

Rys.1. Wymiary przekroju

**1. Dane wyjściowe (W)**

Długość przęsła - L	20.700	m
Rozpiętość teoretyczna - $L_t$	20.000	m
Grubość środnika - $g_s$	0.012	m
Wysokość środnika - $h_s$	1.50	m
Szerokość półki górnej - $b_g$	0.20	m
Grubość półki górnej - $g_g$	0.020	m
Szerokość półki dolnej - $b_d$	0.34	m
Grubość półki dolnej - $g_d$	0.032	m
Wysokość blachownicy - h	1.08	m
Szerokość płyty - $b_p$	14.56	m
Szerokość całkowita - $b_c$	14.66	m
Wysięg wspornika płyty - $b_z$	0.91	m
Rozstaw dźwig. skr. i przyskr. - $b_w$	1.82	m
Grubość płyty - $h_p$	0.24	m
Szerokość kapy lewej - $b_{kchL}$	2.76	m
Szerokość chodnika lewego - $b_{chL}$	2.00	m
Szerokość opaski lewej - $b_{opL}$	0.20	m
Szerokość kapy prawej - $b_{kchP}$	1.30	m
Szerokość opaski prawej - $b_{opP}$	0.50	m
Grubość kap chodnikowych - $h_{ch}$	0.24	m
Szerokość jezdni - $b_n$	10.50	m
Grubość nawierzchni - $h_n$	0.10	m
Grubość izolacji - $h_i$	0.005	m
Wysokość gzymsu - $h_{gz}$	0.60	m
Szerokość gzymsu - $b_{gz}$	0.05	m

**Material:**

Stal

$\gamma_s$ - 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

stal zbrojeniowa betonu BSt500

$f_{yk}$ =	500	MPa
$f_{yd}$ =	420	MPa
$f_u$ =	570	MPa

Beton C 30 / 37

$E_{cm} = E_{bno}$ -	32	GPa
$E_{bmo} = 1,6^{-1} * E_{bno}$ -	20	GPa
$f_{ck}$ =	30	MPa
$f_{ctk}$ =	2.0	MPa
$f_{cd}$ =	21.43	MPa
$f_{ctd}$ =	1.3	MPa
$f_{cm}$ =	38	MPa

Beton suchy zbrojony -	24	kN/m <sup>3</sup>
Beton mokry zbrojony -	25	kN/m <sup>3</sup>
Dodatek na zbrojenie -	1	kN/m <sup>3</sup>
Ciężar właściwy drewna -	6	kN/m <sup>3</sup>

		bwew		bskr								
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												

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

$$\gamma_{G,odc} = (\text{odc.}) = 0.9$$

$$\gamma_{Q,odc} = (\text{odc.}) = 0$$

$$\gamma_{q,odc} = (\text{odc.}) = 0$$

Współczynniki bezpieczeństwa - dla niekorzystnych wartości obciążeń

$$\gamma_{G,obc} = (\text{obc.}) = 1.35$$

$$\gamma_{G,obc} = (\text{obc.wyp.}) = 1.5$$

$$\gamma_{Q,obc} = (\text{obc.}) = 1.35$$

$$\gamma_{q,obc} = (\text{obc.}) = 1.35$$

## 2. Zebranie obciążeń charakterystycznych (W)

### 2.1. Obciążenia stałe

#### FAZA I - montażowa

Ciężary 'na belkę' podaje się jako linowe

Ciężar blachownicy	$q_{s,k} = (b_{pg} * h_{pg} + b_s * h_s + b_{pd} * h_{pd}) * \gamma_s$	2.58 kN/m
Ciężar płyty (mokry beton):	$q_{b,k} = (b_z + 0,5 * b_w) * h_p * \gamma_{\text{betonu}}$	10.92 kN/m
Ciężar łączników i stężeń	$q_{c,k} =$	1.00 kN/m
Ciężar deskowania	$q_{d,k} = 0,04m * (b_z + 0,5 * b_w + h_p - b_g) * \gamma_{\text{drewna}}$	0.45 kN/m

#### Zestawienie ciężarów w Fazie I

Belka skrajna	$q_{t,k}^I = q_{s,k} + q_{b,k} + q_{c,k} + q_{d,k}$	14.9 kN/m
---------------	---	-----------

#### FAZA II - użytkowa

Ciężary 'na pomost' podaje się jako powierzchniowe

Ciężar odparowanej wody na 1m <sup>2</sup> pomostu:	$q_{w,k} = h_p * 1 \text{ kN/m}^3$	-0.24 kN/m <sup>2</sup>
Ciężar zdemontowanego deskowania	$q_{d,k} = - q_{d,k} / (b_z + b_w / 2) =$	-0.25 kN/m <sup>2</sup>
Ciężar nawierzchni:	$q_{n,k} = h_n * 23 \text{ kN/m}^3$	2.30 kN/m <sup>2</sup>
Ciężar izolacji:	$q_{i,k} = h_i * 14 \text{ kN/m}^3$	0.07 kN/m <sup>2</sup>
Ciężar kapy chodnikowej i krawężnika:	$q_{ch,k} = h_{ch} * 25 \text{ kN/m}^3$	6.00 kN/m <sup>2</sup>
Balustrady, bariery, deski gzymsowe – obciążenia liniowe		
Bariery	$q_{ba,k}$	0.50 kN/m
Ciężar gzymsu	$q_{gz,k}$	0.75 kN/m

### 2.2. Obciążenia ruchome

#### LMI

TS		$\psi_{0,1}$ to:	kl. I	kl. II
PU1 2 siły Q <sub>1</sub> po 300 kN = 2 x 300 kN (opisywane jako Q <sub>11</sub> + Q <sub>12</sub> )	300 kN	$\alpha_{Q1} =$	1.00	1.00
PU2 2 siły Q <sub>2</sub> po 200 kN = 2 x 200 kN (opisywane jako Q <sub>21</sub> + Q <sub>22</sub> )	200 kN	$\alpha_{Q2} =$	1.00	1.00
PU3 2 siły Q <sub>3</sub> po 100 kN = 2 x 100 kN (opisywane jako Q <sub>31</sub> + Q <sub>32</sub> )	100 kN	$\alpha_{Q3} =$	1.00	1.00
UDL		$\alpha_{q1} =$	1.33	1.00
PU1 siła rozłożona q <sub>1</sub> = 9 kN/m <sup>2</sup>	9 kN/m <sup>2</sup>	$\alpha_{q2} =$	2.40	1.00
PU2 siła rozłożona q <sub>2</sub> = 2,5 kN/m <sup>2</sup>	2.5 kN/m <sup>2</sup>	$\alpha_{q3} =$	1.20	1.00
PU3 siła rozłożona q <sub>2</sub> = 2,5 kN/m <sup>2</sup>	2.5 kN/m <sup>2</sup>	$\alpha_{qi} =$	1.20	1.00
PU4 do n oraz OP siła rozłożona q <sub>4</sub> = 2,5 kN/m <sup>2</sup>	2.5 kN/m <sup>2</sup>	$\alpha_{qOP} =$	1.20	1.00

#### Obciążenie tłumem

$q_t = 3 \text{ kN/m}^2$	3 kN/m <sup>2</sup>
--------------------------	---------------------

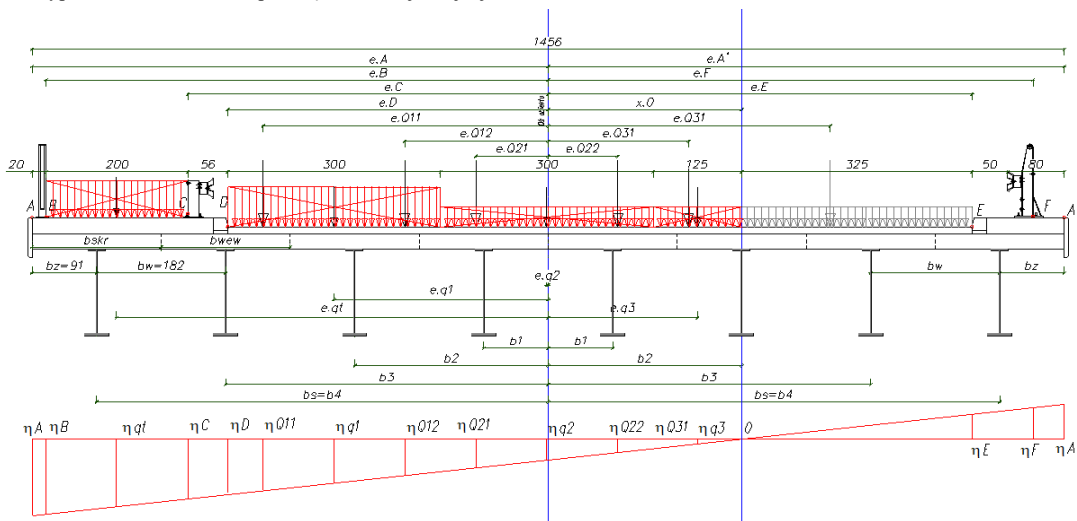
### 3. Obciążenia obliczeniowe

Tu przyjęta kombinacja obciążeń: STR

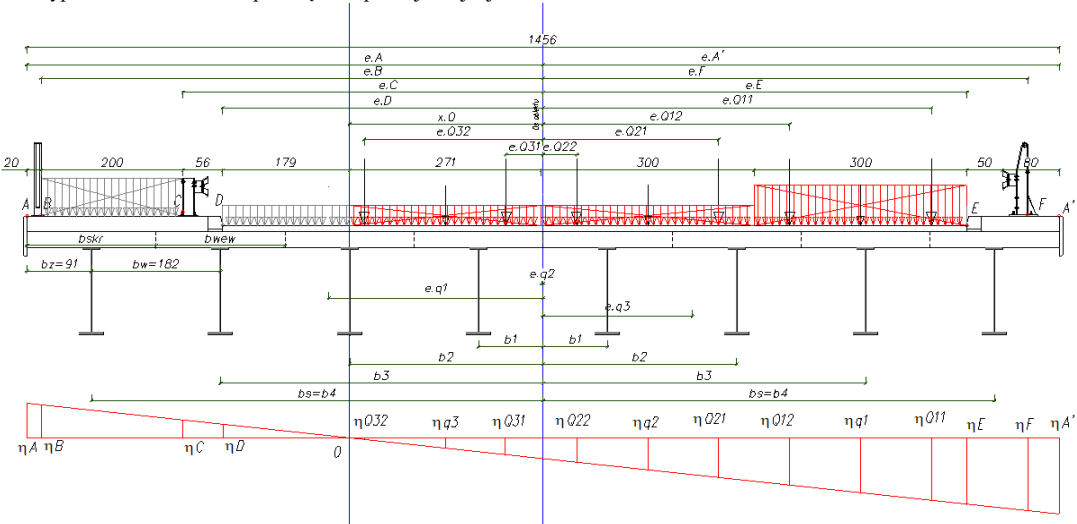
$$E_d = \gamma_{Sd} E \{ \gamma_{Gj} G_{k,j}; \gamma_P P; \gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1}; \gamma_{q,i} \Psi_{0,1} Q_{k,i} \} \quad j \geq 1; \quad i > 1$$

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

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



Rys.2b. Przypadek 2: LM1 i tłum - przeciężenie 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.

$$b_1 = 0.91 \text{ m} = b_1'$$

$$b_2 = 2.73 \text{ m} = b_2'$$

$$b_3 = 4.55 \text{ m} = b_3'$$

$$b_4 = 6.37 \text{ m} = b_4'$$

$$b_5 = 0.00 \text{ m} = b_5'$$

$$b_6 = 0.00 \text{ m} = b_6'$$

$$b_s = 6.37 \text{ m}$$

$$k = 8$$

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

Belki rozmieszczamy symetrycznie względem środka płyty (NIE JEZDNI!!!)

#### Odległości do punktów charakterystycznych przekroju

##### Rozpatrujemy przeciążenie dźwigara skrajnego prawego

$$e_{A(1)} = -7.28 \text{ m}$$

$$e_{B(1)} = -7.08 \text{ m}$$

$$e_{C(1)} = -5.08 \text{ m}$$

$$e_{D(1)} = -4.52 \text{ m}$$

$$e_{E(1)} = 5.98 \text{ m}$$

$$e_{F(1)} = 6.88 \text{ m}$$

$$e_{A'(1)} = 7.28 \text{ m}$$

W moim przypadku założyłem, że ustawianie pasów umownych 1, 2, 3 od prawej strony spowoduje wyższe przeciążenie skrajnej belki niż w przypadku ustawienia ich od strony lewej. W rzeczywistości oba przypadki były policzone, do algorytmu wybrałem ten bardziej niekorzystny.

##### Wartości rzędnych linii wpływu

$$1/k = 0.125$$

$$b_s / (2 \sum b_i^2) = 0.046$$

$${}^{IV}x_0 = -0.125 \quad / \quad 0.046$$

$${}^{IV}x_0 = -2.73 \text{ m}$$

$${}^{IV}\eta = 0.125 + e \cdot 0.046$$

W punktach charakterystycznych przekroju

$${}^{IV}\eta_{A(1)} = -0.208$$

$${}^{IV}\eta_{B(1)} = -0.199$$

$${}^{IV}\eta_{C(1)} = -0.108$$

$${}^{IV}\eta_{D(1)} = -0.082$$

$${}^{IV}\eta_{E(1)} = 0.399$$

$${}^{IV}\eta_{F(1)} = 0.440$$

$${}^{IV}\eta_{A'(1)} = 0.458$$

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

##### Pierwszy przypadek LM1 i LM4

$$e_{Q11(1)} = 5.48 \text{ m} \quad {}^{IV}\eta_{Q11(1)} = 0.376$$

$$e_{Q12(1)} = 3.48 \text{ m} \quad {}^{IV}\eta_{Q12(1)} = 0.284$$

$$e_{Q21(1)} = 2.48 \text{ m} \quad {}^{IV}\eta_{Q21(1)} = 0.239$$

$$e_{Q22(1)} = 0.48 \text{ m} \quad {}^{IV}\eta_{Q22(1)} = 0.147$$

$$e_{Q31(1)} = -0.52 \text{ m} \quad {}^{IV}\eta_{Q31(1)} = 0.101$$

$$e_{Q32(1)} = -2.52 \text{ m} \quad {}^{IV}\eta_{Q32(1)} = 0.010$$

$$e_{q1(1)} = 4.48 \text{ m} \quad {}^{IV}\eta_{q1(1)} = 0.330$$

$$e_{q2(1)} = 1.48 \text{ m} \quad {}^{IV}\eta_{q2(1)} = 0.193$$

$$e_{q3(1)} = -1.38 \text{ m} \quad {}^{IV}\eta_{q3(1)} = 0.062$$

$$e_{q(1)} = -6.08 \text{ m} \quad {}^{IV}\eta_{q(1)} = 0.000$$

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

obciążenie oddziałuje na szerokości PU1 i wynosi  $b_1 = 3.00 \text{ m}$   
obciążenie oddziałuje na szerokości PU2 i wynosi  $b_2 = 3.00 \text{ m}$   
obciążenie oddziałuje na szerokości PU3 ale tylko do  $x_0$  i wynosi  $b_2 = 2.72 \text{ m}$   
poza  $x_0$

### 3.2. Obciążenia przypadające na skrajny dźwigar :

Podstawy mostownictwa  
dr inż. M. Kowal

#### 3.2.1. Obciążenia stałe (charakterystyczne)

Odpar. woda oraz ciężar desk.	$q_{wk} + q_{dk} = 0,5 * (q_{wk} + q_{dk}) * [\eta_A * (e_A - x_0) + \eta_A * (x_0 - e_A)] =$	-0.88 kN/m
Nawierzchnia	$q_{nk} = 0,5 * q_{nk} * [\eta_E * (e_E - x_0) + (\eta_D) * (x_0 - e_D)] =$	3.83 kN/m
Izolacja	$q_{ik} = 0,5 * q_{ik} * [\eta_A * (e_A - x_0) + (\eta_A) * (x_0 - e_A)] =$	0.13 kN/m
Chodnik	$q_{chk} = 0,5 * q_{chk} * [(\eta_A + \eta_E) * (e_A - e_E) + (\eta_A + \eta_D) * (e_D - e_A)] =$	0.94 kN/m
Bariery	$q_{bak} = q_{bak} * (\eta_F + \eta_C + \eta_B) =$	0.07 kN/m
Gzyms	$q_{gzk} = q_{gzk} * (\eta_A + \eta_A) =$	0.19 kN/m

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

Odpar. woda oraz ciężar desk.	$q_{wd} + q_{dd} = 0,5 * (q_{wk} + q_{dk}) * [\gamma_{Gode} * \eta_A * (e_A - x_0) + \gamma_{Gobe} * \eta_A * (x_0 - e_A)] =$	-0.66 kN/m
Nawierzchnia	$q_{nd} = 0,5 * q_{nk} * [\gamma_{Gobe} * \eta_E * (e_E - x_0) + \gamma_{Gode} * (\eta_D) * (x_0 - e_D)] =$	5.84 kN/m
Izolacja	$q_{id} = 0,5 * q_{ik} * [\gamma_{Gobe} * \eta_A * (e_A - x_0) + \gamma_{Gode} * (\eta_A) * (x_0 - e_A)] =$	0.21 kN/m
Chodnik	$q_{chd} = 0,5 * q_{chk} * [\gamma_{Gobe} * (\eta_A + \eta_E) * (e_A - e_E) + \gamma_{Gode} * (\eta_A + \eta_D) * (e_D - e_A)] =$	2.07 kN/m
Bariery	$q_{bak} = q_{bak} * [\gamma_{Gobe} * \eta_F + \gamma_{Gode} * (\eta_C + \eta_D)] =$	0.19 kN/m
Gzyms	$q_{gzk} = q_{gzk} * (\gamma_{Gobe} * \eta_A + \gamma_{Gode} * \eta_A) =$	0.38 kN/m

#### 3.2.3. Obciążenia ruchome (charakterystyczne)

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

od Q <sub>1</sub> :	$\eta_{Q1} = 300kN * [ 2 * 0.125 + 0.046 * (e_{Q11} + e_{Q12})] =$	198.1 kN
od Q <sub>2</sub> :	$\eta_{Q2} = 200kN * ( 2 * 0.125 + 0.046 * (e_{Q21} + e_{Q22})] =$	77.1 kN
od Q <sub>3</sub> :	$\eta_{Q3} = 300kN * ( 2 * 0.125 + 0.046 * (e_{Q31} + e_{Q32})] =$	11.1 kN
od q <sub>1</sub> :	$\eta_{q1} = 9kPa * b_1 * \alpha ( 1 * 0.125 + 0.046 * e_{q1}) =$	11.9 kN/m
od q <sub>2</sub> :	$\eta_{q2} = 2.5kPa * b_2 * \alpha ( 1 * 0.125 + 0.046 * e_{q2}) =$	3.5 kN/m
od q <sub>3</sub> :	$\eta_{q3} = 2.5kPa * b_3 * \alpha ( 1 * 0.125 + 0.046 * e_{q3}) =$	0.5 kN/m
dla q <sub>t</sub> :	$\eta_{qt} = q_t * b_t * ( 1 * 0.125 + 0.046 * e_{qt}) =$	0.0 kN/m

#### 3.2.4. Obliczenie sił wewnętrznych

##### Faza I

Stale charakterystyczne

$$T_{sk} = q_{tk} * L / 2 = 155 \text{ kN}$$

$$M_{sk} = q_{tk} * L^2 / 8 = 747 \text{ kNm}$$

Stale obliczeniowe

$$T_{sd} = q_{td} * L / 2 = 232 \text{ kN}$$

$$M_{sd} = q_{td} * L^2 / 8 = 1121 \text{ kNm}$$

##### Faza II

Stale charakterystyczne

$$T_{sk} = (q_{wk} + q_{dk} + q_{nk} + q_{ik} + q_{chk} + q_{bak} + q_{gzk}) * L / 2 = 44 \text{ kN}$$

$$M_{sk} = (q_{wk} + q_{dk} + q_{nk} + q_{ik} + q_{chk} + q_{bak} + q_{gzk}) * L^2 / 8 = 213 \text{ kNm}$$

Stale obliczeniowe

$$T_{sd} = (q_{wd} + q_{dd} + q_{nd} + q_{id} + q_{chd} + q_{bak} + q_{gzd}) * L / 2 = 83 \text{ kN}$$

$$M_{sd} = (q_{wd} + q_{dd} + q_{nd} + q_{id} + q_{chd} + q_{bak} + q_{gzd}) * L^2 / 8 = 402 \text{ kNm}$$

Ruchome charakterystyczne LM1+LM4

$$T_{rk} = (\eta_{q1} + \eta_{q2} + \eta_{q3}) * L / 2 + (\eta_{Q1} + \eta_{Q2}) = 433 \text{ kN}$$

$$M_{rk} = (\eta_{q1} + \eta_{q2} + \eta_{q3}) * L^2 / 8 + (\eta_{Q1} + \eta_{Q2}) * L / 4 = 2223 \text{ kNm}$$

Ruchome obliczeniowe LM1+LM4

$$T_{rd} = \gamma_q * (\eta_{q1} + \eta_{q2} + \eta_{q3}) * L / 2 + \gamma_Q * (\eta_{Q1} + \eta_{Q2}) = 593 \text{ kN}$$

$$M_{rd} = \gamma_q * (\eta_{q1} + \eta_{q2} + \eta_{q3}) * L^2 / 8 + \gamma_Q * (\eta_{Q1} + \eta_{Q2}) * L / 4 = 2892 \text{ kNm}$$

**Całkowite charakterystyczne**

$$T_{k(1)} = 632 \text{ kN}$$

$$M_{k(1)} = 3183 \text{ kNm}$$

**Całkowite obliczeniowe**

$$T_{d(1)} = 909 \text{ kN}$$

$$M_{d(1)} = 4415 \text{ kNm}$$

#### 4. Wymiarowanie przekroju

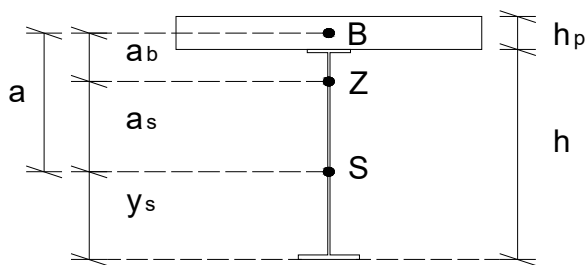
##### 4.1. Wyznaczenie szerokości płyty współpracującej (wg EN 1994-2 Roz.5.4.1.2) (W)

$$b_{\text{eff}} = b_0 + \sum b_{ci} \leq b$$

$b_0 =$	0.132	m	
$L_e =$	20.000	m	
$b_z =$	0.910	m	=b1
$b_{w/2} =$	0.910	m	=b2
$b_{ci} = \min\{L_e/8; b_i\}$			
$b_{c1} = \min$	2.500	m	
	0.844	m	
$b_{c1} =$	0.844	m	
$b_{c2} = \min$	2.500	m	
	0.844	m	
$b_{c2} =$	0.844	m	
$b_{\text{eff},1} =$	1.820	m	$\leq 1.820 \text{ m}$

##### 4.2. Parametry geometryczne przekroju zespolonego (W)

###### 4.2.1. W metodzie bezpośredniej



Rys.4. Przekrój zespolony

$n_o = E_s/E_{cm}$	6.438
$m_o = E_s/E_{bmo}$	10.300
$A_s = b_g \cdot h_g + b_s \cdot h_s + b_d \cdot h_d =$	0.033 m <sup>2</sup>
$A_b = h_p \cdot b_{\text{eff}} =$	0.437 m <sup>2</sup>
$A_z = A_s + A_b/n_o =$	0.101 m <sup>2</sup>
$S_{xx}^{\text{stali}} =$	0.020 m <sup>3</sup>
$y_s = S_{xx}^{\text{stali}} / A_s =$	0.621 m
$a = h - y_s + h_p/2 =$	0.579 m
$A_z \cdot a_b = A_s \cdot a =$	0.189 m
$a_b = A_s \cdot a / A_z =$	0.390 m
$J_b = b_p \cdot h_p^3 / 12 =$	0.002097 m <sup>4</sup>

$$J_s = b_g \cdot h_g^3 / 12 + b_g \cdot h_g \cdot (h - y_s - h_g/2)^2 + b_s \cdot h_s^3 / 12 + b_s \cdot h_s \cdot (h_s/2 + h_d - y_s)^2 + b_d \cdot h_d^3 / 12 + b_d \cdot h_d \cdot (y_s - h_d/2)^2 = 0.008630 \text{ m}^4$$

$$J_z = J_s + J_b/m_o + a^2 \cdot A_s \cdot A_b / (n_o \cdot A_z) = 0.016259 \text{ m}^4$$

###### Sztywności osiowe

$D_s = A_s \cdot E_s =$	6773280 kN
$D_b = A_b \cdot E_{bno} =$	13977600 kN
$D_z = D_b + D_s =$	20750880 kN

###### Sztywności giętne

$B_s = J_s \cdot E_s =$	1777867 kNm <sup>2</sup>
$B_b = J_b \cdot E_{bmo} =$	41933 kNm <sup>2</sup>
$B_z = B_s + B_b + a^2 \cdot D_b \cdot D_z =$	3349374 kNm <sup>2</sup>

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

### 5.1. Faza I – pracuje tylko stal

Naprężenia od obciążeń stałych

$$\sigma_s = M_s / J_s * y$$

$$\sigma_s^3 = M_s / J_s * y = -59.6 \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_s^4 = M_s / J_s * y = 80.7 \quad \text{MPa}$$

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

$$\sigma_s = M / J_z * y_z$$

$$\sigma_b = M / (m_0 * J_z) * [y_b - a * A_s * m_0 / (A_z * n_0)]$$

$$a * A_s * m_0 / (A_z * n_0) = 0.302 \quad \text{m}$$

### Naprężenia od obciążeń stałych

$$\sigma_1^s = M_{sd} / (m_0 * J_z) * [-h_p / 2 - a * A_s * m_0 / (A_z * n_0)] = -1.0 \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_2^s = M_{sd} / (m_0 * J_z) * [h_p / 2 - a * A_s * m_0 / (A_z * n_0)] = -0.4 \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_3^s = M_{sd} / J_z * (y_s + a_s - h) = -1.7 \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_4^s = M_{sd} / J_z * (y_s + a_s) = 25.0 \quad \text{MPa}$$

### Naprężenia od obciążeń ruchomych

$$\sigma_1^r = M_{rd} / (m_0 * J_z) * [-h_p / 2 - a * A_s * m_0 / (A_z * n_0)] = -7.3 \quad \text{MPa}$$

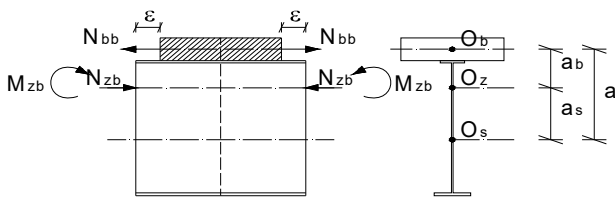
$$\sigma_2^r = M_{rd} / (m_0 * J_z) * [h_p / 2 - a * A_s * m_0 / (A_z * n_0)] = -3.1 \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_3^r = M_{rd} / J_z * (y_s + a_s - h) = -12.3 \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_4^r = M_{rd} / J_z * (y_s + a_s) = 179.8 \quad \text{MPa}$$

### 5.3. Skurcz betonu bez pełzania

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



Rys.8. 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

$$\epsilon_{cd} = \epsilon_{cd,0} = k_{fr} * \epsilon_{cd,0}$$

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

$$\alpha_{ds1} = 4$$

$$\alpha_{ds2} = 0.12$$

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

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

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

$$RH = 70$$

$$RH_0 = 100$$

$$\beta_{RH} = 1,55 * [1 - (70 / 100)^3] = 1.018350$$

$$\epsilon_{cd,0} = 0.000362 \quad \text{-skurcz swobodny}$$

$k_{h1}$  – współczynnik zależny od wymiaru  $h_0$  [interpolując z Tablicy 3.3]

$h_0 = 2A_c/u$  – miarodajny wymiar przekroju

$A_c$  – pole przekroju betonu,

$u$  – obwód pola przekroju betonu stykającego się z powietrzem, przynajmniej okresowo.

$$h_0 = 2 * A_c / (b + b + h_p - b_{pg}) = 237 \text{ mm}$$

$$k_{h1} = (200 - h_0) * (0,85 - 0,75) / (300 - 200) + 0,85 = 0,813$$

$$k_{h2} = (300 - h_0) * (0,85 - 0,75) / (300 - 200) + 0,75 = 0,813$$

$$\epsilon_{cd} = k_{h1} * \epsilon_{cd,0} = 0,000294$$

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

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca} = 0,000344$$

$$N_{bb} = -N_{zb} = \epsilon_{cs} E_s A_b / n_o$$

$$M_{zb} = a_b N_{bb} = a_b \epsilon_{cs} E_s A_b / n_o$$

$$N_{bb} = 4812 \text{ kN}$$

$$N_{zb} = -4812 \text{ kN}$$

$$M_{zb} = 909 \text{ kNm}$$

#### Naprężenia od skurczu

$$\sigma_b^{sk} = N_{bb} / A_b + N_{zb} / (n_o A_z) + M_{zb} / (m_o J_z) * (y_b - a_b * m_o / n_o)$$

$$\sigma_1^{sk} = N_{bb} / A_b + N_{zb} / (n_o A_z) + M_{zb} / (m_o J_z) * (-h_p / 2 - a_b * m_o / n_o) = 1,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2^{sk} = N_{bb} / A_b + N_{zb} / (n_o A_z) + M_{zb} / (m_o J_z) * (h_p / 2 - a_b * m_o / n_o) = 2,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3^{sk} = N_{zb} / A_z + M_{zb} * y_b / J_z$$

$$\sigma_3^{sk} = N_{zb} / A_z + M_{zb} * (-h + y_z) / J_z = -51,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4^{sk} = N_{zb} / A_z + M_{zb} * y_z / J_z = 8,8 \text{ MPa}$$

#### 5.4. Naprężenia od zmian temperatury

$$\epsilon_t = \alpha_t * \Delta_t$$

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

$$\Delta_t = \pm 20 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$\epsilon_t = 0,000240$$

$$\epsilon_{cs} = 0,000344$$

$$\epsilon_t / \epsilon_{cs} = 0,70$$

#### Naprężenia od zmian temperatury

$$\sigma_1^t = \pm 0,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2^t = \pm 1,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3^t = \pm -36,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4^t = \pm 6,1 \text{ MPa}$$

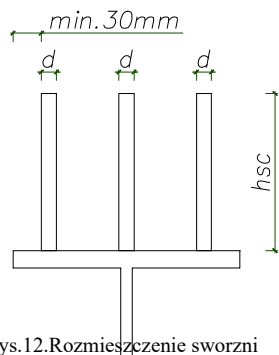
#### 5.5. Zestawienie naprężeń normalnych [MPa]

##### Metoda bezpośrednia

Poziom naprężen	Faza I	Faza II				Razem		
		Od obciążeń stałych	Od obciążeń ruchomych	Od skurczu bez pełzania	Od zmian temperatury		A+B+C+D+E	A+B+C+D+F
	A	B	C	D	E	F		
1	-	-1.0	-7.3	1.3	-0.9	0.9	-7.9	-6.1
2	-	-0.4	-3.1	2.6	-1.8	1.8	-2.8	0.8
3	-59.6	-1.7	-12.3	-51.6	36.0	-36.0	-89.2	-161.2
4	80.7	25.0	179.8	8.8	-6.1	6.1	288.1	300.4

$\sigma_{bmax} =$	7.9	MPa < $f_{cd} =$	21.4 MPa	36.9%	maksymalne ściskanie betonu
$\sigma_{smaxFI} =$	81	MPa < $f_{yd} =$	309 MPa		maksymalne naprężenia w stali w Fazie I
$\sigma_{smaxFII} =$	300	MPa < $f_{yd} =$	309 MPa		maksymalne naprężenia w stali w Fazie II
$\sigma_{sminFII.4} =$	288	MPa < $f_{yd} =$	309 MPa	> 0,60 $f_{yd} =$	185 MPa minimalne naprężenia w stali w Fazie II



**6.Sprawdzenie naprężeń stycznych nad podporą (PN-EN 1993-1-1 str. 56) (5)****7.Obliczenie słupka podporowego (wg EN 1993-1-5 Roz.9) (5)****8.Obliczenie spoin łączących pasy ze środkiem (5)****9. Sprawdzenie stateczności środka (EN 1993-1-5 Roz.5) (5)****10.Obliczenie połączenia między płytą betonową a dźwigarem stalowym. Wg EN 1994-2 Rozdział 9 (W)**

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  $n = 3 \text{ szt.}$ 

Maksymalna podłużna siła ścinająca na styku stali z betonem:

$$V_{LEd} = 0,5^I T_{sd} + {}^{II}T_d = 1025 \text{ kN}$$

**Nośność obliczeniowa trzpienia**

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

lub

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

bez względu na to, która jest mniejsza, przy:

 $f_u = 470$  - wytrzymałość na rozciąganie trzpienia,  $f_t \leq 500 \text{ MPa}$  $\alpha = 0,2(h_{sc}/d + 1)$  dla  $3 \leq h_{sc}/d \leq 4$  $\alpha = 1$  dla  $h_{sc}/d > 4$  $\gamma_V = 1,25$  - współczynnik częściowy $f_{ck} = 30$  - wytrzymałość walcząca 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** $t_f = b_{pg} = 0,020 \text{ m}$  - grubość półki $f_y = 355 \text{ MPa}$  - nominalna granica plastyczności półki $e = 22 t_f (235/f_y)^{0,5} = 0,358 \text{ m}$  (maksymalny rozstaw założonych sworzni)Przyjęto  $e = 0,250 \text{ m}$ Ilość sworzni na 1 mb  $n_{sw} = 1/e \cdot n = 12 \text{ szt/m}$ **Sprawdzenie nośności sworzni**

$$V_{LEd} / (n_{sw} \cdot P_{Rd}) = 0,939 \leq 1 \text{ - warunek spełniony}$$

**Sprawdzenie docisku sworzni do betonu**

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

Gdzie:

 $K$  - współczynnik zwiększający naprężenia w betonie $F_1$  - powierzchnia docisku [ $\text{cm}^2$ ] $F$  - powierzchnia obliczeniowa, na którą działa docisk [ $\text{cm}^2$ ] $F = b_o d_o$  $b_o = b_{pg}$  - szerokość pasa stalowego [cm] 20 cm $d_o = h_p$  - grubość płyty betonowej [cm] 24 cm $f_{cd}$  - wytrz. oblicz. betonu na ściskanie 21,4 MPa

$$F_1 = n \cdot d \cdot h_{sc} \cdot 0,5 \cdot \pi = 170 \text{ cm}^2$$

$$F = b_o d_o = 480 \text{ cm}^2$$

$$F_1/F = 0,35$$

$$K = 1,73$$

$$R_d = K \cdot f_{cd} = 37,2 \text{ MPa}$$
 wytrzymałość na docisk w betonie

$$\sigma_{doc} = n \cdot P_{Rd} / F_1 = 16,1 < R_d = 37,2 \text{ - warunek spełniony}$$

**11.Sprawdzenie naprężeń ścinających w betonie płyty (5)****12. Obliczenie płyty (jak pasmo płytowe) (W)****13.Ugięcie (Stany graniczne użytkowości) (W)****Ugięcie dopuszczalne (od obciążeń ruchomych  $w_{rz}$ ):**

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

$$w_{dop} = 33.3 \text{ mm}$$

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

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

$$w_{rz} = 5/48 * I_{M_{rk}} * L_t^2 / (E_s * J_z) = 28 \text{ mm}$$

$$w_{rz} < w_{dop} = 33.3 \text{ mm} \quad \text{- warunek spełniony}$$

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

$$w_{tot} = w_m + \Delta w_{fs} + \Delta w_{fzw}$$

 $w_m$  – ugięcie dźwigara w fazie montażowej (fazie I)

$$w_m = 5/48 * I_{M_{sk}} * L_t^2 / (E_s * J_s) = 18 \text{ mm}$$

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

$$\Delta w_{fs} = M * L_t^2 / (8 * E_s * J_s) * (1 - E_s * J_s / B_z)$$

$$M = \epsilon_{cs} * E_s * J_s / a$$

$$\epsilon_{cs} = 0.000344$$

$$a = 0.579 \text{ m}$$

$$M = 1057.0 \text{ kNm}$$

$$\Delta w_{fs} = 14 \text{ mm}$$

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

$$\Delta w_{fzw} = 5/48 * I_{M_{sk}} * L_t^2 / (E_s * J_z) = 3 \text{ mm}$$

$$w_{tot} = 34 \text{ mm}$$

**Odwrotna strzałka ugięcia –  $w_c$** 

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

$$w_c = 48 \text{ mm}$$

Przyjęto odwrotną strzałkę ugięcia  $w_c$  równą

48 mm