

## Obliczenia statyczno – wytrzymałościowe

### Budowa mostów przez rzekę Gnojnica w m. Sędziszów Małopolski

#### 1. Dane wstępne:

a) most stały jednoprzęsłowy o parametrach:

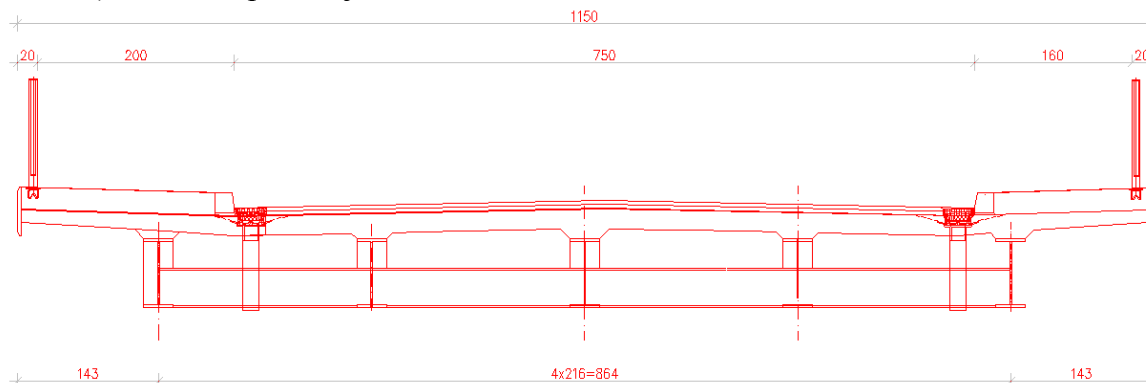
- długość  $L_c = 9,70$  m
- rozpiętość teoretyczna  $L_t = 9,20$  m
- szerokość całkowita:  $B = 11,50$  m
- szerokość użytkowa:  $B_u = 11,10$  m

b) konstrukcja mostu:

- ustrój nośny – zespolony (płyta żelbetowa gr. 20 cm z bet. B35 + belki stalowe (HEB 700, wzmocniony stal St3S), w rozstawie 2,88 m, stężone poprzecznkami z dwuteowników I NP 300, co 3,50 m, stal j.w.
- podpory istniejące, betonowe.

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

d) Schemat przekroju mostu:



#### 2. Zestawienie obciążeń:

##### 2.1. Obciążenia stałe:

a) nawierzchnia bitumiczna jezdni :  $0,08 \times 23 = 1,84 \times 1,5 = 2,76 \text{ kN/m}^2$   
 $\times 0,9 = 1,66 \text{ kN/m}^2$   
 $14,0 \times 0,005 = 0,07 \times 1,5 = 0,11 \text{ kN/m}^2$   
 $\times 0,9 = 0,06 \text{ kN/m}^2$

---


$$g_j = 2,87 \text{ kN/m}^2$$

$$= 1,72 \text{ kN/m}^2$$

$$= 1,91 \text{ kN/m}^2$$

b) chodnik

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

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

$$0,23 \times 25 = 5,75 \times 1,2 = 6,90 \text{ kN/m}^2$$

$$\times 0,9 = 5,18 \text{ kN/m}^2$$

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

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

---


$$\text{Razem: } 7,22 \text{ kN/m}^2$$

$$5,37 \text{ kN/m}^2$$

$$5,96 \text{ kN/m}^2$$

c) płyta żelbetowa:  $g_p = 0,20 \times 25 = 5,00 \times 1,2 = 6,00 \text{ kN/m}^2$   
 $\times 0,9 = 4,50 \text{ kN/m}^2$

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) balustrada:  $G_{bp} = 0,5 \times 1,5 = 0,75 \text{ kN/m}$   
 $\times 0,9 = 0,45 \text{ kN/m}$

h) belka stalowa, walcowana: HEB 700  
 $g_l = 2,80 \times 1,05 = 2,94 \times 1,2 = 3,53 \text{ kN/m}$   
 $\times 0,9 = 2,65 \text{ kN/m}$

i) skos belki:  $g_{sk} = 0,03 \times 25 = 0,75 \times 1,2 = 0,90 \text{ kN/m}$   
 $\times 0,9 = 0,68 \text{ kN/m}$

j) poprzecznice (HEB 30):  
 $G_p = 1,17 \times 2,88 \times 1,05 = 3,54 \times 1,2 = 4,25 \text{ kN}$   
 $\times 0,9 = 3,19 \text{ kN}$

## 2.2. Obciążenia użytkowe kl. „B”:

$$K = 600 : 8 = 75 \times 1,5 = 112,5 \text{ kN}; \quad \phi = 1,35 - 0,005 \times 9,20 = 1,30$$

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

$$K_\phi = 112,5 \times 1,30 = 146,25 \text{ kN}$$

### b) obciążenie tłumem:

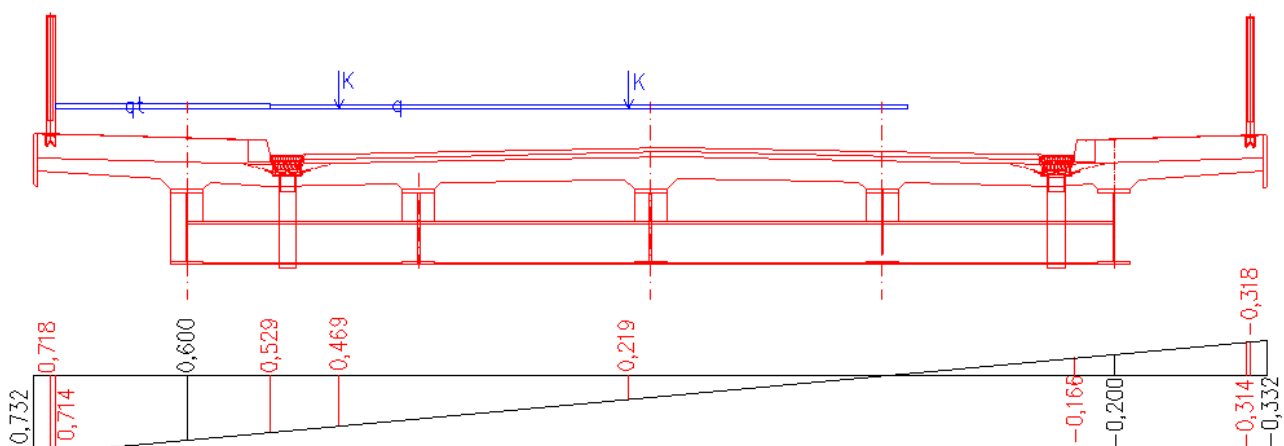
$$q_t = 2,5 \times 1,5 = 3,75 \text{ kN/m}^2$$

## 2.3. Rozkład poprzeczny obciążeń:

Rozkład wg sztywnej poprzecznicy – dla belki skrajnej najbardziej obciążonej:

$$y_0 = \frac{1}{5} + \frac{8,64^2}{2 \times (8,64^2 + 4,32^2)} = 0,20 + 0,40 = 0,60 ;$$

$$y_1 = 0,20 - 0,40 = -0,20$$



$$g_n^{\max} = 0,732 \times 0,75 - 0,332 \times 0,56 + 0,718 \times 0,75 - 0,318 \times 0,45 + 1,387 \times 7,22 - 0,448 \times 5,37 + 1,509 \times 2,87 - 0,148 \times 1,72 = 0,55 - 0,19 + 0,54 - 0,14 + 10,01 - 2,41 + 4,33 - 0,25 = 12,44 \text{ kN/m}$$

$$g_n^{\min} = 0,732 \times 0,56 - 0,332 \times 0,75 + 0,718 \times 0,45 - 0,318 \times 0,75 + 1,387 \times 5,37 - 0,448 \times 7,22 + 1,509 \times 1,72 - 0,148 \times 2,87 = 0,41 - 0,25 + 0,32 - 0,24 + 7,45 - 3,23 + 2,60 - 0,42 = 6,64 \text{ kN/m}$$

$$g_n^{\min} = (0,732 - 0,332) \times 0,62 + (0,718 - 0,318) \times 0,5 + (1,387 - 0,448) \times 5,96 + (1,509 - 0,148) \times 1,91 = 0,25 + 0,20 + 5,60 + 2,60 = 8,65 \text{ kN/m}$$

$$K^r = (0,469 + 0,219) \times 146,25 = 100,62 \text{ kN};$$

$$q^r = 1,509 \times 4,50 = 6,79 \text{ kN/m}$$

$$q_t^r = 1,243 \times 3,75 = 4,66 \text{ kN/mb}$$

$$K^n = 100,62 : 1,5 = 67,08 \text{ kN};$$

$$q^n = 6,79 : 1,5 = 4,53 \text{ kN/mb}$$

$$q_t^n = 4,66 : 1,5 = 3,11 \text{ kN/mb}$$

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

#### 2.3.1. Faza – nie zespolona:

$$g_{\max}^r = 6,00 \times 2,16 + 3,53 + 0,90 = 17,39 \text{ kN/m};$$

$$g_{\min}^r = 4,50 \times 2,16 + 2,65 + 0,68 = 13,05 \text{ kN/m};$$

$$g_n^{\min} = 5,00 \times 2,16 + 2,94 + 0,75 = 14,49 \text{ kN/m};$$

$$G_{\max}^p = 4,25 \text{ kN}; \quad G_{\min}^p = 3,19 \text{ kN}; \quad G^p = 3,54 \text{ kN};$$

#### 2.3.2. Faza zespolona:

$$g_n^{\max} = 12,44 \text{ kN/m}$$

$$g_n^{\min} = 6,64 \text{ kN/m}$$

$$g_n^{\min} = 8,65 \text{ kN/m}$$

$$K^r = 100,62 \text{ kN};$$

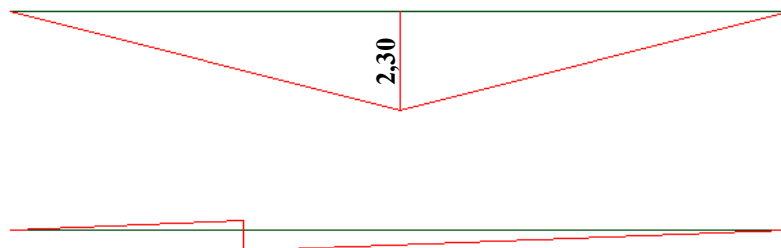
$$q^r = 6,79 + 4,66 = 11,45 \text{ kN/m}$$

$$K^n = 67,08 \text{ kN};$$

$$q^n = 4,53 + 3,11 = 7,64 \text{ kN/mb}$$

### 2.4. Siły wewnętrzne w poszczególnych fazach:

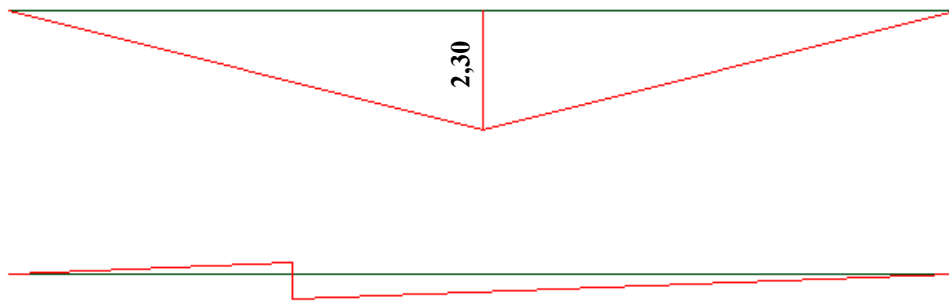
#### 2.4.1. Faza niezespolona:



$$M = 17,39 \times 9,20^2 \times 0,125 + (1,15 \times 2 + 2,30) \times 4,25 = 183,99 + 16,28 = 200,27 \text{ kNm}$$

$$T_0 = R = 17,39 \times 9,20 \times 0,5 + (1 + 0,86 + 0,75 + 0,50 + 0,25) \times 3,54 = 79,99 + 10,12 = 90,11 \text{ kN}$$

$$T_{0,3l=2,76m} = 0,7 \times 6,44 \times 0,5 \times 17,39 - 0,3 \times 2,76 \times 0,5 \times 13,05 + (0,50 + 0,25) \times 3,54 - 0,25 \times 3,19 = 39,20 - 5,40 + 2,66 - 0,80 = 35,66 \text{ kN}$$

**2.4.2. faza zespolona:****2.4.2.1. Nawierzchnia:**

$$M = 12,44 \times 9,20^2 \times 0,125 = 131,62 \text{ kNm}$$

$$R = T_0 = 12,44 \times 9,20 \times 0,5 = 57,22 \text{ kN}$$

$$T_{0,3l=2,76m} = 0,7 \times 6,44 \times 0,5 \times 12,44 - 0,3 \times 2,76 \times 0,5 \times 6,64 = 28,04 - 2,75 = 25,29 \text{ kN}$$

**2.4.2.2. Obciążenia użytkowe:**

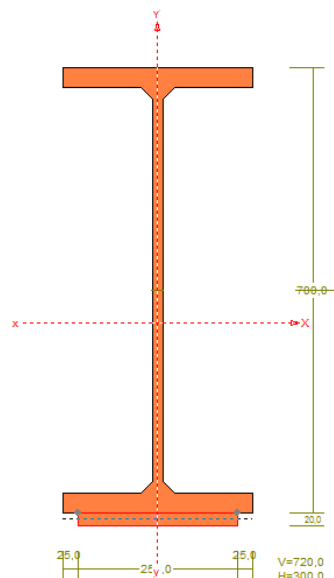
$$M = 11,45 \times 9,20^2 \times 0,125 + (2,30 + 2 \times 1,70 + 1,10) \times 100,62 = 121,14 + 684,22 = 805,36 \text{ kNm}$$

$$R = T_0 = 11,45 \times 1,0 \times 0,5 \times 9,20 + 100,62 \times (1 + 0,87 + 0,739 + 0,609) = 52,67 + 323,80 = 376,47 \text{ kN}$$

$$T_{0,3l=2,76m} = 0,7 \times 6,44 \times 0,5 \times 11,45 + 100,62 \times (0,7 + 0,57 + 0,439 + 0,374) = 25,81 + 209,59 = 235,54 \text{ kN}$$

**4. Charakterystyka wytrzymałościowa dźwigara:****4.1. Przekrój nie zespolony:**

Charakterystyka prz...	
Osie główne:	
X=	0,00 cm
Y=	-5,06 cm
Alfa=	-0,00
Momenty bezwładności:	
Jx=	312615,54
Jy=	17044,17
Dxy=	0,00
Momenty główne:	
Ix=	312615,54
Iy=	17044,17
Promienie bezwładności:	
ix=	29,63
iy=	6,92
Wskaźniki wytrzymałości:	
Wx=	7804,43
Wx=	-9786,42
Wy=	-1136,28
Wy=	1136,28
Powierzchnia i masa:	
F=	356,00
m=	279,46
OK	

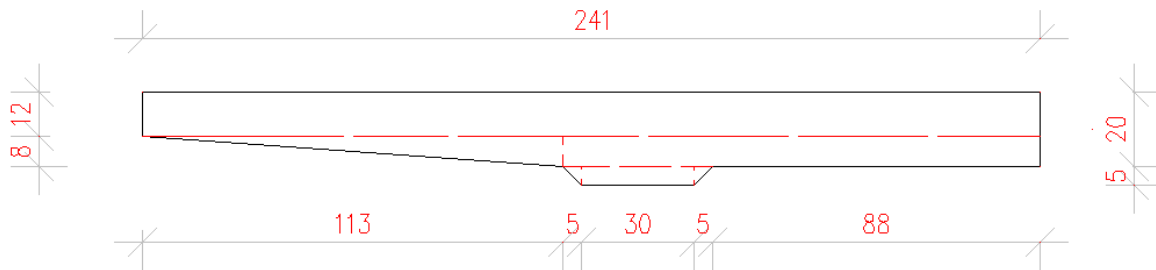
**4.2. Przekrój zespolony:**

$$t/h = 0,2:0,95 = 0,2; \quad b_0/l = 0,30 : 9,20 = 0,03; \quad b_1/l = 1,24 : 9,20 = 0,14; \quad \lambda = 0,95$$

$$b_2/l = 0,93 : 9,20 = 0,1; \lambda = 1,0$$

$$b_{m1} = 0,95 \times 1,24 = 1,18; b_{m2} = 0,96 \times 1,08 = 1,04$$

#### 4.1. Płyta żelbetowa:



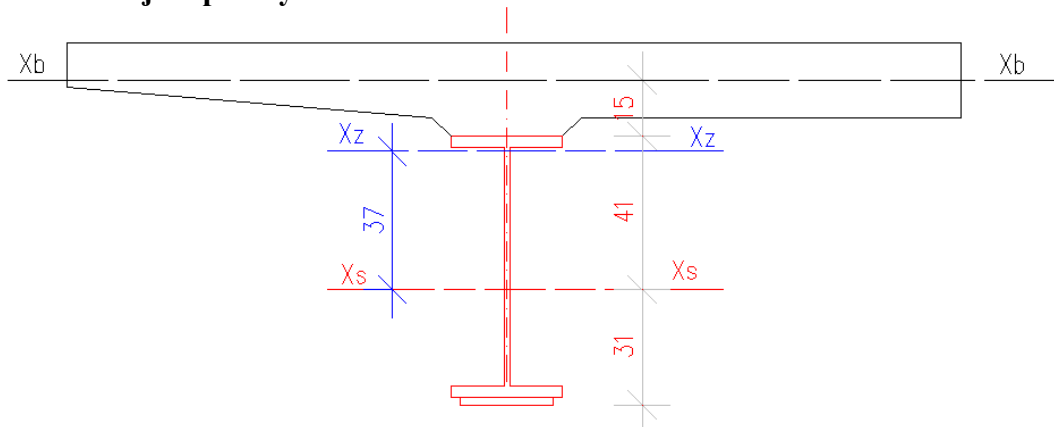
$$F_b = 2,41 \times 0,12 + 1,28 \times 0,08 + 1,13 \times 0,08 \times 0,5 + 0,3 \times 0,05 + 0,5^2 \times 0,5 \times 2 = 0,289 + 0,102 + 0,045 + 0,015 + 0,0025 = 0,454 \text{ m}^2$$

$$S_o = 0,289 \times 0,06 + 0,102 \times 0,16 + 0,045 \times 0,147 + 0,015 \times 0,225 + 0,0025 \times 0,217 = 0,0174 + 0,0163 + 0,0066 + 0,0034 + 0,0005 = 0,0442 \text{ m}^3$$

$$x_o - x_o = 0,0442 : 0,454 = 0,10 \text{ m}$$

$$I_b = 2,41 \times 0,2^3 \times \frac{1}{12} + 0,289 \times 0,06^2 + 1,28 \times 0,08^3 \times \frac{1}{12} + 0,102 \times 0,06^2 + 0,3 \times 0,05^3 \times \frac{1}{12} + 0,015 \times 0,125^2 + 1,13 \times 0,08^3 \times \frac{1}{36} + 0,045 \times 0,073^2 + 0,05^4 \times 2 \times \frac{1}{36} + 0,0025 \times 0,117^2 = 0,0016 + 0,00104 + 0,000055 + 0,00041 + 0,000003 + 0,00023 + 0,000016 + 0,00024 + 0,0000004 + 0,00034 = 0,00391 \text{ m}^4$$

#### 4.2. Przekrój zespolony:



$$F_c = 0,454 / 6,32 + 0,0356 = 0,11 \text{ m}^2$$

$$a_z = 0,454 \times 0,56 / 6,32 \times 0,11 = 0,37 \text{ m}$$

$$I_c = 0,00313 + 0,00391 / 6,32 + 0,0356 \times 0,37^2 + 0,19^2 \times 0,454 / 6,32 = 0,00313 + 0,00062 + 0,0049 + 0,0026 = 0,01123 \text{ m}^4$$

$$w_g = 0,01123 : 0,04 = 0,281 \text{ m}^3$$

$$w_d = 0,01123 : 0,68 = 0,0165 \text{ m}^3$$

$$w_{skos} = 0,281 \times 6,32 = 1,78 \text{ m}^3$$

$$w_{dp} = 0,01123 \times 6,32 / 0,09 = 0,86 \text{ m}^3$$

$$w_{gp} = 0,01123 \times 6,32 / 0,29 = 0,245 \text{ m}^3$$

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

$$S_N(N) = 0,02 \times 0,25 \times 0,3 + 0,3 \times 0,032 \times 0,274 + 0,258^2 \times 0,017 \times 0,5 = 0,0015 + 0,0026 + 0,00057 = 0,00467 \text{ m}^3$$

$$S_N(Z) = 0,02 \times 0,25 \times 0,67 + 0,3 \times 0,032 \times 0,644 + 0,258 \times 0,017 \times 0,499 = 0,00335 + 0,00618 + 0,0021 = 0,0116 \text{ m}^3$$

**b) Faza zespolona:**

$$S_Z(N) = 0,56 \times 0,458 / 6,32 + 0,30 \times 0,032 \times 0,024 + 0,008 \times 0,017 \times 0,374 = 0,0405 + 0,00023 + 0,000051 = 0,0408 \text{ m}^3$$

$$S_Z(Z) = 0,19 \times 0,458 / 6,32 + 0,30 \times 0,032 \times 0,024 + 0,0000 = 0,0138 + 0,00023 = 0,014 \text{ m}^3$$

**5. Obliczenie naprężeń w konstrukcji:**

(+) – ściskanie

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

$$M = 20027 \text{ kNm}; w_g = 0,0078 \text{ m}^3; w_d = 0,009786 \text{ m}^3;$$

$$\sigma_d = -245,97 \times 1/0,009786 = -25135 \text{ kN/m}^2 < R_a = 280000 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_g = 245,97 \times 1/0,0078 = 31535 \text{ kN/m}^2 < R_a$$

**5.1.2. Faza II - zespolona:**

$$M = 131,62 + 805,36 = 936,98 \text{ kNm}$$

$$\sigma_d = -936,98 \times 1/0,0165 = -56787 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_g = 936,98 \times 1/0,281 = 3334 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{skos} = 936,98 \times 1/1,78 = 526 \text{ kN/m}^2 < R_b = 17300 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{dp} = 936,98 \times 1/0,86 = 1089 \text{ kN/m}^2 < R_b$$

$$\sigma_{gp} = 936,98 \times 1/0,245 = 3824 \text{ kN/m}^2 < R_b$$

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

$$M = M(g) = 160,71 \text{ kNm}$$

$$n_{bz} = \frac{F_s \cdot a_z}{I_c} = \frac{0,0356 \times 0,37}{0,01123} = 1,17$$

$$m_b = \frac{I_b}{n I_c} = \frac{0,00391}{6,32 \times 0,01123} = 0,055$$

$$m_z = \frac{I_s}{I_c} = \frac{0,00313}{0,01123} = 0,254$$

$$\text{sprawdzenie: } a n_{bz} + m_b + m_z = 1,17 \times 0,56 + 0,055 + 0,254 = 0,964 \approx 1,0$$

$$e_m = 2 \times 0,454 / 2,145 = 0,43 - \text{ dla } e_m = 600 \text{ mm} \rightarrow \phi_p = 2,0$$

$$\alpha = \frac{F_s \cdot I_s}{F_c (I_c - \frac{1}{n} I_b)} = \frac{0,0356 \times 0,00313}{0,11 \times (0,01123 - 0,00391/6,32)} = \frac{0,00011}{0,00117} = 0,094$$

$$\alpha \phi_p = 2,0 \times 0,094 = 0,19; \quad \alpha / (1 - \alpha) = 0,10$$

$$N_{bo} = M \times n_{bz} = 131,62 \times 1,17 = 154,00 \text{ kN}$$

$$\Delta N_b = N_{bo} (1 - e^{-\alpha \phi}) = 154,00 \times (1 - 2,7182818285^{-0,19}) = 131,62 \times (1 - 0,827) = 22,77 \text{ kN}$$

$$\Delta M_z = a \cdot \Delta N_b = 0,56 \times 22,77 = 12,75 \text{ kNm}$$

$$\Delta M_b = M \cdot m_b (1 - e^{-\phi}) - a N_{bo} \frac{I_b \alpha}{n I_s (1 - \alpha)} (e^{-\alpha \phi} - e^{-\phi}) = 131,62 \times 0,055 \times (1 - 2,7182818285^{-2,0}) - 0,56 \times 154,00 \times \frac{0,00391}{6,32 \times 0,00313 \times 0,1} \times (2,7182818285^{-0,19} - 2,7182818285^{-2,0}) = 7,23 \times 0,865 - 86,24 \times 0,02 \times (0,827 - 0,135) = 6,25 - 1,19 = 5,06 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{gp} = \frac{\Delta N_b}{F_b} - \frac{\Delta M_b \cdot y_b}{I_b} = \frac{22,77}{0,454} - \frac{5,06 \times 0,10}{0,00391} = -50 - 129 = -179 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{dp} = -\frac{\Delta N_b}{F_b} + \frac{\Delta M_b \cdot y'_b}{I_b} = -\frac{22,77}{0,454} + \frac{5,06 \times 0,10}{0,00391} = -59 + 129 = 79 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{skos} = -\frac{\Delta N_b}{F_b} + \frac{\Delta M_b \cdot y'_b}{I_b} = -\frac{22,77}{0,454} + \frac{5,06 \times 0,15}{0,00391} = -59 + 194 = 135 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_g = \frac{\Delta N_b}{F_s} + \frac{\Delta M_z}{w_{zg}} = \frac{22,77}{0,0356} + \frac{12,75}{0,281} = 640 + 45 = +685 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_d = +\frac{\Delta N_b}{F_s} - \frac{\Delta M_z}{w_{zd}} = \frac{22,77}{0,0356} - \frac{12,75}{0,0165} = 640 - 773 = -133 \text{ kN/m}^2$$

### 5.1.3. Naprężenia od skurczu betonu:

$$N_s = \epsilon_s E_b F_b = 0,00032 \times 32600000 \times 0,454 = 4736,13 \text{ kN}$$

$$\epsilon_s = 0,32\text{‰} = 0,00032; \quad (1 - e^{-\alpha \phi}) = (1 - 0,869) = 0,131$$

$$N = N_s / \phi \cdot (1 - e^{-\alpha \phi}) = 4736,13 \times \frac{1}{2,0} \times 0,131 = 310,26 \text{ kN}$$

$$M_z = a N = 0,56 \times 310,26 = 173,75 \text{ kNm}$$

$$M_b = a \cdot \frac{N_s}{\phi} \cdot \frac{I_b}{n I_s} \cdot \frac{\alpha}{(1 - \alpha)} \cdot (e^{-\alpha \phi} - e^{-\phi}) = 0,56 \times \frac{4736,13}{2,00} \times 0,02 \times (0,827 - 0,135) = 18,35 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{gp} = \pm \left( \frac{N}{F_b} - \frac{M_b \cdot y_b}{I_b} \right) = \pm \left( \frac{310,26}{0,454} - \frac{18,35 \times 0,10}{0,00391} \right) = \pm (683 - 469) = \pm 244 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{dp} = \pm \left( \frac{N}{F_b} + \frac{M_b \cdot y'_b}{I_b} \right) = \pm \left( \frac{310,26}{0,454} + \frac{18,35 \times 0,10}{0,00391} \right) = \pm (683 + 469) = \pm 1152 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{skos} = \pm \left( \frac{N}{F_b} + \frac{M_b \cdot y'_b}{I_b} \right) = \pm \left( \frac{310,26}{0,454} + \frac{18,35 \times 0,15}{0,00391} \right) = \pm (683 + 704) = \pm 1387 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_g = \pm \left( \frac{N}{F_s} + \frac{M_z}{w_{zg}} \right) = \pm \left( \frac{310,26}{0,0356} + \frac{173,75}{0,281} \right) = \pm (8715 + 618) = \pm 9333 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_d = \pm \left( \frac{N}{F_z} - \frac{M_z}{w_{zd}} \right) = \pm \left( \frac{310,26}{0,0356} - \frac{173,75}{0,0165} \right) = \pm (8715 - 10530) = \pm 19245 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\sigma_d = -25135 - 56787 - 133 - 19245 = -101300 \text{ kN/m}^2 < R_a = 200000 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_g = 31535 + 3334 + 685 + 9333 = 44887 \text{ kN/m}^2 < R_a$$

$$\sigma_{skos} = 526 + 135 + 1387 = 2048 \text{ kN/m}^2 < R_b = 17300 \text{ kN/m}^2$$

$$-1387 = -726 \text{ kN/m}^2 > R_r = 1800 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{dp} = 1089 + 79 + 1152 = 2320 \text{ kN/m}^2 < R_b$$

$$-1152 = -16 \text{ kN/m}^2 < R_b$$

$$\sigma_{gp} = 3824 - 179 + 244 = 3889 \text{ kN/m}^2 < R_b$$

#### 5.1.5. Naprężenia dodatkowe od temperatury:

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

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

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

$$N = 0,00048 \times 206000000 \times \frac{0,37 \times 0,0356 \times (1/6,32 \times 0,00391 + 0,00313)}{0,56 \times 0,01123} =$$

$$= 776,37 \text{ kN}$$

$$M_z = M_b = \varepsilon_t \cdot E_z \cdot \frac{a_z \cdot F_z \cdot 1/n I_b}{I_c} = 98880 \times \frac{0,37 \times 0,0356 \times 0,00391}{6,32 \times 0,01123} = 71,75 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{gp} = \pm \left( \frac{N}{F_b} - \frac{M_b \cdot y_b}{I_b} \right) = \pm \left( \frac{776,37}{0,454} - \frac{71,75 \times 0,1}{0,00391} \right) = \pm (1710 - 1835) = \pm 125 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{dp} = \pm \left( \frac{N}{F_b} + \frac{M_b \cdot y_b}{I_b} \right) = \pm \left( \frac{776,37}{0,454} + \frac{71,75 \times 0,1}{0,00391} \right) = \pm (1710 + 1835) = \pm 3545 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{sk} = \pm \left( \frac{N}{F_b} + \frac{M_b \cdot y_b}{I_b} \right) = \pm \left( \frac{776,37}{0,454} + \frac{71,75 \times 0,15}{0,00391} \right) = \pm (1710 + 2753) = \pm 4463 \text{ kN/m}^2$$



$$\sigma_g = \pm \left( - \frac{N}{F_z} - \frac{M_z}{W_{zg}} \right) = \pm \left( - \frac{776,37}{0,0356} - \frac{71,75}{0,281} \right) = \pm (-21808 - 255) = \pm 22063 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_d = \pm \left( - \frac{N}{F_z} + \frac{M_z}{W_{zd}} \right) = \pm \left( - \frac{776,37}{0,0356} + \frac{71,75}{0,0165} \right) = \pm (-21808 + 4348) = \pm 17460 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\sigma_d = -101300 - 17460 = -118760 \text{ kN/m}^2 < R_a = 200000 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_g = 44887 + 22063 = 66950 \text{ kN/m}^2 < R_a$$

$$\begin{aligned} \sigma_{skos} &= 2048 + 4463 = 6511 \text{ kN/m}^2 < R_b = 17300 \text{ kN/m}^2 \\ &- 726 - 4463 = -5189 \text{ kN/m}^2 > R_r = 1800 \text{ kN/m}^2 - \text{zbrojenie skosu} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{dp} &= 2320 + 3545 = 5865 \text{ kN/m}^2 < R_b \\ &16 - 3545 = -3529 \text{ kN/m}^2 > R_r - \text{zbrojenie spodu płyty} \end{aligned}$$

$$\sigma_{gp} = 3889 + 125 = 4014 \text{ kN/m}^2 < R_b$$

## 6. Obliczenie naprężeń stycznych i zredukowanych:

### 6.1. Naprężenia od ścinania - przekrój przęsłowy i podporowy:

#### 6.1.1. Faza I:

$$S_N(N) = 0,00467 \text{ m}^3$$

$$S_N(Z) = 0,0116 \text{ m}^3$$

$$I = 0,00313 \text{ m}^4$$

$$Q = 90,11 \text{ kN}$$

$$b = 0,017 \text{ m}$$

$$\tau_N = \frac{90,11 \times 0,00467}{0,00313 \times 0,017} = 7909 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_Z = \frac{90,11 \times 0,0116}{0,00313 \times 0,017} = 19640 \text{ kN/m}^2$$

#### 6.1.2. Faza II:

$$S_Z(N) = 0,0408 \text{ m}^3$$

$$S_Z(Z) = 0,014 \text{ m}^3$$

$$I = 0,01013 \text{ m}^4; b = 0,017 \text{ m}$$

$$Q = 57,22 + 376,47 = 433,69 \text{ kN}$$

$$\tau_N = \frac{433,69 \times 0,0408}{0,01123 \times 0,017} = 92685 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_Z = \frac{433,69 \times 0,014}{0,01123 \times 0,017} = 31804 \text{ kN/m}^2$$

#### 6.1.3. Naprężenia sumaryczne:

$$\tau_N = 7909 + 92685 = 100594 \text{ kN/m}^2 < R_t \text{ } 115000 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_Z = 19640 + 31804 = 77872 \text{ kN/m}^2 < R_t \text{ } 115000 \text{ kN/m}^2$$

**6.1.4. Naprężenia styczne i zredukowane:**

$$\tau = 100594 \text{ kN/m}^2; \sigma_s = 118760 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{zt} = (118760^2 + 3 \times 100594^2)^{0,5} = 210858 \text{ kN/m}^2 < 195000 \times 1,10 = 214500 \text{ kN/m}^2$$

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

$$h/b = 0,72 : 0,3 = 2,4; l/b = 3,50 : 0,3 = 11,67 \cong 11$$

$$I_x = 312615 \text{ cm}^4;$$

$$I_y = 17044 \text{ cm}^4; \text{rozstaw poprzecznic } 3,50 \text{ m}$$

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

$$I_s = \frac{1,3}{3} \times (25 \times 2,0^3 + 30,0 \times 3,2^3 \times 2 + 63,6 \times 1,7^3) = 1074 \text{ cm}^4$$

$$\lambda = \frac{3,5}{0,72} \times \left( \frac{312615}{17044} \right)^{0,5} = 20,81; \lambda_p = \frac{700}{(280)^{0,5}} = 41,83;$$

$$\lambda_s = \frac{3,50}{0,72} \times \left( \frac{1074}{17044} \right)^{0,5} = 1,22 \rightarrow K_z = 700$$

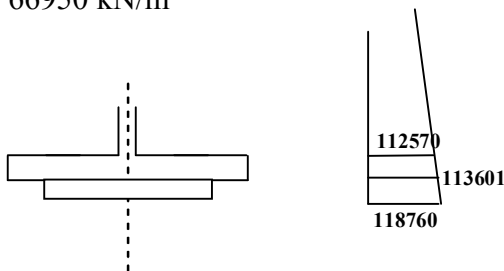
$$\lambda / \lambda_p = 20,81 : 41,83 = 0,49 \rightarrow m_z = 1,017$$

$$\sigma_z = 118760 \times 1,017 = 120779 \text{ kN/m}^2 < R_a = 195000 \text{ kN/m}^2$$

**7.2. Stateczność pasa dolnego:****Rozstaw poprzecznic 3,50 m.**

$$\sigma_d = -118760 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_g = 66950 \text{ kN/m}^2$$



$$l_w = 0,65 \times 3,50 = 2,28 \text{ m}$$

$$I_y = 0,032 \times 0,30^3 \times \frac{1}{12} + 0,02 \times 0,25^3 \times \frac{1}{12} = 0,000072 + 0,000026 = 0,000098 \text{ m}^4;$$

$$F = 0,032 \times 0,30 + 0,02 \times 0,25 = 0,0096 + 0,005 = 0,0101 \text{ cm}^2$$

$$i = (0,000098 / 0,0101)^{0,5} = 0,098 \text{ m}^2$$

$$\lambda = 2,28 : 0,098 = 23,27$$

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

$$\lambda / \lambda_p = 23,90 : 99,73 = 0,24 \rightarrow m_w = 1,07$$

$$P_1 = (118760 + 112570) \times 0,5 \times 0,005 = 578,33 \text{ kN} \times 1,07 = 618,81 \text{ kN}$$

$$P_2 = (112570 + 113601) \times 0,5 \times 0,0096 = 1085,62 \text{ kN} \times 1,07 = 1161,61 \text{ kN}$$

$$\sigma = (618,81 + 1161,61) : 0,0101 = 176279 \text{ kN/m}^2 < R_a = 195000 \text{ kN/m}^2$$

warunek jest spełniony.

**- Styk nakładki pasa dolnego – ze względu na siłę rozwarstwiająca:**

$$Q_I = 90,11 \text{ kN}; I_I = 0,00313 \text{ m}^4;$$

$$S_I = 0,00467 \text{ m}^3$$

$$Q_{II} = 433,69 \text{ kN}, I_{II} = 0,01123 \text{ m}^4$$

$$S_{II} = 0,0408 \text{ m}^3$$

przyjęto spoinę ciągłą, pachwinową, dwustronną gr. 10 mm.

$$Q_0 = (90,11 \times 0,00467 / 0,00313 + 433,69 \times 0,0408 / 0,01123) = 134,45 + 1575,65 = 1710,10 \text{ kN}$$

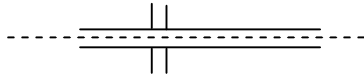
$$\tau = 1710,10 / 2 \times 0,01 = 85505 \text{ kN/m}^2 < 0,7R = 0,7 \times 200000 = 140000 \text{ kN/m}^2$$

### 7.3. Żebra (słupki podporowy):

$$R = 90,11 + 433,69 = 523,38 \text{ kN}$$

$$I_z = 30 \times 0,017 = 0,51 \text{ m}; I_{z\min} = 3 \times 64,00 \times 1,70^3 = 943 \text{ cm}^4$$

$$b_z = 64 / 30 + 40 = 42,1 \text{ mm} - \text{przyjęto } b_z = 140 \text{ mm}; g_z = 140 / 15 = 9 \text{ mm} - \text{przyjęto } g_z = 12 \text{ mm}.$$



$$I_z = 14,0^3 \times 1,2 \times 1/12 + 14 \times 1,2 \times (7,00 + 0,85)^2 = 274 + 1035 = 1309 \text{ cm}^4 > 943 \text{ cm}^4,$$

$$F = 0,14 \times 0,012 \times 2 + 0,51 \times 0,017 = 0,00336 \times 2 + 0,0087 = 0,01542 \text{ m}^2$$

$$I_x = 0,012 \times 0,14^3 \times 1/12 \times 2 + 0,51 \times 0,017^3 \times 1/12 + 0,00336 \times 2 \times 0,0785^2 = 0,0000055 + 0,0000002 + 0,000041 = 0,000041 \text{ m}^4$$

$$I_w = 0,64 \times 0,65 = 0,42 \text{ m}; i = (0,000041 : 0,01542)^{0,5} = 0,05 \text{ m}$$

$$\lambda = I_w / i = 0,42 : 0,05 = 8,4; \lambda_p = 118 \times (200 / 280)^{0,5} = 99,73;$$

$$\lambda / \lambda_p = 8,4 : 99,73 = 0,08 \rightarrow m_w = 1,02$$

$$\sigma = 523,38 \times 1,02 / 0,01542 = 34620 \text{ kN/m}^2 < R_a$$

### - spoina żebra:

Przyjęto spoinę obustronną gr. 8 mm.

$$\tau = 630,34 / 2 \times 0,008 \times 0,8 = 49245 \text{ kN/m}^2 < 0,7R$$

## 8. ugięcie belki:

### 8.1. faza I:

$$M = 14,49 \times 9,20^2 \times 0,125 + (1,15 \times 2 + 2,30) \times 3,54 = 153,30 + 16,28 = 169,58 \text{ kNm}$$

$$EI = 206\,000\,000 \times 0,00313 = 644780 \text{ kNm}^2$$

$$y = \frac{5,5 ML^2}{48EI} = \frac{5,5 \times 169,58 \times 9,20^2}{48 \times 644780} = 0,003 \text{ m}$$

### 8.2. faza II:

#### a) ugięcie od nawierzchni:

$$y(q) = \frac{5ql^4}{384 EJ} = \frac{5 \times 8,65 \times 9,20^4}{384 \times 206000000 \times 0,01123} = 0,0004 \text{ m}$$

#### b) ugięcie od obciążeń użytkowych:

$$M = 7,64 \times 9,20^2 \times 0,125 + (2,30 + 2 \times 1,70 + 1,10) \times 67,08 = 80,83 + 456,14 = 536,97 \text{ kNm}$$

$$y = \frac{5,5 ML^2}{48EI} = \frac{5,5 \times 536,97 \times 9,20^2}{48 \times 206000000 \times 0,01123} = 0,002 \text{ m}$$

**8.3 Ugięcia sumaryczne:**

$$y(g) = 0,003 + 0,0004 = 0,0034 \text{ m}$$

$$y(K) = 0,002 \text{ cm} < y_{\text{dop.}} = \sqrt[9]{20/300} = 0,03 \text{ m}$$

$$y_c = 0,0034 + 0,002 = 0,0054 \text{ m} < 0,01 \text{ m} - \text{brak potrzeby strzałki montażowej.}$$

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

$$T_0 = 57,22 + 376,47 = 433,69 \text{ kN}$$

$$T_{2,76\text{m}} = 25,29 + 235,54 = 260,83 \text{ kN}$$

$$F_b = 0,458 \text{ m}^2; \quad a_b = 0,19 \text{ m}$$

$$S = 0,0139 \text{ m}^3$$

$$S/I = 0,0139 : 0,01123 = 1,13$$

**9.3 Siły rozwarstwiające:**

$$T_{0,0\text{m}} = 433,69 \times 1,13 = 490,07 \text{ kN/m}$$

$$T_{2,76\text{m}} = 260,83 \times 1,13 = 294,74 \text{ kN/m}$$

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

$$\text{- skurcz betonu : } N_s = 310,26 \text{ kN}$$

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

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

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

$$\frac{0,37 \times 0,0356 \times (0,00391/6,32 + 0,00313)}{0,56 \times 0,01123} = 12360 \times 0,00785 = 97,03 \text{ kN}$$

Przy ozięźnieniu dodatkowa siła na opórki podporowe wyniesie:

$$N = - (310,26 + 97,03) = - 407,29 \text{ kN}$$

Przy ogrzaniu dodatkowa siła na opórki podporowe wyniesie:

$$N = 310,26 - 97,03 = 213,23 \text{ kN}$$

**Siła do obliczeń:**

siły rozkładają się wg trójkąta o podstawie równej szerokości płyty, tj. 2, m

$$T_{\text{max}} = - 389,94 \text{ kN}$$

$$T_{N1} = \frac{- 2 \times 407,29}{2,16} = - 377,12 \text{ kN/m} \quad \text{lub}$$

$$T_{N2} = 490,07 + \frac{2 \times 213,23}{2,16} = 687,50 \text{ kN} - \text{do obliczeń}$$

sumaryczne siły rozwarstwiające:

$$T_{0-2,80} = 687,50 \text{ kN/m}$$

$$T_{2,80-4,60} = 294,74 \text{ kN/m}$$

### 9.5. Konstrukcja i rozstaw sworzni:

Przyjęto sworznie  $\phi$  22 mm, poszerzone górną do 1,5d, tj. 37,5 mm.

#### a) ścinanie:

$$T = 126d (dR_w)^{0,5} = 126 \times 2,2 \times (2,2 \times \frac{300}{0,9})^{0,5} = 7506,61 \text{ kG} = 75,07 \text{ kN} : 3 = 25,02 \text{ kN}$$

#### b) docisk:

$$F_r = b_1 l = 0,2 \times 0,25 = 0,05 \text{ m}^2$$

$$F_d = 0,5 \times 3 \times 0,022 \times 0,15 = 0,00495 \text{ m}^2$$

$$m_d = (0,05 : 0,00495)^{0,5} = 3,17 \rightarrow \text{przyjęto maks. } 2,0 \rightarrow R_d = 2 \times 13300 = 26600 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma = T/F_d = 25,02 / 0,00495 \times 0,5 = 10109 \text{ kN/m}^2 < R_d = 26600 \text{ kN/m}^2$$

#### c) rozstaw sworzni:

$$T = 3 \times 25,02 = 75,06 \text{ kN}$$

- przedział 0,00 m – 2,80 m

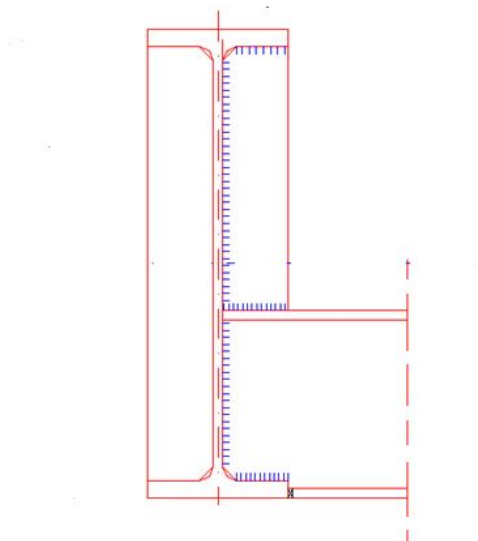
$$e = 75,06 : 687,50 = 0,11 \text{ m} \rightarrow \text{przyjęto } 10,0 \text{ cm} = e_{\min} = 0,05 + 0,025 = 0,075 \text{ m}$$

- przedział 2,80 – 4,60 m

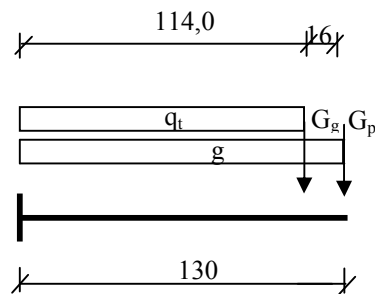
$$e = 75,06 : 352,21 = 0,21 \text{ m} \rightarrow \text{przyjęto } 20 \text{ cm}$$

### 10. Poprzecznice:

Zaprojektowano ostatecznie poprzecznice z belek I HEB 340, co 3,50 m – analogia do obliczeń mostu przez rz. Czarna łąda w c. obwodnicy m. Biłgoraj (niekorzystniejsze warunki pracy konstrukcji)



Przyjęto spoinę pachwinową gr. 8 mm

**11. Zbrojenie płyty pomostu:****11.1 Zbrojenie poprzeczne:****11.1.1. Wspornik płyty:****- obciążenia zasadnicze:**

$$g = 6,00 + 7,22 = 13,22 \text{ kN/m}^2$$

$$q_t = 3,75 \text{ kN/m}^2 ; G_g = 0,75 \text{ kN/m} ; G_b = 1,05 \text{ kN/m}$$

$$M(g) = 13,92 \times 1,30^2 \times 0,5 + 0,75 \times 1,14 + 0,75 \times 1,32 = 11,76 + 0,86 + 0,99 = 13,61 \text{ kNm/m}$$

$$M(q_t) = 3,75 \times 1,14^2 \times 0,5 = 2,44 \text{ kNm/m}$$

**- obciążenie kołem pojazdu – obc. wyjątkowe:**

$$a = 0,2 + 0,30 \times 2 = 0,80 \text{ m} < 1,20 \text{ m}$$

$$b = 0,6 + 0,49 = 1,09 \text{ m} < 2,7 \text{ m}$$

$$a_1 = a + 0,30 \times 2 = 0,80 + 0,60 = 1,40 \text{ m}$$

$$K = 600 : 8 = 75 \times 1,15 \times 1,35 = 116,44 \text{ kN}; p_0 = 116,44 : (1,09 \times 1,40) = 76,30 \text{ kN/m}^2$$

$$M = 76,30 \times 1,32^2 \times 0,5 = 66,47 \text{ kNm/m}$$

$$M_c = 13,61 + 66,47 = 80,08 \text{ kNm/m}$$

**- zbrojenie wspornika:**

$$M = 80,08 \text{ kNm}; \text{ beton B30}$$

$$\text{stal II, } h = 0,22 \text{ m; } h_0 = 0,19 \text{ m; } n = 6,44$$

$$w_z = \frac{6,44 \times 80,08}{0,19^2 \times 295000} = 0,048 \rightarrow n\mu = 0,058$$

$$\gamma = 0,406$$

$$\sigma_b = 0,406 \times \frac{295000}{6,44} = 18598 \text{ kN/m}^2$$

wobec powyższego zwiększa się grubość wspornika o 1 cm

$$w_z = \frac{6,44 \times 62,32}{0,17^2 \times 295000} = 0,047 \rightarrow n\mu = 0,052$$

$$\gamma = 0,387$$

$$\sigma_b = 0,387 \times \frac{295000}{6,44} = 17727 \text{ kN/m}^2 < 17300 \times 1,05 = 18165 \text{ kN/m}^2$$

$$F_z = \frac{0,054}{6,44} \times 0,19 = 0,00159 \text{ m}^2$$

przyjęto  $\phi 20$  co 15 cm

**11.1.2. Płyta w przęśle:****11.1.2.1 Obciążenia użytkowe:**

$$a = 0,2 + 2 \times 0,085 + 0,20 = 0,57 \text{ m}$$

$$b = 0,6 + 2 \times 0,085 + 0,20 = 0,97 \text{ m}$$

$$k = \frac{600 \times 1,5 \times 1,35}{8} = 151,88 \text{ kN}$$

$$k = 151,88 \times \frac{1}{0,57 \times 0,97} = 274,70 \text{ kN/m}^2$$

$$g_1 = 2,87 + 6,00 = 8,87 \text{ kN/m}^2$$

$$g_2 = 1,72 + 4,50 = 6,22 \text{ kN/m}^2$$

**11.1.2.2 Siły wewnętrzne:****- Obciążenia stałe:**

$$m_x = 8,87 \times 2,16^2 \times 0,125 = 5,17 \text{ kNm}$$

**- Obciążenia użytkowe:**

$$- t_x = 0,97, t_y = 3 \times 1,2 + 0,57 = 4,17 \text{ m}$$

$$t_x : l_x = 0,97 : 2,16 = 0,45; t_y : l_x = 4,17 : 2,16 = 1,93 \quad P = 274,7 \times 0,97 \times 4,17 = 1111,13 \text{ kN}$$

$$m_x = 0,1245 \times 1111,13 = 138,34 \text{ kNm}; \quad m_{ym} = 0,0306 \times 1111,13 = 34,00 \text{ kNm}$$

$$- t_x = 0,97, t_y = 3 \times 1,2 - 0,57 = 3,03 \text{ m}$$

$$t_x : l_x = 0,97 : 2,16 = 0,45; t_y : l_x = 3,03 : 2,16 = 1,40 \quad P = 274,7 \times 0,97 \times 3,03 = 807,37 \text{ kN}$$

$$m_x = 0,1245 \times 807,37 = 100,51 \text{ kNm}; \quad m_{ym} = 0,0306 \times 807,37 = 24,71 \text{ kNm}$$

$$- t_x = 0,97, t_y = 1,2 + 0,57 = 1,77 \text{ m}$$

$$t_x : l_x = 0,97 : 2,16 = 0,45; t_y : l_x = 1,77 : 2,16 = 0,82 \quad P = 274,7 \times 0,97 \times 1,77 = 471,63 \text{ kN}$$

$$m_x = 0,1338 \times 471,63 = 63,10 \text{ kNm}; \quad m_{ym} = 0,0421 \times 471,63 = 19,86 \text{ kNm}$$

$$- t_x = 0,97, t_y = 0,63 \text{ m}$$

$$t_x : l_x = 0,97 : 2,16 = 0,45; t_y : l_x = 0,63 : 2,16 = 0,29 \quad P = 274,7 \times 0,97 \times 0,63 = 167,87 \text{ kN}$$

$$m_x = 0,1589 \times 167,87 = 26,67 \text{ kNm}; \quad m_{ym} = 0,114 \times 167,87 = 19,14 \text{ kNm}$$

$$m_x = 138,34 - 100,51 + 63,10 - 26,67 = 74,26 \text{ kNm/mb}$$

$$m_y = 34,00 - 24,71 + 19,86 - 19,14 = 7,01 \text{ kNm/mb}$$

**11.1.3. Zbrojenie poprzeczne:**

$$M = 74,26 + 5,17 = 79,43 \text{ kNm};$$

$$\text{beton B30 stal AII, } h = 0,21 \text{ m; } h_0 = 0,17 \text{ m; } n = 6,44$$

$$\text{przyjęto dołem i górą } \phi 25 \text{ co } 15 \text{ cm} - 0,002946 \text{ m}^2; a = 3,5 \text{ cm}$$

$$x = \frac{6,44 \times 2 \times 0,002946}{1,0} \times \left[ -1 + \left( 1 + \frac{2 \times 1,0 \times (0,002946 \times 0,175 + 0,002946 \times 0,035)}{6,44 \times (2 \times 0,002946)^2} \right)^{0,5} \right]$$

$$= 0,0379 \times \left[ -1 + \left( 1 + \frac{0,00124}{0,000224} \right)^{0,5} \right] = 0,06$$

$$I = 1 \times 0,06^3 \times \frac{1}{3} + 6,44 \times 0,002946 \times (0,025^2 + 0,11^2) = 0,00007 + 0,000241 = 0,000311 \text{ m}^4$$

$$\sigma_b = \frac{79,43 \times 0,06}{0,000311} = 15324 \text{ kN/m}^2 < R_b = 17300 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_z = 6,44 \times 15324 \times \frac{0,17 - 0,06}{0,06} = 180925 \text{ kN/m}^2 < R_a$$

$$\sigma_{z'} = 6,44 \times 15324 \times \frac{0,06 - 0,035}{0,06} = 41119 \text{ kN/m}^2 < R_a$$

**11.2 Zbrojenie podłużne:****11.2.1. Zbrojenie skosu:**

$$F = 0,029 \text{ m}^2; \quad N = 0,029 \times 5189 = 150,48 \text{ kN}$$

$$\text{Przyjęto } 3 \phi 20 \text{ mm} - 3 \times 3,14 = 9,42 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{\phi} = 150,48 : 0,000942 = 159745 \text{ kN/m}^2 < R_a$$

**11.2.2. Zbrojenie podłużne płyty:**

- zbrojenie od ugięcia konstrukcji

$$F = 1,0 \times 0,1 = 0,1 \text{ m}^2; \quad N = 0,1 \times 3529 = 352,90 \text{ kN}$$

$$\text{Przyjęto } 4 \phi 20 \text{ mm} - 4 \times 3,14 = 12,56 \text{ cm}^2$$

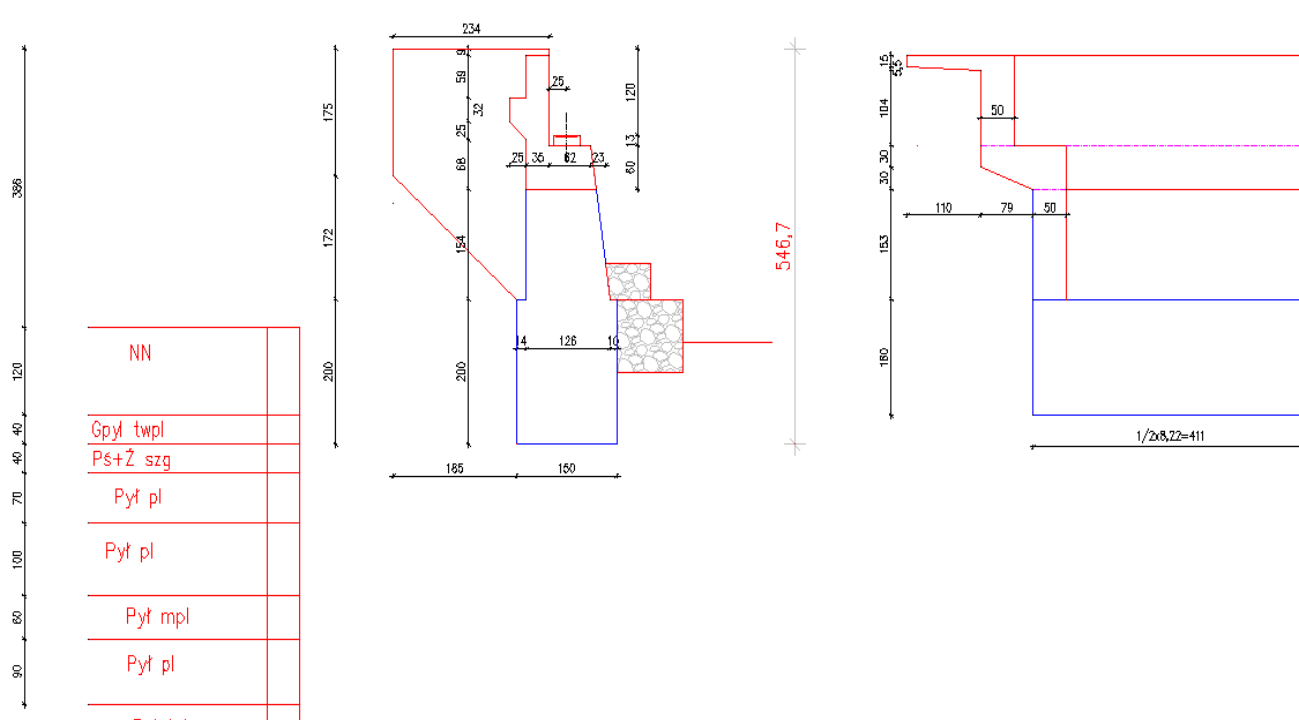
$$\sigma_{\phi} = 352,90 : 0,001256 = 280971 \text{ kN/m}^2 < R_a$$

- zbrojenie od zginania płyty:

$$M = 31,56 \text{ kNm}$$

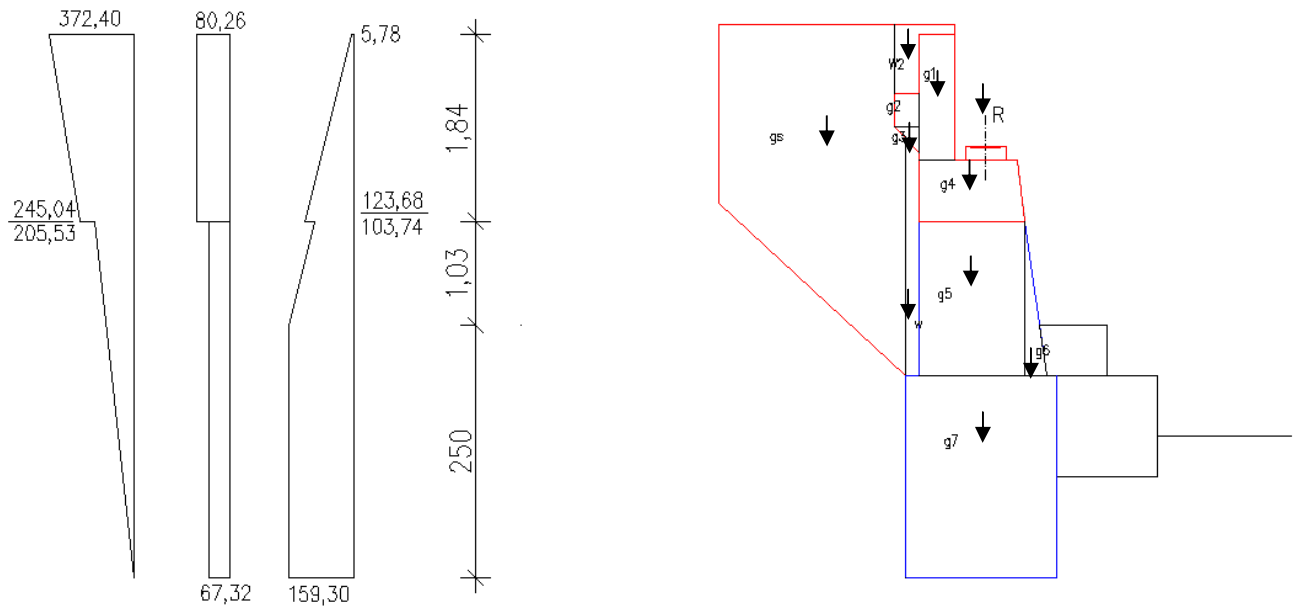
$$w_z = \frac{6,44 \times 7,01}{0,17^2 \times 295000} = 0,005 \rightarrow \text{zbrojenie konstrukcyjne}$$

Przyjęto  $\phi 20$  co 15 cm – górną i dolną

**12. Podpory mostu:****12.1. Konstrukcja podpory:**



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



$$R_{\max} = [2 \times (0,75 + 0,75) + (2,20 + 1,80) \times 7,92 + 8,0 \times 2,87 + 5 \times (3,53 + 0,90) + 2,44 \times 6,0] \times 9,70 \times 0,5 + 4,25 \times 4 \times (1 + 0,86 + 0,75 + 0,50 + 0,25) = (3,00 + 31,68 + 22,96 + 22,15 + 14,64) \times 9,7 \times 0,5 + 57,12 = 515,11 \text{ kN}$$

$$R_{\min} = [2 \times (0,56 + 0,45) + (2,20 + 1,80) \times 5,37 + 8,0 \times 1,72 + 5 \times (2,65 + 0,68) + 2,44 \times 4,50] \times 9,70 \times 0,5 + 3,19 \times 4 \times (1 + 0,86 + 0,75 + 0,50 + 0,25) = (2,02 + 21,48 + 13,76 + 16,65 + 10,98) \times 9,7 \times 0,5 + 42,87 = 357,59 \text{ kN}$$

$$R(q + q_t) = (8,00 \times 4,50 + 3,75 \times 3,60) \times 9,70 \times 0,5 = 240,08 \text{ kN}$$

$$R(K) = (1 + 0,876 + 0,752 + 0,629) \times 146,25 \times 2 = 952,67 \text{ kN}$$

$$H = 600 : 3 = 200 \text{ kN} \quad \text{lub}$$

$$H = 8,0 \times 3,0 \times 9,70 \times 0,1 + 0,2 \times 600 = 23,28 + 120 = 143,28 \text{ kN}$$

$$H_1 = 200 \times \frac{1}{2} \times 5 = 20 \text{ kN}$$

$$e_f = 0,00 \text{ m}$$

$$e_A = 0,75 \text{ m}$$

$$e_H = 0,00 \text{ m} - \text{z uwagi na spięcie podpór z ustrojem nośnym siła hamowania przenosi się na nasypy}$$

### 12.3. Ciężar stały podpory:

$$G_1 = 0,35 \times 1,25 \times 25 = 10,94 \times 1,2 = 13,13 \text{ kN/m} \times 9,80 = 128,67 \text{ kN} \quad e_A = 1,125 \text{ m} \\ \times 0,9 = 9,84 \text{ kN/m} \times 9,80 = 96,43 \text{ kN} \quad e_f = 0,375 \text{ m}$$

$$G_2 = 0,25 \times 0,32 \times 25 = 2,00 \times 1,2 = 2,40 \text{ kN/m} \times 9,80 = 23,52 \text{ kN} \quad e_A = 1,425 \text{ m} \\ \times 0,9 = 1,80 \text{ kN/m} \times 9,80 = 17,64 \text{ kN} \quad e_f = 0,675 \text{ m}$$

$$G_3 = 0,25^2 \times 0,5 \times 25 = 0,78 \times 1,2 = 0,94 \text{ kN/m} \times 9,80 = 9,21 \text{ kN} \quad e_A = 1,38 \text{ m} \\ \times 0,9 = 0,70 \text{ kN/m} \times 9,80 = 6,86 \text{ kN} \quad e_f = 0,63 \text{ m}$$

$$G_4 = 5,64 \times 1,01 \times 25 = 142,41 \times 1,2 = 170,89 \text{ kN/m} \quad e_A = 0,795 \text{ m}$$

$$\quad \quad \quad \times 0,9 = 128,17 \text{ kN/m} \quad e_f = 0,045 \text{ m}$$

$$G_5 = 1,05 \times 1,53 \times 25 = 40,16 \times 1,2 = 48,19 \text{ kN/m} \times 8,22 = 396,12 \text{ kN} \quad e_5 = 0,775 \text{ m}$$

$$\quad \quad \quad \times 0,9 = 36,14 \text{ kN/m} \times 8,22 = 297,07 \text{ kN} \quad e_f = 0,025 \text{ m}$$

$$G_6 = 0,15 \times 1,53 \times 0,5 \times 25 = 2,86 \times 1,2 = 3,43 \text{ kN/m} \times 8,22 = 28,19 \text{ kN} \quad e_5 = 0,20 \text{ m}$$

$$\quad \quad \quad \times 0,9 = 2,57 \text{ kN/m} \times 8,22 = 21,13 \text{ kN} \quad e_f = -0,55 \text{ m}$$

$$G_7 = 1,5 \times 2,0 \times 25 = 75,00 \times 1,2 = 90,00 \text{ kN/m} \times 8,22 = 739,80 \text{ kN} \quad e_6 = 0,75 \text{ m}$$

$$\quad \quad \quad \times 0,9 = 67,50 \text{ kN/m} \times 8,22 = 554,85 \text{ kN} \quad e_f = 0,00 \text{ m}$$

$$G_8 = (0,898 \times 2,0 \times 0,5 + 1,34 \times 2,02) \times 25 \times 2 = 179,90 \times 1,2 = 214,68 \quad e_s = 1,97 \text{ m}$$

$$\quad \quad \quad \times 0,9 = 161,91 \quad e_f = 1,22 \text{ m}$$

$$W_1 = 0,14 \times 2,28 \times 20 = 6,38 \times 1,5 = 9,57 \text{ kN/m} \times 8,22 = 78,67 \text{ kN} \quad e_A = 1,43 \text{ m}$$

$$\quad \quad \quad \times 0,9 = 5,74 \text{ kN/m} \times 8,22 = 47,18 \text{ kN} \quad e_f = 0,68 \text{ m}$$

$$W_2 = 0,68 \times 0,25 \times 20 = 3,40 \times 1,5 = 5,10 \text{ kN/m} \times 9,80 = 49,98 \text{ kN} \quad e_A = 1,425 \text{ m}$$

$$\quad \quad \quad \times 0,9 = 3,06 \text{ kN/m} \times 9,80 = 29,99 \text{ kN} \quad e_f = 0,675 \text{ m}$$

#### 12.4. Obliczenie sił od parcia gruntu:

$$z_{0,09} = 0,09 \times 18,5 \times 0,283 = 0,47 \times 1,25 = 0,59 \text{ kN/m}^2 \times 9,80 = 5,78 \text{ kN/m}$$

$$z_{1,93} = 1,93 \times 18,5 \times 0,283 = 10,10 \times 1,25 = 12,62 \text{ kN/m}^2 \times 9,80 = 123,68 \text{ kN/m}$$

$$\quad \quad \quad \times 8,22 = 103,74 \text{ kN/m}$$

$$z_{2,96} = 2,96 \times 18,5 \times 0,283 = 15,50 \times 1,25 = 19,38 \text{ kN/m}^2 \times 8,22 = 159,30 \text{ kN/m}$$

$$z_{5,46} = 142,04 \text{ kN/m}$$

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

$$z(k) = 23,15 \times 0,283 = 6,55 \times 1,25 = 8,19 \text{ kN/m}^2 \times 9,80 = 80,26 \text{ kN/m}$$

$$\quad \quad \quad \times 8,22 = 67,32 \text{ kN/m}$$

$$\Delta L = 9,70 \times 45 \times 0,000012 \times 0,5 = 0,0026$$

$$z_{\Delta t} = 2,6 \times 10 = 26,0 \times 1,3 = 33,80 \text{ kN/m}^2 \times 9,80 = 372,40 \text{ kN/m}$$

$$z_{\Delta t1} = 372,40 - \frac{372,40}{5,38} \times 1,84 = 245,04 \text{ kN/m}$$

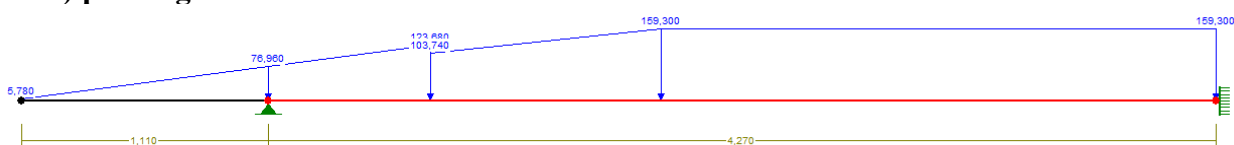
$$245,04 \times \frac{8,22}{9,80} = 205,53 \text{ kN/m}$$

#### 12.5. Obliczenie sił przesuwających:

Przyjęto ostatecznie spięcie przyczółka z podporami (łożyska nieprzesuwne)

##### 12.5.1. Przyczółek nie obciążony, obciążenie na klinie odłamu:

a) parcie gruntu:





$$M_o = 332,84 \text{ kNm}$$

$$H_p = 403,32 \text{ kN}$$

$$H_k = 250,88 \text{ kN}$$

$$H_{\text{styk}} = 131,71 \text{ kN}$$

$$M_{\min} = -18,18 \text{ kNm}$$

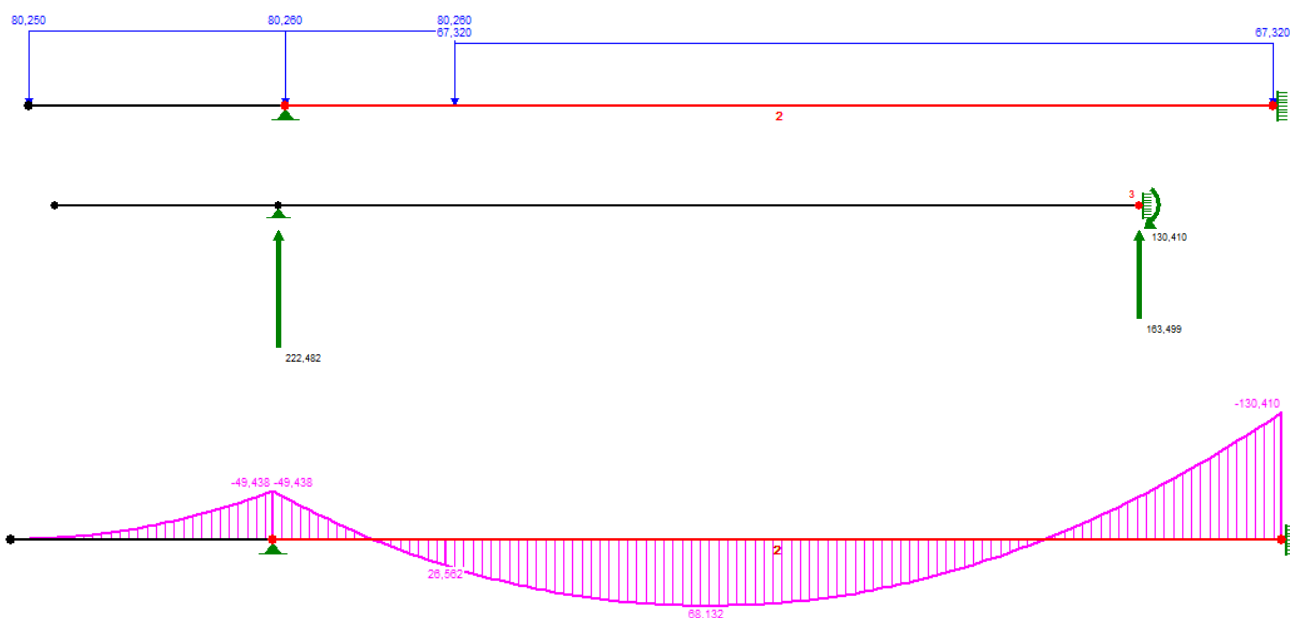
$$M_{\max} = 177,64 \text{ kNm}$$

$$M_{1,24\text{m}} = 7,79 \text{ kNm}$$

$$M_{1,84\text{m}} = 106,78 \text{ kNm}$$

$$M_{3,38\text{m}} = 155,20 \text{ kNm}$$

b) parcie od obciążenia na klinie odlamu:



$$M_o = 130,41 \text{ kNm}$$

$$H_p = 163,50 \text{ kN}$$

$$H_k = 222,48 \text{ kN}$$

$$H_{\text{styk}} = 74,82 \text{ kN}$$

$$M_{\min} = -49,44 \text{ kNm}$$

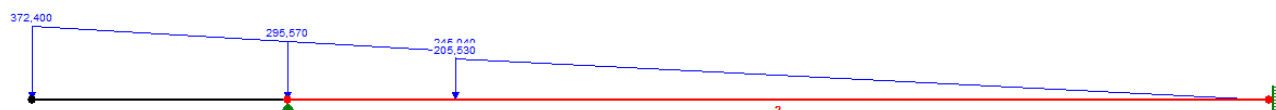
$$M_{\max} = 68,13 \text{ kNm}$$

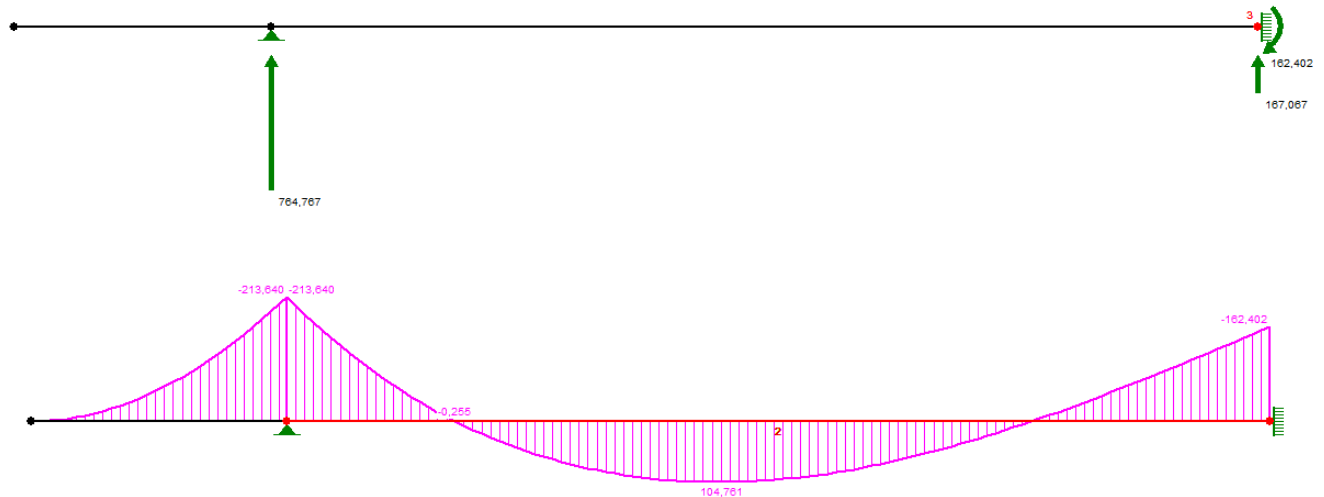
$$M_{1,24\text{m}} = -32,77 \text{ kNm}$$

$$M_{1,84\text{m}} = 26,56 \text{ kNm}$$

$$M_{3,38\text{m}} = 61,95 \text{ kNm}$$

c) od temperatury:





$$M_o = 162,40 \text{ kNm}$$

$$H_p = 167,07 \text{ kN}$$

$$H_k = 764,76 \text{ kN}$$

$$H_{\text{styk}} = 196,72 \text{ kN}$$

$$M_{\min} = -213,64 \text{ kNm}$$

$$M_{\max} = 104,75 \text{ kNm}$$

$$M_{1,24\text{m}} = -164,88 \text{ kNm}$$

$$M_{1,84\text{m}} = -0,25 \text{ kNm}$$

$$M_{2,27\text{m}} = 94,32 \text{ kNm}$$

#### d) Siły sumaryczne:

$$M_o = 332,84 + 130,41 + 162,40 = 625,65 \text{ kNm}$$

$$H_p = 403,32 + 165,50 + 167,07 = 735,89 \text{ kN}$$

$$H_k = 250,88 + 222,48 + 764,76 = 1238,12 \text{ kN}$$

$$H_{\text{styk}} = 131,71 + 74,82 + 196,72 = 403,25 \text{ kN}$$

$$M_{\min} = -(18,18 + 49,44 + 213,76) = -281,38 \text{ kNm}$$

$$M_{\max} = 177,64 + 68,13 + 104,75 = 350,52 \text{ kNm}$$

$$M_{1,24\text{m}} = 7,79 - 32,77 - 164,88 = -189,86 \text{ kNm}$$

$$M_{1,84\text{m}} = 106,78 + 25,56 - 0,25 = 132,09 \text{ kNm}$$

$$M_{2,27\text{m}} = 155,20 + 61,95 + 94,32 = 311,47 \text{ kNm}$$

#### f) Sprawdzenie warunków stateczności gruntu:

$$\begin{aligned} M_u = & 375,59 \times 0,75 + 96,43 \times 1,125 + 6,86 \times 1,425 + 128,17 \times 0,795 + 297,07 \times 0,775 + \\ & + 21,13 \times 0,2 + 554,85 \times 0,75 + 161,91 \times 1,97 + 47,18 \times 1,43 + 29,99 \times 1,525 + 23,15 \times \\ & \times 0,9 \times 0,25 \times 9,80 \times 1,425 = 281,69 + 108,48 + 9,78 + 101,90 + 230,23 + 4,23 + \\ & + 416,14 + 318,96 + 67,47 + 45,74 + 72,74 = 1657,36 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_u = & (375,59 + 96,43 + 17,64 + 6,86 + 128,17 + 297,07 + 21,13 + 554,85 + 161,91 + \\ & + 47,18 + 29,99 + 23,15 \times 0,9 \times 0,25 \times 9,80) \times 0,43 \times 15 \times 0,5 \times 1,5 \times 8,22 = \\ & = 768,78 + 92,48 = 861,26 \text{ kN} \end{aligned}$$

z uwagi na wieloletni okres eksploatacji podpory przyjmuje się wsp. maksymalne

$$0,8M_u = 0,8 \times 1657,36 = 1325,89 \text{ kNm} > M_o = 625,65 \text{ kNm}$$

$$0,9H_u = 0,9 \times 861,26 = 775,13 \text{ kN} > H_p = 735,89 \text{ kN}$$

Warunki stateczności zapewnione

**g) nośność podłoża:****- przypadek I most w fazie bezużytkowej, z obciążeniem na klinie odłamu**

$$Q_r = 515,11 + 128,67 + 23,52 + 9,21 + 170,89 + 396,12 + 28,19 + 739,80 + 215,68 + 78,67 + 49,98 + 23,15 \times 1,5 \times 0,25 \times 9,80 = 2449,92 \text{ kN}$$

$$M_f = 625,65 - 96,43 \times 0,375 - 17,64 \times 0,675 - 6,86 \times 0,63 - 128,17 \times 0,045 - 297,07 \times 0,025 + 28,19 \times 0,55 - 161,91 \times 1,22 - 47,18 \times 0,68 - 29,99 \times 0,675 - 23,15 \times 0,9 \times 0,25 \times 9,80 \times 0,675 = 625,65 - 36,16 - 11,91 - 4,32 - 5,77 - 7,42 + 15,50 - 197,53 - 32,08 - 20,24 - 34,46 = 301,56 \text{ kNm}$$

$$e_r = 301,56 / 2449,92 = 0,12 \text{ m}$$

$$\sigma = 2449,92 / (1,5 \times 8,22 \times (1 \pm 6 \times 0,12 / 1,5)) = 294 \text{ kN/m}^2 \\ = 103 \text{ kN/m}^2$$

**- przypadek II – most w stanie użytkowym:**

$$Q_r = 2449,92 + 240,08 + 952,67 = 3642,67 \text{ kN}$$

$$M_f = 301,56 \text{ kNm}$$

$$e_r = 301,56 / 3642,67 = 0,08 \text{ m}$$

$$\sigma = 3642,67 / (1,5 \times 8,22 \times (1 \pm 6 \times 0,08 / 1,5)) = 390 \text{ kN/m}^2 \\ = 201 \text{ kN/m}^2$$

**- Nośność pod fundamentem:**

$$B = 1,50 \text{ m}; B' = 1,50 - 2 \times 0,08 = 1,34 \text{ m}; L = 8,22 \text{ m}; B/L = 1,34 : 8,22 = 0,16$$

$$\gamma = 20,0 \times 0,9 - 10 = 8,00 \text{ kN/m}^3; \phi^r = 32 \times 0,9 = 29^\circ;$$

$$N_D = 16,44; N_B = 6,42;$$

$$\text{tg} \delta = 0,08; \text{tg} \phi = 0,554; \text{tg} \delta / \text{tg} \phi = 0,08 : 0,554 = 0,14$$

$$i_B = 0,9; i_D = 0,95; D_{\min} = 1,40 \text{ m};$$

$$\alpha = 1,35 - \text{współczynnik zwiększający z uwagi na wieloletni okres użytkowania}$$

$$Q_{fNB} = 1,34 \times 8,22 \times [(1 + 1,5 \times 0,16) \times 16,44 \times 8 \times 1,4 \times 0,98 + (1 - 0,25 \times 0,16) \times 1,34 \times 8 \times 6,42 \times 0,93] \times 1,35 = 14,87 \times (216,90 + 59,46) = 4109,47 \text{ kN}$$

$$0,9 Q_{fNB} = 4109,47 \times 0,9 = 3698,52 \text{ kN} > Q_r = 3642,67 \text{ kN}$$

**- nośność warstw niższych:**

Z uwagi na wieloletni okres eksploatacji (fundamenty wykonane w okresie monarchii Austro-Węgierskiej warstwy dolne poniżej fundamentu są w stanie skompresowanym i nie zachodzi obawa osiadania podpór mostu.

**13. Konstrukcja podpory:****13.1. Podpora istniejąca:**

**Podporę wykonano z betonu klasy B14**

$$R_b = (0,76 - 0,0001 \times 14) \times 14 \times 1/1,69 = 6,28 \text{ MPa}$$

$$R_r = (0,41 - 0,0001 \times 14) \times 14^{0,6666} \times 1/1,9 = 1,25 \text{ MPa}$$

$$\tau = 0,25 R_r = 0,25 \times 1,25 = 0,31 \text{ MPa}$$

**13.1. Korpus istniejący:**

$$M_1 = 350,52 \text{ kNm};$$

$$w_1 = 1,05^2 \times 8,22 \times \frac{1}{6} = 1,51 \text{ m}^3;$$

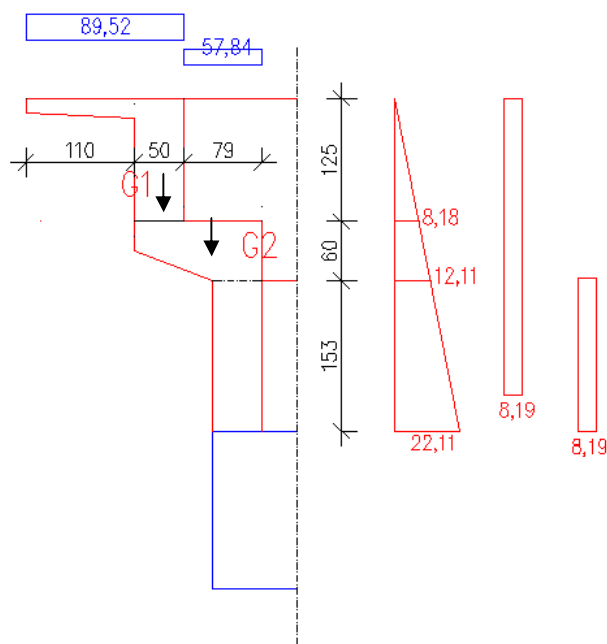
$$\sigma_1 = 350,52 : 1,51 = 232 \text{ kN/m}^2 < 6280 \text{ kN/m}^2$$

**13.2. Fundament:**

$$M = 390, \times 0,14^2 \times 0,5 = 3,82 \text{ kNm}$$

$$w = 1,6^2 \times 1,0 \times \frac{1}{6} = 0,426 \text{ m}^3$$

$$\sigma_1 = 3,82 : 0,426 = 9 \text{ kN/m}^2 < 1250 \text{ kN/m}^2$$

**13.3. Skrzydło:****13.3.1. Schemat skrzydła:****13.3.2. Obciążenia:**

$$z_{1,25} = 1,25 \times 18,5 \times 0,283 \times 1,25 = 8,18 \text{ kN/m}^2$$

$$z_{1,85} = 1,85 \times 18,5 \times 0,283 \times 1,25 = 12,11 \text{ kN/m}^2$$

$$z_{3,38} = 3,38 \times 18,5 \times 0,283 \times 1,25 = 22,11 \text{ kN/m}^2$$

$$x_{11} = 0,00 \text{ m}$$

$$x_{12} = 1,6 \times \tan(45^\circ + 34^\circ/2) = 3,01 \text{ m}$$

$$x_{21} = 2,7 \times \tan 34^\circ = 1,82 \text{ m}$$

$$x_{22} = 4,3 \times \tan(45^\circ + 34^\circ/2) = 8,09 \text{ m}$$

$$k = 23,15 \text{ kN/m}^2$$

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

$$q = 23,15 + 1,25 \times 18,5 \times 1,5 = 57,84 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{\text{skr.}} = 13,22 + 76,30 = 89,52 \text{ kN/m}^2$$

$$g_1 = 0,5 \times 1,25 \times 25 \times 1,2 = 18,75 \text{ kN/m}$$

$$g_2 = 0,656 \times 25 \times 1,2 = 19,68 \text{ kN/m}$$

**13.3.3. Siły wewnętrzne:**

$$M_1 = 8,18 \times 1,25 \times 0,5 \times 1,25 \times \frac{1}{3} + 8,19 \times 1,25^2 \times 0,5 = 2,13 + 6,40 = 8,53 \text{ kNm/mb}$$

lub

$$M_1 = 2,13 + 89,52 \times 1,35^2 \times 0,5 - 13,22 \times 0,25^2 \times 0,5 = 2,13 + 81,75 - 0,41 = 83,47 \text{ kNm}$$

$$M_2 = 12,11 \times 1,85 \times 0,5 \times 1,85 \times \frac{1}{3} + 8,19 \times 1,85^2 \times 0,5 + 57,84 \times (0,54^2 \times 0,5 - 0,25^2 \times 0,5) \times \\ + 18,75 \times 0,79 + 13,22 \times 1,10 \times 1,59 + 19,68 \times (1,04^2 \times 0,5 - 0,25^2 \times 0,5) = 6,91 + \\ + 14,01 + 6,63 + 14,81 + 14,54 + 23,12 + 10,03 = 90,05 \text{ kNm/mb}$$

lub

$$M_2 = 6,91 + 89,52 \times 1,60 \times 1,34 + 14,81 + 14,54 = 228,19 \text{ kNm}$$

$$M_{1\text{skr}} = 81,75 \text{ kNm/mb}$$

$$M_{2\text{skr}} = 89,52 \times 1,60 \times 1,34 + 14,81 = 206,74 \text{ kNm/mb}$$

$$M_{1\text{skrzyd.}} = 12,11 \times 1,85 \times 0,5 \times 2,0^2 \times 0,5 + 8,19 \times 1,85 \times 2,0^2 \times 0,5 = 22,38 + 30,3 = \\ = 52,68 \text{ kNm}$$

$$M_{2\text{skrzyd.}} = 10,0 \times 1,53 \times 0,5 \times 2,0 \times 0,5 \times 2,0 \times \frac{1}{3} + (12,11 + 8,19) \times 1,53 \times 2,0 \times 0,5 \times 2,0 \times \\ \times 0,5 = 5,10 + 62,12 = 67,22 \text{ kNm}$$

**13.3.4. Zbrojenie:****- wspornik:**

Zbrojenie analogicznie jak wspornika płyty, tj.  $\phi$  20 co 15 cm.

**- skrzydło – zbrojenie poziome:**

$$M = 67,22 \text{ kNm}; h = 0,5 \text{ m}; h_0 = 0,45 \text{ m}; b = 1,53 \text{ m}; \text{stal AII, bet.B30:} \\ 6,44 \times 67,22$$

$$w_z = \frac{\text{-----}}{1,53 \times 0,45^2 \times 295000} = 0,047 \rightarrow n\mu = 0,052 \\ \gamma = 0,387$$

$$\sigma_b = 0,387 \times \frac{295000}{6,44} = 17727 \text{ kN/m}^2 < 17300 \times 1,05 = 18165 \text{ kN/m}^2$$

$$F_z = \frac{0,054}{6,44} \times 0,19 = 0,00159 \text{ m}^2$$

przyjęto  $\phi$  20 co 15 cm – na całej wysokości skrzydła

**- zamocowanie skrzydła:**

$$M_x = 67,22 \text{ kNm}$$

$$M_y = 228,19 \times 2,0 = 456,38 \text{ kNm}$$

$$M = (67,22^2 + 456,38^2)^{0,5} = 461,20 \text{ kN}$$

$$N = 461,20 : 0,4 = 1153 \text{ kN} : 3,38 = 341,12 \text{ kN/mb}$$

$$Q = 89,52 \times 1,10 \times 2,0 + (18,75 + 19,68) \times 2,0 = 196,94 + 76,86 = 273,80 \times \frac{1}{2} \times 3,38 = \\ = 40,5 \text{ kN/mb}$$

$$N_o = (341,12^2 + 40,5^2)^{0,5} = 343,51 \text{ kN/mb}$$

Przyjęto zbrojenie:

$$F = 343,51 : 295000 = 0,00116 \text{ m}^2 - \text{przyjęto } \phi 20 \text{ co } 15 \text{ cm}$$

Na 1 mb występuje 7 szt. prętów

$$N_1 = 343,51 : 7 = 49,07 \text{ kN}$$

$$m_d = (0,03 : 0,02)^{0,5} = 1,22 \text{ (otwory na kotwy min. 3 cm)}$$

$$R_d = 1,22 \times 6280 = 7661 \text{ kN/m}^2$$

**długość zakotwienia:**

$$l = \sqrt[4]{49,07 / (0,67 \times 7661 \times 0,02)} = 0,48 \text{ m}$$

**- długość zakotwienia – ze względu na przyczepność do zaprawy:**

$$l = \sqrt[4]{49,07 / (2 \times 0,02 \times \pi \times 2800)} = 0,14 \text{ m}$$

**13.3.5. Zbrojenie poziome:**

- przyjąć pręty  $\phi$  20 co 15 cm w dwóch rzędach pionowych w rozstawie min. 40 cm.
- pręty w części nadbudowanej kotwic na długość normową  $40\delta$
- w części istniejącej osadzić na zaprawie na długości 48 cm, lub na żywicy, o nośności złącza  $N = 50 \text{ kN}$  - długość dobrać zgodnie z wytycznymi i obliczeniami producenta kotwy

**- zbrojenie pionowe:****a) część dolna i pozioma:**

$$M_{\text{poz}} = 57,84 \times 0,79 \times 0,645 + 89,52 \times 0,25^2 \times 0,5 = 29,47 + 2,80 = 32,27 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{pion}} = 228,19 \text{ kNm}; h = 0,5 \text{ m}; h_o = 0,45 \text{ m}; b = 1,53 \text{ m}; \text{stal AII, bet.B30:}$$

$$w_z = \frac{6,44 \times 228,19}{1,00 \times 0,45^2 \times 295000} = 0,0246 \rightarrow n\mu = 0,027$$

$$\gamma = 0,26$$

$$\sigma_b = 0,26 \times \sqrt[295000]{6,44} = 11910 \text{ kN/m}^2 < 17300 \text{ kN/m}^2$$

$$F_z = \sqrt[0,027]{6,44} \times 0,45 = 0,0019 \text{ m}^2$$

przyjęto  $\phi$  20 co 15 cm – na całej długości skrzydła. Pręty obejmują część dolną i poziomą. Zewnętrzne pręty pionowe, wewnętrzne zawinięte dookoła w część poziomą

$$M_{\text{skr}} = 206,74 \text{ kNm, strzemiona pionowe zamknięte, spawane } \phi 14 \text{ mm,}$$

$$s = \frac{2 \times 0,8 \times 2,0 \times 0,45 \times 0,000153 \times 295000}{206,74} = 0,31 \text{ cm}$$

Przyjęto strzemiona  $\phi 14 \text{ mm}$  co 15 cm (przy przecie pionowym). Strzemiona dać także w części poziomej

**b) część górna:**

$$M = 83,47 \text{ kNm}; h = 0,5 \text{ m}; h_o = 0,45 \text{ m}; b = 1,53 \text{ m}; \text{stal AII, bet.B30:}$$

$$w_z = \frac{6,44 \times 83,47}{1,00 \times 0,45^2 \times 295000} = 0,009 \rightarrow n\mu = 0,001$$

$$\gamma = 0,152$$

$$\sigma_b = 0,152 \times \sqrt[295000]{6,44} = 6963 \text{ kN/m}^2 < 17300 \text{ kN/m}^2$$

$$F_z = 0,004 \times 0,45 = 0,0018 \text{ m}^2$$

przyjęto  $\phi$  20 co 15 cm – na całej długości skrzydła

$$M_{\text{skr}} = 81,75 \text{ kNm}$$

$$s = \frac{2 \times 0,8 \times 1,15 \times 0,45 \times 0,000153 \times 295000}{81,75} = 0,46 \text{ cm}$$

Przyjęto strzemiona  $\phi 14 \text{ mm}$  co 30 cm (przy co 2-gim przecie pionowym)



**13.3.6 Część nadbudowana:****a) Ścianka żwirowa:**

$$M_x = 8,18 \times 1,25^2 \times \frac{1}{6} + 8,19 \times 1,25^2 \times 0,5 = 2,13 + 6,40 = 8,27 \text{ kNm}$$

$$M_y = (8,18 \times 1,25 \times 0,5 + 8,19 \times 1,25) \times 2,0^2 \times 0,5 = 30,7 \text{ kNm}$$

$$M_{skr} = 89,52 \times 1,60 \times 2,0^2 \times 0,5 = 286,46 \times 2 = 572,92 \text{ kNm} : 9,80 = 58,46 \text{ kNm/mb}$$

$$w = 0,35^2 \times \frac{1}{6} = 0,0204 \text{ m}^3$$

$$\sigma_x = 8,27 : 0,0204 = 405 \text{ kN/m}^2 - \text{zbrojenie konstrukcyjne}$$

$$6,44 \times 30,70$$

$$w_{zy} = \frac{6,44 \times 30,70}{1,00 \times 0,30^2 \times 295000} = 0,007 \rightarrow \text{zbrojenie konstrukcyjne}$$

$$2 \times 0,8 \times 1,15 \times 0,30 \times 0,000153 \times 295000$$

$$s = \frac{2 \times 0,8 \times 1,15 \times 0,30 \times 0,000153 \times 295000}{58,46} = 0,43 \text{ cm}$$

przyjęto strzemiona spawane  $\phi$  14 mm, co 15 cm oraz pręty poziome  $\phi$  25 mm co 15 cm.

**13.3.7. Ława łóżyskowa:****a) wspornik ławy łóżyskowej:**

$$M = 0,6 \times 0,62 \times 25 \times 1,2 \times 0,79^2 \times 0,5 + (90,11 + 57,22 + 376,47) \times 0,29 = 3,48 + 151,90 = 155,38 \text{ kNm}$$

Beton B30 stal A-II

$$6,44 \times 155,38$$

$$w_z = \frac{6,44 \times 155,38}{0,62 \times 0,55^2 \times 295000} = 0,018 \rightarrow n\mu = 0,019$$

$$\gamma = 0,216$$

$$\sigma_b = 0,216 \times \frac{295000}{6,44} = 9894 \text{ kN/m}^2 < R_b$$

$$F_z = 0,55 \times \frac{0,019}{6,44} = 0,0016 \text{ m}^2/\text{mb}$$

**b) Ława łóżyskowa:**

$$q = \frac{515,11 + 240,08 + 952,67}{9,80} = 174,27 \text{ kN/m}$$

$$Q = 1707,86 : 5 = 341,57 \text{ kN}$$



$$M_1 = -0,50^2 \times 0,5 \times 341,57 = -42,70 \text{ kNm}$$

$$T_1^L = -341,57 \times 0,50 = -170,79 \text{ kN}$$

$$T_1^P = -170,79 + 341,57 = 170,78 \text{ kN}$$

$$M_{1-2} = -1,60^2 \times 0,5 \times 174,27 + 341,57 \times 1,10 = -223,07 + 375,27 = 152,20 \text{ kNm}$$

$$M_2 = -2,70^2 \times 0,5 \times 174,27 + 341,57 \times 2,20 = -635,21 + 751,45 = 116,25 \text{ kNm}$$

$$T_2^L = 170,78 - 174,27 \times 2,20 = -212,61 \text{ kN}$$

$$T_2^P = -212,61 + 341,57 = 128,96 \text{ kN}$$

$$M_{2-3} = -3,80^2 \times 0,5 \times 174,27 + 341,57 \times (3,30 + 1,10) = -1260,40 + 1502,91 = 242,51 \text{ kNm}$$

$$M_3 = -4,90^2 \times 0,5 \times 174,27 + 341,57 \times (4,40 + 2,20) = -2092,11 + 2254,36 = 162,00 \text{ kNm}$$

$$T_3^L = 128,96 - 174,27 \times 2,20 = -254,43 \text{ kN}$$

$$T_3^P = -254,43 + 341,57 = 87,14 \text{ kN}$$

**- zbrojenie:**

$$M = 242,51 \text{ kNm}$$

$$B = 0,62 \text{ m}; h = 0,60 \text{ m}, h_0 = 0,55 \text{ m} \text{ beton min. B30, stal min. AII}$$

$$w_z = \frac{6,44 \times 242,51}{0,6 \times 0,55^2 \times 295000} = 0,029 \quad n\mu = 0,032; \gamma = 0,287$$

$$\sigma_b = 0,287 \times \frac{295000}{6,44} = 13147 \text{ kN/m}^2 < R_b = 17300 \text{ kN/m}^2$$

$$F_z = \frac{0,032}{6,44} \times 0,6 \times 0,55 = 0,00164 \text{ m}^2$$

**Przyjęto: 6  $\phi$  20 mm. tj co 10 cm**

**Przyjęto strzemiona 2 – cięte  $\phi$  14 mm, stal min. AII**

$$\mu = \frac{18,84}{60 \times 55} = 0,0057$$

$$V_b = (1 + 50 \times 0,0057) \times 0,6 \times 0,85 \times 0,55 \times 280 = 100,92 \text{ kN}$$

$$V_s = 254,43 - 100,92 = 153,51 \text{ kN}$$

$$F_s = 2 \times 0,000154 = 0,000308 \text{ m}^2$$

$$s = \frac{295000 \times 0,85 \times 0,55 \times 0,000308}{153,43} = 0,28 \text{ m przyjęto co 20 cm}$$

**- kotwy:**

$$H = 1238,12 \text{ kN}$$

$$M = 1238,12 \times 0,73 = 903,83 \text{ kNm}$$

**Przyjęto kotwy  $\phi$  14 co 20 cm, tj. 40 x 2 = 80 szt. kotew**

$$H_k = 1238,12 : 80 = 15,48 \text{ kN}$$

$$N_k = \frac{903,83}{40 \times 0,85} = 26,58 \text{ kN}$$

$$\sigma = 26,58 : 0,000154 = 172597 \text{ kN/m}^2 < R = 295000 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau = 15,48 : 0,000154 = 100519 \text{ kN/m}^2 < R_t = 177000 \text{ kN/m}^2$$

$$N_\phi = (26,58^2 + 15,48^2)^{0,5} = 30,76 \text{ kN}$$

**długość zakotwienia:**

$$l = \frac{30,76}{0,67 \times 7661 \times 0,014} = 0,43 \text{ m}$$

**- długość zakotwienia – ze względu na przyczepność do zaprawy:**

$$l = \frac{30,76}{2 \times 0,014 \times \pi \times 2800} = 0,12 \text{ m}$$

**- zbrojenie:**

Przyjęto zbrojenie poziome 6  $\phi$  20 mm + strzemiona spawane  $\phi$  14 co 20 cm

kotwy przyjąć  $\phi$  14 mm co 20 cm w dwóch rzędach w rozstawie min. 85 cm, na zaprawie na długości 45 cm lub na żywicy, o nośności złącza  $N_z = 31 \text{ kN}$ . Długość dobrać zgodnie z wytycznymi i obliczeniami producenta żywicy.

#### 13.4. Cios łożyskowy:

przyjęto cios łożyskowy a : l : h = 30 x 40 x 16 cm, z bet. klasy B35

$$R = 523,80 \text{ kN} < 614,96 \text{ kN} \text{ (most Mlecza - Żurawiczki)}$$

$$\text{ława łożyskowa } 40 \times 50 \text{ cm}, h = 0,14 \text{ m}$$

**- konstrukcja ciosu:**

- 1) Cios o wymiarach 30 x 50 cm i wysokości  $h = 14$  cm
- 2) Cios zbrojony siatkami  $\phi 10$  mm o oczkach 8 x 8 cm. Przyjąć 3 siatki w odległości od górnej powierzchni ciosu 3 cm ; 6 cm i 11 cm.
- 3) Cios kotwiony w części nadbudowanej kotwami  $\phi 25$  mm, zabetonowanymi w części nadbudowanej, nagwintowanymi i przykręconymi do płyt dolnych łożysk stycznych.

**13.5. Płyty łożyska:**

$$R = 523,80 \text{ kN}$$

**- przyjęto płytę łożyska o wymiarach  $a \times b = 300 \times 350$  mm**

$$\sigma_d = R/a_g = 523,80 / (0,017 \times 0,30) = 102706 \text{ kN/m}^2 < R_d = 240000 \text{ kN/m}^2$$

$$\delta = \frac{1}{2} \left( \frac{3R_a}{R_b} \right)^{0,5} = 0,5 \times \left( \frac{3 \times 523,80 \times 0,30}{200000 \times 0,35} \right)^{0,5} = 0,04 \text{ m} - \text{przyjęto grubość blach } 4,0 \text{ cm}$$

**- spoina pachwinowa mocowania pasa belki do blachy łożyska:**

$$H = 1238,12 : 5 = 247,62 \text{ kN}; \text{przyjęto spoinę } g = 8 \text{ mm}$$

$$\tau = \frac{247,62}{2 \times 0,35 \times 0,008} = 15476 \text{ kN/m}^2 < 0,7 \times 200000 = 140000 \text{ kN/m}^2$$

Blachy kotwione prętami  $\phi 25$  mm w ilości 4 szt/ blachę

$$\tau = \frac{247,62}{4 \times 0,000491} = 126079 \text{ kN/m}^2 < R_t = 140000 \text{ kN/m}^2$$