

Przekrój ustroju niosącego

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	1.060	m
Szerokość półki górnej - b_g	0.180	m
Grubość półki górnej - g_g	0.020	m
Szerokość półki dolnej - b_d	0.200	m
Grubość półki dolnej - g_d	0.030	m
Wysokość blachownicy - h	1.110	m
Szerokość chodnika - b_p	4.900	m
Szerokość całkowita - b_c	5.400	m
Wysięg wspornika płyty - b_z	0.900	m
Szerokość płyty wewn. - b_w	1.800	m
Grubość płyty - h_p	0.190	m
Grubość izolacji - h_i	0.010	m
Wysokość gzymsu - h_{gz}	0.330	m
Szerokość gzymsu - b_{gz}	0.250	m

Material:

Stal			Beton C	30 / 37			
γ_s - ciężar właściwy stali	78.5 kN/m ³		$E_{cm} = E_{bno}$		32 GPa		
E_s	206 GPa		$E_{bmo} = 1,6^{-1} * E_{bno}$		20 GPa		
Dźwigar - stal konstrukcyjna	S355	zbrojenie betonu	BS500	$f_{ck} =$	30 MPa	$f_{ctk} =$	2.0 MPa
$f_{yk} =$	355 MPa	$f_{yk} =$	500 MPa	$f_{cd} =$	21.43 MPa	$f_{ctd} =$	1.3 MPa
$f_{yd} =$	309 MPa	$f_{yd} =$	420 MPa	$f_{cm} =$	38 MPa		
$f_u =$	470 MPa	$f_u =$	570 MPa	Ciężar właściwy betonu			
				Beton suchy -		24 kN/m ³	
				Beton mokry -		25 kN/m ³	
				Dodatek na zbrojenie -		1 kN/m ³	
				Ciężar właściwy drewna -		6 kN/m ³	
Współczynniki bezpieczeństwa				$\gamma_{G,obc} = (obc.wyp.)$	1.5	$\gamma_{G,obc} = (obc.bet)$	1.35
$\gamma_0 = \gamma_{M0} =$	1.00	$\gamma_{G,odc} = (odc.)$	0.9	$\gamma_{Q,obc} = (obc.)$	1.35		
$\gamma_1 = \gamma_{M1} =$	1.10	$\gamma_{Q,odc} = (odc.)$	0	$\gamma_{q,obc} = (obc.)$	1.35		
$\gamma_2 = \gamma_{M2} =$	1.25	$\gamma_{q,odc} = (odc.)$	0				

η – 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.

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

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

$$k = 2$$

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

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)

$$1/k = 0.500$$

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

$$x_0 = -0.500 \quad / \quad 0.278$$

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

$$\eta = 0.500 + e \cdot 0.278$$

W punktach charakterystycznych przekroju

Pierwszy przypadek (W)

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

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

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

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

Wyznaczenie odległości sił i wartości obciążeń dwóch przypadków obciążenia skrajnego dźwigara

$$e_{qt(1)} = 0.33 \text{ m}$$

$$\eta_{qt(1)} = 0.590$$

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	$q_{gz,k} = q_{gzk} * (\eta_A + \eta_{A'}) =$	0.88 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	$q_{gz,d} = q_{gzk} * (\gamma_{Gobc} * \eta_A + \gamma_{Gode} * \eta_{A'}) =$	1.44 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

$T_{sk} = q_{tk} * L / 2 = 166 \text{ kN}$
 $M_{sk} = q_{tk} * L^2 / 8 = 801 \text{ kNm}$

Stale obliczeniowe

$T_{sd} = q_{td} * L / 2 = 249 \text{ kN}$
 $M_{sd} = q_{td} * L^2 / 8 = 1201 \text{ kNm}$

Faza II

Stale charakterystyczne

$T_{sk} = (q_{wk} + q_{dk} + q_{ik} + q_{bak} + q_{gzk}) * L / 2 = 6 \text{ kN}$
 $M_{sk} = (q_{wk} + q_{dk} + q_{ik} + q_{bak} + q_{gzk}) * L^2 / 8 = 29 \text{ kNm}$

Stale obliczeniowe

$T_{sd} = (q_{wd} + q_{dd} + q_{id} + q_{ba,d} + q_{gz,d}) * L / 2 = 19 \text{ kN}$
 $M_{sd} = (q_{wd} + q_{dd} + q_{id} + q_{ba,d} + q_{gz,d}) * L^2 / 8 = 90 \text{ kNm}$

Ruchome charakterystyczne LM1+LM4

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

Ruchome obliczeniowe LM1+LM4

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

Całkowite charakterystyczne

$T_{k(1)} = 329 \text{ kN}$
 $M_{k(1)} = 1614 \text{ kNm}$

Całkowite obliczeniowe

$T_{d(1)} = 479 \text{ kN}$
 $M_{d(1)} = 2349 \text{ kNm}$

Sily wewnętrzne maksymalne (obciążenia stałe+LM4)

Charakterystyczne

$T_{sk} = 166 \text{ kN}$
 $M_{sk} = 801 \text{ kNm}$
 $T_{sk} = 6 \text{ kN}$
 $M_{sk} = 29 \text{ kNm}$
 $T_{rk} = 157 \text{ kN}$
 $M_{rk} = 784 \text{ kNm}$

Obliczeniowe

$T_{sd} = 249 \text{ kN}$
 $M_{sd} = 1201 \text{ kNm}$
 $T_{sd} = 19 \text{ kN}$
 $M_{sd} = 90 \text{ kNm}$
 $T_{rd} = 212 \text{ kN}$
 $M_{rd} = 1058 \text{ kNm}$

Charakterystyczne łącznie

$T_k = 329 \text{ kN}$
 $M_k = 1614 \text{ kNm}$

Obliczeniowe łącznie

$T_d = 479 \text{ kN}$
 $M_d = 2349 \text{ kNm}$

4. Wymiarowanie przekroju (W)

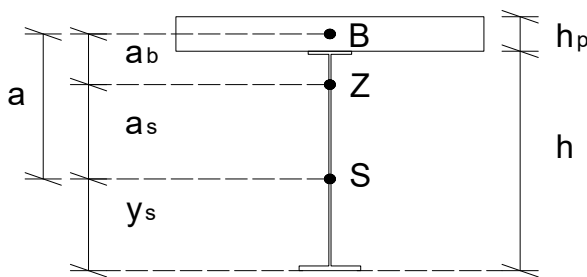
4.1. Wyznaczenie szerokości płyty współpracującej (wg EN 1994-2 Roz.5.4.1.2) (W)

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

c =	0.030	m	
D =	0.016	m	
b _g =	0.180		
b ₀ = b _g - 2c =	0.104	m	
L _e =	20.000	m	
b _z =	0.900	m	=b1
b _w =	1.800	m	=b2
b _{ci} = min{L _e /8; b _i }			
b _{e1} = min	2.500	m	
	0.848	m	
b _{e1} =	0.848	m	
b _{e2} = min	2.500	m	
	1.748	m	
b _{e2} =	1.748	m	
b _{eff,1} =	2.700	m	≤ 2.700 m

4.2. Parametry geometryczne przekroju zespolonego (W)

4.2.1. W metodzie bezpośredniej



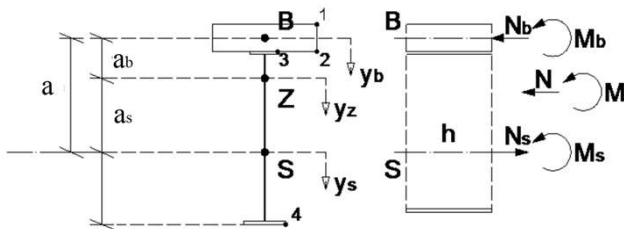
Rys.4. Przekrój zespolony

n _o = E _s /E _{cm}	6.438
m ₀ = E _s /E _{bmo}	10.300
A _s = b _g *h _g + b _s *h _s + b _d *h _d	0.022 m ²
A _b = h _p *b _{eff}	0.513 m ²
A _z = A _s + A _b /n _o	0.102 m ²
S _{xx} ^{stali}	0.011 m ³
y _s = S _{xx} ^{stali} / A _s	0.501 m
a = h - y _s + h _p /2	0.704 m
A _z *a _b = A _s *a	
a _b = A _s *a/A _z	0.154 m
a _s = a - a _b	0.550 m
J _b = b _p *h _p ³ /12	0.001543 m ⁴

$$J_s = b_g * h_g^3 / 12 + b_g * h_g * (h - y_s - h_g / 2)^2 + b_s * h_s^3 / 12 + b_s * h_s * (h_s / 2 + h_d - y_s)^2 + b_d * h_d^3 / 12 + b_d * h_d * (y_s - h_d / 2)^2 = 0.003944 \text{ m}^4$$

$$J_z = J_s + J_b / m_0 + a^2 * A_s * A_b / (n_o * A_z) = 0.012746 \text{ m}^4$$

4.2.2. W metodzie pośredniej



Rys.6. Przekrój zespolony

Szywności osiowe

D _s = A _s *E _s =	4597920	kN
D _b = A _b *E _{bno} =	16416000	kN
D _z = D _b + D _s =	21013920	kN

Szywności giętne

B _s = J _s *E _s =	812520	kNm ²
B _b = J _b *E _{bmo} =	30866	kNm ²
B _z = B _s + B _b + a ² *D _b *D _s /D _z =	2625645	kNm ²

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

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

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

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

$$N_s = -N_b = 0.963630 * M \text{ (moment zewnętrzny } M_{sd2}; M_{r12})$$

$$N_b = -N_s = -0.963630 * M$$

$$M_s = M * B_s / B_z$$

$$M_b = M * B_b / B_z$$

$$M_s = 0.309455 * M$$

$$M_b = 0.011755 * M$$

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

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

5.1. Faza I – pracuje tylko stal

Naprężenia od obciążeń stałych

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

$$\sigma_s^3 = M_s / J_s * y = -185.5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s^4 = M_s / J_s * y = 152.4 \text{ MPa}$$

5.2. Faza II – beton wciągnięty do współpracy

Metoda pośrednia

Sily wewnętrzne do naprężeń od obciążeń stałych

$$N_s^s = 0.963630 * II M_{sd} = 87.0 \text{ kN}$$

$$N_b^s = -0.963630 * II M_{sd} = -87.0 \text{ kN}$$

$$M_s^s = 0.309455 * II M_{sd} = 27.9 \text{ kNm}$$

$$M_b^s = 0.011755 * II M_{sd} = 1.1 \text{ kNm}$$

Naprężenia od obciążeń stałych

$$\sigma_1^s = M_b^s / J_b * (-h_p/2) + N_b^s / A_b = -0.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2^s = M_b^s / J_b * (h_p/2) + N_b^s / A_b = -0.1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3^s = M_s^s / J_s * (-h + y_s) + N_s^s / A_s = -0.4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4^s = M_s^s / J_s * y_s + N_s^s / A_s = 7.4 \text{ MPa}$$

Sily wewnętrzne do naprężeń od obciążeń ruchomych

$$N_s^r = 0.963630 * II M_{rd} = 1019.9 \text{ kN}$$

$$N_b^r = -0.963630 * II M_{rd} = -1019.9 \text{ kN}$$

$$M_s^r = 0.309455 * II M_{rd} = 327.5 \text{ kNm}$$

$$M_b^r = 0.011755 * II M_{rd} = 12.4 \text{ kNm}$$

Naprężenia od obciążeń ruchomych

$$\sigma_1^r = M_b^r / J_b * (-h_p/2) + N_b^r / A_b = -2.8 \text{ MPa}$$

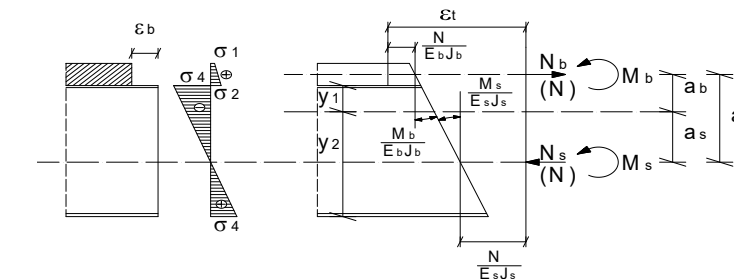
$$\sigma_2^r = M_b^r / J_b * (h_p/2) + N_b^r / A_b = -1.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3^r = M_s^r / J_s * (-h + y_s) + N_s^r / A_s = -4.9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4^r = M_s^r / J_s * y_s + N_s^r / A_s = 87.3 \text{ MPa}$$

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

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

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

ϵ_{cd} – odkształcenie skurczowe spowodowane wysychaniem

ϵ_{ca} – odkształcenie skurczu autogenicznego

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

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

$$\alpha_{ds1} = 4$$

$$\alpha_{ds2} = 0.12$$

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

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

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

$$RH = 70$$

$$RH_0 = 100$$

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

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

Metoda bezpośrednia

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

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

$$a * A_s * m_o / (A_z * n_o) = 0.247 \text{ m}$$

Naprężenia od obciążeń stałych

$$\sigma_1^s = II M_{sd} / (m_o * J_z) * [-h_p/2 - a * A_s * m_o / (A_z * n_o)] = -0.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2^s = II M_{sd} / (m_o * J_z) * [h_p/2 - a * A_s * m_o / (A_z * n_o)] = -0.1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3^s = II M_{sd} / J_z * (y_s + a_s - h) = -0.4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4^s = II M_{sd} / J_z * (y_s + a_s) = 7.4 \text{ MPa}$$

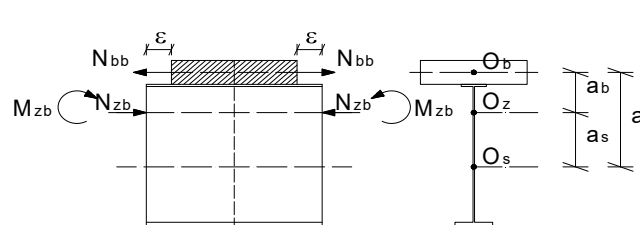
Naprężenia od obciążeń ruchomych

$$\sigma_1^r = II M_{rd} / (m_o * J_z) * [-h_p/2 - a * A_s * m_o / (A_z * n_o)] = -2.8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2^r = II M_{rd} / (m_o * J_z) * [h_p/2 - a * A_s * m_o / (A_z * n_o)] = -1.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3^r = II M_{rd} / J_z * (y_s + a_s - h) = -4.9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4^r = II M_{rd} / J_z * (y_s + a_s) = 87.3 \text{ MPa}$$



Rys.8. Skurcz w metodzie bezpośredniej

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.

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

$$k_h = 0.866$$

$$\epsilon_{cd} = k_h \cdot \epsilon_{cd,0} = 0.000313$$

$$\epsilon_{ca} = \epsilon_{ca,\infty} = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 0.000050$$

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca} = 0.000363$$

Metoda pośrednia:

Siły wewnętrzne do naprężeń od skurczu

$$\beta = \epsilon \cdot D_b \cdot D_s / (D_z \cdot B_z) = 0.000497$$

$$N = \beta \cdot (B_b + B_s) = 419.3 \text{ kN}$$

$$M_b = \beta \cdot a \cdot B_b = 10.8 \text{ kNm}$$

$$M_s = \beta \cdot a \cdot B_s = 284.5 \text{ kNm}$$

Naprężenia od skurczu

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

$$\sigma_1^{sk} = N/A_b + M_b \cdot (-h_p/2)/J_b = 0.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2^{sk} = N/A_b + M_b \cdot (h_p/2)/J_b = 1.5 \text{ MPa}$$

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

$$\sigma_3^{sk} = -N/A_s + M_s \cdot (-h + y_s)/J_s = -62.7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4^{sk} = -N/A_s + M_s \cdot y_s/J_s = 17.3 \text{ MPa}$$

5.4. Naprężenia od zmian temperatury

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

$$\alpha_t = 0.000012 \text{ } 1/^\circ\text{C}$$

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

$$\epsilon_t = 0.000240$$

$$\epsilon_{cs} = 0.000363$$

$$\epsilon_t / \epsilon_{cs} = 0.66$$

Metoda pośrednia:

Naprężenia od zmian temperatury

$$\sigma_1^t = \pm 0.1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2^t = \pm 1.0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3^t = \pm -41.4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4^t = \pm 11.4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4^t = \pm 11.4 \text{ MPa}$$

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	-	-0.2	-2.8	0.2	-0.1	0.1	-2.9	-2.7
2	-	-0.1	-1.2	1.5	-1.0	1.0	-0.8	1.1
3	-185.5	-0.4	-4.9	-62.7	41.4	-41.4	-212.2	-295.1
4	152.4	7.4	87.3	17.3	-11.4	11.4	253.0	275.9

Metoda bezpośrednia

Poziom naprężenie	Faza I	Faza II				Razem		
		Od obciążeń stałych	Od obciążeń ruchomych	Od skurczu bez pełzania	Od zmian temperatury			
1	-	-0.2	-2.8	0.2	-0.1	0.1	-2.9	-2.7
2	-	-0.1	-1.2	1.5	-1.0	1.0	-0.8	1.1
3	-185.5	-0.4	-4.9	-62.7	41.4	-41.4	-212.2	-295.1
4	152.4	7.4	87.3	17.3	-11.4	11.4	253.0	275.9

$\sigma_{bmax} = 2.9 \text{ MPa} < f_{cd} = 21.4 \text{ MPa}$ 13.7% maksymalne ściskanie betonu
 $\sigma_{smaxFI} = 186 \text{ MPa} < f_{yd} = 309 \text{ MPa}$ maksymalne naprężenia w stali w Fazie I
 $\sigma_{smaxFII} = 0 \text{ MPa} < f_{yd} = 309 \text{ MPa}$ maksymalne naprężenia w stali w Fazie II
 $\sigma_{sminFII} = 0 \text{ MPa} < f_{yd} = 309 \text{ MPa}$ $> 0,60f_{yd} = 185 \text{ MPa}$ minimalne naprężenia w stali w Fazie II

Podstawy mostownictwa
 dr inż. M. Kowal =
 $h_0 \quad k_h$
 $100 \quad 1 \quad k_h = (100 - h_0) \cdot (1,00 - 0,85) / (200 - 100) + 1 =$
 $200 \quad 0,85 \quad k_h = (200 - h_0) \cdot (0,85 - 0,75) / (300 - 200) + 0,85 =$
 $300 \quad 0,75 \quad k_h = (300 - h_0) \cdot (0,75 - 0,7) / (500 - 300) + 0,75 =$
 $> 500 \quad 0,7$
 $k_h = (300 - h_0) \cdot (0,85 - 0,75) / (300 - 200) + 0,75 = 0.860$

Metoda bezpośrednia:

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

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

$$N_{bb} = 5966 \text{ kN}$$

$$N_{zb} = -5966 \text{ kN}$$

$$M_{zb} = 919 \text{ kNm}$$

Naprężenia od skurczu

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

$$\sigma_1^{sk} = N_{bb}/A_b + N_{zb}/(n_0 A_z) + M_{zb}/(m_0 J_z) \cdot (-h_p/2 - a_b \cdot m_0/n_0) = 0.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2^{sk} = N_{bb}/A_b + N_{zb}/(n_0 A_z) + M_{zb}/(m_0 J_z) \cdot (h_p/2 - a_b \cdot m_0/n_0) = 1.5 \text{ MPa}$$

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

$$\sigma_3^{sk} = N_{zb}/A_z + M_{zb} \cdot (-h + y_z)/J_z = -62.7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4^{sk} = N_{zb}/A_z + M_{zb} \cdot y_z/J_z = 17.3 \text{ MPa}$$

Metoda bezpośrednia:

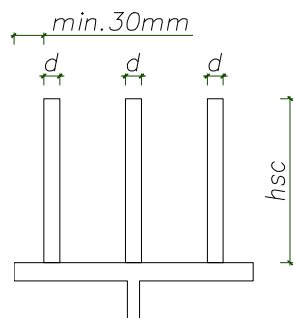
Naprężenia od zmian temperatury

$$\sigma_1^t = \pm 0.1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2^t = \pm 1.0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3^t = \pm -41.4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4^t = \pm 11.4 \text{ MPa}$$

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:

$$V_{LEd} = 0,5^I T_{sd} + {}^{II}T_d = 603 \text{ kN}$$

Nośność obliczeniowa trzpienia

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

lub

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

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 walcowa betonu na ściskanie $h_{sc}/d = 8.75$ $\alpha = 1$ $E_{cm} = 32 \text{ GPa}$

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

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

Przyjmuję:

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

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

$$V_{LEd} / (n_{sw} * P_{Rd}) = 1.037 \leq 1 \text{ - warunek spełniony}$$

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 [cm^2] F - powierzchnia obliczeniowa, na którą działa docisk [cm^2] $F = b_o d_o$ $b_o = b_{pg}$ - szerokość pasa stalowego [cm] 18 cm $d_o = h_p$ - grubość płyty betonowej [cm] 19 cm f_{cd} - wytrz. oblicz. betonu na ściskanie 21.4 MPa

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

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

$$F_1/F = 0.21$$

$$K = 2.14$$

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

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

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	
$P = \beta_Q q_l = 5 \text{ kN/m}^2 * 1 \text{ m} =$	6.75 kN/m

Momenty zginające

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

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

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):

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

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

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

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

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

12 mm co 20 cm

Sprawdzenie naprężeń w zbrojeniu i betonie płyty:

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

$$n = n_o = 6.438$$

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

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

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

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

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

(5) Sprawdzenie wspornika

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$Q = \beta_Q q_l = 1.0 * 3.25 \text{ kN/m}$$

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

Wymiarowanie zbrojenia wspornika

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

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

$$a = 30 \text{ mm}$$

$$d_z = 25 \text{ mm}$$

$$h_1 = 14.8 \text{ cm}$$

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

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

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

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

Sprawdzenie naprężeń:

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

$$n = n_o = 6.438$$

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

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

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

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

$$\sigma_{s,max} = 63 \text{ MPa} < f_{yd}$$

W strefie rozciąganej (górną płyty wspornika)

Przyjęto ϕ 12 mm co 20 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

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

$$w_{rz} = 5/48 * I^{II} * M_{rk} * L_t^2 / (E_s * J_z) = 12 \text{ mm}$$

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

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)

$$w_m = 5/48 * I^{II} * M_{sk} * L_t^2 / (E_s * J_s) = 41 \text{ mm}$$

Δw_{fs} – przyrost ugięcia dźwigara od skurczu po zespoleniu

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

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

$$\epsilon_{cs} = 0.000363$$

$$a = 0.704 \text{ m}$$

$$M = 419.2 \text{ kNm}$$

$$\Delta w_{fs} = 18 \text{ mm}$$

Δw_{fzw} – przyrost ugięcia dźwigara od wyposażenia po zespoleniu

$$\Delta w_{fzw} = 5/48 * I^{II} * M_{sk} * L_t^2 / (E_s * J_z) = 0 \text{ mm}$$

$$w_{tot} = 59 \text{ mm}$$

Odwrotna strzałka ugięcia – w_c

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

$$w_c = 66 \text{ mm}$$

Przyjęto odwrotną strzałkę ugięcia w_c równą

66 mm