

**Przekrój ustroju niosącego**

**1.Dane wyjściowe (W)**

Długość przęsła - L	20.700	m
Rozpiętość teoretyczna – L <sub>t</sub>	20.000	m
Grubość środnika – g <sub>s</sub>	0.012	m
Wysokość środnika - h <sub>s</sub>	1.060	m
Szerokość półki górnej - b <sub>g</sub>	0.180	m
Grubość półki górnej - g <sub>g</sub>	0.020	m
Szerokość półki dolnej - b <sub>d</sub>	0.200	m
Grubość półki dolnej - g <sub>d</sub>	0.020	m
Wysokość blachownicy – h	1.100	m
Szerokość chodnika - b <sub>p</sub>	4.900	m
Szerokość całkowita - b <sub>c</sub>	5.400	m
Wysięg wspornika płyty - b <sub>z</sub>	0.900	m
Szerokość płyty wewn. - b <sub>w</sub>	1.800	m
Grubość płyty - h <sub>p</sub>	0.190	m
Grubość izolacji - h <sub>i</sub>	0.010	m
Wysokość gzymsu - h <sub>gz</sub>	0.330	m
Szerokość gzymsu - b <sub>gz</sub>	0.250	m

**Materiał:**

Stal				Beton C	30	/	37				
γ <sub>s</sub> – ciężar właściwy stali	78.5	kN/m <sup>3</sup>		E <sub>cm</sub> = E <sub>bno</sub> -				32	GPa		
E <sub>s</sub> -	206	GPa		E <sub>bmo</sub> = 1,6 <sup>-1</sup> * E <sub>bno</sub> -				20	GPa		
Dźwigar - stal konstrukcyjna	S355	zbrojenie betonu	BSt500	f <sub>ck</sub> =	30	MPa	f <sub>ctk</sub> =	2.0	MPa		
f <sub>yk</sub> =	355	MPa	f <sub>yk</sub> =	500	MPa	f <sub>cd</sub> =	21.4	MPa	f <sub>ctd</sub> =	1.3	MPa
f <sub>yd</sub> =	309	MPa	f <sub>yd</sub> =	420	MPa	f <sub>cm</sub> =	38	MPa			
f <sub>u</sub> =	470	MPa	f <sub>u</sub> =	570	MPa						
				Ciężar właściwy betonu							
				Beton suchy -			24	kN/m <sup>3</sup>			
				Beton mokry -			25	kN/m <sup>3</sup>			
				Dodatek na zbrojenie -			1	kN/m <sup>3</sup>			
				Ciężar właściwy drewna –			6	kN/m <sup>3</sup>			
Współczynniki bezpieczeństwa				γ <sub>G,obc</sub> = (obc.wyp.)	1.5	γ <sub>G,obc</sub> = (obc.bet)	1.35				
γ <sub>0</sub> = γ <sub>M0</sub> =	1.00	γ <sub>G,odc</sub> = (odc.)	0.9	γ <sub>Q,obc</sub> = (obc.)	1.35						
γ <sub>1</sub> = γ <sub>M1</sub> =	1.10	γ <sub>Q,odc</sub> = (odc.)	0	γ <sub>q,obc</sub> = (obc.)	1.35						
γ <sub>2</sub> = γ <sub>M2</sub> =	1.25	γ <sub>q,odc</sub> = (odc.)	0								

2.1. Obciążenia stałe

FAZA I

Ciężary 'na belkę' podaje się jako linowe

Ciężar blachownicy	$q_{s.k} = (b_{pg} * h_{pg} + b_s * h_s + b_{pd} * h_{pd}) * \gamma_s$	1.60 kN/m
Ciężar płyty (mokry beton) belki skrajnej:	$q_{bt.k} = (b_z + 0,5 * b_w) * h_p * \gamma_{betonu}$	8.55 kN/m
Ciężar płyty (mokry beton) belki przyskrajnej:	$q_{bm.k} = b_w * h_p * \gamma_{betonu}$	8.55 kN/m
Ciężar łączników i stężeń	$q_{c.k} =$	1.00 kN/m
Ciężar deskowania belki skrajnej	$q_{dt.k} = 0,04m * (b_z + 0,5 * b_w + h_p - b_g) * \gamma_{drewna}$	0.43 kN/m
Ciężar deskowania belki przyskrajnej	$q_{dm.k} = 0,04m * (2 * 0,5 * b_w - b_g) * \gamma_{drewna}$	0.39 kN/m

Zestawienie ciężarów w Fazie I

Belka skrajna	$q_{t.k}^I = q_{s.k} + q_{bt.k} + q_{c.k} + q_{dt.k}$	11.6 kN/m
Belka przyskrajna	$q_{m.k}^I = q_{s.k} + q_{bm.k} + q_{c.k} + q_{dm.k}$	11.5 kN/m

FAZA II

Ciężary 'na pomost' podaje się jako powierzchniowe

Ciężar odparowanej wody na 1m <sup>2</sup> pomostu:	$q_{w.k} = h_p * 1 \text{ kN/m}^3$	-0.19 kN/m <sup>2</sup>
Ciężar zdemontowanego deskowania	$q_{d.k} = - q_{dt.k} / (b_z + b_w / 2)$	-0.24 kN/m <sup>2</sup>
Ciężar izolacji:	$q_{i.k} = h_i * 14 \text{ kN/m}^3$	0.14 kN/m <sup>2</sup>
Balustrady, bariery, deski gzymsowe – obciążenia liniowe		
Bariery	$q_{ba.k}$	0.50 kN/m
Ciężar gzymsu	$q_{gz.k}$	2.06 kN/m

2.2. Obciążenia ruchome

LM4

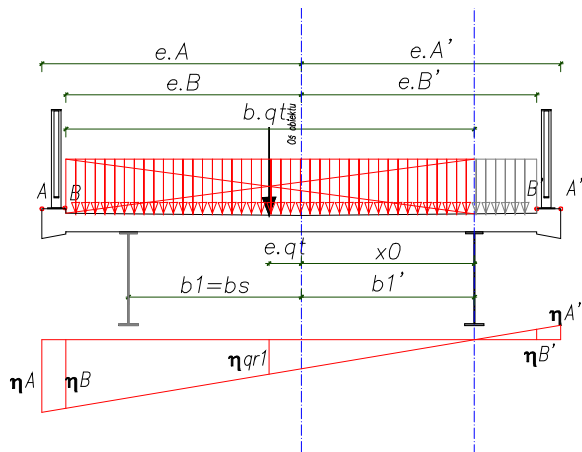
$q_r = 5 \text{ kN/m}^2$   $5 \text{ kN/m}^2$

3. Obciążenia obliczeniowe

Tu przyjęta kombinacja obciążeń: STR

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

3.1. Rozkład poprzeczny obciążeń: Metoda sztywnej poprzeczniczy (W)



$\eta$  – 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.

$$b_1 = 1.80 \text{ m} \quad = b_1'$$

$$b_s = 1.80 \text{ m}$$

$$k = 2$$

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

**Odległości do punktów charakterystycznych przekroju**

**Pierwszy przypadek (W)**

**Rozpatrujemy lewy dźwigar skrajny**

$$e_{A(1)} = 2.70 \text{ m}$$

$$e_{B(1)} = 2.45 \text{ m}$$

$$e_{B'(1)} = -2.45 \text{ m}$$

$$e_{A'(1)} = -2.70 \text{ m}$$

**Wartości rzędnych linii wpływu**

**Dla dźwigara skrajnego (W)**

$$1/k = 0.500$$

$$b_s / (2 \sum b_i^2) = 0.278$$

$${}^{IV}x_0 = -0.500 \quad / \quad 0.278$$

$${}^{IV}x_0 = -1.80 \text{ m}$$

$${}^{IV}\eta = 0.500 + e * 0.278$$

W punktach charakterystycznych przekroju

**Pierwszy przypadek (W)**

$${}^{IV}\eta_{A(1)} = 1.250$$

$${}^{IV}\eta_{B(1)} = 1.181$$

$${}^{IV}\eta_{B'(1)} = -0.181$$

$${}^{IV}\eta_{A'(1)} = -0.250$$

**Wyznaczenie odległości sił i wartości obciążeń dwóch przypadków obciążenia skrajnego dźwigara**

$$e_{qt(1)} = 0.33 \text{ m} \quad {}^{IV}\eta_{qt(1)} = 0.590$$

### 3.2. Przypadek (1) Obciążenia przypadające na skrajny dźwigar (W):

Podstawy mostownictwa  
dr inż. M. Kowal

#### 3.2.1. Obciążenia stałe (charakterystyczne)

Odpar. woda oraz ciężar desk.	$q_{w,k} + q_{d,k} = 0,5 * (q_{w,k} + q_{d,k}) * [\eta_A * (e_A - x_0) + \eta_{A'} * (x_0 - e_{A'})] =$	-1.16 kN/m
Izolacja	$q_{i,k} = 0,5 * q_{ik} * [\eta_A * (e_A - x_0) + (\eta_{A'}) * (x_0 - e_{A'})] =$	0.38 kN/m
Bariery	$q_{ba,k} = q_{bak} * (\eta_B + \eta_{B'}) =$	0.50 kN/m
Gzyms	$q_{gz,k} = q_{gzk} * (\eta_A + \eta_{A'}) =$	2.06 kN/m

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

Odpar. woda oraz ciężar desk.	$q_{wd} + q_{dd} = 0,5 * (q_{w,k} + q_{d,k}) * [\gamma_{Gode} * \eta_A * (e_A - x_0) + \gamma_{Gobc} * \eta_{A'} * (x_0 - e_{A'})] =$	-1.02 kN/m
Izolacja	$q_{id} = 0,5 * q_{ik} * [\gamma_{Gobc} * \eta_A * (e_A - x_0) + \gamma_{Gode} * (\eta_{A'}) * (x_0 - e_{A'})] =$	0.58 kN/m
Bariery	$q_{ba,d} = q_{bak} * [\gamma_{Gobc} * (\eta_B + \eta_{B'}) + \gamma_{Gode} * \eta_F] =$	0.80 kN/m
Gzyms	$q_{gz,d} = q_{gzk} * (\gamma_{Gobc} * \eta_A + \gamma_{Gode} * \eta_{A'}) =$	3.40 kN/m

#### 3.2.3. Obciążenia ruchome (charakterystyczne)

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

dla  $q_t$ :  $\eta_{qt} = q_t * bt * (1 * 0.500 + 0.278 * e_{qt}) = 15.7 \text{ kN/m}$

#### 3.2.4. Obliczenie sił wewnętrznych

##### Faza I

Stale charakterystyczne

$T_{sk} = q_{tk} * L/2 = 120 \text{ kN}$   
 $M_{sk} = q_{tk} * L^2/8 = 579 \text{ kNm}$

Stale obliczeniowe

$T_{sd} = q_{td} * L/2 = 180 \text{ kN}$   
 $M_{sd} = q_{td} * L^2/8 = 868 \text{ kNm}$

##### Faza II

Stale charakterystyczne

$T_{sk} = (q_{wk} + q_{dk} + q_{ik} + q_{bak} + q_{gzk}) * L/2 = 18 \text{ kN}$   
 $M_{sk} = (q_{wk} + q_{dk} + q_{ik} + q_{bak} + q_{gzk}) * L^2/8 = 89 \text{ kNm}$

Stale obliczeniowe

$T_{sd} = (q_{wd} + q_{dd} + q_{id} + q_{ba,d} + q_{gz,d}) * L/2 = 39 \text{ kN}$   
 $M_{sd} = (q_{wd} + q_{dd} + q_{id} + q_{ba,d} + q_{gz,d}) * L^2/8 = 188 \text{ kNm}$

Ruchome charakterystyczne LM1+LM4

$T_{rk} = (\eta_q) * L/2 = 157 \text{ kN}$   
 $M_{rk} = (\eta_q) * L^2/8 = 784 \text{ kNm}$

Ruchome obliczeniowe LM1+LM4

$T_{rd} = \gamma_q * (\eta_q) * L/2 = 212 \text{ kN}$   
 $M_{rd} = \gamma_q * (\eta_q) * L^2/8 = 1058 \text{ kNm}$

#### Całkowite charakterystyczne

$T_{k(1)} = 295 \text{ kN}$   
 $M_{k(1)} = 1452 \text{ kNm}$

#### Całkowite obliczeniowe

$T_{d(1)} = 430 \text{ kN}$   
 $M_{d(1)} = 2115 \text{ kNm}$

#### Siły wewnętrzne maksymalne (obciążenia stałe+LM4)

Charakterystyczne	Obliczeniowe
$T_{sk} = 120 \text{ kN}$	$T_{sd} = 180 \text{ kN}$
$M_{sk} = 579 \text{ kNm}$	$M_{sd} = 868 \text{ kNm}$
$T_{sk} = 18 \text{ kN}$	$T_{sd} = 39 \text{ kN}$
$M_{sk} = 89 \text{ kNm}$	$M_{sd} = 188 \text{ kNm}$
$T_{rk} = 157 \text{ kN}$	$T_{rd} = 212 \text{ kN}$
$M_{rk} = 784 \text{ kNm}$	$M_{rd} = 1058 \text{ kNm}$
<b>Charakterystyczne łącznie</b>	<b>Obliczeniowe łącznie</b>
$T_k = 295 \text{ kN}$	$T_d = 430 \text{ kN}$
$M_k = 1452 \text{ kNm}$	$M_d = 2115 \text{ kNm}$

#### 4. Wymiarowanie przekroju (W)

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

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

$$c = 0.030 \quad m$$

$$D = 0.016 \quad m$$

$$b_g = 0.180$$

$$b_0 = b_g - 2c = 0.104 \quad m$$

$$L_e = 20.000 \quad m$$

$$b_z = 0.900 \quad m = b1$$

$$b_w = 1.800 \quad m = b2$$

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

$$b_{e1} = \min \quad 2.500 \quad m$$

$$0.848 \quad m$$

$$b_{e1} = 0.848 \quad m$$

$$b_{e2} = \min \quad 2.500 \quad m$$

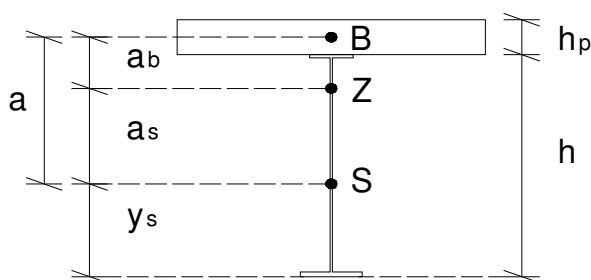
$$1.748 \quad m$$

$$b_{e2} = 1.748 \quad m$$

$$b_{eff,1} = 2.700 \quad m \leq 2.700 \quad m$$

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

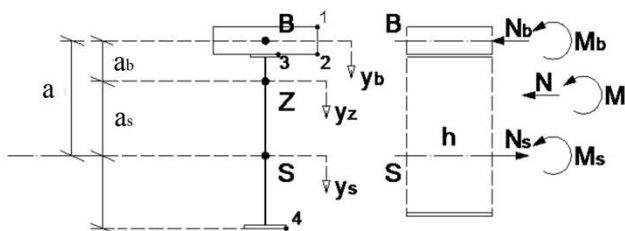
###### 4.2.1. W metodzie bezpośredniej



Rys.4. Przekrój zespolony

$n_0 = E_s/E_{cm}$	6.438
$m_0 = E_s/E_{bmo}$	10.300
$A_s = b_g \cdot h_g + b_s \cdot h_s + b_d \cdot h_d =$	0.020 m <sup>2</sup>
$A_b = h_p \cdot b_{eff} =$	0.513 m <sup>2</sup>
$A_z = A_s + A_b/n_0 =$	0.100 m <sup>2</sup>
$S_{xx}^{stali} =$	0.011 m <sup>3</sup>
$y_s = S_{xx}^{stali} / A_s =$	0.539 m
$a = h - y_s + h_p/2 =$	0.656 m
$A_z \cdot a_b = A_s \cdot a =$	
$a_b = A_s \cdot a / A_z =$	0.133 m
$a_s = a - a_b =$	0.522 m
$J_b = b_p \cdot h_p^3 / 12 =$	0.001543 m <sup>4</sup>
$J_s = b_g \cdot h_g^3 / 12 + b_g \cdot h_g \cdot (h - y_s - h_g/2)^2 + b_s \cdot h_s^3 / 12 + b_s \cdot h_s \cdot (h/2 + h_d - y_s)^2 + b_d \cdot h_d^3 / 12 + b_d \cdot h_d \cdot (y_s - h_d/2)^2 =$	0.003405 m <sup>4</sup>
$J_z = J_s + J_b/m_0 + a^2 \cdot A_s \cdot A_b / (n_0 \cdot A_z) =$	0.010515 m <sup>4</sup>

###### 4.2.2. W metodzie pośredniej



Rys.6. Przekrój zespolony

###### Sztywności osiowe

$$D_s = A_s \cdot E_s = 4185920 \quad kN$$

$$D_b = A_b \cdot E_{bmo} = 16416000 \quad kN$$

$$D_z = D_b + D_s = 20601920 \quad kN$$

###### Sztywności giętne

$$B_s = J_s \cdot E_s = 701430 \quad kNm^2$$

$$B_b = J_b \cdot E_{bmo} = 30866 \quad kNm^2$$

$$B_z = B_s + B_b + a^2 \cdot D_b \cdot D_s / D_z = 2166028 \quad kNm^2$$

$$\sigma_s = M_s / J_s \cdot y_s + N_s / A_s$$

$$\sigma_b = M_b / J_b \cdot y_b + N_b / A_b$$

$$N_s = -N_b = a \cdot M / B_z \cdot D_b \cdot D_s / D_z$$

$$N_b = -N_s = -a \cdot M / B_z \cdot D_b \cdot D_s / D_z$$

$$N_s = -N_b = 1.009591 \cdot M \quad (*M \text{ (moment zewnętrzny } M_{zd}; M_{rd)})$$

$$N_b = -N_s = -1.009591 \cdot M$$

$$M_s = M \cdot B_s / B_z$$

$$M_b = M \cdot B_b / B_z$$

$$M_s = 0.323832 \cdot M$$

$$M_b = 0.014250 \cdot M$$

UWAGA: M - to siła zewnętrzna oddziałująca na przekrój zespolony w metodzie pośredniej

5.1. Faza I – praca tylko stal

Naprężenia od obciążeń stałych

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

$$\sigma_s^3 = M_s / J_s * y = -143.0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s^4 = M_s / J_s * y = 137.6 \text{ MPa}$$

5.2. Faza II – beton wciągnięty do współpracy

Metoda pośrednia

Sily wewnętrzne do naprężeń od obciążeń stałych

$$N_s^s = 1.009591 * M_{sd} = 190.0 \text{ kN}$$

$$N_b^s = -1.009591 * M_{sd} = -190.0 \text{ kN}$$

$$M_s^s = 0.323832 * M_{sd} = 61.0 \text{ kNm}$$

$$M_b^s = 0.014250 * M_{sd} = 2.7 \text{ kNm}$$

Naprężenia od obciążeń stałych

$$\sigma_1^s = M_b^s / J_b * (-h_p/2) + N_b^s / A_b = -0.5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2^s = M_b^s / J_b * (h_p/2) + N_b^s / A_b = -0.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3^s = M_s^s / J_s * (-h + y_s) + N_s^s / A_s = -0.7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4^s = M_s^s / J_s * y_s + N_s^s / A_s = 19.0 \text{ MPa}$$

Sily wewnętrzne do naprężeń od obciążeń ruchomych

$$N_s^r = 1.009591 * M_{rd} = 1068.5 \text{ kN}$$

$$N_b^r = -1.009591 * M_{rd} = -1068.5 \text{ kN}$$

$$M_s^r = 0.323832 * M_{rd} = 342.7 \text{ kNm}$$

$$M_b^r = 0.014250 * M_{rd} = 15.1 \text{ kNm}$$

Naprężenia od obciążeń ruchomych

$$\sigma_1^r = M_b^r / J_b * (-h_p/2) + N_b^r / A_b = -3.0 \text{ MPa}$$

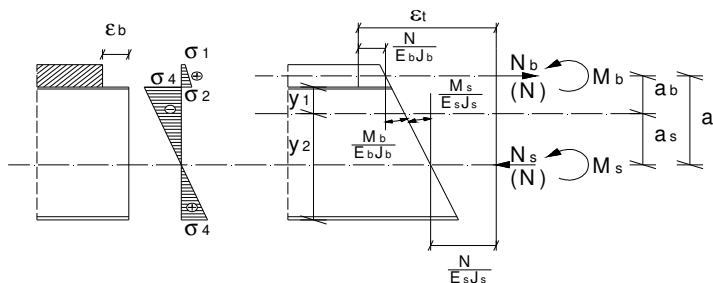
$$\sigma_2^r = M_b^r / J_b * (h_p/2) + N_b^r / A_b = -1.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3^r = M_s^r / J_s * (-h + y_s) + N_s^r / A_s = -3.8 \text{ MPa}$$

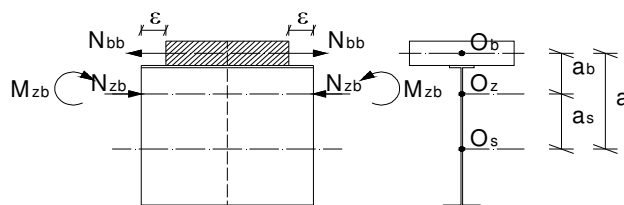
$$\sigma_4^r = M_s^r / J_s * y_s + N_s^r / A_s = 106.9 \text{ MPa}$$

5.3. Skurcz

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



Rys.7. Skurcz w metodzie pośredniej



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

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

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

$$\alpha_{ds1} = 4$$

$$\alpha_{ds2} = 0.12$$

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

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

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

$$RH = 70$$

$$RH_0 = 100$$

$$\beta_{RH} = 1,55 * [1 - (RH/RH_0)^3] = 1.018350$$

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

$k_h$  – 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.

$$h_0 = 2 \cdot A_b / (b + b + h_p - b_{pg}) = 190 \text{ mm}$$

$$k_h = (200 - h_0) \cdot (0,85 - 0,75) / (300 - 200) + 0,85 = 0,860 \quad k_h = (300 - h_0) \cdot (0,85 - 0,75) / (300 - 200) + 0,75 = 0,860$$

$$\epsilon_{cd} = k_h \cdot \epsilon_{cd,0} = 0,000312$$

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

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca} = 0,000362$$

#### Metoda pośrednia:

Siły wewnętrzne do naprężeń od skurczu

$$\beta = \epsilon \cdot D_b \cdot D_s / (D_z \cdot B_z) = 0,000557$$

$$N = \beta \cdot (B_b + B_s) = 407,7 \text{ kN}$$

$$M_b = \beta \cdot a \cdot B_b = 11,3 \text{ kNm}$$

$$M_s = \beta \cdot a \cdot B_s = 256,0 \text{ kNm}$$

#### Naprężenia od skurczu

$$\sigma_b^{sk} = N/A_b + M_b \cdot y_b/J_b$$

$$\sigma_1^{sk} = N/A_b + M_b \cdot (-h_p/2)/J_b = 0,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2^{sk} = N/A_b + M_b \cdot (h_p/2)/J_b = 1,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s^{sk} = -N/A_s + M_s \cdot y_s/J_s$$

$$\sigma_3^{sk} = -N/A_s + M_s \cdot (-h + y_s)/J_s = -62,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4^{sk} = -N/A_s + M_s \cdot y_s/J_s = 20,5 \text{ MPa}$$

#### 5.4. Naprężenia od zmian temperatury

$$\epsilon_t = \alpha_t \cdot \Delta_t$$

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

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

$$\epsilon_t = 0,000240$$

$$\epsilon_{cs} = 0,000362$$

$$\epsilon_t / \epsilon_{cs} = 0,66$$

#### Metoda pośrednia:

##### Naprężenia od zmian temperatury

$$\sigma_1^t = \pm 0,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2^t = \pm 1,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3^t = \pm -41,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4^t = \pm 13,6 \text{ MPa}$$

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

##### Metoda pośrednia

Poziom naprężenie	Faza I	Faza II				Razem		
		Od obciążeń stałych	Od obciążeń ruchomych	Od skurczu bez pełzania	Od zmian temperatury			
1	-	-0.5	-3.0	0.1	-0.1	0.1	-3.5	-3.4
2	-	-0.2	-1.2	1.5	-1.0	1.0	-0.9	1.1
3	-143.0	-0.7	-3.8	-62.2	41.3	-41.3	-168.4	-251.0
4	137.6	19.0	106.9	20.5	-13.6	13.6	270.3	297.5

##### Metoda bezpośrednia

Poziom naprężenie	Faza I	Faza II				Razem		
		Od obciążeń stałych	Od obciążeń ruchomych	Od skurczu bez pełzania	Od zmian temperatury			
1	-	-0.5	-3.0	0.1	-0.1	0.1	-3.5	-3.4
2	-	-0.2	-1.2	1.5	-1.0	1.0	-0.9	1.1
3	-143.0	-0.7	-3.8	-62.2	41.3	-41.3	-168.4	-251.0
4	137.6	19.0	106.9	20.5	-13.6	13.6	270.3	297.5

$\sigma_{bmax} =$	3.5	MPa	$< f_{cd} =$	21.4	MPa	16.4%	maksymalne ścisnienie betonu
$\sigma_{smaxFI} =$	143	MPa	$< f_{yd} =$	309	MPa		maksymalne naprężenia w stali w Fazie I
$\sigma_{smaxFII} =$	0	MPa	$< f_{yd} =$	309	MPa		maksymalne naprężenia w stali w Fazie II
$\sigma_{sminFII} =$	0	MPa	$< f_{yd} =$	309	MPa	$> 0,60 f_{yd} =$	185 MPa minimalne naprężenia w stali w Fazie II

#### Metoda bezpośrednia:

$$N_{bb} = -N_{zb} = \epsilon_{cs} E_s A_b / n_0$$

$$M_{zb} = a_b N_{bb} = a_b \epsilon_{cs} E_s A_b / n_0$$

$$N_{bb} = 5935 \text{ kN}$$

$$N_{zb} = -5935 \text{ kN}$$

$$M_{zb} = 791 \text{ kNm}$$

#### Naprężenia od skurczu

$$\sigma_b^{sk} = N_{bb}/A_b + N_{zb}/(n_0 A_z) + M_{zb}/(m_0 J_z) \cdot (y_b - a_b \cdot m_0/n_0)$$

$$\sigma_1^{sk} = N_{bb}/A_b + N_{zb}/(n_0 A_z) + M_{zb}/(m_0 J_z) \cdot (-h_p/2 - a_b \cdot m_0/n_0) = 0,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2^{sk} = N_{bb}/A_b + N_{zb}/(n_0 A_z) + M_{zb}/(m_0 J_z) \cdot (h_p/2 - a_b \cdot m_0/n_0) = 1,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s^{sk} = N_{zb}/A_z + M_{zb} \cdot y_b/J_z$$

$$\sigma_3^{sk} = N_{zb}/A_z + M_{zb} \cdot (-h + y_z)/J_z = -62,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4^{sk} = N_{zb}/A_z + M_{zb} \cdot y_z/J_z = 20,5 \text{ MPa}$$

#### Metoda bezpośrednia:

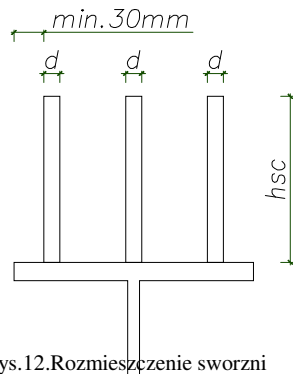
##### Naprężenia od zmian temperatury

$$\sigma_1^t = \pm 0,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2^t = \pm 1,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3^t = \pm -41,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4^t = \pm 13,6 \text{ MPa}$$

**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 środnikiem (5)****9. Sprawdzenie stateczności środnika (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  $D = 16 \text{ mm}$  -  $16 \text{ mm} \leq d \leq 25 \text{ mm}$ o długości  $h_{sc} = 140 \text{ mm}$ o ilości w rzędzie  $n = 2$  szt.

Maksymalna podłużna siła ścinająca na styku stali z betonem:

$$V_{LEd} = 0,5^t T_{sd} + {}^{II}T_d = 520 \text{ kN}$$

**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:

 $f_u = 470$  - wytrzymałość na rozciąganie trzpienia,  $f_u \leq 500 \text{ MPa}$  $\alpha = 0,2(h_{sc}/d + 1)$  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 $h_{sc}/d = 8.75$  $\alpha = 1$  $E_{cm} = 32 \text{ GPa}$ 

$$P_{Rd} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d^2 / (4 \gamma_V) = 60.5 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} E_{cm})^{0,5} / \gamma_V = 58.2 \text{ kN}$$

Przyjmuję:

$$P_{Rd} = 58.2 \text{ kN}$$

**Rozstaw łączników** $t_r = g_{pg} = 0.020 \text{ m}$  - grubość półki $f_y = 355 \text{ MPa}$  - nominalna granica plastyczności półki $e = 22 t_r (235/f_y)^{0,5} = 0.358 \text{ m}$  (maksymalny rozstaw założonych sworzni)Przyjęto  $e = 0.200 \text{ m}$ Ilość sworzni na 1 mb  $n_{sw} = 1/e \cdot n = 10$  szt/m**Sprawdzenie nośności sworzni**

$$V_{LEd} / (n_{sw} \cdot P_{Rd}) = 0.894 \leq 1 \text{ - warunek spełniony}$$

**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 [ $\text{cm}$ ] 18 cm $d_o = h_p$  - grubość płyty betonowej [ $\text{cm}$ ] 19 cm $f_{cd}$  - wytrż. oblicz. betonu na ściskanie 21.4 MPa

$$F_1 = n \cdot d \cdot h_{sc} \cdot 0,5 \cdot \Pi = 70 \text{ cm}^2$$

$$F = b_o d_o = 342 \text{ cm}^2$$

$$F_1/F = 0.21$$

$$K = 2.14$$

$$R_d = K \cdot f_{cd} = 45.9 \text{ MPa}$$
 wytrzymałość na docisk w betonie

$$\sigma_{doc} = n \cdot P_{Rd} / F_1 = 16.5 < R_d = 45.9 \text{ - warunek spełniony}$$



$$J_z = 0.010515 \text{ m}^4$$

$$\tau_{AA} = QS_{pz}/(n_o * J_z * b_p)$$

$$Q = {}^{\text{II}}T_d = 250.6 \text{ kN}$$

$$S_{pz} = b_p * h_p * a_b$$

$$b_p = 0.810 \text{ m}$$

$$h_p = 0.190 \text{ m}$$

$$a_b = 0.133 \text{ m}$$

$$S_{pz} = 0.020501 \text{ m}^3$$

$$n_o = 6.438$$

$$\tau_{AA} = 0.09 \text{ MPa} < f_{cd}$$

Rys.13. Przekrój dźwigara zespolonego

## 12. Obliczenie płyty (jak pasmo płytowe) (W)

Beton: C30/37 - $f_{cd} =$	20 MPa
Grubość płyty: $h_p =$	0.19 m
Stal: BSt500 - $f_{yd} =$	420 MPa - zbrojenie
rozpiętość $l = 2b_w =$	3.6 m
Zebranie obciążeń stałych:	
Ciężar własny płyty	7.13 kN/m
Ciężar izolacji	0.21 kN/m
Obciążenia ruchome	
$P = \beta_{Q1} = 5 \text{ kN/m}^2 * 1 \text{ m} =$	6.75 kN/m

Momenty zginające

$$M_A = M_C = gl^2/12 - P * l/8 = -3.0 \text{ kNm}$$

$$M_B = gl^2/24 + P * l/8 = 3.0 \text{ kNm}$$

Wysokość użyteczna przekroju:  $h_1 = h_p - a - d_z/2$ 

$$h_p = 19 \text{ cm}$$

$$a = 30 \text{ mm} \quad (\text{założona otulina zbrojenia głównego - kierunek poprzeczny do osi podłużnej})$$

$$d_z = 16 \text{ mm} \quad (\text{założona średnica zbrojenia głównego})$$

$$h_1 = 0.152 \text{ m}$$

Wymagany przekrój zbrojenia na 1 m płyty (nad podporą górą):

$$A_a^1 = M/(f_{yd} * 0.875 * h_1) = 0.54 \text{ cm}^2$$

$$\text{Założono } \phi \quad 12 \text{ mm} \quad \text{co}$$

$$a_z = 20 \text{ cm}$$

$$A_a = (100/a_z + 1) * \pi * d_z/4 = 5.98 \text{ cm}^2 \quad - \text{przyjęty przekrój zbrojenia większy od wymaganego}$$

Ze względu na niewielkie różnice między  $M_A$  i  $M_B$  przy płycie bez skosów, założono górą i dołem  $\phi$ 

$$12 \text{ mm} \quad \text{co} \quad 20 \text{ cm}$$

Sprawdzenie naprężeń w zbrojeniu i betonie płyty:

$$h_1 = h_p - a - d_z/2 = 15.2 \text{ cm}$$

$$n = n_o = 6.438$$

$$x = n_o A_a / b [(1 + 2bh_1/n_o A_a)^{0.5} - 1] = 3.1 \text{ cm} \quad (b = 100 \text{ cm} - \text{pasma płytowe o szerokości 1m})$$

$$\sigma_{b,max} = 2 * M / (b * x (h_1 - x/3)) \leq f_{cd}$$

$$\sigma_{b,max} = 1 \text{ MPa} < f_{cd} \quad 21.4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s,max} = M / (A_a (h_1 - x/3)) \leq f_{yd} \quad 36 \text{ MPa} < f_{yd} \quad 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Przyjęto } \phi \quad 12 \text{ mm} \quad \text{co} \quad 20 \text{ cm}$$

## (5) Sprawdzenie wspornika

Zebranie obciążeń obliczeniowych przy założeniu pasma płyty wspornika o szerokości 1m:

$$g_p = 6.41 \text{ kN/m} \quad \text{Płyta}$$

$$g_i = 0.19 \text{ kN/m} \quad \text{Izolacja}$$

$$g_{bar} = 0.68 \text{ kN} \quad \text{Bariera}$$

$$g_{gz} = 2.78 \text{ kN} \quad \text{Gzyms}$$

$$e_{qt} = 0.33 \text{ m}$$

$$e_{bar} = 1.15 \text{ m}$$

$$e_{gz} = 1.15 \text{ m}$$

$$e_{pl} = 0.90 \text{ m}$$

$$Q = \beta_{Q1} = 1.0 * 3.25 \text{ kN/m}$$

$$M^w = qt * e_{qt} + g_{bar} * e_{bar} + g_{gz} * e_{gz} + g_i * e_{gz}/2 + g_{pl} * e_{pl}/2 = 9 \text{ kNm} > M_A = -3.04 \text{ kNm}$$

Wymiarowanie zbrojenia wspornika

Wysokość użyteczna przekroju:  $h_1 = h_p - a - d_z/2$ 

$$h_p = 19 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} a &= 30 \text{ mm} \\ d_z &= 25 \text{ mm} \\ h_1 &= 14.8 \text{ cm} \end{aligned}$$

Wymagany przekrój zbrojenia na 1 m płyty (nad podporą górą):

$$A_a^1 = M / (f_{yd} * 0.875 * h_1) = 1.73 \text{ cm}^2$$

$$\text{Założono } \phi \text{ 12 mm co } a_z = 20 \text{ cm}$$

$$A_a = (100/a_z + 1) * \pi * d_z / 4 = 11.78 \text{ cm}^2$$

Sprawdzenie naprężeń:

$$h_1 = h_p - a - d_z / 2 = 14.8 \text{ cm}$$

$$n = n_0 = 6.438$$

$$x = n_0 A_a / [b(1 + 2bh_1/n_0 A_a)^{0.5} - 1] = 4.0 \text{ cm}$$

$$\sigma_{b,max} = 2 * M / (b * x (h_1 - x/3)) \leq f_{cd}$$

$$\sigma_{b,max} = 3 \text{ MPa} < f_{cd} \quad \text{warunek spełniony}$$

$$\sigma_{s,max} = M / (A_a (h_1 - x/3)) \leq f_{yd} \quad 63 \text{ MPa} < f_{yd}$$

W strefie rozciąganej (górną płytę wspornika)

$$\text{Przyjęto } \phi \text{ 12 mm co } 20 \text{ cm}$$

### 13. Ugięcie (Stany graniczne użyteczności) (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

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

$$w_{rz} = 5/48 * I^{II} M_{rk} * L_t^2 / (E_s * J_z) = 15 \text{ mm}$$

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

**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)

$$w_m = 5/48 * I^I M_{sk} * L_t^2 / (E_s * J_s) = 34 \text{ mm}$$

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

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

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

$$\epsilon_{cs} = 0.000362$$

$$a = 0.656 \text{ m}$$

$$M = 386.8 \text{ kNm}$$

$$\Delta w_{fs} = 19 \text{ mm}$$

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

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

$$w_{tot} = 55 \text{ mm}$$

**Odwrotna strzałka ugięcia –  $w_c$**

$$w_c = w_{tot} + 0.5 w_{rz}$$

$$w_c = 62 \text{ mm}$$

Przyjęto odwrotną strzałkę ugięcia  $w_c$  równą 62 mm