \frac{\Delta N_b}{F_s} + \frac{\Delta M_z}{w_{zd}} \right) = - \left( \frac{269,31}{0,049} + \frac{126,58}{0,0172} \right) = - (5496 + 7359) = - 12855 \text{ kN/m}^2$$

### 5.1.3. Naprężenia od skurczu betonu:

$$N_s = \varepsilon_s E_b F_b = 0,00032 \times 36400000 \times 0,1947 = 2267,87 \text{ kN}$$

$$\varepsilon_s = 0,32\text{‰} = 0,00032; \quad (1 - e^{-\alpha \phi}) = (1 - 0,582) = 0,418$$

$$N = N_s / \phi \cdot (1 - e^{-\alpha \phi}) = 2267,87 \times \frac{1}{2,0} \times 0,418 = 473,98 \text{ kN}$$

$$M_z = a N = 0,47 \times 473,98 = 222,77 \text{ kNm}$$

$$M_b = a \cdot \frac{N_s}{\phi} \cdot \frac{I_b}{n I_s} \cdot \frac{\alpha}{(1 - \alpha)} \cdot (e^{-\alpha \phi} - e^{-\phi}) = 0,47 \times \frac{2267,87}{2} \times 0,0136 \times (0,572 - 0,135) =$$

$$= 3,33 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{gp} = - \left( \frac{N}{F_b} - \frac{M_b \cdot y_b}{I_b} \right) = - \left( \frac{473,98}{0,1947} - \frac{3,33 \times 0,11}{0,00079} \right) = - (2434 - 464) = - 1970 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{dp} = - \left( \frac{N}{F_b} + \frac{M_b \cdot y'_b}{I_b} \right) = - \left( \frac{473,98}{0,1947} + \frac{3,33 \times 0,11}{0,00079} \right) = - (2434 + 464) = - 2898 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_g = - \left( - \frac{N}{F_s} - \frac{M_z}{w_{zg}} \right) = - \left( - \frac{473,98}{0,049} - \frac{222,77}{0,051} \right) = - (-9673 - 4368) = 14041 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_d = - \left( - \frac{N}{F_z} + \frac{M_z}{w_{zd}} \right) = - \left( - \frac{473,98}{0,049} + \frac{222,77}{0,0172} \right) = - (-9673 + 12951) = -3278 \text{ kN/m}^2$$

#### 5.1.4. Sumaryczne naprężenia końcowe po stratach reologicznych:

$$\sigma_d = -112774 - 148074 - 12855 - 3278 = -276981 \text{ kN/m}^2 < R_a$$

$$\sigma_g = 137694 + 49939 - 3014 + 14041 = 198660 \text{ kN/m}^2 < R_a$$

$$\sigma_{dp} = 8813 - 471 - 2898 = 5444 \text{ kN/m}^2 < R_b$$

$$\sigma_{gp} = 20539 - 2295 - 1970 = 16274 \text{ kN/m}^2 < R_b$$

#### 5.1.5. Naprężenia dodatkowe od temperatury:

$$\Delta t = 40^\circ\text{C} \text{ (temp. montażu } 15^\circ\text{C)}$$

$$\varepsilon_t = \alpha \Delta t = 0,000012 \times 40 = 0,00048$$

$$N = \varepsilon_t \cdot E_z \cdot \frac{a_z \cdot F_z \cdot (1/n I_b + I_s)}{a \cdot I_c}$$

$$N = 0,00048 \times 206000000 \times \frac{0,195 \times 0,0346 \times (1/5,66 \times 0,00079 + 0,003813)}{0,47 \times 0,008417} = 666,57 \text{ kN}$$

$$M_z = M_b = \varepsilon_t \cdot E_z \cdot \frac{a_z \cdot F_z \cdot 1/n I_b}{I_c} = 98880 \times \frac{0,195 \times 0,049 \times 0,00079}{5,66 \times 0,008417} = 15,27 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{gp} = \pm \left( \frac{N}{F_b} - \frac{M_b \cdot y_b}{I_b} \right) = \pm \left( \frac{666,57}{0,1947} - \frac{15,27 \times 0,11}{0,00079} \right) = \pm (3424 - 2126) = \pm 1298 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{dp} = \pm \left( \frac{N}{F_b} + \frac{M_b \cdot y_b}{I_b} \right) = \pm \left( \frac{666,57}{0,1947} + \frac{15,27 \times 0,11}{0,00079} \right) = \pm (3424 + 2126) = \pm 5550 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_g = \pm \left( - \frac{N}{F_z} - \frac{M_z}{w_{zg}} \right) = \pm \left( - \frac{666,57}{0,049} - \frac{15,27}{0,051} \right) = \pm (-13603 - 299) = \pm 13902 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_d = \pm \left( - \frac{N}{F_z} + \frac{M_z}{w_{zd}} \right) = \pm \left( - \frac{666,57}{0,049} + \frac{15,27}{0,0172} \right) = \pm (-13603 + 888) = \pm 12715 \text{ kN/m}^2$$

**5.1.6. Naprężenia sumaryczne (układ PD):**

$$\sigma_d = -276981 - 12715 = 289696 \text{ kN/m}^2 < 1,05R_a = 294000 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_g = 198660 + 13902 = 212562 \text{ kN/m}^2 < R_a$$

$$\sigma_{dp} = 5444 + 5550 = 10994 \text{ kN/m}^2 < R_b$$

$$\sigma_{gp} = 16274 + 1298 = 17572 \text{ kN/m}^2 < R_b$$

**6. Obliczenie naprężeń stycznych i zredukowanych:****6.1. Naprężenia od ścinania - przekrój przęsłowy i podporowy:****6.1.1. Faza I:**

$$S_N(N) = 0,0066 \text{ m}^3$$

$$S_N(Z) = 0,011 \text{ m}^3$$

$$I = 0,003813 \text{ m}^4$$

$$Q = 177,10 \text{ kN} / 0,00 \text{ kN}$$

$$b = 0,016 \text{ m}$$

$$\tau_{No} = \frac{177,10 \times 0,0066}{0,003813 \times 0,016} = 19159 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_{Ns} = \frac{10,81 \times 0,0066}{0,003813 \times 0,016} = 1169 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_Z = \frac{177,10 \times 0,011}{0,003813 \times 0,016} = 39132 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_Z = \frac{10,81 \times 0,011}{0,003813 \times 0,016} = 1949 \text{ kN/m}^2$$

**6.1.2. Faza II:**

$$S_Z(N) = 0,02241 \text{ m}^3$$

$$S_Z(Z) = 0,01115 \text{ m}^3$$

$$I = 0,008417 \text{ m}^4; b = 0,016 \text{ m}$$

$$Q = 68,81 + 243,23 = 312,04 \text{ kN} / 9,69 + 93,25 = 102,94 \text{ kN}$$

$$\tau_{No} = \frac{312,04 \times 0,02241}{0,008417 \times 0,016} = 51924 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_{Ns} = \frac{102,94 \times 0,02241}{0,008417 \times 0,016} = 17129 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_{Zo} = \frac{312,04 \times 0,01115}{0,008417 \times 0,016} = 25835 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_{Zs} = \frac{102,94 \times 0,01115}{0,008417 \times 0,016} = 8523 \text{ kN/m}^2$$

**6.1.3. Naprężenia sumaryczne:****a) podpora:**

$$\tau_N = 19159 + 51924 = 71083 \text{ kN/m}^2 < R_t 170000 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_Z = 39132 + 25835 = 64967 \text{ kN/m}^2 < R_t 170000 \text{ kN/m}^2$$

**b) środek przęsła:**

$$\tau_N = 1169 + 17129 = 18298 \text{ kN/m}^2 < R_t 170000 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_Z = 1949 + 8523 = 10472 \text{ kN/m}^2 < R_t 170000 \text{ kN/m}^2$$

**6.1.4. Naprężenia zredukowane:**

$$\tau = 10472 \text{ kN/m}^2; \sigma_s = 289696 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{\text{zr}} = (289696^2 + 3 \times 10472^2)^{0,5} = 290263 \text{ kN/m}^2 < 280000 \times 1,10 = 308000 \text{ kN/m}^2$$

**7. Stateczność ogólna i miejscowa:****7.1. Stateczność ogólna (zwichrzenie):**

$$h/b = 0,655 : 0,3 = 2,18; l/b = 3,30 : 0,3 = 11$$

$$I_x = 381300 \text{ cm}^4;$$

$$I_y = 42863 \text{ cm}^4; \text{rozstaw poprzecznic } 3,30 \text{ m}$$

$$I_s = {}^{1,3}/_3 \Sigma g^3 s$$

$$I_s = {}^{1,3}/_3 \times (30,0 \times 3,1^3 \times 2 + 40,0 \times 3,50^3 + 40 \times 2^3 + 53,8 \times 1,6^3) = 1787,46 + 1715 + 320 + 220,37 = 4043 \text{ cm}^4$$

$$\lambda = {}^{3,3}/_{0,665} \times ({}^{381300}/_{42863})^{0,5} = 14,80; \lambda_p = {}^{660}/_{(280)}^{0,5} = 39,44;$$

$$\lambda_s = {}^{3,30}/_{0,665} \times ({}^{4043}/_{42863})^{0,5} = 1,52 \rightarrow K_z = 700$$

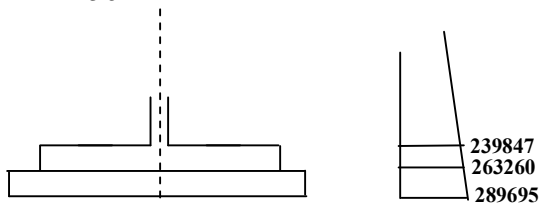
$$\lambda/\lambda_p = 14,80 : 39,44 = 0,375 \rightarrow m_z = 1,004$$

$$\sigma_z = 289695 \times 1,004 = 290853 \text{ kN/m}^2 < R_a = 294000 \text{ kN/m}^2$$

**7.2. Stateczność pasa dolnego:****Rozstaw poprzecznic 3,30 m****a) pas dolny**

$$\sigma_d = -289695 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_g = 212562 \text{ kN/m}^2$$



$$l_w = 0,65 \times 3,30 = 2,145 \text{ m}$$

$$I_y = 0,035 \times 0,40^3 \times {}^{1}/_{12} + 0,031 \times 0,30^3 \times {}^{1}/_{12} = 0,000187 + 0,000007 = 0,000257 \text{ m}^4;$$

$$F = 0,035 \times 0,40 + 0,031 \times 0,30 = 0,014 + 0,0093 = 0,0233 \text{ cm}^2$$

$$i = (0,000257/0,0233)^{0,5} = 0,105 \text{ m}^2$$

$$\lambda = 2,145 : 0,105 = 20,43$$

$$\lambda_p = 118 \times (200/280)^{0,5} = 99,73$$

$$\lambda / \lambda_p = 20,43 : 99,73 = 0,2 \rightarrow m_w = 1,05$$

$$P_1 = (289695 + 263260) \times 0,5 \times 0,014 = 3870,69 \text{ kN} \times 1,05 = 4064,22 \text{ kN}$$

$$P_2 = (263260 + 239847) \times 0,5 \times 0,0093 = 2339,45 \text{ kN} \times 1,05 = 2456,42 \text{ kN}$$

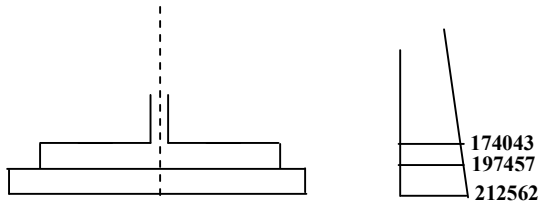
$$\sigma_1 = 4064,22 : 0,014 = 290301 \text{ kN/m}^2 < R_a = 294000 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_c = (4064,22 + 2456,42) : 0,0233 = 279856 \text{ kN/m}^2 < R_a = \text{ kN/m}^2 - \text{warunek spełniony}$$

### b) pas górny:

$$\sigma_d = -289695 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_g = 212562 \text{ kN/m}^2$$



$$l_w = 0,65 \times 3,30 = 2,145 \text{ m}$$

$$I_y = 0,02 \times 0,40^3 \times \frac{1}{12} + 0,031 \times 0,30^3 \times \frac{1}{12} = 0,000107 + 0,00007 = 0,000177 \text{ m}^4;$$

$$F = 0,020 \times 0,40 + 0,031 \times 0,30 = 0,008 + 0,0093 = 0,0173 \text{ cm}^2$$

$$i = (0,000177 / 0,0173)^{0,5} = 0,101 \text{ m}^2$$

$$\lambda = 2,145 : 0,101 = 21,24$$

$$\lambda_p = 118 \times (200/195)^{0,5} = 99,73$$

$$\lambda / \lambda_p = 21,24 : 99,73 = 0,21 \rightarrow m_w = 1,05$$

$$P_1 = (212562 + 197457) \times 0,5 \times 0,008 = 1640,08 \text{ kN} \times 1,04 = 1722,08 \text{ kN}$$

$$P_2 = (197457 + 174043) \times 0,5 \times 0,0093 = 1727,48 \text{ kN} \times 1,05 = 1813,85 \text{ kN}$$

$$\sigma_1 = 1722,08 : 0,008 = 215260 \text{ kN/m}^2 < R_a = 294000 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_c = (1722,08 + 1813,85) : 0,0173 = 204389 \text{ kN/m}^2 < R_a = \text{ kN/m}^2 - \text{warunek spełniony}$$

### c) Styk nakładek

#### - pas dolny:

$$Q_I = 177,10 \text{ kN}; I_I = 0,003813 \text{ m}^4; S_I = 0,40 \times 0,035 \times 0,2775 = 0,003885 \text{ m}^3$$

$$Q_{II} = 312,04 \text{ kN}; I_{II} = 0,008417 \text{ m}^4; S_{II} = 0,40 \times 0,035 \times 0,4725 = 0,006615 \text{ m}^3$$

$$Q_o = \left( \frac{177,10 \times 0,003885}{0,003813} + \frac{312,04 \times 0,006615}{0,008417} \right) = 180,44 + 245,24 = 425,68 \text{ kN}$$

#### pas górny:

$$Q_I = 177,10 \text{ kN}; I_I = 0,003813 \text{ m}^4; S_I = 0,40 \times 0,02 \times 0,35 = 0,0028 \text{ m}^3$$

$$Q_{II} = 312,04 \text{ kN}; I_{II} = 0,008417 \text{ m}^4; S_{II} = 0,40 \times 0,02 \times 0,155 = 0,00124 \text{ m}^3$$

$$Q_o = \left( \frac{177,10 \times 0,0028}{0,003813} + \frac{312,04 \times 0,00124}{0,008417} \right) = 130,05 + 45,68 = 175,73 \text{ kN}$$

#### Przyjęto spoinę ciągłą 8 mm

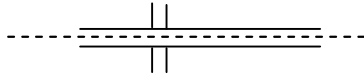
$$\tau = \frac{425,68}{2 \times 0,008} = 26605 \text{ kN/m}^2 < 0,7 \times 195000 = 136500 \text{ kN/m}^2$$

### 7.3. Żebra (słupki podporowy):

$$R = 175,62 + 68,81 + 243,23 = 487,66 \text{ kN}$$

$$I_z = 30 \times 0,016 = 0,48 \text{ m}; \quad I_{z\min} = 3 \times 53,80 \times 1,60^3 = 661 \text{ cm}^4$$

$$b_z = \sqrt[538]{30} + 40 = 58,0 \text{ mm} - \text{przyjęto } b_z = 130 \text{ mm}; \quad g_z = \sqrt[130]{15} = 9 \text{ mm} - \text{przyjęto } g_z = 12 \text{ mm}.$$



$$I_z = 13,0^3 \times 1,2 \times \frac{1}{12} + 13 \times 1,2 \times (6,50 + 0,8)^2 = 220 + 831 = 1051 \text{ cm}^4 > 661 \text{ cm}^4,$$

$$F = 0,13 \times 0,012 \times 2 + 0,48 \times 0,016 = 0,00156 \times 2 + 0,00768 = 0,0108 \text{ m}^2$$

$$I_x = 0,012 \times 0,13^3 \times \frac{1}{12} \times 2 + 0,48 \times 0,016^3 \times \frac{1}{12} + 0,00156 \times 2 \times 0,073^2 = 0,000002197 + 0,0000002 + 0,0000166 = 0,000019 \text{ m}^2$$

$$I_w = 0,538 \times 0,65 = 0,35 \text{ m}; \quad i = (0,000019 : 0,0108)^{0,5} = 0,04 \text{ m}$$

$$\lambda = I_w / i = 0,35 : 0,04 = 8,75; \quad \lambda_p = 118 \times \left( \frac{200}{280} \right)^{0,5} = 99,73;$$

$$\lambda / \lambda_p = 8,75 : 99,73 = 0,09 \rightarrow m_w = 1,02$$

$$\sigma = \frac{487,66 \times 1,02}{0,0108} = 46057 \text{ kN/m}^2 < R_a$$

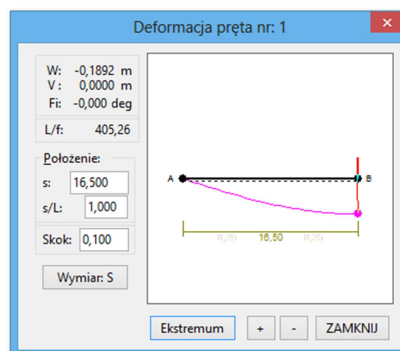
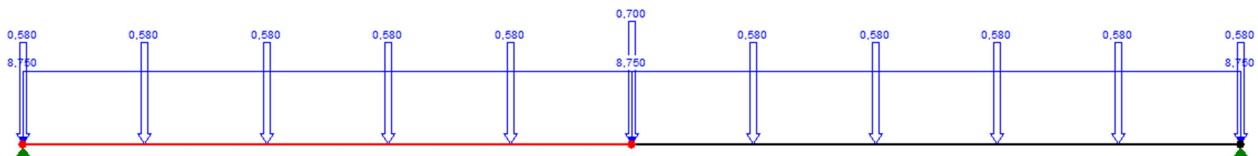
#### - spoina żebra:

Przyjęto spoinę obustronną gr. 8 mm.

$$\tau = \frac{487,66}{2 \times 0,008 \times 0,538} = 56652 \text{ kN/m}^2 < 07R$$

### 8. ugięcie belki:

#### 8.1. faza I:



$$y_o = 0,189 \text{ m}$$

**b) ugięcie od nawierzchni:**

$$y(g) = \frac{5ql^4}{384 EJ} = \frac{5 \times 2,61 \times 33,00^4}{384 \times 206000000 \times 0,008417} = 0,023 \text{ m}$$

**b) ugięcie od obciążeń użytkowych:**

$$y(q) = \frac{5ql^4}{384 EJ} = \frac{5 \times 2,78 \times 33,00^4}{384 \times 206000000 \times 0,008417} = 0,025 \text{ m}$$

$$M_K = (8,25 + 2 \times 7,65 + 7,05) \times 25,95 = 794,07 \text{ kNm}$$

$$y = \frac{5,5 ML^2}{48EI} = \frac{5,5 \times 794,07 \times 33,00^2}{48 \times 206000000 \times 0,008417} = 0,057 \text{ m}$$

**8.3 Ugięcia sumaryczne:**

$$y(g) = 0,189 + 0,023 = 0,212 \text{ m}$$

$$y(K) = 0,025 + 0,057 = 0,082 \text{ m} < y_{dop.} = \frac{33,00}{300} = 0,11 \text{ m}$$

wygięcie konstrukcyjne:  $y = 0,212 + 0,082 \times 0,5 = 0,253 \text{ m} = 25,0 \text{ cm}$  (strzałka odwrotna)

wygięcie wykonać na etapie produkcji dźwigara walcowanego

**9. Obliczenie łączników:****9.1. Siły poprzeczne w poszczególnych przekrojach:**

$$T_0 = 68,81 + 243,23 = 312,04 \text{ kN}$$

$$T_{4,95m} = 49,03 + 196,50 = 245,53 \text{ kN}$$

$$T_{8,15m} = 36,82 + 167,03 = 203,85 \text{ kN}$$

$$T_{11,55m} = 25,39 + 138,95 = 164,34 \text{ kN}$$

$$F_b = 0,1947 \text{ m}^2; a_b = 0,275 \text{ m}$$

$$S = 0,01215 \text{ m}^3$$

$$S/I = 0,01215 : 0,008417 = 1,44$$

**9.3 Siły rozwarstwiające:**

$$T_{0,0m} = 312,04 \times 1,44 = 449,34 \text{ kN/m}$$

$$T_{4,95m} = 245,53 \times 1,44 = 353,56 \text{ kN/m}$$

$$T_{8,15m} = 203,85 \times 1,44 = 293,54 \text{ kN}$$

$$T_{11,55m} = 164,34 \times 1,44 = 236,65 \text{ kN}$$

**9.4. Siły od temperatury i skurczu betonu:**

$$\text{- skurcz betonu : } N_s = 473,98 \text{ kN}$$

$$\text{- temperatura: } \Delta t = 5^\circ\text{C} \text{ (oziębienie płyty)}$$

$$\varepsilon = 0,000012 \times 5 = 0,00006$$

$$N = \varepsilon_t \cdot E_z \cdot \frac{a_z \cdot F_z \cdot (1/n I_b + I_z)}{a \cdot I_c} = 0,00006 \times 206000000 \times$$

$$\times \frac{0,195 \times 0,049 \times (0,00079/5,66 + 0,003813)}{0,47 \times 0,008417} = 12360 \times 0,00955 = 118,04 \text{ kN}$$

Przy oziębieniu dodatkowa siła na opórki podporowe wyniesie:

$$N = -(473,98 + 118,04) = -592,02 \text{ kN}$$

Przy ogrzaniu dodatkowa siła na opórki podporowe wyniesie:

$$N = 473,98 - 118,04 = 355,94 \text{ kN}$$

#### Siła do obliczeń:

siły rozkładają się wg trójkąta o podstawie równej szerokości płyty, tj. 0,90 m

$$T_{\max} = -592,02 \text{ kN}$$

$$T_{N1} = \frac{-2 \times 592,02}{0,90} = -1315,60 \text{ kN/m} \quad \text{lub}$$

$$T_{N2} = 449,34 + \frac{2 \times 355,94}{0,90} = 1240,32 \text{ kN} - \text{do obliczeń}$$

sumaryczne siły rozwarstwiające:

$$T_{0-2,0} = 1240,32 \text{ kN/m}$$

$$T_{2,0-5,0} = 353,56 \text{ kN}$$

$$T_{5,0-8,50} = 293,54 \text{ kN}$$

$$T_{8,50-16,50} = 236,65 \text{ kN}$$

#### 9.5. Konstrukcja i rozstaw sworzni:

Przyjęto sworznie  $\phi 22 \text{ mm}$ , poszerzone górą do 1,5d, tj. 37,5 mm.

##### a) ścinanie:

$$T = 126d (dR_w)^{0,5} = 126 \times 2,2 \times (2,2 \times 400/1,1)^{0,5} = 7476,53 \text{ kG} = 74,77 \text{ kN} : 3 = 24,92 \text{ kN}$$

##### b) docisk:

$$F_r = b_1 l = 0,22 \times 0,30 = 0,066 \text{ m}^2$$

$$F_d = 0,5 \times 4 \times 0,022 \times 0,18 = 0,00792 \text{ m}^2$$

$$m_d = (0,066 : 0,00792)^{0,5} = 2,89 \rightarrow \text{przyjęto maks. } 2,0 \rightarrow R_d = 2 \times 17700 = 35400 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma = T/F_d = 24,92/0,00792 \times 0,5 = 6993 \text{ kN/m}^2 < R_d = 31000 \text{ kN/m}^2$$

##### c) rozstaw sworzni:

$$T = 4 \times 24,92 = 99,68 \text{ kN}$$

- przedział 0,00 m – 2,00 m

$$e = 99,68 : 1240,32 = 0,08 \text{ m} \rightarrow \text{przyjęto } 8,0 \text{ cm} = e_{\min} = 0,05 + 0,025 = 0,075 \text{ m}$$



- przedział 2,00 – 5,00 m

$$e = 99,68 : 353,56 = 0,28 \text{ m} \rightarrow \text{przyjęto } 20 \text{ cm}$$

- przedział 5,50 m – 16,5 m:

$$e = 99,68 : 293,54 = 0,34 \text{ m} \rightarrow \text{przyjęto } 30 \text{ cm}$$

### 10. Poprzecznice:

Zaprojektowano poprzecznicę z belek I HEB 26. Rozwinięcie szeregu dla  $n=1$  (dla uproszczenia) - dla  $n=3$  wartości pomijalnie małe

a) siły od ugięcia dźwigara:

$$I_{x(\text{rusztu})} = 0,003813 \times 11 = 0,041943 \text{ m}^4; \quad I_y = 0,22^3 \times 1,0 \times \frac{1}{12} \times 5,66 = 0,00016 \text{ m}^4;$$

$$\vartheta = \frac{9,95}{2 \times 33,0} \times \left( \frac{0,041943}{0,00016} \right)^{0,25} = 0,61 - \text{przyjęto } 0,6; \quad \alpha = 0$$

$$m_y = \sum \mu(n\vartheta) r_n b \sin \frac{n\pi l}{2l} = \sum \mu(n\vartheta) r_n b \sin (0,5n\pi)$$

- obciążenie P:

$$x'_1 = 0,51 \rightarrow r_n = \frac{2P}{L} \sin \frac{n\pi 0,5L}{L} = 0,061P \sin (0,5n\pi)$$

$$x'_2 = 0,461 \rightarrow r_n = \frac{2P}{L} \sin \frac{n\pi 0,46L}{L} = 0,061P \sin (0,46n\pi)$$

$$x'_3 = 0,431 \rightarrow r_n = \frac{2P}{L} \sin \frac{n\pi 0,43L}{L} = 0,061P \sin (0,43n\pi)$$

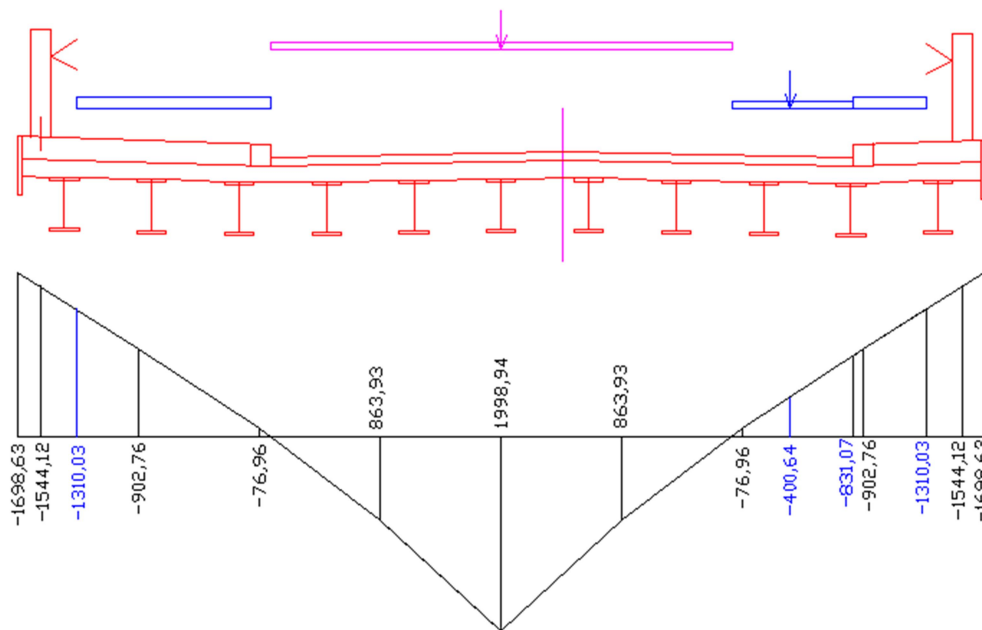
$$m_y = 0,061 \times \frac{9,95}{2} \times P \times \mu(n\vartheta) \times \sin (0,5n\pi) \times [\sin (0,5n\pi) + 2 \sin (0,46n\pi) + \sin (0,43n\pi)] = \\ = 0,303 P \mu(\vartheta) \times 1,0 \times (1,0 + 2 \times 0,992 + 0,976) = 1,2P\mu(\vartheta)$$

(dla  $n=2$   $m_y=0$ , dla  $n=3$  wart. pomijalnie małe.)

- obciążenie równomiernie rozłożone:

$$m_y = \frac{4pb}{\pi} \mu(\vartheta) \times \sin^2 (0,5\pi) \times \sin (0,5\pi) = 6,34p \mu(\vartheta)$$

- rozkład obciążenia:  $b/4 \cong 1,244 \text{ m}$



**a) moment maksymalny:**

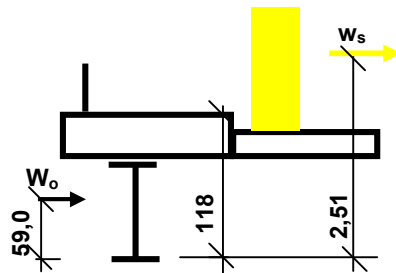
$$\begin{aligned}
 m_y^+ &= 6,34 \times 10^{-4} \times [-1698,63 \times 2 \times 0,56 - 1544,12 \times 2 \times 0,63 - (2219,47 + 1705,73) \times \\
 &\quad \times 5,14 + 4547,32 \times (2,87 + 4,50) - 517,30 \times 1,72] + 1,2 \times 133,31 \times 10^{-4} \times 1998,94 = \\
 &= 6,34 \times 10^{-4} \times [-(1902,47 + 1945,59 + 20175,53 + 889,76) + 33513,75] + 31,98 = \\
 &= 37,43 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_y^- &= 6,34 \times 10^{-4} \times [-1698,63 \times 2 \times 0,75 - 1544,12 \times 2 \times 1,05 - (2219,47 + 1705,73) \times \\
 &\quad \times 6,92 - 517,30 \times (2,87 + 4,50) + 4547,32 \times 1,72 - (1319,57 + 805,83) \times 3,75] + \\
 &\quad - 1,2 \times 133,31 \times 400,64 \times 10^{-4} = 6,34 \times 10^{-4} \times [-(2547,95 + 3242,65 + 27162,38 + \\
 &\quad + 3812,50 + 7970,25) + 7821,39] - 6,41 = -29,81 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

**b) siły od parcia wiatru:**

$$w'_1 = 1,25 \text{ kN/m}^2 \text{ (przęsło obciążone);}$$

$$w'_2 = 2,5 \text{ kN/m}^2 \text{ (przęsło nieobciążone)}$$



$$w_o = 1,25 \times 1,18 \times 3,30 = 4,86 \text{ kN} \times 1,3 = 6,32 \text{ kN}$$

$$w_s = 1,25 \times 3,0 \times 3,30 = 12,38 \text{ kN} \times 1,3 = 16,09 \text{ kN}$$

$$M = 6,32 \times (0,59 - 0,13) + 16,09 \times (2,51 - 0,13) = 2,91 + 38,29 = 41,20 \text{ kNm}$$

**c) ciężar własny poprzecznic – przyjęto ostatecznie I HEB 260:**

$$M = 0,93 \times 1,2 \times 0,9^2 \times 0,125 = 0,11 \text{ kNm}$$

**c) obciążenie sumaryczne:**

$$M = 0,011 + 41,20 + 29,81 = 71,02 \text{ kNm}$$

$$N = 6,32 + 16,09 = 22,41 \text{ kN}$$

**d) naprężenia w poprzecznic:**

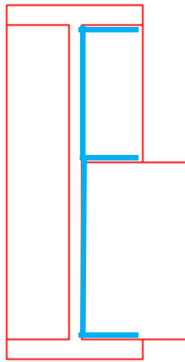
I HEB 260

$$M = 71,02 \text{ kNm}$$

$$w = 0,00115 \text{ m}^3$$

$$h/b = 0,26 : 0,26 = 1,00; \quad 1/b = 0,90 : 0,26 = 3,5 < 12 - m_w = 1,00$$

$$\sigma = 71,02 / 0,00115 = 61756 \text{ kN/m}^2 < R$$

**e) Połączenie spawane poprzeczniczy z belkami:**

Połączenie:

- spoina czołowa połączenia pasa dolnego
- spoiny pachwinowe gr. 8 mm pasa górnego i środka z belką główną i żebrami

**- połączenie czołowe pasa dolnego:**

$$F = 0,26 \times 0,0175 = 0,00455 \text{ m}^2;$$

$$P = (61756 + 53443) \times 0,5 \times 0,00455 = 262,08 \text{ kN}$$

$$\sigma = 262,08 : 0,00455 = 57600 \text{ kN/m}^2 < 0,8R$$

**- spoiny pachwinowe:**

Przyjęto spoinę pachwinową gr. 8 mm

$$F = 0,008 \times [0,13 \times 3 + 2 \times 0,225 + 2 \times 0,295] = 0,00104 \times 3 + 2 \times 0,0018 + 2 \times 0,00236 = 0,01144 \text{ m}^2$$

$$S = 0,00104 \times (0,295 + 0,538) + 0,0018 \times 2 \times 0,423 + 2 \times 0,00236 \times 0,148 = 0,000866 + 0,00152 + 0,000699 = 0,003085 \text{ m}^3$$

$$x - x = 0,003085 : 0,01144 = 0,27 \text{ m}$$

$$I = 0,00104 \times (0,27^2 + 0,026^2 + 0,268^2) = 0,000152 \text{ m}^4$$

$$W = 0,000152 : 0,25 = 0,00061 \text{ m}^3$$

$$\tau_M = 71,02 : 0,00061 = 116426 \text{ kN/m}^2 < 196000 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_Q = \frac{487,66}{2 \times 0,008 \times 0,538} = 56652 \text{ kN/m}^2 < 07R$$

$$\tau = (116426^2 + 56652^2)^{0,5} = 129478 \text{ kN/m}^2 < 196000 \text{ kN/m}^2$$

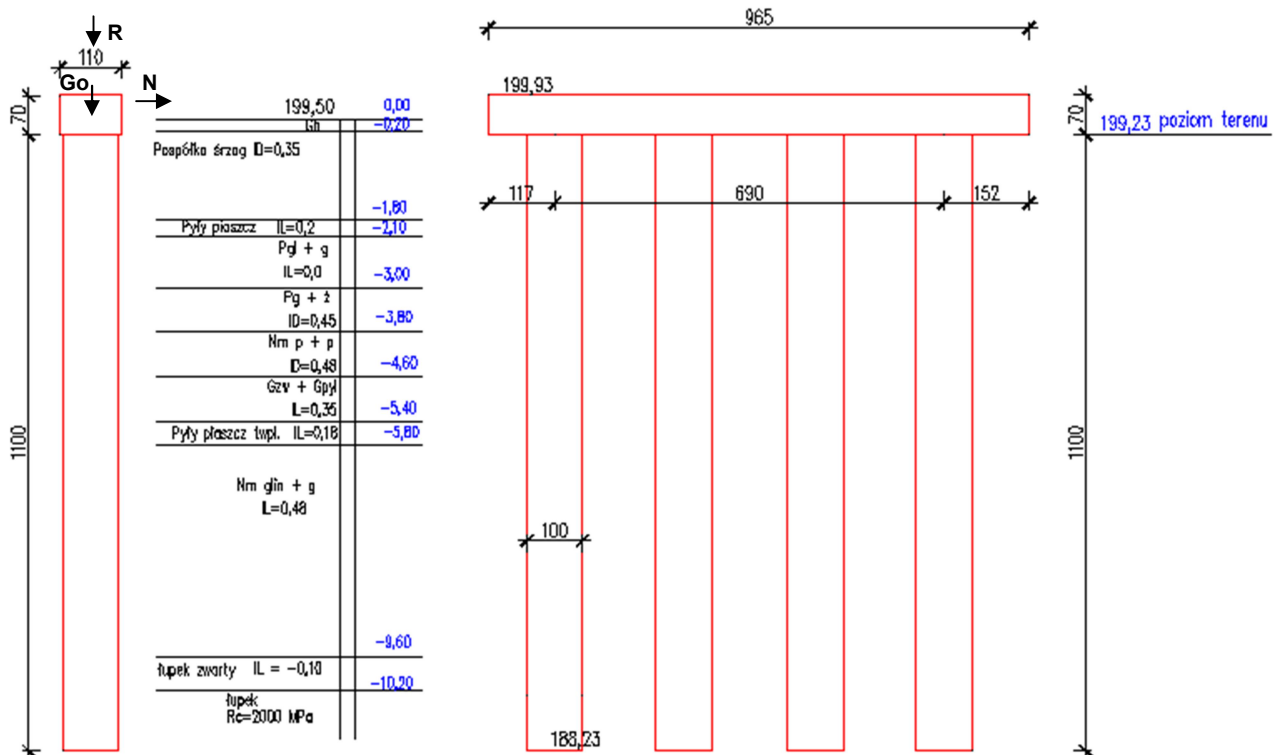
**11. Zbrojenie płyty pomostu:**

Z uwagi na rozstaw belek i niewielki wysięg wspornika przyjmuje się zbrojenie konstrukcyjne. Należy przyjąć:

**ϕ 16 co 15 cm górą i dołem; zbrojenie rozdzielcze ϕ 16 co 25 – 30 cm.**

## 12. Podpory mostu:

### 12.1. Konstrukcja podpory:



### 12.2. Obliczenie sił od reakcji na przęsło:

$$R_{\max} = [2 \times (0,75 + 1,05) + 2,87 \times 6,00 + (2,60 + 1,35) \times 6,92 + 6,60 \times 9,90 + 11 \times 4,69] \times 33,5 \times 0,5 + 7,00 \times (1 + 0,9 + 0,8 + 0,7 + 0,6 + 0,5 + 0,4 + 0,3 + 0,2 + 0,1) = (3,6 + 17,22 + 27,33 + 65,34 + 51,59) \times 33,5 \times 0,5 + 38,50 = 2803,76 \text{ kN}$$

$$R_{\min} = [2 \times (0,56 + 0,63) + 1,72 \times 6,00 + (2,60 + 1,35) \times 5,14 + 4,95 \times 9,90 + 11 \times 3,52] \times 33,5 \times 0,5 + 5,20 \times (1 + 0,9 + 0,8 + 0,7 + 0,6 + 0,5 + 0,4 + 0,3 + 0,2 + 0,1) = (1,19 + 10,32 + 20,30 + 49,01 + 38,72) \times 33,5 \times 0,5 + 28,60 = 2030,90 \text{ kN}$$

$$R(q + q_t) = (6,00 \times 4,50 + 3,75 \times 2,75) \times 33,50 \times 0,5 = 624,98 \text{ kN}$$

$$R(K) = (1 + 0,964 + 0,928 + 0,893) \times 133,31 \times 2 = 1009,16 \text{ kN}$$

### 12.3. Ciężar stały podpory:

$$G_{\text{oczep}} = 0,70 \times 1,10 \times 25 = 19,25 \times 1,2 = 23,10 \text{ kN/m} \times 9,65 = 222,92 \text{ kN}$$

$$\times 0,9 = 17,33 \text{ kN/m} \times 9,65 = 167,23 \text{ kN}$$

### 12.4. Obliczenie sił od parcia gruntu:

$$z_{0,70} = 0,70 \times 18,5 \times 0,283 = 3,66 \times 1,25 = 4,58 \text{ kN/m}^2 \times 9,65 = 44,20 \text{ kN/m}$$

$$k = \frac{600}{5,4 \times 4,8} = 23,15$$

$$z(k) = 23,15 \times 0,283 = 6,55 \times 1,25 = 8,19 \text{ kN/m}^2 \times 10,56 = 86,49 \text{ kN/m}$$

$$\Delta l = 34,50 \times 0,000012 \times 45 = 0,01863 \text{ m} \times 0,5 = 0,0093 \text{ m} = 9,3 \text{ mm}$$

$$q_t = 10 \times 9,3 = 93,0 \times 1,3 = 120,90 \times 9,65 = 1166,69 \text{ kN/m}$$

**12.5. Obliczenie pali:****12.5.1. Obliczenie sił na pale:**

$$N = 2803,76 + 624,98 + 1009,16 + 222,92 + 141,32 = 4660,82 \text{ kN}$$

$$M = 44,20 \times 0,7^2 \times \frac{1}{6} + 86,49 \times 0,7^2 \times 0,5 + 1166,69 \times 0,7^2 \times \frac{2}{6} = 3,61 + 21,19 + 190,56 = 215,36 \text{ kNm}$$

$$H = 86,49 \times 0,7 + (44,20 + 1166,69) \times 0,70 \times 0,5 = 60,54 + 423,81 = 484,35 \text{ kN}$$

**12.5.2. Zestawienie sił na pala:**

$$N_p = 4660,82 : 4 = 1165,21 \text{ kN}$$

$$H_p = 484,35 : 4 = 121,09 \text{ kN};$$

$$M = 215,36 : 4 = 53,84 \text{ kN}; e = 53,84 : 1165,21 = 0,045 \text{ m}$$

**12.5.3. Obliczenie nośności pionowej pali:****a) przy założeniu osiadania pala****- podstawa pala:**

$$h_{ci} = 10,0 \times \left( \frac{1,00}{0,4} \right)^{0,5} = 15,81 \text{ m}; h_c = 8,40 \text{ m} \quad h_{ci} = 15,81 \text{ m}$$

$$q^r = 2800 \times \frac{1,00}{15,81} \times 0,9 = 1753,32 \text{ kN}; S_s = 1,0; F = 0,785 \text{ m}^2;$$

$$N_s = S_s q^r A_s = 1,0 \times 1753,32 \times 0,785 = 1376,36 \text{ kN}$$

**- pobocznicza:**

$$S_p = 1,0; F_o = 3,14 \text{ m}^2/\text{mb}$$

Lp	grunt	I <sub>D</sub> /I <sub>L</sub>	h [m]	h <sub>sr</sub> [m]	t <sup>r</sup> [kPa]	F [m <sup>2</sup> ]	N <sub>p</sub> [kN]
1	Posp.	0,35	1,53	0,76	10,41	2,39	24,88
2	Pył piaszcz.+ g	0,20	0,30	1,68	6,53	0,94	6,14
3	P <sub>glin</sub> + g	0,00	0,90	2,28	20,52	2,83	58,07
4	P <sub>g</sub> + ż	0,45	0,80	3,13	31,85	2,51	79,94
5	Nm piaszcz.	0,48	0,80	3,93	23,93	2,51	60,06
6	G <sub>zw</sub> + G <sub>pył</sub>	0,35	0,80	4,73	27,68	2,51	69,45
7	Pył piaszcz.	0,18	0,40	5,33	36,90	1,26	46,49
8	Nm glin.	0,48	3,80	7,43	0,65	11,93	7,75
9	Łupek zwarty	-0,10	1,67	10,17	85,50	5,24	448,02
							800,80

**- Nośność całkowita:**

$$\Sigma N = 1376,36 + 800,80 = 2177,16 \text{ kN}$$

$$R = 1,00 + 0,105 \times (2,57 + 3,13) + 0,07 \times 1,50 + 0,017 \times 3,80 = 1,77 \text{ m}$$

$$r/R = 2,30 : 1,77 = 1,30; m = 0,85$$

$$N_p = 0,85 \times 2177,16 = 1850,59 \text{ kN} > 1165,21 \text{ kN} - \text{warunek spełniony}$$

**b) przy założeniu barku osiadania – pale zagłębione i oparte w skale miękkiej – łupku**

$$R_c = 2000 \times 0,9 = 1800 \text{ kPa}; F = 0,785 \text{ m}^2$$

$$N_p = 1800 \times 0,785 = 1413 \text{ kN} > N = 1165,21 \text{ kN} - \text{warunek spełniony}$$

**12.5.4. Sprawdzenie nośności bocznej:****12.5.4.1. Obliczenie zagłębienia sprężystego pała  $h_s$ :**

$$EI = 32600000 \times \pi \times 1,00^4 \times 1/64 = 1599437,5 \text{ kNm}^2$$

**- obliczenie  $k_x$ :**

Lp	grunt	$I_D$	$I_L$	$h$ [m]	$\gamma^n$	$S_n$	$k_x$	$hk_x$
1	Posp.	0,35	-	1,53	18,5	1,1	6525	9938,25
2	Pył piaszcz.+ g		0,20	0,30	21,0	1,1	8448	2534,40
3	$P_{glin} + g$		0,00	0,90	21,5	1,1	10560	9504,00
4	$P_g + \dot{z}$	0,45		0,80	17,0	1,1	7538	6030,40
5	Nm piaszcz.	0,45		0,80	15,5	1,1	6873	5498,40
6	$G_{zw} + G_{pyl}$		0,35	0,80	20,0	1,1	6864	5491,20
7	Pył piaszcz.		0,18	0,40	18,0	1,1	8659	3463,60
8	Nm glin.		0,48	3,80	18,4	1,1	5491	20865,80
9	Łupek zwarty		- 0,10	1,67	25,0	1,1	11616	19397,72
$\Sigma hk_x$								82723,77

$$k_x = 9600 \times (1 - I_L)/D \times S_n \text{ (grunt spoisty)}$$

$$k_x = S_n(750I_D^2 + 225I_D + 150)\gamma^n / D$$

$$k_x = \Sigma hk_x / 11,0 = 7520$$

$$h_s = (4 \times 1599437,5 / 7520 \times 1,0 \times 11,0)^{0,2} = 6,23 \text{ m} \times 3 = 18,69 \text{ m} > 11,0 \text{ m}$$

$$1,5 h_s = 1,5 \times 6,23 = 9,35 \text{ m} < 11,0 \text{ m}$$

**Pał pośredni****12.5.4.2. Obliczenie pała sztywnego:**

Lp	grunt	$h$ [m]	$\gamma^r$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi_u^r$ [°]	$c_u^r$ [kPa]	$N_q$	$S_q$	$N_c$	$S_c$	A [kN]	B [kN]	$H_f$ [kN]
1	Posp.	1,53	18,32	30,0	-	9,0	1,09	-	-	63,11	-	63,11
2	Pył piaszcz.+ g	0,30	20,79	16,0	15,75	2,4	1,23	12	1,28	0,83	29,03	29,86
3	$P_{glin} + g$	0,90	21,29	19,5	20,00	4,0	1,18	15	1,25	12,21	135,00	147,21
4	$P_g + \dot{z}$	0,80	16,83	28,0	-	8,0	1,08	-	-	13,96	-	13,96
5	Nm piaszcz.	0,80	15,34	26,5	-	6,0	1,14	-	-	10,07	-	10,07
6	$G_{zw} + G_{pyl}$	0,80	19,80	13,5	13,18	1,8	1,18	8	1,31	4,04	44,20	48,24
7	Pył piaszcz.	0,40	17,82	15,0	15,75	1,7	1,22	11	1,27	0,89	35,20	36,09
8	Nm glin.	3,80	16,56	4,5	1,00	0,5	1,29	6	1,40	23,13	12,77	35,90
9	Łupek zwarty	1,67	24,75	22	22,50	5,0	1,17	17	1,22	60,57	311,72	372,29
Razem $H_f$ [kN]												756,73

$$h/D = 11,00; S_q = 1 + \beta_q; S_c = 1 + \beta_c;$$

$$h_H/h = 0,04 : 11 = 0,004 \rightarrow i_q = 0,15; i_c = 0,40$$

$$A = \gamma \times 1,0 \times h^2 \times N_q \times S_q \times 0,15 = 0,15 \gamma h^2 N_q S_q$$

$$B = c_u \times 1,0 \times h \times N_c \times S_c \times 0,4 = 0,4 c_u h N_c S_c$$

$$H_f = A + B$$

**- nośność boczna pała w grupie:**

$$D_2 = n_1 n_2 D = 1,15 \times 0,85 \times 1,0 = 0,978$$

$$n_1 = r_1 / D + 1 = 2,30 : 2 = 1,15$$

$$n_2 = 0,45 + \frac{1 - 0,45 \times (0 - 1,0)}{1,8 \times (1,0 + 1)} = 0,85$$

$$0,8 \times 0,978 H_F = 0,8 \times 0,978 \times 756,73 = 592,07 \text{ kN} > H = 121,09 \text{ kN}$$

$$y_o = \frac{18 \times 121,09 \times (1 + 1,33 \times 0,045)}{11^2 \times 7520} = 0,0025 \text{ m} = 0,25 \text{ cm} < 1 \text{ cm}$$

**warunki spełnione**

**- moment zginający pala:**

$$h_u = 0,4 h_s = 0,4 \times 6,23 = 2,49 \text{ m}$$

$$M_p = 121,09 \times (2,49 + 0,045) = 306,96 \text{ kNm} - \text{do obliczeń}$$

#### 12.5.4.3. Obliczenie pala wiotkiego:

**- sprawdzenie przemieszczenia pala:**

$$H = 121,09 \text{ kN}; h = 11,00 \text{ m}; \bar{n} = 1; k_x = 7520 \text{ kN/m}^2; D = 1,0 \text{ m}; h_s = 6,23;$$

$$h_H/h_s = 0,045 : 6,23 = 0,007 \rightarrow N_2 = 1,18$$

$$y_o = \frac{121,09 \times 11,0 \times 1,8}{7520 \times 1,00 \times 6,23^2} = 0,008 \text{ m} = 0,8 \text{ cm} < 1,0 \text{ cm}$$

**- moment zginający pala:**

$$N_1 = 0,8; N_3 = 0,38$$

$$M = 121,09 \times (0,045 + 6,23 \times 0,8) \times 0,38 = 231,41 \text{ kNm}$$

#### 12.5.5. Zbrojenie pala:

$$M = 306,96 \text{ kNm}; N = 1165,21 \text{ kN}; e = 306,96 : 1165,21 = 0,26$$

$$e/d-a = 0,26 / (1,0 - 0,07) = 0,28 < 0,46 - \text{mały mimośród}$$

Z uwagi na zagłębienie pala w gruncie nie uwzględnia się długości wyboczeniowej  
przyjęto zbrojenie równomierne po obwodzie -  $\phi$  25 co ok. 19 cm – 14 szt.

$$F_z = 14 \times 0,000491 = 0,006874 \text{ m}^2$$

$$F_b = 0,785 \text{ m}^2 \text{ beton B30}$$

$$w = 0,09818 \times 1,0^3 + 6,44 \times 0,006874 \times 0,43^2 \times \frac{1}{1,0} = 0,09818 + 0,008185 = 0,1064 \text{ m}^3$$

$$\sigma_b = \frac{1165,21}{0,785} \pm \frac{306,96}{0,1064} = 1484 \pm 2885 = 4369 \text{ kN/m}^2 < R_b = 17300 \text{ kN/m}^2$$

$$- 1401 \text{ kN/m}^2 < R_t = 1800 \text{ kN/m}^2$$

### 13. Blachy łożyska:

Z uwagi na ilość dźwigarów projektuje się łożyska w formie blachy poprzecznej, do której zostaną przyspawane pasy dolne belek stalowych. Przyjęto blachę 200 x 9450 mm.

$$R = 175,62 + 68,81 + 243,23 = 487,66 \text{ kN}$$

$$R_c = 487,66 \times 11 = 5364,26 \text{ kN}; F_d = 9,40 \times 0,2 = 1,88 \text{ m}^2$$

$$\sigma_d = 5364,26 : 1,89 = 2838,23 \text{ kN/m}^2$$

$$a = 9,45 + 2 \times 0,2 = 9,85 \text{ m} \rightarrow \text{przyjęto } 9,65 \text{ m długość oczepu}$$

$$b = 0,2 + 2 \times 9,45 \rightarrow \text{przyjęto } 1,10 \text{ m szerokość oczepu}$$

$$F_r = 1,10 \times 9,65 = 10,615 \text{ m};$$

$$m_d = \left( \frac{10,615}{1,88} \right)^{0,5} = 2,38 \rightarrow \text{przyjęto } m_d = 2,0$$

$$R_d = 2 \times 13300 = 26600 \text{ kPa} > \sigma_d = 2838,23 \text{ kN/m}^2$$

- spawy połączenia belek z blachami łożyska:

Przyjęto spoiny pachwinowe obustronne 5 mm

$$\sigma = 487,66 / (2 \times 11 \times 0,005) = 44,33 \text{ kN/m}^2 < R_t = 0,7 \times 200000 = 140000 \text{ kN/m}^2$$

- kotwy blachy łożyskowej

Przyjęto kotwy co 50 cm – 19 szt.

$$F_z = 487,66 / (19 \times 115000) = 0,000223 \text{ m}^2$$

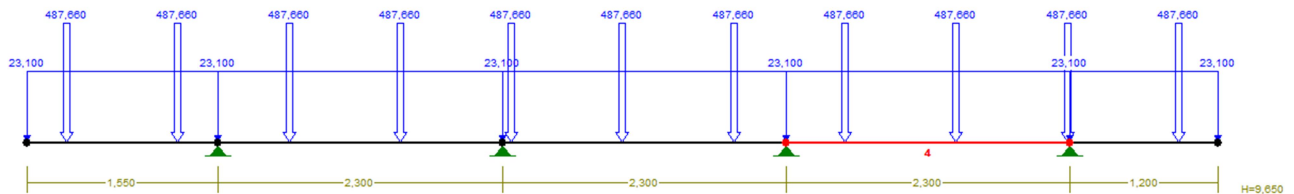
Przyjęto kotwy  $\phi 20$  co 50 cm, zakotwione w betonie

## 14. Oczip:

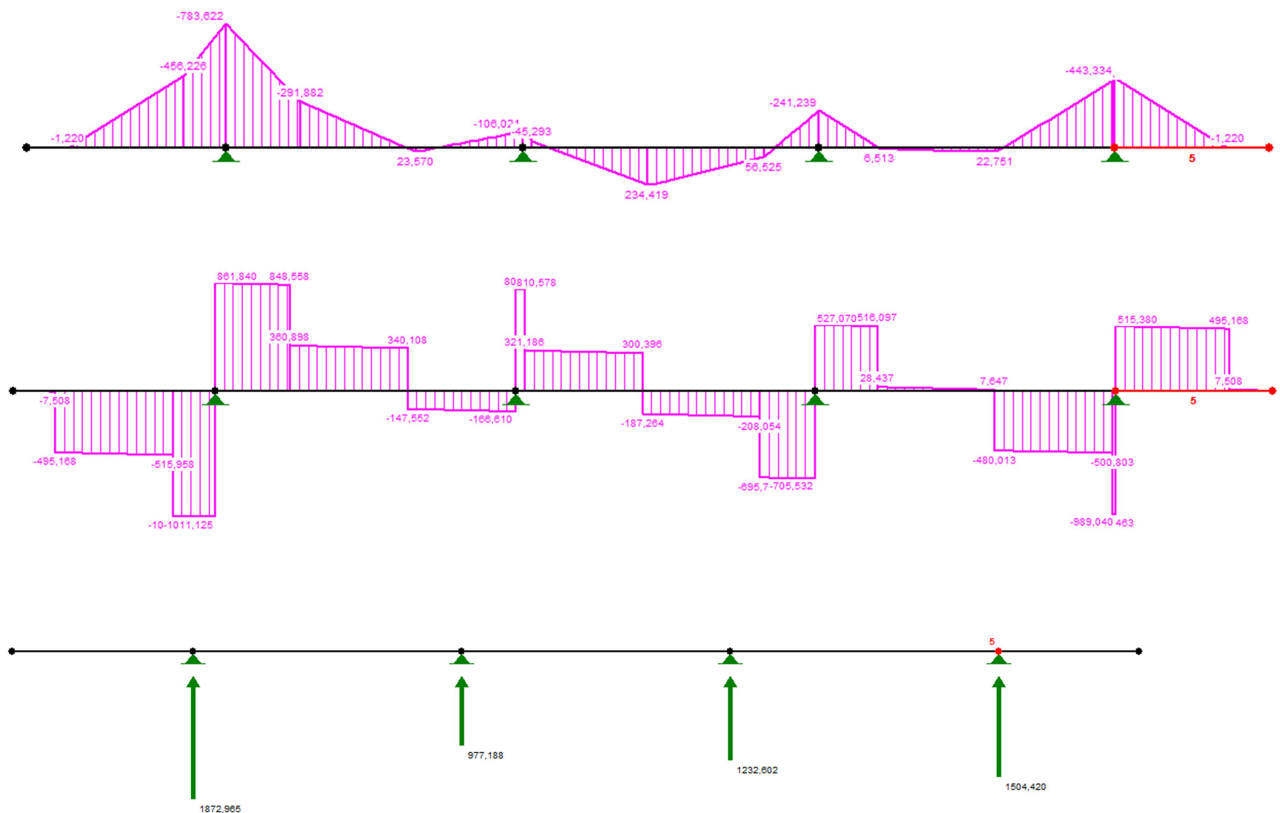
### 14.1. Siły wewnętrzne:

Obliczenia jak dla belki ciągłej 3-przęsłowej ze wspornikami. Dla uproszczenia przyjmuje się obciążenie reakcja z przęsła oraz ciężarem własnym max.

### 1.4.2. schemat obciążenia



### 1.4.3. Siły wewnętrzne:





$$M_{\min}^- = -786,62 \text{ kNm}$$

$$M_{\max}^+ = 234,42 \text{ kNm}$$

$$T_{\max} = 861,84 \text{ kN}$$

$$R_p = 1872,97$$

#### 14.4. Zbrojenie:

##### a) zginanie:

$$M = 786,62 \text{ kNm}; b = 1,10 \text{ m}; h = 0,70 \text{ m}; h_o = 0,64 \text{ m}; \text{beton B30}; n = 6,44$$

$$w_z = \frac{6,44 \times 786,62}{1,10 \times 0,64^2 \times 295000} = 0,038 \rightarrow n\mu = 0,042$$

$$\gamma = 0,336$$

$$\sigma_b = 0,336 \times \frac{295000}{6,44} = 15391 \text{ kN/m}^2 < R_b$$

$$F_z = \frac{0,042}{6,44} \times 1,10 \times 0,64 = 0,0046 \text{ m}^2 - \text{przyjęto 8 szt. } \phi 32 \text{ mm} \quad F_z = 0,006432 \text{ m}^2$$

##### b) ścinanie:

$$\mu = \frac{0,006432}{1,10 \times 0,64} = 0,009$$

$$V_b = (1 + 50 \times 0,009) \times 0,64 \times 0,85 \times 1,10 \times 280 = 242,95 \text{ kN}$$

$$V_s = 861,84 - 242,95 = 618,89 \text{ kN}$$

Przyjęto strzemiona zamknięte  $\phi 20 \text{ mm}$

$$F_s = 2 \times 0,000314 = 0,000628 \text{ m}^2$$

$$s = \frac{295000 \times 0,85 \times 0,64 \times 0,000628}{618,89} = 0,16 \text{ m} - \text{przyjęto strzemiona } \phi 20 \text{ co } 15 \text{ cm, 2-cięte}$$

##### c) przebiecie:

$$\mu = 0,000;$$

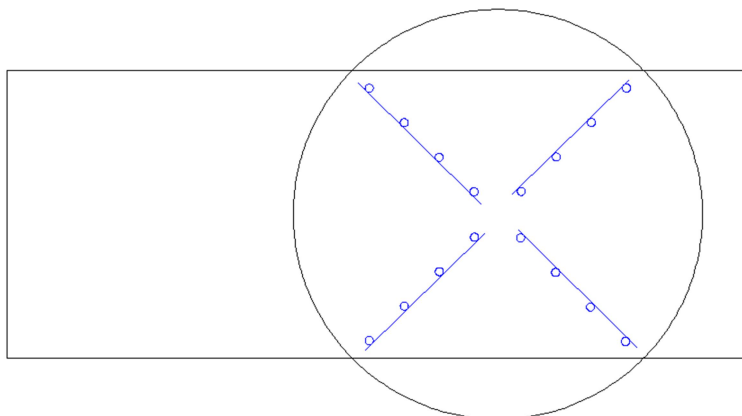
$$a = 1,0 + 0,64 \times 2 = 2,28 \text{ m}$$

$$b = 2,28 \text{ m} > 0,70 \text{ m} \quad m \rightarrow \text{przyjęto z uwagi na wymiar oczepu } 0,70 \text{ m}$$

$$u = 0,70 \times 3,14 + 0,88 = 3,078 \text{ m}$$

$$V_b = 1,6 \times 280 \times 3,078 \times 0,64 \times (1 + 50 \times 0,009) = 1279,66 \text{ kN} > 1872,97 \text{ kN}$$

Dodatkowe zbrojenie w formie strzemion zamkniętych - promienistych odchodzących do krawędzi pała i stężonych górną i dolną prętami poziomymi, lub w formie z zamkniętych strzemion 4-ciętych – jak na rysunku poniżej



Przyjęto 8 szt.  $\phi$  20 mm w rozstawie co 12 cm, stal min. AII

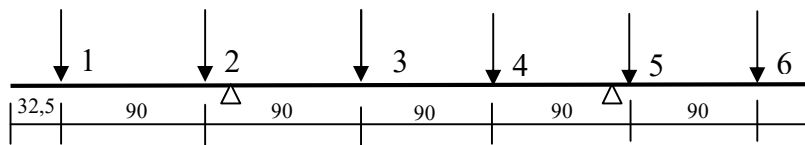
$$\Delta V = 8 \times 0,000314 \times 295000 = 741,04 \text{ kN}$$

$$V = V_b + \Delta V = 1279,66 + 741,04 = 2020,70 \text{ kN} > R = 1872,97 \text{ kN}$$

#### 14.5. Ława łożyskowa:

$$q = 4437,90 / 9,65 = 459,89 \text{ kN/m}$$

$$Q = (2803,76 + 624,98 + 1009,16) : 11 = 403,45 \text{ kN}$$



$$M_1 = -0,325^2 \times 0,5 \times 459,89 = -24,29 \text{ kNm}$$

$$T_1^L = -459,89 \times 0,325 = -149,46 \text{ kN}$$

$$T_1^P = -149,46 + 403,45 = 253,99 \text{ kN}$$

$$M_{1-2} = -0,775^2 \times 0,5 \times 459,37 + 403,45 \times 0,45 = -137,95 + 181,55 = 43,60 \text{ kNm}$$

$$M_2 = -1,225^2 \times 0,5 \times 459,37 + 0,9 \times 403,45 = -344,67 + 363,10 = 18,43 \text{ kNm}$$

$$T_2^L = 253,99 - 0,90 \times 459,89 = -109,51 \text{ kN}$$

$$T_2^P = -109,51 + 403,45 = 293,94 \text{ kN}$$

$$M_{2-3} = -1,675^2 \times 0,5 \times 459,37 + 403,45 \times (1,35 + 0,45) = -644,41 + 726,21 = 81,80 \text{ kNm}$$

$$M_3 = -2,125^2 \times 0,5 \times 459,37 + 403,45 \times (1,80 + 0,90) = -1037,17 + 1089,32 = 52,15 \text{ kNm}$$

$$T_3^L = 293,94 - 459,37 \times 0,90 = -119,49 \text{ kN}$$

$$T_3^P = -119,49 + 403,45 = 283,96 \text{ kN}$$

$$M_{3-4} = -2,575^2 \times 0,5 \times 459,37 + 403,45 \times (2,25 + 1,35 + 0,45) = -1522,96 + 1633,97 = 111,01 \text{ kNm}$$

$$M_4 = -3,025^2 \times 0,5 \times 459,37 + 403,45 \times (2,70 + 1,80 + 0,90) = -2101,76 + 2178,63 = 76,87 \text{ kNm}$$

$$T_4^L = 119,49 - 459,37 \times 0,90 = -293,94 \text{ kN}$$

$$T_4^P = -293,94 + 403,45 = 109,51 \text{ kN}$$

$$M_{4-5} = -3,475^2 \times 0,5 \times 459,37 + 403,45 \times (3,15 + 2,25 + 1,35 + 0,45) = -2773,59 + 2904,84 = 131,25 \text{ kNm}$$

$$M_5 = -3,925^2 \times 0,5 \times 459,37 + 403,45 \times (3,60 + 2,70 + 1,80 + 0,90) = -3538,44 + 3631,05 = 92,61 \text{ kNm}$$

$$T_5^L = 109,51 - 459,37 \times 0,90 = -303,92 \text{ kN}$$

$$T_5^P = -303,92 + 403,45 = 99,53 \text{ kN}$$

$$M_{5-6} = -4,375^2 \times 0,5 \times 459,37 + 403,45 \times (4,05 + 3,15 + 2,25 + 1,35 + 0,45) = -4396,31 + 4538,81 = 142,50 \text{ kNm} - \text{do obliczeń}$$

$$M_6 = - 4,825^2 \times 0,5 \times 459,37 + 403,45 \times (4,50 + 3,60 + 2,70 + 1,80 + 0,90) = - 5347,21 + 5446,58 = 99,37 \text{ kNm}$$

$$T_6^L = 99,53 - 459,37 \times 0,90 = - 313,90 \text{ kN} - \text{do obliczeń}$$

$$T_6^P = - 313,90 + 403,45 = 89,55 \text{ kN}$$

**- zbrojenie:**

ukryta płyta o wymiarach 70 x 30 cm

$M = 142,50 \text{ kNm}$ ;  $b = 1,10 \text{ m}$ ;  $h = 0,30 \text{ m}$ ,  $h_o = 0,25 \text{ m}$  beton B30, stal min. AII

$$w_z = \frac{6,44 \times 142,50}{1,10 \times 0,25^2 \times 295000} = 0,045 \quad n\mu = 0,050; \quad \gamma = 0,37$$

$$\sigma_b = 0,37 \times \frac{295000}{6,44} = 16949 \text{ kN/m}^2 < R_b = 17300 \text{ kN/m}^2$$

$$F_z = \frac{0,050}{6,44} \times 1,10 \times 0,35 = 0,002135 \text{ m}^2 = 21,35 \text{ cm}^2$$

**Przyjęto: górną 8  $\phi$  32 mm. tj co 15 cm – tj. zbrojenie główne od zginania oczepu  
dołem 8  $\phi$  20 mm. tj co 15 cm –  $F_z = 25,12 \text{ cm}$ ;**

$$\mu = 25,12 : (110 \times 25) = 0,0091$$

**Przyjęto strzemiona 2 – cięte  $\phi$  20 mm, stal min. AII**

**beton klasy B30**

$$V_b = (1 + 50 \times 0,0091) \times 1,10 \times 0,85 \times 0,25 \times 280 = 95,23 \text{ kN}$$

$$V_s = 313,90 - 95,23 = 218,67 \text{ kN}$$

$$F_s = 2 \times 0,000314 = 0,000628 \text{ m}^2$$

$$s = \frac{295000 \times 0,85 \times 0,25 \times 0,000628}{218,67} = 0,18 \text{ m} - \text{przyjęto strzemiona } \phi 20 \text{ co } 15 \text{ cm, 2-cięte}$$

Obliczył