

Rys.1. Wymiary przekroju

1. Dane wyjściowe (W)

Długość przęsła - L	20.700	m
Rozpiętość teoretyczna - L_t	20.000	m
Grubość środniczki - g_s	0.012	m
Wysokość środniczki - h_s	1.000	m
Szerokość półki górnej - b_g	0.180	m
Grubość półki górnej - g_g	0.020	m
Szerokość półki dolnej - b_d	0.260	m
Grubość półki dolnej - g_d	0.030	m
Wysokość blachownicy - h	1.080	m
Szerokość płyty - b_p	9.400	m
Szerokość całkowita - b_c	9.580	m
Wysięg wspornika płyty - b_z	0.800	m
Szerokość płyty wewn. - b_w	1.800	m
Grubość płyty - h_p	0.230	m
Szerokość kapy lewej - b_{kchL}	2.200	m
Szerokość chodnika lewego - b_{chL}	1.500	m
Szerokość opaski lewej - b_{opl}	0.200	m
Szerokość kapy prawej - b_{kchP}	1.200	m
Szerokość opaski prawej - b_{opP}	0.500	m
Grubość kap chodnikowych - h_{ch}	0.230	m
Szerokość jezdni - b_n	6.000	m
Grubość nawierzchni - h_n	0.100	m
Grubość izolacji - h_i	0.005	m
Wysokość gzymsu - h_{gz}	0.600	m
Szerokość gzymsu - b_{gz}	0.090	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	BSt500	$f_{ck} =$	30	MPa	$f_{ctk} =$	2.0	MPa		
$f_{yk} =$	355	MPa	$f_{yk} =$	500	MPa	$f_{cd} =$	21.4	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											
$\gamma_0 = \gamma_{M0} =$	1.00		$\gamma_{G,odc} =$ (odc.)	0.9	$\gamma_{G,obc} =$ (obc.wyp.)	1.5	$\gamma_{G,obc} =$ (obc.bet)	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	$\gamma_{q,obc} =$ (obc.)	1.35					

2.1. Obciążenia stałe

FAZA I

Ciężary 'na belkę' podaje się jako linowe

Ciężar blachownicy	$q_{s.k} = (b_{pg} * h_{pg} + b_s * h_s + b_{pd} * h_{pd}) * \gamma_s$	1.84 kN/m
Ciężar płyty (mokry beton) belki skrajnej:	$q_{bt.k} = (b_z + 0,5 * b_w) * h_p * \gamma_{betonu}$	9.78 kN/m
Ciężar płyty (mokry beton) belki przyskrajnej:	$q_{bm.k} = b_w * h_p * \gamma_{betonu}$	10.35 kN/m
Ciężar łączników i stężeń	$q_{c.k} =$	1.00 kN/m
Ciężar deskowania belki skrajnej	$q_{dt.k} = 0,04m * (b_z + 0,5 * b_w + h_p - b_g) * \gamma_{drewna}$	0.42 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	$q_{t.k}^I = q_{s.k} + q_{bt.k} + q_{c.k} + q_{dt.k}$	13.0 kN/m
Belka przyskrajna	$q_{m.k}^I = q_{s.k} + q_{bm.k} + q_{c.k} + q_{dm.k}$	13.6 kN/m

FAZA II

Ciężary 'na pomost' podaje się jako powierzchniowe

Ciężar odparowanej wody na 1m ² pomostu:	$q_{w.k} = h_p * 1 \text{ kN/m}^3$	-0.23 kN/m ²
Ciężar zdemontowanego deskowania	$q_{d.k} = - q_{dt.k} / (b_z + b_w / 2) =$	-0.25 kN/m ²
Ciężar nawierzchni:	$q_{n.k} = h_n * 23 \text{ kN/m}^3$	2.30 kN/m ²
Ciężar izolacji:	$q_{i.k} = h_i * 14 \text{ kN/m}^3$	0.07 kN/m ²
Ciężar kapy chodnikowej i krawężnika:	$q_{ch.k} = h_{ch} * 25 \text{ kN/m}^3$	5.75 kN/m ²
Balustrady, bariery, deski gzymsowe – obciążenia liniowe		
Bariery	$q_{ba.k}$	0.50 kN/m
Ciężar gzymsu	$q_{gz.k}$	1.35 kN/m

2.2. Obciążenia ruchome

LM1

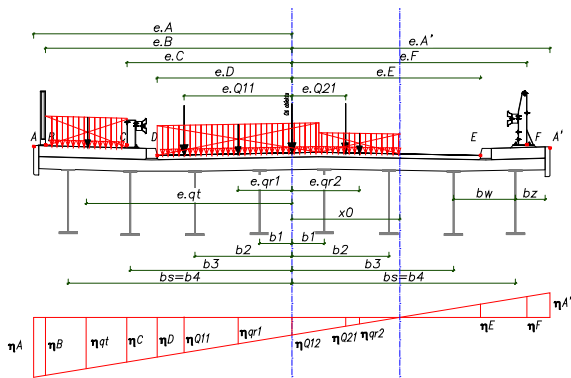
TS		$\psi_{0,1}$ to:	kl. I	kl. II
PU1 2 siły Q ₁ po 300 kN = 2 x 300 kN (opisywane jako Q ₁₁ +Q ₁₂)	300 kN	$\alpha_{Q1} =$	1.00	1.00
PU2 2 siły Q ₂ po 200 kN = 2 x 200 kN (opisywane jako Q ₂₁ +Q ₂₂)	200 kN	$\alpha_{Q2} =$	1.00	1.00
PU3 2 siły Q ₃ po 100 kN = 2 x 100 kN (opisywane jako Q ₃₁ +Q ₃₂)	100 kN	$\alpha_{Q3} =$	1.00	1.00
UDL		$\alpha_{q1} =$	1.33	1.00
PU1 siła rozłożona q ₁ = 9 kN/m ²	9 kN/m ²	$\alpha_{q2} =$	2.40	1.00
PU2 siła rozłożona q ₂ = 2,5 kN/m ²	2.5 kN/m ²	$\alpha_{q3} =$	1.20	1.00
PU3 siła rozłożona q ₂ = 2,5 kN/m ²	2.5 kN/m ²	$\alpha_{qi} =$	1.20	1.00
PU4 do n oraz OP siła rozłożona q ₄ = 2,5 kN/m ²	2.5 kN/m ²	$\alpha_{qOP} =$	1.20	1.00
LM4				
q _i = 3 kN/m ²	3 kN/m ²			

3. Obciążenia obliczeniowe

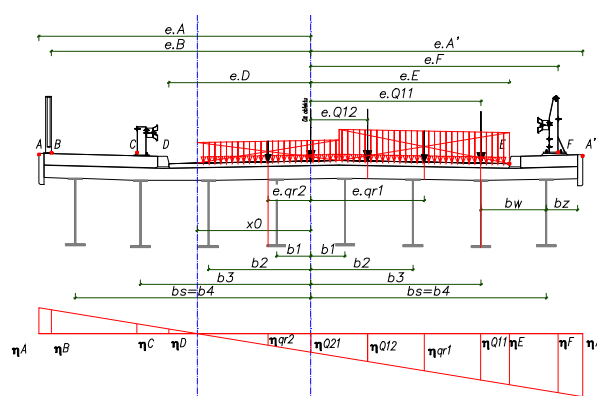
Tu przyjęta kombinacja obciążeń: STR

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

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



Rys.2a. Przypadek 1 LM1 i LM4



Rys.2b. Przypadek 2 LM1 i LM4

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.

$$b_1 = 0.60 \text{ m} = b_1'$$

$$b_2 = 1.80 \text{ m} = b_2'$$

$$b_3 = 3.00 \text{ m} = b_3'$$

$$b_4 = 4.15 \text{ m} = b_4'$$

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

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

$$b_s = 4.15 \text{ m}$$

$$k = 8$$

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

Odległości do punktów charakterystycznych przekroju

Pierwszy przypadek (W)

Rozpatrujemy lewy dźwigar skrajny

$$e_{A(1)} = 4.79 \text{ m}$$

$$e_{B(1)} = 4.56 \text{ m}$$

$$e_{C(1)} = 3.07 \text{ m}$$

$$e_{D(1)} = 2.50 \text{ m}$$

$$e_{E(1)} = -3.50 \text{ m}$$

$$e_{F(1)} = -4.37 \text{ m}$$

$$e_{A'(1)} = -4.79 \text{ m}$$

Wartości rzędnych linii wpływu

Dla dźwigara skrajnego (W)

$$1/k = 0.125$$

$$bs/(2\sum b_i^2) = 0.070$$

$${}^{IV}x_0 = -0.125 \quad / \quad 0.070$$

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

$${}^{IV}\eta = 0.125 + e^* 0.070$$

W punktach charakterystycznych przekroju

Pierwszy przypadek (W)

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

$${}^{IV}\eta_{B(1)} = 0.442$$

$${}^{IV}\eta_{C(1)} = 0.339$$

$${}^{IV}\eta_{D(1)} = 0.299$$

$${}^{IV}\eta_{E(1)} = -0.119$$

$${}^{IV}\eta_{F(1)} = -0.179$$

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

$${}^{III}\eta_A = 0.366$$

$${}^{III}\eta_B = 0.354$$

$${}^{III}\eta_C = 0.279$$

$${}^{III}\eta_D = 0.251$$

$${}^{III}\eta_E = -0.051$$

$${}^{III}\eta_F = -0.095$$

$${}^{III}\eta_{A'} = -0.116$$

Drugi przypadek (5)

Rozpatrujemy prawy dźwigar skrajny

$$e_{A(2)} = -4.79 \text{ m}$$

$$e_{B(2)} = -4.56 \text{ m}$$

$$e_{C(2)} = -3.07 \text{ m}$$

$$e_{D(2)} = -2.50 \text{ m}$$

$$e_{E(2)} = 3.50 \text{ m}$$

$$e_{F(2)} = 4.37 \text{ m}$$

$$e_{A'(2)} = 4.79 \text{ m}$$

Dla dźwigara przyskrajnego (5)

$$1/k = 0.125$$

$$bps/(2\sum b_i^2) = 0.050$$

$${}^{III}x_0 = -0.125 \quad / \quad 0.050$$

$${}^{III}x_0 = -2.49 \text{ m}$$

$${}^{III}\eta = 0.125 + e^* 0.050$$

Sprawdzenie przecięcia dźwigara skrajnego i przyskrajnego (5)

Szukamy, które z pól powierzchni po stronie dodatnich wartości linii wpływu jest większe?

Pole dodatnie linii wpływu dla dźwigara skrajnego wynosi

$$A^{IV} = 1/2 * {}^{IV}\eta_A * (e_A - {}^{IV}x_0) = 1.509 \text{ m}$$

Pole dodatnie linii wpływu dla dźwigara przyskrajnego wynosi

$$A^{III} = 1/2 * {}^{III}\eta_A * (e_A - {}^{III}x_0) = 1.331 \text{ m}$$

$$A^{IV} > A^{III}$$

Z uwagi na to, że wszystkie rzędne linii wpływu dla dźwigara skrajnego oraz dodatnie pola linii wpływu rozkładu poprzecznego są większe od analogicznych wartości dla dźwigara przyskrajnego, dalsze obliczenia będą prowadzone dla dźwigara skrajnego.

Wyznaczenie odległości sił i wartości obciążeń dwóch przypadków obciążenia skrajnego dźwigara

Pierwszy przypadek LM1 i LM4 (W)

$$e_{Q11(1)} = 2.00 \text{ m}$$

$${}^{IV}\eta_{Q11(1)} = 0.264$$

$$e_{Q12(1)} = 0.00 \text{ m}$$

$${}^{IV}\eta_{Q12(1)} = 0.125$$

$$e_{Q21(1)} = -1.00 \text{ m}$$

$${}^{IV}\eta_{Q21(1)} = 0.055$$

$$e_{Q22(1)} = -3.00 \text{ m}$$

$${}^{IV}\eta_{Q22(1)} = 0.000$$

poza x_0

$$e_{Q31(1)} = \text{m}$$

$${}^{IV}\eta_{Q31(1)} = 0.000$$

nie występuje

$$e_{Q32(1)} = \text{m}$$

$${}^{IV}\eta_{Q32(1)} = 0.000$$

nie występuje

$$e_{q1(1)} = 1.00 \text{ m}$$

$${}^{IV}\eta_{q1(1)} = 0.195$$

$$e_{q2(1)} = -1.30 \text{ m}$$

$${}^{IV}\eta_{q2(1)} = 0.035$$

$$e_{q3(1)} = \text{m}$$

$${}^{IV}\eta_{q3(1)} = 0.000$$

nie występuje

$$e_{qt(1)} = 3.82 \text{ m}$$

$${}^{IV}\eta_{qt(1)} = 0.391$$

Drugi przypadek LM1 i LM4 (5)

$$e_{Q11(2)} = 3.00 \text{ m}$$

$${}^{IV}\eta_{Q11(2)} = 0.334$$

$$e_{Q12(2)} = 1.00 \text{ m}$$

$${}^{IV}\eta_{Q12(2)} = 0.195$$

$$e_{Q21(2)} = 0.00 \text{ m}$$

$${}^{IV}\eta_{Q21(2)} = 0.125$$

$$e_{Q22(2)} = -2.00 \text{ m}$$

$${}^{IV}\eta_{Q22(2)} = 0.000$$

poza x_0

$$e_{Q31(2)} = \text{m}$$

$${}^{IV}\eta_{Q31(2)} = 0.000$$

nie występuje

$$e_{Q32(2)} = \text{m}$$

$${}^{IV}\eta_{Q32(2)} = 0.000$$

nie występuje

$$e_{q1(2)} = 2.00 \text{ m}$$

$${}^{IV}\eta_{q1(2)} = 0.264$$

$$e_{q2(2)} = -1.15 \text{ m}$$

$${}^{IV}\eta_{q2(2)} = 0.045$$

$$e_{q3(2)} = \text{m}$$

$${}^{IV}\eta_{q3(2)} = 0.000$$

nie występuje

$$e_{qt(2)} = -3.82 \text{ m}$$

$${}^{IV}\eta_{qt(2)} = 0.000$$

poza x_0

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.	$q_{w,k} + q_{d,k} = 0,5 * (q_{w,k} + q_{d,k}) * [\eta_A * (e_A - x_0) + \eta_A * (x_0 - e_A)] =$	-0.57 kN/m
Nawierzchnia	$q_{n,k} = 0,5 * q_{n,k} * [\eta_D * (e_D - x_0) + (\eta_E) * (x_0 - e_E)] =$	1.24 kN/m
Izolacja	$q_{i,k} = 0,5 * q_{i,k} * [\eta_A * (e_A - x_0) + (\eta_A) * (x_0 - e_A)] =$	0.08 kN/m
Chodnik	$q_{ch,k} = 0,5 * q_{ch,k} * [(\eta_A + \eta_D) * (e_A - e_D) + (\eta_A + \eta_E) * (e_E - e_A)] =$	4.24 kN/m
Bariery	$q_{ba,k} = q_{ba,k} * (\eta_B + \eta_C + \eta_F) =$	0.30 kN/m
Gzyms	$q_{gz,k} = q_{gz,k} * (\eta_A + \eta_A) =$	0.34 kN/m

3.2.2. Obciążenia stałe (obliczeniowe):

Odpar. woda oraz ciężar desk.	$q_{wd} + q_{dd} = 0,5 * (q_{w,k} + q_{d,k}) * [\gamma_{Gode} * \eta_A * (e_A - x_0) + \gamma_{Gobe} * \eta_A * (x_0 - e_A)] =$	-0.42 kN/m
Nawierzchnia	$q_{nd} = 0,5 * q_{n,k} * [\gamma_{Gobe} * \eta_D * (e_D - x_0) + \gamma_{Gode} * (\eta_E) * (x_0 - e_E)] =$	2.01 kN/m
Izolacja	$q_{id} = 0,5 * q_{i,k} * [\gamma_{Gobe} * \eta_A * (e_A - x_0) + \gamma_{Gode} * (\eta_A) * (x_0 - e_A)] =$	0.14 kN/m
Chodnik	$q_{chd} = 0,5 * q_{ch,k} * [\gamma_{Gobe} * (\eta_A + \eta_D) * (e_A - e_D) + \gamma_{Gode} * (\eta_A + \eta_E) * (e_E - e_A)] =$	6.81 kN/m
Bariery	$q_{ba,d} = q_{ba,k} * [\gamma_{Gobe} * (\eta_B + \eta_C) + \gamma_{Gode} * \eta_F] =$	0.51 kN/m
Gzyms	$q_{gz,d} = q_{gz,k} * (\gamma_{Gobe} * \eta_A + \gamma_{Gode} * \eta_A) =$	0.67 kN/m

3.2.3. Obciążenia ruchome (charakterystyczne)

LM 1 + LM 4 (W)

od Q ₁ :	$\eta_{Q1} = Q_1 * [$	2*	0.125	+	0.070	$*(e_{Q11} + e_{Q12}) =$	116.7	kN
od Q ₂ :	$\eta_{Q2} = Q_2 * ($	1*	0.125	+	0.070	$*(e_{Q21} + e_{Q22}) =$	11.1	kN
od Q ₃ :	$\eta_{Q3} = Q_3 * ($	1*	0.125	+	0.070	$*(e_{Q31} + e_{Q32}) =$	0.0	kN
od q ₁ :	$\eta_{q1} = q_1 * b_1 * \alpha ($	1*	0.125	+	0.070	$*e_{q1} =$	7.0	kN/m
od q ₂ :	$\eta_{q2} = q_2 * b_2 * \alpha ($	1*	0.125	+	0.070	$*e_{q2} =$	0.3	kN/m
od q ₃ :	$\eta_{q3} = q_3 * b_3 * \alpha ($	1*	0.125	+	0.070	$*e_{q3} =$	0.0	kN/m
dla q _t :	$\eta_{qt} = q_t * b_t * ($	1*	0.125	+	0.070	$*e_{qt} =$	0.8	kN/m

3.2.4. Obliczenie sił wewnętrznych

Faza I

Stale charakterystyczne

$$T_{sk} = q_{tk} * L / 2 = 135 \text{ kN}$$

$$M_{sk} = q_{tk} * L_t^2 / 8 = 652 \text{ kNm}$$

Stale obliczeniowe

$$T_{sd} = q_{td} * L / 2 = 202 \text{ kN}$$

$$M_{sd} = q_{td} * L_t^2 / 8 = 977 \text{ kNm}$$

Faza II

Stale charakterystyczne

$$T_{sk} = (q_{wk} + q_{dk} + q_{nk} + q_{ik} + q_{ch,k} + q_{ba,k} + q_{gz,k}) * L / 2 = 58 \text{ kN}$$

$$M_{sk} = (q_{wk} + q_{dk} + q_{nk} + q_{ik} + q_{ch,k} + q_{ba,k} + q_{gz,k}) * L_t^2 / 8 = 282 \text{ kNm}$$

Stale obliczeniowe

$$T_{sd} = (q_{wd} + q_{dd} + q_{nd} + q_{id} + q_{chd} + q_{ba,d} + q_{gz,d}) * L / 2 = 100 \text{ kN}$$

$$M_{sd} = (q_{wd} + q_{dd} + q_{nd} + q_{id} + q_{chd} + q_{ba,d} + q_{gz,d}) * L_t^2 / 8 = 485 \text{ kNm}$$

Ruchome charakterystyczne LM1+LM4

$$T_{rk} = (\eta_{q1} + \eta_{q2} + \eta_{q3}) * L_r / 2 + (\eta_{Q1} + \eta_{Q2}) = 155 \text{ kN}$$

$$M_{rk} = (\eta_{q1} + \eta_{q2} + \eta_{q3}) * L_r^2 / 8 + (\eta_{Q1} + \eta_{Q2}) * L_t / 4 = 1042 \text{ kNm}$$

Ruchome obliczeniowe LM1+LM4

$$T_{rd} = \gamma_q * (\eta_{q1} + \eta_{q2} + \eta_{q3}) * L_r / 2 + \gamma_Q * (\eta_{Q1} + \eta_{Q2}) = 281 \text{ kN}$$

$$M_{rd} = \gamma_q * (\eta_{q1} + \eta_{q2} + \eta_{q3}) * L_r^2 / 8 + \gamma_Q * (\eta_{Q1} + \eta_{Q2}) * L_t / 4 = 1407 \text{ kNm}$$

Calkowite charakterystyczne

$$T_{k(1)} = 348 \text{ kN}$$

$$M_{k(1)} = 1976 \text{ kNm}$$

Calkowite obliczeniowe

$$T_{d(1)} = 584 \text{ kN}$$

$$M_{d(1)} = 2870 \text{ kNm}$$

3.3. Przypadek (2) Obciążenia przypadające na skrajny dźwigar (5):

3.3.1. Obciążenia stałe (charakterystyczne)

Odpar. woda oraz ciężar desk.	$q_{wk} + q_{dk} = 0,5 * (q_{wk} + q_{dk}) * [\eta_A * (e_A - x_0) + \eta_A * (x_0 - e_A)] =$	-0.57 kN/m
Nawierzchnia	$q_{nk} = 0,5 * q_{nk} * [\eta_E * (e_E - x_0) + (\eta_D) * (x_0 - e_D)] =$	2.21 kN/m
Izolacja	$q_{ik} = 0,5 * q_{ik} * [\eta_A * (e_A - x_0) + (\eta_A) * (x_0 - e_A)] =$	0.08 kN/m
Chodnik	$q_{ch,k} = 0,5 * q_{ch,k} * [(\eta_A + \eta_E) * (e_A - e_E) + (\eta_A + \eta_D) * (e_D - e_A)] =$	1.37 kN/m
Bariery	$q_{ba,k} = q_{ba,k} * (\eta_F + \eta_C + \eta_B) =$	0.07 kN/m
Gzyms	$q_{gz,k} = q_{gz,k} * (\eta_A + \eta_A) =$	0.34 kN/m

3.3.2. Obciążenia stałe (obliczeniowe):

Odpar. woda oraz ciężar desk.	$q_{wd} + q_{dd} = 0,5 * (q_{wk} + q_{dk}) * [\gamma_{Gode} * \eta_A * (e_A - x_0) + \gamma_{Gobe} * \eta_A * (x_0 - e_A)] =$	-0.42 kN/m
Nawierzchnia	$q_{nd} = 0,5 * q_{n,k} * [\gamma_{Gobe} * \eta_E * (e_E - x_0) + \gamma_{Gode} * (\eta_D) * (x_0 - e_D)] =$	3.33 kN/m
Izolacja	$q_{id} = 0,5 * q_{i,k} * [\gamma_{Gobe} * \eta_A * (e_A - x_0) + \gamma_{Gode} * (\eta_A) * (x_0 - e_A)] =$	0.14 kN/m
Chodnik	$q_{chd} = 0,5 * q_{ch,k} * [\gamma_{Gobe} * (\eta_A + \eta_E) * (e_A - e_E) + \gamma_{Gode} * (\eta_A + \eta_D) * (e_D - e_A)] =$	3.08 kN/m
Bariery	$q_{ba,k} = q_{ba,k} * [\gamma_{Gobe} * \eta_F + \gamma_{Gode} * (\eta_C + \eta_D)] =$	0.20 kN/m
Gzyms	$q_{gz,k} = q_{gz,k} * (\gamma_{Gobe} * \eta_A + \gamma_{Gode} * \eta_A) =$	0.67 kN/m

3.3.3. Obciążenia ruchome (charakterystyczne)

LM 1 + LM 4 (W)

od Q ₁ :	$\eta_{Q1} = Q_1 * [$	2*	0.125	+	0.070	$*(e_{Q11} + e_{Q12})] =$	158.5	kN
od Q ₂ :	$\eta_{Q2} = Q_2 * ($	1*	0.125	+	0.070	$*e_{Q21}) =$	25.0	kN
od Q ₃ :	$\eta_{Q3} = Q_3 * ($	1*	0.125	+	0.070	$*(e_{Q31} + e_{Q32})] =$	0.0	kN
od q ₁ :	$\eta_{q1} = q_{r1} * b_{r1} * \alpha($	1*	0.125	+	0.070	$*e_{q1}) =$	9.5	kN/m
od q ₂ :	$\eta_{q2} = q_{r2} * b_{r2} * \alpha($	1*	0.125	+	0.070	$*e_{q2}) =$	0.6	kN/m
od q ₃ :	$\eta_{q3} = q_3 * b_3 * \alpha($	1*	0.125	+	0.070	$*e_{q3}) =$	0.0	kN/m
od q _i :	$\eta_{qi} = q_i * ($	1*	0.125	+	0.070	$*e_{qi}) =$	0.0	kN/m

3.3.4. Obliczenie sił wewnętrznych

Faza I

Stale charakterystyczne

$${}^I T_{sk} = {}^I q_{tk} * L / 2 = 135 \text{ kN}$$

$${}^I M_{sk} = {}^I q_{tk} * L_t^2 / 8 = 652 \text{ kNm}$$

Stale obliczeniowe

$${}^I T_{sd} = {}^I q_{td} * L / 2 = 202 \text{ kN}$$

$${}^I M_{sd} = {}^I q_{td} * L_t^2 / 8 = 977 \text{ kNm}$$

Faza II

LM 1 + LM 4

Stale charakterystyczne

$${}^{II} T_{sk} = ({}^{II} q_{wk} + {}^{II} q_{dk} + {}^{II} q_{nk} + {}^{II} q_{ik} + {}^{II} q_{chk} + {}^{II} q_{bak} + {}^{II} q_{gzk}) * L / 2 = 36 \text{ kN}$$

$${}^{II} M_{sk} = ({}^{II} q_{wk} + {}^{II} q_{dk} + {}^{II} q_{nk} + {}^{II} q_{ik} + {}^{II} q_{chk} + {}^{II} q_{bak} + {}^{II} q_{gzk}) * L_t^2 / 8 = 175 \text{ kNm}$$

Stale obliczeniowe

$${}^{II} T_{sd} = ({}^{II} q_{wd} + {}^{II} q_{dd} + {}^{II} q_{nd} + {}^{II} q_{id} + {}^{II} q_{cd} + {}^{II} q_{bd} + {}^{II} q_{gzd}) * L / 2 = 72 \text{ kN}$$

$${}^{II} M_{sd} = ({}^{II} q_{wd} + {}^{II} q_{dd} + {}^{II} q_{nd} + {}^{II} q_{id} + {}^{II} q_{cd} + {}^{II} q_{bd} + {}^{II} q_{gzd}) * L_t^2 / 8 = 350 \text{ kNm}$$

Ruchome charakterystyczne

$${}^{II} T_{rk} = (\eta_{q1} + \eta_{q2} + \eta_{q3}) L_t / 2 + (\eta_{Q1} + \eta_{Q2}) = 285 \text{ kN}$$

$${}^{II} M_{rk} = (\eta_{q1} + \eta_{q2} + \eta_{q3}) L_t^2 / 8 + (\eta_{Q1} + \eta_{Q2}) * L_t / 4 = 1423 \text{ kNm}$$

Ruchome obliczeniowe

$${}^{II} T_{rd} = \gamma_q * (\eta_{q1} + \eta_{q2} + \eta_{q3}) L_t / 2 + \gamma_Q * (\eta_{Q1} + \eta_{Q2}) = 384 \text{ kN}$$

$${}^{II} M_{rd} = \gamma_q * (\eta_{q1} + \eta_{q2} + \eta_{q3}) L_t^2 / 8 + \gamma_Q * (\eta_{Q1} + \eta_{Q2}) * L_t / 4 = 1921 \text{ kNm}$$

Calkowite charakterystyczne

$$T_{k(1)} = 456 \text{ kN}$$

$$M_{k(1)} = 2250 \text{ kNm}$$

Calkowite obliczeniowe

$$T_{d(1)} = 659 \text{ kN}$$

$$M_{d(1)} = 3248 \text{ kNm}$$

3.4. Zestawienie obciążeń, wybór bardziej przeciążonego skrajnego dźwigara (5)

Przypadek (1)

Faza 1 (1)

$${}^I T_{sk(1)} = 135 \text{ kN}$$

$${}^I M_{sk(1)} = 652 \text{ kNm}$$

Przypadek (2)

Faza 1 (2)

$${}^I T_{sk(2)} = 135 \text{ kN}$$

$${}^I M_{sk(2)} = 652 \text{ kNm}$$

Faza 2 (1)

$${}^{II} T_{sk(1)} = 58 \text{ kN}$$

$${}^{II} M_{sk(1)} = 282 \text{ kNm}$$

Faza 2 (2)

$${}^{II} T_{sk(2)} = 36 \text{ kN}$$

$${}^{II} M_{sk(2)} = 175 \text{ kNm}$$

łącznie od obciążeń stałych

$$T_{sk(1)} = 193 \text{ kN}$$

$$M_{sk(1)} = 933 \text{ kNm}$$

$$T_{sk(2)} = 171 \text{ kN}$$

$$M_{sk(2)} = 827 \text{ kNm}$$

od obciążeń ruchomych LM1+LM4

$${}^{II} T_{rk(1)} = 155 \text{ kN}$$

$${}^{II} M_{rk(1)} = 1042 \text{ kNm}$$

$${}^{II} T_{rk(2)} = 285 \text{ kN}$$

$${}^{II} M_{rk(2)} = 1423 \text{ kNm}$$

Zestawienie (1) stale+LM1+LM4

$$T_{k(1)} = 348 \text{ kN}$$

$$M_{k(1)} = 1976 \text{ kNm}$$

Zestawienie (2)

$$T_{k(2)} = 456 \text{ kN}$$

$$M_{k(2)} = 2250 \text{ kNm}$$

Siły wewnętrzne maksymalne (obciążenia stale+LM1+LM4)

Charakterystyczne

$${}^I T_{sk} = 135 \text{ kN}$$

$${}^I M_{sk} = 652 \text{ kNm}$$

$${}^{II} T_{sk} = 58 \text{ kN}$$

$${}^{II} M_{sk} = 282 \text{ kNm}$$

$${}^{II} T_{rk} = 285 \text{ kN}$$

$${}^{II} M_{rk} = 1423 \text{ kNm}$$

Obliczeniowe

$${}^I T_{sd} = 202 \text{ kN}$$

$${}^I M_{sd} = 977 \text{ kNm}$$

$${}^{II} T_{sd} = 100 \text{ kN}$$

$${}^{II} M_{sd} = 485 \text{ kNm}$$

$${}^{II} T_{rd} = 384 \text{ kN}$$

$${}^{II} M_{rd} = 1921 \text{ kNm}$$

Charakterystyczne łącznie

$$T_k = 456 \text{ kN}$$

$$M_k = 2250 \text{ kNm}$$

Obliczeniowe łącznie

$$T_d = 659 \text{ kN}$$

$$M_d = 3248 \text{ kNm}$$

Bardziej obciążony jest dźwigar skrajny po prawej stronie

4. Wymiarowanie przekroju (W)

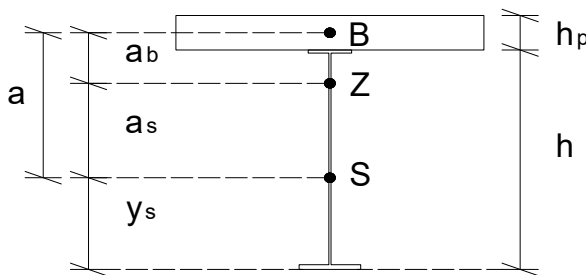
4.1. Wyznaczenie szerokości płyty współpracującej (wg EN 1994-2 Roz.5.4.1.2) (W)

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

$b_0 =$	0.132	m	
$L_c =$	20.000	m	
$b_z =$	0.800	m	=b1
$b_w =$	0.900	m	=b2
$b_{ci} = \min\{L_c/8; b_i\}$			
$b_{e1} = \min$	2.500	m	
	0.734	m	
$b_{e1} =$	0.734	m	
$b_{e2} = \min$	2.500	m	
	0.834	m	
$b_{e2} =$	0.834	m	
$b_{\text{eff},1} =$	1.700	m	$\leq 1.700 \text{ m}$

4.2. Parametry geometryczne przekroju zespolonego (W)

4.2.1. W metodzie bezpośredniej



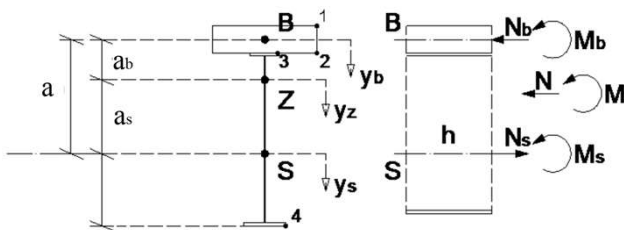
Rys.4. Przekrój zespolony

$n_o = E_s/E_{cm}$	6.438
$m_o = E_s/E_{bmo}$	10.300
$A_s = b_g \cdot h_g + b_s \cdot h_s + b_d \cdot h_d =$	0.023 m ²
$A_b = h_p \cdot b_{\text{eff}} =$	0.391 m ²
$A_z = A_s + A_b/n_o =$	0.084 m ²
$S_{xx}^{\text{stali}} =$	0.010 m ³
$y_s = S_{xx}^{\text{stali}} / A_s =$	0.437 m
$a = h - y_s + h_p/2 =$	0.758 m
$A_z \cdot a_b = A_s \cdot a =$	0.211 m
$a_s = a - a_b =$	0.547 m
$J_b = b_p \cdot h_p^3 / 12 =$	0.001724 m ⁴

$$J_s = b_g \cdot h_g^3 / 12 + b_g \cdot h_g \cdot (h - y_s - h_g/2)^2 + b_s \cdot h_s^3 / 12 + b_s \cdot h_s \cdot (h_s/2 + h_d - y_s)^2 + b_d \cdot h_d^3 / 12 + b_d \cdot h_d \cdot (y_s - h_d/2)^2 = 0.003935 \text{ m}^4$$

$$J_z = J_s + J_b/m_o + a^2 \cdot A_s \cdot A_b / (n_o \cdot A_z) = 0.013814 \text{ m}^4$$

4.2.2. W metodzie pośredniej



Rys.6. Przekrój zespolony

Sztywności osiowe

$D_s = A_s \cdot E_s =$	4820400	kN
$D_b = A_b \cdot E_{bmo} =$	12512000	kN
$D_z = D_b + D_s =$	17332400	kN

Sztywności giętne

$B_s = J_s \cdot E_s =$	810710	kNm ²
$B_b = J_b \cdot E_{bmo} =$	34473	kNm ²
$B_z = B_s + B_b + a^2 \cdot D_b \cdot D_s / D_z =$	2845619	kNm ²

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

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

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

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

$$N_s = -N_b = 0.927174 \cdot M \text{ (moment zewnętrzny } M_{\text{zd}}; M_{\text{rd}})$$

$$N_b = -N_s = -0.927174 \cdot M$$

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

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

$$M_s = 0.284898 \cdot M$$

$$M_b = 0.012114 \cdot M$$

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

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

$$\sigma_s^3 = M_s / J_s * y = -159.7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s^4 = M_s / J_s * y = 108.5 \text{ MPa}$$

5.2. Faza II – beton wciągnięty do współpracy

Metoda pośrednia

Sily wewnętrzne do naprężeń od obciążeń stałych

$$N_s^s = 0.927174 * II M_{sd} = 450.1 \text{ kN}$$

$$N_b^s = -0.927174 * II M_{sd} = -450.1 \text{ kN}$$

$$M_s^s = 0.284898 * II M_{sd} = 138.3 \text{ kNm}$$

$$M_b^s = 0.012114 * II M_{sd} = 5.9 \text{ kNm}$$

Naprężenia od obciążeń stałych

$$\sigma_1^s = M_b^s / J_b * (-h_p/2) + N_b^s / A_b = -1.5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2^s = M_b^s / J_b * (h_p/2) + N_b^s / A_b = -0.8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3^s = M_s^s / J_s * (-h + y_s) + N_s^s / A_s = -3.4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4^s = M_s^s / J_s * y_s + N_s^s / A_s = 34.6 \text{ MPa}$$

Sily wewnętrzne do naprężeń od obciążeń ruchomych

$$N_s^r = 0.927174 * II M_{rd} = 1780.9 \text{ kN}$$

$$N_b^r = -0.927174 * II M_{rd} = -1780.9 \text{ kN}$$

$$M_s^r = 0.284898 * II M_{rd} = 547.2 \text{ kNm}$$

$$M_b^r = 0.012114 * II M_{rd} = 23.3 \text{ kNm}$$

Naprężenia od obciążeń ruchomych

$$\sigma_1^r = M_b^r / J_b * (-h_p/2) + N_b^r / A_b = -6.1 \text{ MPa}$$

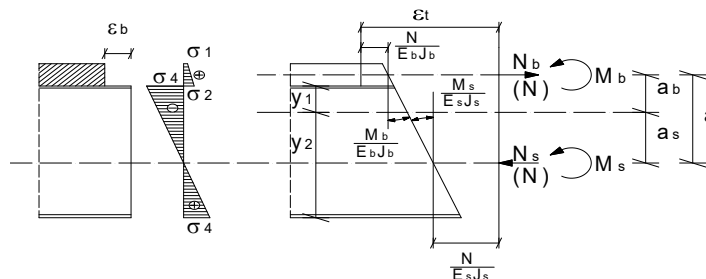
$$\sigma_2^r = M_b^r / J_b * (h_p/2) + N_b^r / A_b = -3.0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3^r = M_s^r / J_s * (-h + y_s) + N_s^r / A_s = -13.3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4^r = M_s^r / J_s * y_s + N_s^r / A_s = 136.8 \text{ MPa}$$

5.3. Skurcz

Obliczenie naprężeń od skurczu betonu bez pelzania (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

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

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

$$a * A_s * m_o / (A_z * n_o) = 0.337 \text{ m}$$

Naprężenia od obciążeń stałych

$$\sigma_1^s = II M_{sd} / (m_o * J_z) * [-h_p/2 - a * A_s * m_o / (A_z * n_o)] = -1.5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2^s = II M_{sd} / (m_o * J_z) * [h_p/2 - a * A_s * m_o / (A_z * n_o)] = -0.8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3^s = II M_{sd} / J_z * (y_s + a_s - h) = -3.4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4^s = II M_{sd} / J_z * (y_s + a_s) = 34.6 \text{ MPa}$$

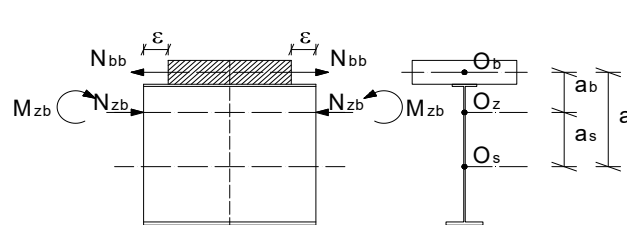
Naprężenia od obciążeń ruchomych

$$\sigma_1^r = II M_{rd} / (m_o * J_z) * [-h_p/2 - a * A_s * m_o / (A_z * n_o)] = -6.1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2^r = II M_{rd} / (m_o * J_z) * [h_p/2 - a * A_s * m_o / (A_z * n_o)] = -3.0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3^r = II M_{rd} / J_z * (y_s + a_s - h) = -13.3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4^r = II M_{rd} / J_z * (y_s + a_s) = 136.8 \text{ MPa}$$



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.

$$h_0 = 2 * A_b / (b + b + h_p - b_{pg}) = 227 \text{ mm}$$

$$k_h = (200 - h_0) * (0,85 - 0,75) / (300 - 200) + 0,85 = 0,823 \quad k_h = (300 - h_0) * (0,85 - 0,75) / (300 - 200) + 0,75 = 0,823$$

$$\epsilon_{cd} = k_h * \epsilon_{cd,0} = 0,000298$$

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

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca} = 0,000348$$

Metoda pośrednia:

Sily wewnętrzne do naprężeń od skurczu

$$\beta = \epsilon * D_b * D_s / (D_z * B_z) = 0,000426$$

$$N = \beta * (B_b + B_s) = 359,8 \text{ kN}$$

$$M_b = \beta * a * B_b = 11,1 \text{ kNm}$$

$$M_s = \beta * a * B_s = 261,7 \text{ kNm}$$

Naprężenia od skurczu

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

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

$$\sigma_2^{sk} = N/A_b + M_b * (h_p/2) / J_b \quad 1,7 \text{ MPa}$$

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

$$\sigma_3^{sk} = -N/A_s + M_s * (-h + y_s) / J_s \quad -58,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4^{sk} = -N/A_s + M_s * y_s / J_s \quad 13,7 \text{ MPa}$$

Metoda bezpośrednia:

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

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

$$N_{bb} = 4356 \text{ kN}$$

$$N_{zb} = -4356 \text{ kN}$$

$$M_{zb} = 918 \text{ kNm}$$

Naprężenia od skurczu

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

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

$$\sigma_2^{sk} = N_{bb}/A_b + N_{zb}/(n_0 A_z) + M_{zb}/(m_0 J_z) * (h_p/2 - a_b * m_0/n_0) = 1,7 \text{ MPa}$$

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

$$\sigma_3^{sk} = N_{zb}/A_z + M_{zb} * (-h + y_z) / J_z \quad -58,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4^{sk} = N_{zb}/A_z + M_{zb} * y_z / J_z \quad 13,7 \text{ MPa}$$

5.4. Naprężenia od zmian temperatury

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

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

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

$$\epsilon_t = 0,000240$$

$$\epsilon_{cs} = 0,000348$$

$$\epsilon_t / \epsilon_{cs} = 0,69$$

Metoda pośrednia:

Naprężenia od zmian temperatury

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

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

$$\sigma_3^t = \pm -40,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4^t = \pm 9,4 \text{ MPa}$$

Metoda bezpośrednia:

Naprężenia od zmian temperatury

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

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

$$\sigma_3^t = \pm -40,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4^t = \pm 9,4 \text{ MPa}$$

5.5. Zestawienie naprężeń normalnych [MPa]

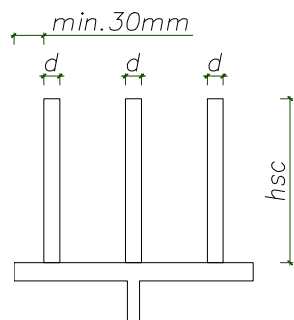
Metoda pośrednia

Poziom naprężenie	Faza I	Faza II				Razem		
		Od obciążeń stałych	Od obciążeń ruchomych	Od skurczu bez pełzania	Od zmian temperatury			
1	-	-1.5	-6.1	0.2	-0.1	0.1	-7.6	-7.4
2	-	-0.8	-3.0	1.7	-1.1	1.1	-3.2	-1.0
3	-159.7	-3.4	-13.3	-58.1	40.1	-40.1	-194.5	-274.7
4	108.5	34.6	136.8	13.7	-9.4	9.4	284.2	303.0

Metoda bezpośrednia

Poziom naprężenie	Faza I	Faza II				Razem		
		Od obciążeń stałych	Od obciążeń ruchomych	Od skurczu bez pełzania	Od zmian temperatury			
1	-	-1.5	-6.1	0.2	-0.1	0.1	-7.6	-7.4
2	-	-0.8	-3.0	1.7	-1.1	1.1	-3.2	-1.0
3	-159.7	-3.4	-13.3	-58.1	40.1	-40.1	-194.5	-274.7
4	108.5	34.6	136.8	13.7	-9.4	9.4	284.2	303.0

$\sigma_{bmax} =$	7.6	MPa < $f_{cd} =$	21.4 MPa	35.4%	maksymalne ściskanie betonu
$\sigma_{smaxFI} =$	160	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

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 $h_{sc} = 180 \text{ mm}$ o ilości w rzędzie $n = 3 \text{ szt.}$

Maksymalna podłużna siła ścinająca na styku stali z betonem:

$$V_{LEd} = 0,5^I T_{sd} + {}^{II}T_d = 558 \text{ kN}$$

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 $h_{sc}/d = 11.25$ $\alpha = 1$ $E_{cm} = 32 \text{ GPa}$

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

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

Przyjmuję:

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

Rozstaw łączników $t_f = b_{pg} = 0.020 \text{ m}$ - 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 $e = 0.300 \text{ m}$ Ilość sworzni na 1 mb $n_{sw} = 1/e * n = 10 \text{ szt/m}$ **Sprawdzenie nośności sworzni**

$$V_{LEd} / (n_{sw} * P_{Rd}) = 0.958 \leq 1 \text{ - warunek spełniony}$$

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] 23 cm f_{cd} - wytrz. oblicz. betonu na ściskanie 21.4 MPa

$$F_1 = n * d * h_{sc} * 0,5 * \Pi = 136 \text{ cm}^2$$

$$F = b_o d_o = 414 \text{ cm}^2$$

$$F_1/F = 0.33$$

$$K = 1.79$$

 $R_d = K * f_{cd} = 38.4 \text{ MPa}$ wytrzymałość na docisk w betonie

$$\sigma_{doc} = n * P_{Rd} / F_1 = 12.9 < R_d = 38.4 \text{ - warunek spełniony}$$

11. Sprawdzenie naprężeń ścinających w betonie płyty (5)

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

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

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

$$w_{rz1} = 5/48 * I^{II} * M_{rk} * L_t^2 / (E_s * J_z) = 21 \text{ mm}$$

lub

$$w_{rz2} = 5/384 * (\eta_{qr1} + \eta_{qr2} + \eta_{qt}) * L_t^4 / (E_s * J_z) + 1/48 * (\eta_{Q1} + \eta_{Q2}) * L_t^3 / (E_s * J_z) = 11 \text{ mm}$$

$$w_{rz} = \max(w_{rz1}; w_{rz2}) = 20.8 \text{ mm}$$

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

Ugięcie całkowite (od obciążeń stałych i skurczu):

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

w_m – ugięcie dźwigara w fazie I

$$w_m = 5/48 * I^{II} * M_{sk} * L_t^2 / (E_s * J_s) = 33 \text{ mm}$$

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

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

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

$$\varepsilon_{cs} = 0.000348$$

$$a = 0.758 \text{ m}$$

$$M = 372.2 \text{ kNm}$$

$$\Delta w_{fs} = 16 \text{ mm}$$

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

$$\Delta w_{fzw} = 5/48 * I^{II} * M_{sk} * L_t^2 / (E_s * J_z) = 4 \text{ mm}$$

$$w_{tot} = 54 \text{ mm}$$

Odwrotna strzałka ugięcia – w_c

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

$$w_c = 64 \text{ mm}$$

Przyjęto odwrotną strzałkę ugięcia w_c równą 64 mm