

Rys.1. Wymiary przekroju

**1. Dane wyjściowe (W)**

|                                               |        |   |
|-----------------------------------------------|--------|---|
| Długość przęsła - $L$                         | 25,600 | m |
| Rozpiętość teoretyczna - $L_t$                | 25,000 | m |
| Szerokość zabudowy lewej - $b_{zL}$           | 2,76   | m |
| Szerokość chodnika lewego - $b_{chL}$         | 2,00   | m |
| Szerokość pobocza lewego - $b_{pobL}$         | 0,20   | m |
| Szerokość nawierzchni - $b_n$                 | 10,50  | m |
| Szerokość zabudowy prawej - $b_{zP}$          | 1,30   | m |
| Szerokość chodnika prawego - $b_{chP}$        | 0,00   | m |
| Szerokość pobocza prawego - $b_{pobP}$        | 0,50   | m |
| Szerokość gzymsów/desek gzymsowych - $b_{gz}$ | 0,05   | m |
| Szerokość płyty - $B_p$                       | 14,56  | m |
| Szerokość całkowita - $B_c$                   | 14,66  | m |
| Grubość płyty - $h_p$                         | 0,24   | m |
| Grubość kap chodnikowych - $h_{ch}$           | 0,24   | m |
| Grubość nawierzchni - $h_n$                   | 0,10   | m |
| Grubość izolacji - $h_i$                      | 0,005  | m |
| Wysokość gzymsu - $h_{gz}$                    | 0,60   | m |

(pasy ruchu, awaryjne, pobocza razem z przeciwnieśpadkami)

**1.1. Wymiary dźwigara blachownicowego**

|                                                    |       |   |
|----------------------------------------------------|-------|---|
| Grubość środnika - $t_s$                           | 0,012 | m |
| Wysokość środnika - $h_s$                          | 1,50  | m |
| Szerokość półki górnej - $b_{fg}$                  | 0,24  | m |
| Grubość półki górnej - $t_{fg}$                    | 0,030 | m |
| Szerokość półki dolnej - $b_{fd}$                  | 0,34  | m |
| Grubość półki dolnej - $t_{fd}$                    | 0,032 | m |
| Wysokość blachownicy - $h = t_{fg} + h_s + t_{fd}$ | 1,562 | m |

**1.2. Założenie liczby belek**

| $b_p$                             | /k |       |   |     |    |                   |   |      |     |       |   |
|-----------------------------------|----|-------|---|-----|----|-------------------|---|------|-----|-------|---|
| 6                                 | =  | 2,427 | m | --> | 4* | 2,50              | + | 2,28 | *2= | 14,56 | m |
| 8                                 | =  | 1,820 | m | --> | 6* | 1,82              | + | 1,82 | *2= | 14,56 | m |
| do dalszych obliczeń przyjmuję k= |    |       |   |     | 8  | belek w rozstawie |   | 1,82 | m   |       |   |

Liczba dźwigarów - k 8 szt

Wysięg wspornika płyty -  $b_z$  0,91 m

(szerokość płyty wystająca poza oś skrajnych dźwigarów)

Rozstaw dźwig. skr. i przyskr. -  $b_w$  1,82 m

(założyć równy rozstaw między dźwigarami)

**1.3. Materiały konstrukcyjne****1.3.1. Stal konstrukcyjna**

|                                    |      |                   |
|------------------------------------|------|-------------------|
| $\gamma_s$ - ciężar właściwy stali | 78,5 | kN/m <sup>3</sup> |
| $E_s$ -                            | 206  | GPa               |
| Dźwigar - stal konstrukcyjna       | S355 |                   |
| $f_{yk}$ =                         | 355  | MPa               |
| $f_{yd}$ =                         | 309  | MPa               |
| $f_u$ =                            | 470  | MPa               |

**1.3.2. Beton**

|                                                       |          |   |        |                        |          |
|-------------------------------------------------------|----------|---|--------|------------------------|----------|
| Beton C                                               | 30       | / | 37     | Beton suchy zbrojony - | 24 kN/m3 |
| E <sub>cm</sub> =                                     |          |   | 32 GPa | Beton mokry zbrojony - | 25 kN/m3 |
| E <sub>cmo</sub> = 1,6 <sup>-1</sup> *E <sub>cm</sub> |          |   | 20 GPa | Dodatek na zbrojenie - | 1 kN/m3  |
| f <sub>ck</sub> =                                     | 30 MPa   |   |        |                        |          |
| f <sub>ctk</sub> =                                    | 2,0 MPa  |   |        |                        |          |
| f <sub>cd</sub> =                                     | 21,4 MPa |   |        |                        |          |
| f <sub>ctd</sub> =                                    | 1,3 MPa  |   |        |                        |          |
| f <sub>cm</sub> =                                     | 38 MPa   |   |        |                        |          |

| Deskowanie                    |            |
|-------------------------------|------------|
| sklejka 21 mm                 | 0,13 kN/m2 |
| belki szalunkowe HS20 co 25cm | 0,2 kN/m2  |
| 2 nakrętki                    | 0,02 kN/m2 |
| 2 ściagi                      | 0,02 kN/m2 |
| rygiel 2C100                  | 0,22 kN/m2 |
| $q_{desk} =$                  | 0,58 kN/m2 |

#### 1.4. Kombinacja obciążeń i współczynniki bezpieczeństwa

|                                                                     |      |
|---------------------------------------------------------------------|------|
| $\gamma_0 = \gamma_{M0} =$                                          | 1,00 |
| $\gamma_1 = \gamma_{M1} =$                                          | 1,10 |
| $\gamma_2 = \gamma_{M2} =$                                          | 1,25 |
| Współczynniki bezpieczeństwa - dla korzystnych wartości obciążeń    |      |
| $\gamma_{G,odc} = (odc.)$                                           | 0,9  |
| $\gamma_{Q,odc} = (odc.)$                                           | 0    |
| $\gamma_{q,odc} = (odc.)$                                           | 0    |
| Współczynniki bezpieczeństwa - dla niekorzystnych wartości obciążeń |      |
| $\gamma_{G,obc} = (obc.bet)$                                        | 1,35 |
| $\gamma_{G,obc} = (obc.wyp.)$                                       | 1,5  |
| $\gamma_{Q,obc} = (obc.)$                                           | 1,35 |
| $\gamma_{q,obc} = (obc.)$                                           | 1,35 |

#### Podstawy mostownictwa

Kombinacja obciążeń STR odnosi się do Stanu Granicznego Nośności (SGN) związanego z uszkodzeniem lub zniszczeniem konstrukcji. Określa procedurę łączenia obciążeń (stałych i zmiennych) w celu wymiarowania elementów konstrukcji tak, aby zapewnić ich pełne bezpieczeństwo

Zgodnie z normą PN-EN 1990 (Eurokod 0), kombinację podstawową dla Stanu Granicznego STR (oraz GEO – nośność podłoża) oblicza się ze wzorów 6.10a oraz 6.10b, przyjmując bardziej niekorzystny wynik:

**Wzór 6.10a:**

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

**Wzór 6.10b:**

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

|                        |                                                                             |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| $G_{k,j}$ :            | Wartość charakterystyczna obciążeń stałych.                                 |
| $Q_{k,1}$ :            | Wartość charakterystyczna wiodącego obciążenia zmiennego.                   |
| $Q_{k,i}$ :            | Wartości charakterystyczne pozostałych (towarzyszących) obciążeń zmiennych. |
| $\gamma_G, \gamma_Q$ : | Częściowe współczynniki bezpieczeństwa dla obciążeń stałych i zmiennych.    |
| $\psi_0$ :             | Współczynnik kombinacyjny obciążenia zmiennego.                             |
| $\xi$ :                | Współczynnik redukcji dla głównego obciążenia stałego.                      |

## 2. Zebranie obciążeń przypadających na dźwigar

### 2.1. Obciążenia stałe

#### FAZA I - montażowa

Ciężary 'na belkę' podaje się jako linowe

|                             |                                                                                        |            |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Ciężar blachownicy          | $q_{s,k} = (b_{fg} \cdot t_{fg} + t_s \cdot h_s + b_{fd} \cdot t_{fd}) \cdot \gamma_s$ | 2,83 kN/m  |
| Ciężar płyty (mokry beton): | $q_{b,k} = (b_z + 0,5 \cdot b_w) \cdot h_p \cdot \gamma_{betonu}$                      | 10,92 kN/m |
| Ciężar łączników i stężeń   | $q_{c,k} =$                                                                            | 1,00 kN/m  |
| Ciężar deskowania           | $q_{d,k} = (b_z + 0,5 \cdot b_w + h_p - b_{pg}) \cdot q_{desk}$                        | 1,06 kN/m  |

#### Zestawienie ciężarów w Fazie I

|               |                                                        |           |
|---------------|--------------------------------------------------------|-----------|
| Belka skrajna | $^I q_{t,k} = q_{s,k} + q_{bt,k} + q_{c,k} + q_{dt,k}$ | 15,8 kN/m |
|---------------|--------------------------------------------------------|-----------|

#### FAZA II - użytkowa

Ciężary 'na pomost' podaje się jako powierzchniowe

|                                                          |                                                     |                      |                         |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------|-------------------------|
| Ciężar odparowanej wody na 1m <sup>2</sup> pomostu:      | $q_{w,k} = h_p \cdot$                               | 1 kN/m <sup>3</sup>  | -0,24 kN/m <sup>2</sup> |
| Ciężar zdemontowanego deskowania                         | $q_{d,k} = - q_{d,k} / (b_z + b_w / 2) =$           |                      | -0,58 kN/m <sup>2</sup> |
| Ciężar nawierzchni:                                      | $q_{n,k} = h_n \cdot$                               | 23 kN/m <sup>3</sup> | 2,30 kN/m <sup>2</sup>  |
| Ciężar izolacji:                                         | $q_{i,k} = h_i \cdot$                               | 14 kN/m <sup>3</sup> | 0,07 kN/m <sup>2</sup>  |
| Ciężar kapy chodnikowej i krawężnika:                    | $q_{ch,k} = h_{ch} \cdot$                           | 25 kN/m <sup>3</sup> | 6,00 kN/m <sup>2</sup>  |
| Balustrady, bariery, deski gzymsowe – obciążenia liniowe |                                                     |                      |                         |
| Bariery                                                  | $q_{ba,k}$                                          |                      | 0,50 kN/m               |
| Ciężar gzymsu                                            | $q_{gz,k} = h_{gz} \cdot b_{gz} \cdot \gamma_{bet}$ |                      | 0,72 kN/m               |

### 2.2. Obciążenia przypadające na skrajny dźwigar :

#### 2.2.1. Obciążenia stałe (charakterystyczne)

|                               |                                                               |            |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------|
| Odpar. woda oraz ciężar desk. | $^II q_{wk} + ^II q_{dk} = (q_{wk} + q_{dk}) \cdot b_p / k =$ | -1,50 kN/m |
| Nawierzchnia                  | $^II q_{nk} = q_{nk} \cdot b_n / k =$                         | 3,02 kN/m  |
| Izolacja                      | $^II q_{ik} = q_{ik} \cdot b_p / k =$                         | 0,13 kN/m  |
| Chodnik                       | $^II q_{chk} = q_{chk} \cdot (b_{kchL} + b_{kchP}) / k =$     | 3,05 kN/m  |
| Bariery                       | $^II q_{bak} = q_{bak} \cdot n_{ba} / k =$                    | 0,19 kN/m  |
| Gzyms                         | $^II q_{gzk} = q_{gzk} \cdot 2 / k =$                         | 0,18 kN/m  |

#### 2.2.2. Obciążenia stałe (obliczeniowe):

|                               |                                                                        |            |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------|
| Odpar. woda oraz ciężar desk. | $^II q_{wd} + ^II q_{dd} = (^II q_{wk} + ^II q_{dk}) \cdot \gamma_G =$ | -2,24 kN/m |
| Nawierzchnia                  | $^II q_{nd} = ^II q_{nk} \cdot \gamma_G =$                             | 4,53 kN/m  |
| Izolacja                      | $^II q_{id} = ^II q_{ik} \cdot \gamma_G =$                             | 0,19 kN/m  |
| Chodnik                       | $^II q_{chd} = ^II q_{chk} \cdot \gamma_G =$                           | 4,57 kN/m  |
| Bariery                       | $^II q_{bad} = ^II q_{bak} \cdot \gamma_G =$                           | 0,28 kN/m  |
| Gzyms                         | $^II q_{gzd} = ^II q_{gzk} \cdot \gamma_G =$                           | 0,27 kN/m  |

### 2.3. Obciążenia użytkowe

#### LM1

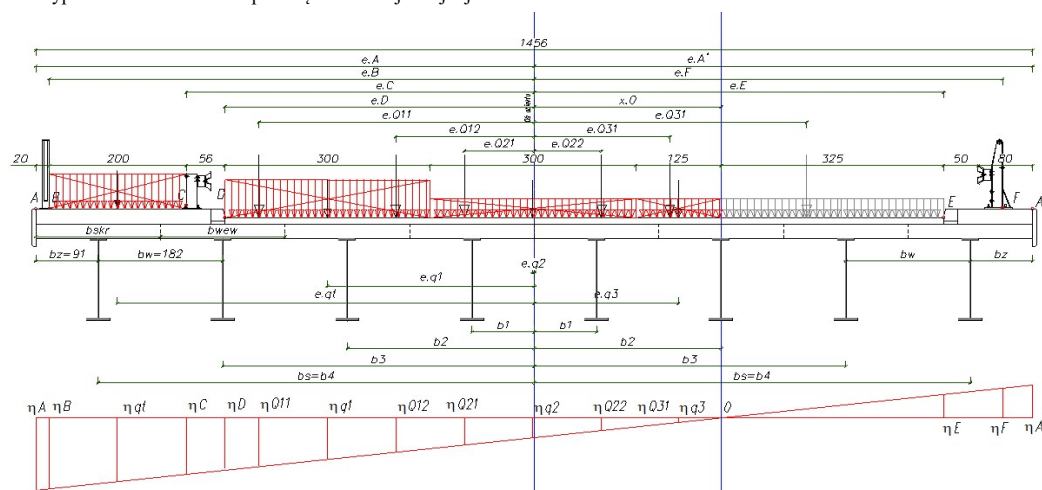
| TS                                                                          |                       |                  | kl. I | kl. II | $\psi_{0,1}$ to:   |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------|-------|--------|--------------------|
| PU1 2 siły $Q_1$ po 300 kN = 2 x 300 kN (opisywane jako $Q_{11} + Q_{12}$ ) | 300 kN                | $\alpha_{Q1} =$  | 1,00  | 1,00   | ruchome            |
| PU2 2 siły $Q_2$ po 200 kN = 2 x 200 kN (opisywane jako $Q_{21} + Q_{22}$ ) | 200 kN                | $\alpha_{Q2} =$  | 1,00  | 1,00   | TS = 1             |
| PU3 2 siły $Q_3$ po 100 kN = 2 x 100 kN (opisywane jako $Q_{31} + Q_{32}$ ) | 100 kN                | $\alpha_{Q3} =$  | 1,00  | 1,00   | UDL = 1            |
| UDL                                                                         |                       | $\alpha_{q1} =$  | 1,33  | 1,00   | obc. w czasie bud. |
| PU1 siła rozłożona $q_1 = 9$ kN/m <sup>2</sup>                              | 9 kN/m <sup>2</sup>   | $\alpha_{q2} =$  | 2,40  | 1,00   | Qc = 1,0           |
| PU2 siła rozłożona $q_2 = 2,5$ kN/m <sup>2</sup>                            | 2,5 kN/m <sup>2</sup> | $\alpha_{q3} =$  | 1,20  | 1,00   | termiczne          |
| PU3 siła rozłożona $q_2 = 2,5$ kN/m <sup>2</sup>                            | 2,5 kN/m <sup>2</sup> | $\alpha_{qi} =$  | 1,20  | 1,00   | Tk = 0,6           |
| PU4 do n oraz OP siła rozłożona $q_4 = 2,5$ kN/m <sup>2</sup>               | 2,5 kN/m <sup>2</sup> | $\alpha_{qOP} =$ | 1,20  | 1,00   |                    |

#### Obciążenie tłumem

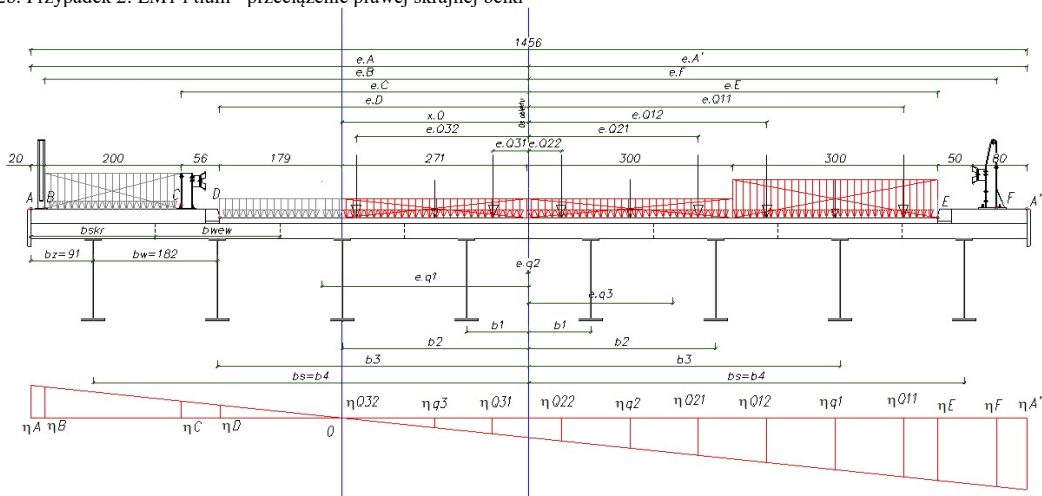
|                             |                     |
|-----------------------------|---------------------|
| $q_t = 3$ kN/m <sup>2</sup> | 3 kN/m <sup>2</sup> |
|-----------------------------|---------------------|

### 2.3.1. Rozkład poprzeczny obciążeń: Metoda sztywnej poprzecznicy (W)

Rys.2a. Przypadek 1 - LM1 i tłum - przecięcie lewej skrajnej belki



Rys.2b. Przypadek 2: LM1 i tłum - przecięcie prawej skrajnej belki



$\eta$  – rzędna linii wpływu rozkładu poprzecznego

$k$  – liczba dźwigarów

$b_i$  – odległość i-tego dźwigara od osi przekroju poprzecznego mostu

$e$  – odległość od osi przekroju poprzecznego mostu do wypadkowej obciążenia szukanej rzędnej l.w.

$b_1 = 0,91 \text{ m} = b_1'$

$b_2 = 2,73 \text{ m} = b_2'$

$b_3 = 4,55 \text{ m} = b_3'$

$b_4 = 6,37 \text{ m} = b_4'$

$b_5 = 0,00 \text{ m} = b_5'$

$b_6 = 0,00 \text{ m} = b_6'$

$b_s = 6,37 \text{ m}$

$k = 8$

### 2.3.2. Wartości rzędnych linii wpływu

$$\eta = 1/k + e \cdot bs / (2 \sum b_i^2)$$

(wzór ogólny)

$$1/k = 0,125$$

$$bs / (2 \sum b_i^2) = 0,046$$

Wyznaczenie odległości punktu zerowego

(za którym nie uwzględniamy obciążeń ruchomych)

$$x_0 = -0,125 / 0,046$$

$$x_0 = -2,73 \text{ m}$$

$$\eta = 0,125 + e \cdot 0,046$$

### 2.3.3. Wyznaczenie odległości sił i wartości obciążeń skrajnego dźwigara prawego

Przypadek w którym ustawiam obciążenia ruchome po stronie węższej kapy

$$e_{Q11(1)} = 5,48 \text{ m} \quad \eta_{Q11(1)} = 0,376$$

$$e_{Q12(1)} = 3,48 \text{ m} \quad \eta_{Q12(1)} = 0,284$$

$$e_{Q21(1)} = 2,48 \text{ m} \quad \eta_{Q21(1)} = 0,239$$

$$e_{Q22(1)} = 0,48 \text{ m} \quad \eta_{Q22(1)} = 0,147$$

$$e_{Q31(1)} = -0,52 \text{ m} \quad \eta_{Q31(1)} = 0,101$$

Wyznaczam rzędne linii wpływu każdego obciążenia ustawionego w odległości "e" od osi i oddziałującego na skrajny prawy dźwigar.

|                |         |                          |        |                                                                                               |        |
|----------------|---------|--------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| $e_{Q32(1)} =$ | -2,52 m | ${}^{IV}\eta_{Q32(1)} =$ | 0,010  |                                                                                               |        |
| $e_{q1(1)} =$  | 4,48 m  | ${}^{IV}\eta_{q1(1)} =$  | 0,330  | obciążenie oddziaływu na szerokości PU1 i wynosi $b_{q1} =$                                   | 3,00 m |
| $e_{q2(1)} =$  | 1,48 m  | ${}^{IV}\eta_{q2(1)} =$  | 0,193  | obciążenie oddziaływu na szerokości PU2 i wynosi $b_{q2} =$                                   | 3,00 m |
| $e_{q3(1)} =$  | -1,38 m | ${}^{IV}\eta_{q3(1)} =$  | 0,062  | obciążenie oddziaływu na szerokości PU3 ale tylko do $x_0$ i wynosi $b_{q2} =$                | 2,72 m |
| $e_{qt(1)} =$  | -6,08 m | ${}^{IV}\eta_{qt(1)} =$  | -0,153 | Wartość jest ujemna co oznacza, że znajduje się poza $x_0$ i nie uwzględniamy jej do obliczeń |        |

### 2.3.2. Obciążenia ruchome (charakterystyczne)

#### LM 1 +LM 4 (W)

|             |                                                        |    |       |   |       |                           |       |      |
|-------------|--------------------------------------------------------|----|-------|---|-------|---------------------------|-------|------|
| od $Q_1$ :  | $\eta_{Q1} = 300\text{kN} \cdot [$                     | 2* | 0,125 | + | 0,046 | $*(e_{Q11} + e_{Q12})] =$ | 198,1 | kN   |
| od $Q_2$ :  | $\eta_{Q2} = 200\text{kN} \cdot ($                     | 2* | 0,125 | + | 0,046 | $*(e_{Q21} + e_{Q22})] =$ | 77,1  | kN   |
| od $Q_3$ :  | $\eta_{Q3} = 300\text{kN} \cdot ($                     | 2* | 0,125 | + | 0,046 | $*(e_{Q31} + e_{Q32})] =$ | 11,1  | kN   |
| od $q_1$ :  | $\eta_{q1} = 9\text{kPa} \cdot b_{q1} \cdot \alpha($   | 1* | 0,125 | + | 0,046 | $*e_{q1}) =$              | 11,9  | kN/m |
| od $q_2$ :  | $\eta_{q2} = 2,5\text{kPa} \cdot b_{q2} \cdot \alpha($ | 1* | 0,125 | + | 0,046 | $*e_{q2}) =$              | 3,5   | kN/m |
| od $q_3$ :  | $\eta_{q3} = 2,5\text{kPa} \cdot b_{q3} \cdot \alpha($ | 1* | 0,125 | + | 0,046 | $*e_{q3}) =$              | 0,5   | kN/m |
| dla $q_t$ : | $\eta_{qt} = q_t \cdot b_t \cdot ($                    | 1* | 0,125 | + | 0,046 | $*e_{qt}) =$              | -0,9  | kN/m |

### 3. Kombinacja obciążeń

Tu przyjęta kombinacja obciążeń: STR

$$E_d = \gamma_{Sd} E \{ \gamma_{G,j} G_{k,j}; \gamma_P P; \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}; \gamma_{q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \} \quad j \geq 1; i > 1$$

#### Wzór 6.10a:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

#### Wzór 6.10b:

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

### 3.2.4. Obliczenie sił wewnętrznych

#### Faza I

Stale charakterystyczne

|                                             |      |    |
|---------------------------------------------|------|----|
| ${}^I T_{sk} = {}^I q_{tk} \cdot L/2 =$     | 202  | kN |
| ${}^I M_{sk} = {}^I q_{tk} \cdot L_t^2/8 =$ | 1235 | kN |

Stale obliczeniowe

|                                             |      |    |
|---------------------------------------------|------|----|
| ${}^I T_{sd} = {}^I q_{td} \cdot L/2 =$     | 304  | kN |
| ${}^I M_{sd} = {}^I q_{td} \cdot L_t^2/8 =$ | 1853 | kN |

#### Faza II

Stale charakterystyczne

|                                                                                                                                                           |     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|
| ${}^{II} T_{sk} = ({}^I q_{wk} + {}^{II} q_{dk} + {}^{II} q_{nk} + {}^{II} q_{ak} + {}^{II} q_{chk} + {}^{II} q_{bak} + {}^{II} q_{gzk}) \cdot L/2 =$     | 65  | kN  |
| ${}^{II} M_{sk} = ({}^I q_{wk} + {}^{II} q_{dk} + {}^{II} q_{nk} + {}^{II} q_{ak} + {}^{II} q_{chk} + {}^{II} q_{bak} + {}^{II} q_{gzk}) \cdot L_t^2/8 =$ | 396 | kNm |

Stale obliczeniowe

|                                                                                                                                                        |     |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|
| ${}^{II} T_{sd} = ({}^I q_{wd} + {}^{II} q_{dd} + {}^{II} q_{nd} + {}^{II} q_{ad} + {}^{II} q_{cd} + {}^{II} q_{bd} + {}^{II} q_{gd}) \cdot L/2 =$     | 97  | kN  |
| ${}^{II} M_{sd} = ({}^I q_{wd} + {}^{II} q_{dd} + {}^{II} q_{nd} + {}^{II} q_{ad} + {}^{II} q_{cd} + {}^{II} q_{bd} + {}^{II} q_{gd}) \cdot L_t^2/8 =$ | 593 | kNm |

Ruchome charakterystyczne LM1+LM4

|                                                                                                                    |      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----|
| ${}^{II} T_{rk} = (\eta_{q1} + \eta_{q2} + \eta_{q3}) L_t/2 + (\eta_{Q1} + \eta_{Q2} + \eta_{Q3}) =$               | 473  | kN  |
| ${}^{II} M_{rk} = (\eta_{q1} + \eta_{q2} + \eta_{q3}) L_t^2/8 + (\eta_{Q1} + \eta_{Q2} + \eta_{Q3}) \cdot L_t/4 =$ | 3026 | kNm |

Ruchome obliczeniowe LM1+LM4

|                                                                                                                                                                              |      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----|
| ${}^{II} T_{rd} = \psi_{0,1} \cdot \gamma_a \cdot (\eta_{q1} + \eta_{q2} + \eta_{q3}) L_t/2 + \psi_{0,1} \gamma_Q \cdot (\eta_{Q1} + \eta_{Q2} + \eta_{Q3}) =$               | 630  | kN  |
| ${}^{II} M_{rd} = \psi_{0,1} \cdot \gamma_a \cdot (\eta_{q1} + \eta_{q2} + \eta_{q3}) L_t^2/8 + \psi_{0,1} \gamma_Q \cdot (\eta_{Q1} + \eta_{Q2} + \eta_{Q3}) \cdot L_t/4 =$ | 4085 | kNm |

### Całkowite charakterystyczne

|         |      |     |
|---------|------|-----|
| $T_k =$ | 740  | kN  |
| $M_k =$ | 4657 | kNm |

### Całkowite obliczeniowe

|         |      |     |
|---------|------|-----|
| $T_d =$ | 1030 | kN  |
| $M_d =$ | 6531 | kNm |

## 4. Wymiarowanie przekroju

### 4.1. Wyznaczenie szerokości płyty współpracującej (wg EN 1994-2 Roz.5.4.1.2) (W)

$$b_{eff} = b_0 + \sum \beta_i b_{ei} \leq b$$

$$\beta_i = 1,0$$

$$\beta_i = (0,55 + 0,025 \cdot L_e / b_{ei}) \leq 1,0$$

$$b_0 = 0,132 \text{ m}$$

$$L_e = 25,000 \text{ m}$$

$$b_z = 0,910 \text{ m} \quad = b_1$$

$$b_{w/2} = 0,910 \text{ m} \quad = b_2$$

$$b_{ei} = \min \{ L_e/8; b_i \}$$

$$b_{e1} = \min$$

$$3,125 \text{ m}$$

$$0,844 \text{ m}$$

$$b_{e1} = 0,844 \text{ m}$$

$$b_{e2} = \min$$

$$3,125 \text{ m}$$

$$0,844 \text{ m}$$

$$b_{e2} = 0,844 \text{ m}$$

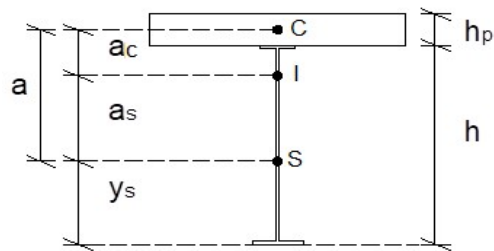
$$\beta_i = 1,291 \leq 1,000$$

$$b_{eff} = 1,820 \text{ m} \leq 1,820 \text{ m}$$

- w przypadku podprór pośrednich
- tylko na podporze skrajnej
- rozstaw skrajnych łączników
- rozpiętość teoretyczna
- wysięg wspornika płyty na zewnątrz od osi środknika
- wysięg płyty do wewnątrz od osi środknika (połów rozpiętości między środknikami)
- wysięg płyty od osi skrajnego łącznika - na zewnątrz wspornika lub do środka płyty
- wyznaczony wysięg płyty od osi skrajnego łącznika na zewnątrz wspornika
- wyznaczony wysięg płyty od osi skrajnego łącznika do środka płyty

## 4.2. Parametry geometryczne przekroju zespolonego (W)

### 4.2.1. W metodzie bezpośredniej



Rys.3. Przekrój zespolony

|                                                                                                                                                                                                                                     |                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| $n_o = E_s/E_{cm}$                                                                                                                                                                                                                  | 6,438                   |
| $A_s = b_{fg} \cdot t_{fg} + t_s \cdot h_s + b_{fd} \cdot t_{fd} =$                                                                                                                                                                 | 0,036 m <sup>2</sup>    |
| $A_c = h_p \cdot b_{eff} =$                                                                                                                                                                                                         | 0,437 m <sup>2</sup>    |
| $A_i = A_s + A_c/n_o =$                                                                                                                                                                                                             | 0,104 m <sup>2</sup>    |
| $S_{xx} = b_{fg} \cdot t_{fg} \cdot (h - t_{fg}/2) + t_s \cdot h_s \cdot (h_s/2 + t_{fd}) + b_{fd} \cdot t_{fd} \cdot (t_{fd}/2) =$                                                                                                 |                         |
| $S_{xx}^{stali} =$                                                                                                                                                                                                                  | 0,025 m <sup>3</sup>    |
| $y_s = S_{xx}^{stali} / A_s =$                                                                                                                                                                                                      | 0,704 m                 |
| $a = h - y_s + h_p/2 =$                                                                                                                                                                                                             | 0,978 m                 |
| $A_i \cdot a_c = A_s \cdot a =$                                                                                                                                                                                                     | 0,340 m                 |
| $a_c = A_s \cdot a / A_i =$                                                                                                                                                                                                         | 0,639 m                 |
| $a_s = a - a_c =$                                                                                                                                                                                                                   | 0,002097 m <sup>4</sup> |
| $I_c = b_{eff} \cdot h_p^3 / 12 =$                                                                                                                                                                                                  | 1,342 m                 |
| $y_i = y_s + a_s =$                                                                                                                                                                                                                 |                         |
| $I_s = b_{fg} \cdot t_{fg}^3 / 12 + b_{fg} \cdot t_{fg} \cdot (h - y_s - t_{fg}/2)^2 + t_s \cdot h_s^3 / 12 + t_s \cdot h_s \cdot (h_s/2 + t_{fd})^2 + b_{fd} \cdot t_{fd}^3 / 12 + b_{fd} \cdot t_{fd} \cdot (y_s - t_{fd}/2)^2 =$ | 0,013752 m <sup>4</sup> |
| $I_i = I_s + I_c/n_o + a^2 \cdot A_s \cdot A_c / (n_o \cdot A_i) =$                                                                                                                                                                 | 0,036622 m <sup>4</sup> |

## 5. Obliczenie naprężeń w konstrukcji (Wartości obliczeniowe)

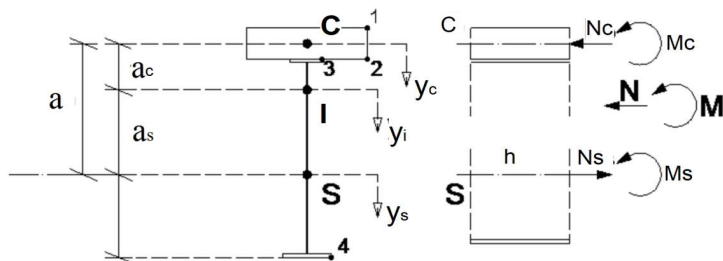
### 5.1. Faza I – pracuje tylko stal

Naprężenia od obciążeń stałych

$$\sigma_s = M_s / I_s \cdot y$$

$$\sigma_s^3 = M_s / I_s \cdot (y_s - h) = -115,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s^4 = M_s / I_s \cdot y_s = 94,8 \text{ MPa}$$



Rys.04. Punkty obliczania naprężeń

### 5.2. Faza II – beton wciągnięty do współpracy

#### 5.2.1. Naprężenia od obciążeń ruchomych

|                                                     |       |     |
|-----------------------------------------------------|-------|-----|
| $\sigma_1^r = M_{rd} / I_i \cdot (-h_p/2 - a_c) =$  | -51,3 | MPa |
| $\sigma_2^r = M_{rd} / I_i \cdot (h_p/2 - a_c) =$   | -24,5 | MPa |
| $\sigma_3^r = M_{rd} / I_i \cdot (y_s + a_s - h) =$ | -24,5 | MPa |
| $\sigma_4^r = M_{rd} / I_i \cdot (y_s + a_s) =$     | 149,7 | MPa |

#### Naprężenia rzeczywiste w betonie płyty

|                                   |      |     |
|-----------------------------------|------|-----|
| $\sigma_1^r = \sigma_1^r / n_o =$ | -8,0 | MPa |
| $\sigma_2^r = \sigma_2^r / n_o =$ | -3,8 | MPa |

### 5.3. Pęzanie betonu

$$E_{c,creep} = E_{cm} / (1 + \phi_{t,t_0})$$

$$\phi(t, t_0) = \phi(\Delta t_0) = \beta_e(\Delta t_0) \cdot \phi_o(t_{o,m})$$

$$\Delta t_0 = t - t_0$$

$$t = 36500$$

$$t_0 = 28$$

$$\Delta t_0 = 36472$$

$$t_{o,m} = t_{o,T} \cdot \left( -\frac{11}{2 + t_{o,T}^{1,2}} + 1 \right)^{\alpha} \geq 0,5$$

$$t_{o,m} \approx t_{o,T} + \begin{cases} -3, & \text{dla cementu klasy S} \\ 0, & \text{dla cementu klasy N} \\ +5, & \text{dla cementu klasy R} \end{cases}$$

$$t_{o,T} = \sum f(T_i) \cdot \Delta t_i$$

$$f(T_i) = \exp[4000 \cdot (1/293 - 1/(273 + T_i))]$$

|    |    |    |        |        |
|----|----|----|--------|--------|
| 17 | 2  | -3 | 0,8683 | -2,605 |
| 19 | 2  | -1 | 0,9543 | -0,954 |
| 20 | 16 |    | 1,0000 | 0      |
| 21 | 2  | 1  | 1,0475 | 1,048  |
| 23 | 2  | 3  | 1,1484 | 3,445  |
| 25 | 2  | 5  | 1,2574 | 6,287  |
|    |    |    | 7,221  |        |

$$t_{o,m} = 7,22$$

- zmodyfikowany wiek obciążenia

$$\phi_o(t_{o,m}) = \beta_{fcm} \cdot \phi_{RH} \cdot \beta_T(t_{o,m})$$

$$\beta_{fcm} = 16,8 / (f_{cm}^{0,5})$$

$$\beta_{fcm} = 2,725$$

$$\varphi_{RH} = \alpha_2 \cdot \left( 1 + \alpha_1 \cdot \frac{1 - (RH)}{0,1 \cdot h_0^{1/3}} \right)$$

$$\alpha_{1,2} = \begin{cases} \alpha_1 = \alpha_2 = 1 & \text{dla } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \\ \alpha_1 = \left( \frac{36}{f_{cm}} \right)^{0,7}; \quad \alpha_2 = \left( \frac{36}{f_{cm}} \right)^{0,2}, & \text{dla } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \end{cases}$$

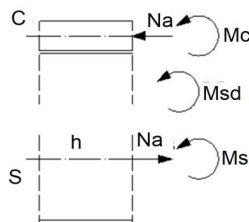
$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 0,963 \\ \alpha_2 &= 0,989 \\ \varphi_{RH} &= 1,449 \\ \beta_T(t_{o,m}) &= 1 / (0,1 + t_{o,m}^{0,20}) \\ \beta_T(t_{o,m}) &= 0,630931134 \\ \varphi_o(t_{o,m}) &= 2,492 \end{aligned}$$

$$\beta_{\Delta t_o} = \left( \frac{\Delta t_o}{\beta_{RH} + \Delta t_o} \right)^{0,3}$$

$$\begin{aligned} \beta_{\Delta t_o} &= 1,000 \\ \varphi(t, t_o) &= 2,492 \\ E_{c,creep} &= E_{cm} / (1 + \varphi_{t,t_o}) \\ E_{c,creep} &= 9,165 \\ n_{creep} &= E_s / E_{c,creep} = 22,5 \\ A_{s,creep} &= A_s = 0,036 \text{ m}^2 \\ A_{c,creep} &= A_c / n_{creep} = 0,019 \text{ m}^2 \\ A_i &= A_s + A_{c,creep} = 0,104 \text{ m}^2 \\ S_{xx}^{stali} &= 0,025 \text{ m}^3 \\ y_s &= S_{xx}^{stali} / A_s = 0,704 \text{ m} \\ a &= h - y_s + h_p/2 = 0,978 \text{ m} \\ A_i \cdot a_c &= A_s \cdot a \\ a_c &= A_s \cdot a / A_i = 0,340 \text{ m} \\ a_s &= a - a_c = 0,639 \text{ m} \\ I_{c,creep} &= I_c \cdot n_{creep} = 0,000093 \text{ m}^4 \\ I_{s,creep} &= I_s = 0,013752 \text{ m}^4 \\ I_{i,creep} &= I_{s,creep} + I_{c,creep} + a^2 \cdot A_s \cdot A_{c,creep} / A_i \\ I_{i,creep} &= 0,020302 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

### 5.3.1. Naprężenia od obciążeń stałych + pełzania

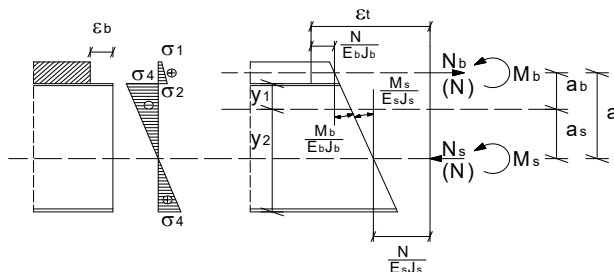
$$\begin{aligned} M_c &= M_{sd}^{II} \cdot I_{c,creep} / I_{i,creep} = 2,73 \text{ kNm} \\ M_s &= M_{sd}^{II} \cdot I_{s,creep} / I_{i,creep} = 401,86 \text{ kNm} \\ a_{creep} &= a = 0,978328 \text{ m} \\ \lambda_{creep} &= (A_s \cdot A_{c,creep} / A_{i,creep})^{0,5} = 0,082135 \text{ m} \\ N_a &= M_{sd}^{II} \cdot \lambda_{creep} \cdot a_{creep}^2 / I_{i,creep} = 2297 \text{ kN} \\ \sigma_1^s &= -N_a / A_c + M_c / (I_{c,creep}) \cdot (-h_p/2) = -8,8 \text{ MPa} \\ \sigma_2^s &= -N_a / A_c + M_c / (I_{c,creep}) \cdot (h_p/2) = -1,8 \text{ MPa} \\ \sigma_3^s &= -N_a / A_s - M_s \cdot (-h + y_i) / I_{i,creep} = -59,3 \text{ MPa} \\ \sigma_4^s &= N_a / A_s + M_s \cdot y_i / I_{i,creep} = 90,2 \text{ MPa} \end{aligned}$$



Rys.5. Siły wewnętrzne w przekroju zespolonym od obciążeń stałych i pełzania betonu

### 5.4. Skurcz betonu bez pełzania

Obliczenie naprężeń od skurczu betonu bez pełzania (działanie niezależnego odkształcenia części betonowej na podstawowy przekrój zespolony).



#### Sztywności osiowe

$$\begin{aligned} D_s &= A_s \cdot E_s = 7432480 \text{ kN} \\ D_c &= A_c \cdot E_{cm} = 13977600 \text{ kN} \\ D_i &= D_c + D_s = 21410080 \text{ kN} \end{aligned}$$

#### Sztywności giętne

$$\begin{aligned} B_s &= I_s \cdot E_s = 2832851 \text{ kNm}^2 \\ B_c &= I_c \cdot E_{cm} = 67092 \text{ kNm}^2 \\ B_i &= B_s + B_c + a^2 \cdot D_c \cdot D_s / D_i = 7544210 \text{ kNm}^2 \end{aligned}$$

Rys.6. Skurcz w metodzie bezpośredniej

Wartość całkowitego odkształcenia od skurczu betonu [PN-EN 1992-1-1]

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca}$$

$\epsilon_{cd}$  – odkształcenie skurczowe spowodowane wysychaniem

$\epsilon_{ca}$  – odkształcenie skurczu autogenicznego

$$\epsilon_{cd} = \epsilon_{cd,\infty} = k_h \cdot \epsilon_{cd,0}$$

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,85 \cdot (220 + 110 \alpha_{ds1}) \cdot e^{(-\alpha_{ds2} \cdot f_{cm}/f_{cm0})} \cdot \beta_{RH} \cdot 10^{-6} \quad [\text{Załącznik B.2}]$$

$$\alpha_{ds1} = 4$$

$$\alpha_{ds2} = 0,12$$

$$f_{cm} = 38 \text{ MPa}$$

$$f_{cm0} = 10 \text{ MPa}$$

$$\beta_{RH} = 1,55 \cdot [1 - (RH/RH_0)^3]$$

$$RH = 70$$

$$RH_0 = 100$$

$$\beta_{RH} = 1,55 \cdot [1 - (RH/RH_0)^3] = 1,018350$$

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,000362 \quad \text{-skurcz swobodny}$$

$$k_h \text{ - współczynnik zależny od wymiaru } h_0 \text{ [interpolując z Tablicy 3.3]}$$

$$h_0 = 2A_c/u \quad \text{- miarodajny wymiar przekroju}$$

$$A_c \text{ - pole przekroju betonu,}$$

$$u \text{ - obwód pola przekroju betonu stykającego się z powietrzem, przynajmniej okresowo.}$$

$$h_0 = 2 \cdot A_c / (2 \cdot b_{eff} + h_p - b_{pg}) = 240 \text{ mm}$$

$$k_h = (200 - h_0) \cdot (0,85 - 0,75) / (300 - 200) + 0,85 = 0,810$$

$$k_h = (300 - h_0) \cdot (0,85 - 0,75) / (300 - 200) + 0,75 = 0,810$$

$$\varepsilon_{cd} = k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} = 0,000293$$

$$\varepsilon_{ca} = \varepsilon_{ca,\infty} = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 0,000050$$

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} = 0,000343$$

Siły wewnętrzne do naprężeń od skurczu

$$\beta = \varepsilon \cdot D_c \cdot D_s / (D \cdot B_i) = 0,000221$$

$$N_c - N_s = \beta \cdot (B_c + B_s) = 640,3 \text{ kN}$$

$$M_c = \beta \cdot a \cdot B_c = 14,5 \text{ kNm}$$

$$N_s = -\beta \cdot (B_c + B_s) = -640,3 \text{ kN}$$

$$M_s = \beta \cdot a \cdot B_s = 612 \text{ kNm}$$

#### 5.4.1. Naprężenia od skurczu

$$\sigma_1^{sk} = N_c / A_c + M_c / (I_c \cdot (-h_p/2)) = 0,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2^{sk} = N_c / A_c + M_c \cdot (h_p/2) / I_c = 2,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3^{sk} = N_s / A_s + M_s \cdot (-h + y_s) / I_s = -55,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4^{sk} = N_s / A_s + M_s \cdot y_s / I_s = 13,6 \text{ MPa}$$

#### 5.5. Naprężenia od zginania wywołanego różnicą temperatury ( $\psi_{0,1}$ dla $T_c=0,6$ )

$$\varepsilon_t = \alpha_t \cdot \Delta_t$$

$$\alpha_t = 0,000012 \quad 1/^\circ\text{C}$$

$$\Delta_{t,heat} = 10,5 \quad ^\circ\text{C}$$

$$\Delta_{t,cool} = -18 \quad ^\circ\text{C}$$

$$\varepsilon_{t,heat} = 0,000126$$

$$\varepsilon_{t,cool} = -0,000216$$

$$\varepsilon_{t,heat} / \varepsilon_{cs} = 0,37$$

$$\varepsilon_{t,cool} / \varepsilon_{cs} = -0,63$$

#### 5.5.1. Naprężenia od różnic temperatury

$$\sigma_1^{t,heat} = 0,1 \text{ MPa} \quad \sigma_1^{t,cool} = -0,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2^{t,heat} = 0,5 \text{ MPa} \quad \sigma_2^{t,cool} = -0,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3^{t,heat} = 12,3 \text{ MPa} \quad \sigma_3^{t,cool} = -21,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4^{t,heat} = -3,0 \text{ MPa} \quad \sigma_4^{t,cool} = 5,1 \text{ MPa}$$

#### 5.6. Zestawienie naprężeń normalnych [MPa]

Metoda bezpośrednia

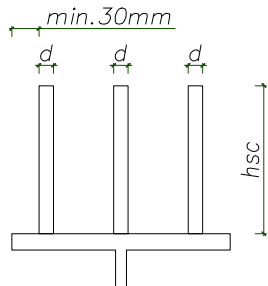
| Poziom naprężen | Faza I | Faza II                      |                       |                         |                                             |       | Razem     |           |
|-----------------|--------|------------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------------------------|-------|-----------|-----------|
|                 |        | Od obciążeń stałych+pełzania | Od obciążeń ruchomych | Od skurczu bez pełzania | Od zmian temperatury: ocieplenie/oziębienie |       |           |           |
|                 | A      | B                            | C                     | D                       | E                                           | F     | A+B+C+D+E | A+B+C+D+F |
| 1               | -      | -8,8                         | -8,0                  | 0,6                     | 0,1                                         | -0,2  | -16,0     | -16,3     |
| 2               | -      | -1,8                         | -3,8                  | 2,3                     | 0,5                                         | -0,9  | -2,8      | -4,1      |
| 3               | -115,7 | -59,3                        | -24,5                 | -55,9                   | 12,3                                        | -21,1 | -243,1    | -276,5    |
| 4               | 94,8   | 90,2                         | 149,7                 | 13,6                    | -3,0                                        | 5,1   | 345,4     | 353,5     |

$$\sigma_{bmax} = 16,3 \text{ MPa} < f_{cd} = 21,4 \text{ MPa} \quad 76,2\% \quad \text{maksymalne ściskanie betonu}$$

$$\sigma_{smaxFI} = 116 \text{ MPa} < f_{yd} = 309 \text{ MPa} \quad \text{maksymalne naprężenia w stali w Fazie I}$$

$$\sigma_{smaxFII} = 353 \text{ MPa} < f_{yd} = 309 \text{ MPa} \quad \text{maksymalne naprężenia w stali w Fazie II}$$

$$\sigma_{sminFII,4} = 345 \text{ MPa} < f_{yd} = 309 \text{ MPa} \quad > 0,60 f_{yd} = 185 \text{ MPa} \quad \text{minimalne naprężenia w stali w Fazie II}$$



Rys.12. Rozmieszczenie sworzni

**Założono sworznie:**

o średnicy  $d = 20 \text{ mm}$  -  $16 \text{ mm} \leq d \leq 25 \text{ mm}$   
 o długości  $h_{sc} = 180 \text{ mm}$   
 o ilości w rzędzie  $n = 2 \text{ szt.}$

**Maksymalna podłużna siła ścinająca na styku stali z betonem:**

$$V_{LEd} = 0,5^I T_{sd} + ^{II} T_d = 1182 \text{ kN}$$

**Nośność obliczeniowa trzpienia**

$$\text{ze względu na stal} \quad P_{Rd} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d^2 / (4 \gamma_V)$$

lub

$$\text{ze względu na beton} \quad P_{Rd} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} E_{cm})^{0,5} / \gamma_V$$

bez względu na to, która jest mniejsza, przy:

$$f_u = 470 - \text{wytrzymałość na rozciąganie trzpienia, } f_u \leq 500 \text{ MPa}$$

$$\alpha = 0,2(h_{sc}/d + 1) \quad \text{dla } 3 \leq h_{sc}/d \leq 4$$

$$\alpha = 1 \quad \text{dla } h_{sc}/d > 4$$

$$\gamma_V = 1,25 - \text{współczynnik częściowy}$$

$$f_{ck} = 30 - \text{wytrzymałość walcowa betonu na ściskanie}$$

$$h_{sc}/d = 9$$

$$\alpha = 1$$

$$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$$

$$P_{Rd} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d^2 / (4 \gamma_V) = 94,5 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} E_{cm})^{0,5} / \gamma_V = 90,9 \text{ kN}$$

Przyjmuję:

$$P_{Rd} = 90,9 \text{ kN}$$

**Rozstaw łączników**

$$t_f = b_{pg} = 0,030 \text{ m} - \text{grubość półki}$$

$$f_y = 355 \text{ MPa} - \text{nominalna granica plastyczności półki}$$

$$e = 22 t_f (235/f_y)^{0,5} = 0,537 \text{ m} \quad (\text{maksymalny rostaw założonych sworzni})$$

$$\text{Przyjęto } e = 0,170 \text{ m}$$

$$\text{Ilość sworzni na 1 mb } n_{sw} = 1/e \cdot n = 11,76 \text{ szt/m}$$

**Sprawdzenie nośności sworzni**

$$V_{LEd} / (n_{sw} \cdot P_{Rd}) = 1,105 \leq 1 - \text{warunek spełniony}$$

**Sprawdzenie docisku sworzni do betonu**

$$K = 4 + 2 F_1 / F - 5 (F_1 / F)^{0,5}$$

Gdzie:

K – współczynnik zwiększający naprężenia w betonie

 $F_1$  – powierzchnia docisku [ $\text{cm}^2$ ]F – powierzchnia obliczeniowa, na którą działa docisk [ $\text{cm}^2$ ]

$$F = b_o d_o$$

$$b_o = b_{pg} - \text{szerokość pasa stalowego [cm]} \quad 24 \text{ cm}$$

$$d_o = h_p - \text{grubość płyty betonowej [cm]} \quad 24 \text{ cm}$$

$$f_{cd} - \text{wytrż. oblicz. betonu na ściskanie} \quad 21,4 \text{ MPa}$$

$$F_1 = n \cdot d \cdot h_{sc} \cdot 0,5 \cdot \Pi = 113 \text{ cm}^2$$

$$F = b_o d_o = 576 \text{ cm}^2$$

$$F_1 / F = 0,20$$

$$K = 2,18$$

$$R_d = K \cdot f_{cd} = 46,7 \text{ MPa} \quad \text{wytrzymałość na docisk w betonie}$$

$$\sigma_{doc} = n \cdot P_{Rd} / F_1 = 16,1 < R_d = 46,7 - \text{warunek spełniony}$$

## 7. Ugięcie (Stany graniczne użytkowalności - SLS)

**Ugięcie dopuszczalne (od obciążeń ruchomych  $w_{rz}$ ):**

$$w_{dop} = L_t/600$$

$$w_{dop} = 41,7 \text{ mm}$$

$w_{rz}$  – ugięcie dźwigara zespolonego od obciążeń ruchomych

$$w_{rz} \leq w_{dop}$$

$$w_{rz} = 5/48 * I^{II} * M_{rk} * L_t^2 / (E_s * I_i) = 26 \text{ mm}$$

$$w_{rz} < w_{dop} = 41,7 \text{ mm} \quad \text{- warunek spełniony}$$

**Ugięcie całkowite (od obciążeń stałych i skurczu):**

$$w_{tot} = w_{ml} + \Delta w_{fsk} + \Delta w_{fzw}$$

$w_{ml}$  – ugięcie dźwigara w fazie I

$$w_{ml} = 5/48 * I^I * M_{sk} * L_t^2 / (E_s * I_s) = 28 \text{ mm}$$

$\Delta w_{fsk}$  – przyrost ugięcia dźwigara od skurczu po zespoleniu

$$\Delta w_{fsk} = M_{cs} * L_t^2 / (8 * E_s * I_s) * (1 - E_s * I_s / B_i)$$

$$M_{cs} = \epsilon_{cs} * E_s * I_s / a$$

$$\epsilon_{cs} = 0,000343$$

$$a = 0,978 \text{ m}$$

$$M_{cs} = 994,1 \text{ kNm}$$

$$B_i = 7544210 \text{ kNm}^2$$

$$\Delta w_{fsk} = 17 \text{ mm}$$

$\Delta w_{fzw}$  – przyrost ugięcia dźwigara od wyposażenia po zespoleniu

$$\Delta w_{fzw} = 5/48 * I^{II} * M_{sk} * L_t^2 / (E_s * I_{i,creep}) =$$

$$\Delta w_{fzw} = 6 \text{ mm}$$

$$\mathbf{w_{tot} = 52 \text{ mm}}$$

**Odwrotna strzałka ugięcia –  $w_c$**

$$w_c = w_{tot} + 0,5 w_{rz}$$

$$w_c = 65 \text{ mm}$$

Przyjęto odwrotną strzałkę ugięcia  $w_c$  równą **65 mm**