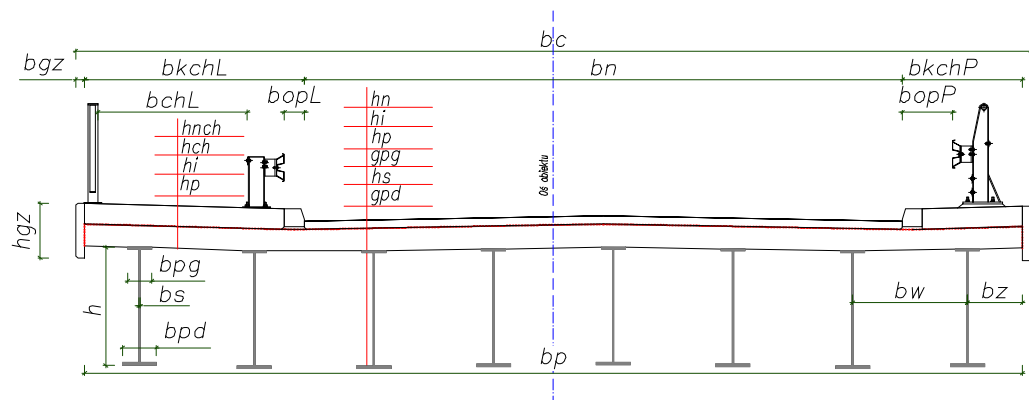




Rys.1. Wymiary przekroju

1. Dane wyjściowe (W)

Długość przęsła - L	20,700	m
Rozpiętość teoretyczna - L_t	20,000	m
Grubość środka - g_s	0,012	m
Wysokość środka - 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	1,552	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
Liczba dźwigarów - k	8	szt

Material:

Stal

 γ_s – ciężar właściwy stali 78,5 kN/m³ 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} = 32 GPa $E_{cmo} = 1,6^{-1} * E_{cm}$ 20 GPa f_{ck} = 30 MPa f_{ctk} = 2,0 MPa f_{cd} = 21,43 MPa f_{ctd} = 1,3 MPa f_{cm} = 38 MPaBeton suchy zbrojony - 24 kN/m³Beton mokry zbrojony - 25 kN/m³Dodatek na zbrojenie - 1 kN/m³Ciężar właściwy drewna - 6 kN/m³

		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

$$\gamma_0 = \gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_1 = \gamma_{M1} = 1,10$$

$$\gamma_2 = \gamma_{M2} = 1,25$$

Współczynniki bezpieczeństwa - dla korzystnych wartości obciążeń

$$\gamma_{G,odc} = (odc.) = 0,9$$

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

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

Współczynniki bezpieczeństwa - dla niekorzystnych wartości obciążeń

$$\gamma_{G,obc} = (obc.bet) = 1,35$$

$$\gamma_{G,obc} = (obc.wyp.) = 1,5$$

$$\gamma_{Q,obc} = (obc.) = 1,35$$

$$\gamma_{q,obc} = (obc.) = 1,35$$

2. Zebranie obciążeń (W)

2.1. Obciążenia stałe

FAZA I - montażowa

Ciężary 'na belkę' podaje się jako linowe

$$\text{Ciężar blachownicy} \quad q_{s,k} = (b_{pg} * h_{pg} + b_s * h_s + b_{pd} * h_{pd}) * \gamma_s = 2,58 \text{ kN/m}$$

$$\text{Ciężar płyty (mokry beton):} \quad q_{b,k} = (b_z + 0,5 * b_w) * h_p * \gamma_{betonu} = 10,92 \text{ kN/m}$$

$$\text{Ciężar łączników i stężeń} \quad q_{c,k} = 1,00 \text{ kN/m}$$

$$\text{Ciężar deskowania} \quad q_{d,k} = 0,04m * (b_z + 0,5 * b_w + h_p - b_g) * \gamma_{drewna} = 0,45 \text{ kN/m}$$

Zestawienie ciężarów w Fazie I

$$\text{Belka skrajna} \quad l_{t,k} = q_{s,k} + q_{bt,k} + q_{c,k} + q_{dt,k} = 14,9 \text{ kN/m}$$

FAZA II - użytkowa

Ciężary 'na pomost' podaje się jako powierzchniowe

$$\text{Ciężar odparowanej wody na } 1m^2 \text{ pomostu:} \quad q_{w,k} = h_p * 1 \text{ kN/m}^3 = -0,24 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Ciężar zdemontowanego deskowania} \quad q_{d,k} = -q_{d,k} / (b_z + b_w / 2) = -0,25 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Ciężar nawierzchni:} \quad q_{n,k} = h_n * 23 \text{ kN/m}^3 = 2,30 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Ciężar izolacji:} \quad q_{i,k} = h_i * 14 \text{ kN/m}^3 = 0,07 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Ciężar kapy chodnikowej i krawężnika:} \quad q_{ch,k} = h_{ch} * 25 \text{ kN/m}^3 = 6,00 \text{ kN/m}^2$$

Balustrady, bariery, deski gzymsowe – obciążenia liniowe

$$\text{Bariery} \quad q_{ba,k} = 0,50 \text{ kN/m}$$

$$\text{Ciężar gzymsu} \quad q_{gz,k} = 0,75 \text{ kN/m}$$

2.2. Obciążenia przypadające na skrajny dźwigar :

2.2.1. Obciążenia stałe (charakterystyczne)

$$\text{Odpar. woda oraz ciężar desk.} \quad {}^{II}q_{wk} + {}^{II}q_{dk} = (q_{wk} + q_{dk}) * b_p / k = -0,88 \text{ kN/m}$$

$$\text{Nawierzchnia} \quad {}^{II}q_{nk} = q_{nk} * b_n / k = 3,02 \text{ kN/m}$$

$$\text{Izolacja} \quad {}^{II}q_{ik} = q_{ik} * b_p / k = 0,13 \text{ kN/m}$$

$$\text{Chodnik} \quad {}^{II}q_{chk} = q_{chk} * (b_{kchL} + b_{kchP}) / k = 3,05 \text{ kN/m}$$

$$\text{Bariery} \quad {}^{II}q_{bak} = q_{bak} * n_{ba} / k = 0,19 \text{ kN/m}$$

$$\text{Gzyms} \quad {}^{II}q_{gzk} = q_{gzk} * 2 / k = 0,19 \text{ kN/m}$$

2.2.2. Obciążenia stałe (obliczeniowe):

$$\text{Odpar. woda oraz ciężar desk.} \quad {}^{II}q_{wd} + {}^{II}q_{dd} = ({}^{II}q_{wk} + {}^{II}q_{dk}) * \gamma_G = -1,32 \text{ kN/m}$$

$$\text{Nawierzchnia} \quad {}^{II}q_{nd} = {}^{II}q_{nk} * \gamma_G = 4,53 \text{ kN/m}$$

$$\text{Izolacja} \quad {}^{II}q_{id} = {}^{II}q_{ik} * \gamma_G = 0,19 \text{ kN/m}$$

$$\text{Chodnik} \quad {}^{II}q_{chd} = {}^{II}q_{chk} * \gamma_G = 4,57 \text{ kN/m}$$

$$\text{Bariery} \quad {}^{II}q_{bad} = {}^{II}q_{bak} * \gamma_G = 0,28 \text{ kN/m}$$

$$\text{Gzyms} \quad {}^{II}q_{gzd} = {}^{II}q_{gzk} * \gamma_G = 0,28 \text{ kN/m}$$

2.3. Obciążenia użytkowe

LM1

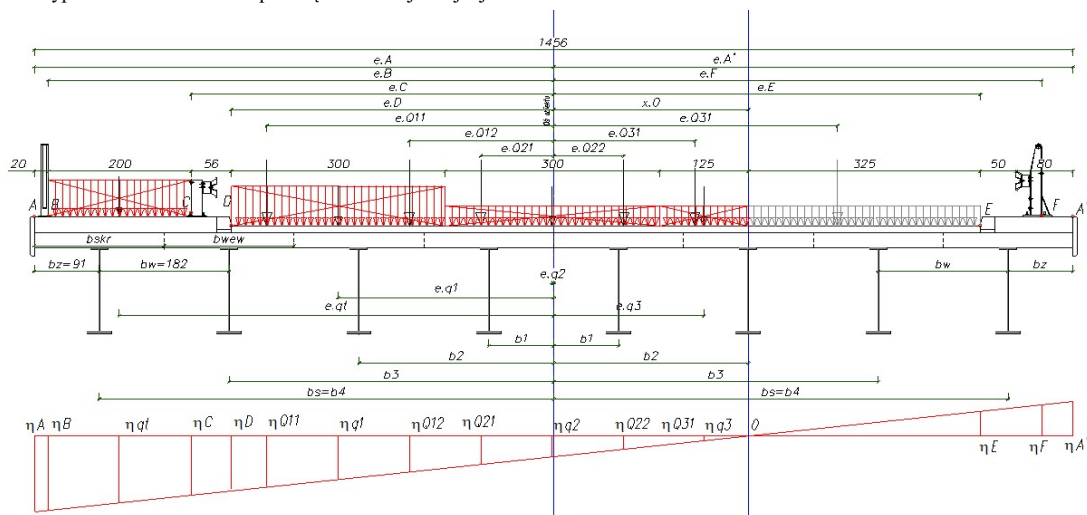
TS		$\psi_{0,1}$ to:	kl. I	kl. II
PU1 2 siły Q_1 po 300 kN = 2 x 300 kN (opisywane jako $Q_{11} + Q_{12}$)	300 kN	$\alpha_{Q1} =$	1,00	1,00
PU2 2 siły Q_2 po 200 kN = 2 x 200 kN (opisywane jako $Q_{21} + Q_{22}$)	200 kN	$\alpha_{Q2} =$	1,00	1,00
PU3 2 siły Q_3 po 100 kN = 2 x 100 kN (opisywane jako $Q_{31}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

Obciążenie tłumem

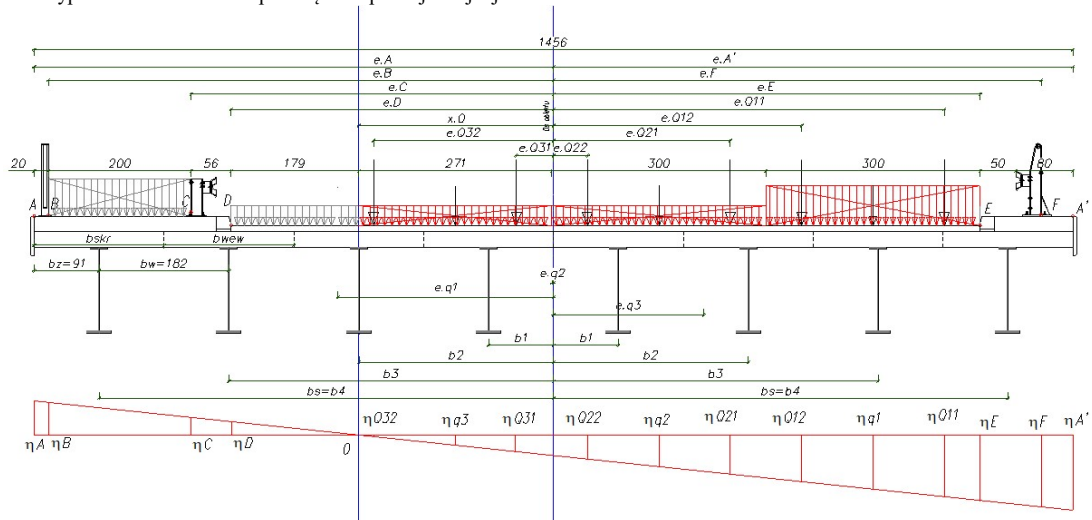
$$q_t = 3 \text{ kN/m}^2 \quad 3 \text{ kN/m}^2$$

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

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



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



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.

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

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

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

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

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

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

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

$$k = 8$$

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

Wartości rzędnych linii wpływu

$$1/k = 0,125$$

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

$$^{IV}x_0 = 0,125 \quad / \quad 0,046$$

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

$$^{IV}\eta = 0,125 + e \cdot 0,046$$

Wyznaczenie odległości sił i wartości obciążeń skrajnego dźwigara prawego

Pierwszy przypadek LM1 i LM4

$$e_{Q11(1)} = 5,48 \text{ m}$$

$$^{IV}\eta_{Q11(1)} = 0,376$$

$$e_{Q12(1)} = 3,48 \text{ m}$$

$$^{IV}\eta_{Q12(1)} = 0,284$$

$$e_{Q21(1)} = 2,48 \text{ m}$$

$$^{IV}\eta_{Q21(1)} = 0,239$$

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

$$^{IV}\eta_{Q22(1)} = 0,147$$

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

$$^{IV}\eta_{Q31(1)} = 0,101$$

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

$e_{Q32(1)} =$	-2,52 m	$\eta_{Q32(1)}^{IV} =$	0,010		
$e_{q1(1)} =$	4,48 m	$\eta_{q1(1)}^{IV} =$	0,330	obciążenie oddziaływu na szerokości PU1 i wynosi b1=	3,00 m
$e_{q2(1)} =$	1,48 m	$\eta_{q2(1)}^{IV} =$	0,193	obciążenie oddziaływu na szerokości PU2 i wynosi b2=	3,00 m
$e_{q3(1)} =$	-1,38 m	$\eta_{q3(1)}^{IV} =$	0,062	obciążenie oddziaływu na szerokości PU3 ale tylko do x0 i wynosi b2=	2,72 m
$e_{qt(1)} =$	-6,08 m	$\eta_{qt(1)}^{IV} =$	0,000	poza x0	

2.3.2. Obciążenia ruchome (charakterystyczne)

LM 1 +LM 4 (W)

od Q_1 :	$\eta_{Q1} = 300 \text{ kN} \cdot [$	2*	0,125	+	0,046	$*(e_{Q11}+e_{Q12})] =$	198,1	kN
od Q_2 :	$\eta_{Q2} = 200 \text{ kN} \cdot ($	2*	0,125	+	0,046	$*(e_{Q21}+e_{Q22})] =$	77,1	kN
od Q_3 :	$\eta_{Q3} = 300 \text{ kN} \cdot ($	2*	0,125	+	0,046	$*(e_{Q31}+e_{Q32})] =$	11,1	kN
od q_1 :	$\eta_{q1} = 9 \text{ kPa} \cdot b_1 \cdot \alpha($	1*	0,125	+	0,046	$*e_{q1}) =$	11,9	kN/m
od q_2 :	$\eta_{q2} = 2.5 \text{ kPa} \cdot b_2 \cdot \alpha($	1*	0,125	+	0,046	$*e_{q2}) =$	3,5	kN/m
od q_3 :	$\eta_{q3} = 2.5 \text{ kPa} \cdot b_3 \cdot \alpha($	1*	0,125	+	0,046	$*e_{q3}) =$	0,5	kN/m
dla q_t :	$\eta_{qt} = q_t \cdot b_t \cdot ($	1*	0,125	+	0,046	$*e_{qt}) =$	0,0	kN/m

3. Kombinacja obciążeń

Tu przyjęta kombinacja obciążeń: STR

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

3.2.4. Obliczenie sił wewnętrznych

Faza I

Stałe charakterystyczne

$$^I T_{sk} = ^I q_{tk} \cdot L/2 = 155 \quad \text{kN}$$

$$^I M_{sk} = ^I q_{tk} \cdot L^2/8 = 747 \quad \text{kN}$$

Stałe obliczeniowe

$$^I T_{sd} = ^I q_{td} \cdot L/2 = 232 \quad \text{kN}$$

$$^I M_{sd} = ^I q_{td} \cdot L^2/8 = 1121 \quad \text{kN}$$

Faza II

Stałe charakterystyczne

$$^{II} T_{sk} = (^{II} q_{wk} + ^{II} q_{dk} + ^{II} q_{bk} + ^{II} q_{ch} + ^{II} q_{ch} + ^{II} q_{bak} + ^{II} q_{gzk}) \cdot L/2 = 59 \quad \text{kN}$$

$$^{II} M_{sk} = (^{II} q_{wk} + ^{II} q_{dk} + ^{II} q_{bk} + ^{II} q_{ch} + ^{II} q_{ch} + ^{II} q_{bak} + ^{II} q_{gzk}) \cdot L^2/8 = 284 \quad \text{kNm}$$

Stałe obliczeniowe

$$^{II} T_{sd} = (^{II} q_{wd} + ^{II} q_{dd} + ^{II} q_{bd} + ^{II} q_{ch} + ^{II} q_{ch} + ^{II} q_{bd} + ^{II} q_{gzd}) \cdot L/2 = 88 \quad \text{kN}$$

$$^{II} M_{sd} = (^{II} q_{wd} + ^{II} q_{dd} + ^{II} q_{bd} + ^{II} q_{ch} + ^{II} q_{ch} + ^{II} q_{bd} + ^{II} q_{gzd}) \cdot L^2/8 = 426 \quad \text{kNm}$$

Ruchome charakterystyczne LM1+LM4

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

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

Ruchome obliczeniowe LM1+LM4

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

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

Całkowite charakterystyczne

$$T_{k(1)} = 647 \quad \text{kN}$$

$$M_{k(1)} = 3254 \quad \text{kNm}$$

Całkowite obliczeniowe

$$T_{d(1)} = 914 \quad \text{kN}$$

$$M_{d(1)} = 4439 \quad \text{kNm}$$

4. Wymiarowanie przekroju

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

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

$$\beta_i = 1,0$$

- w przypadku podprór pośrednich

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

- tylko na podporze skrajnej

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

- rozstaw skrajnych łączników

$$L_c = 20,000 \quad \text{m}$$

- rozpiętość teoretyczna

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

=b1 - wysięg wspornika płyty na zewnątrz od osi środknika

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

=b2 - wysięg płyty do wewnątrz od osi środknika (połów rozpiętości między środknikami)

$$b_{ci} = \min \{ L_c/8; b_i \}$$

- wysięg płyty od osi skrajnego łącznika - na zewnątrz wspornika lub do środka płyty

$$b_{c1} = \min$$

$$2,500 \quad \text{m}$$

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

$$b_{c1} = 0,844 \quad \text{m}$$

- wyznaczony wysięg płyty od osi skrajnego łącznika na zewnątrz wspornika

$$b_{c2} = \min$$

$$2,500 \quad \text{m}$$

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

$$b_{c2} = 0,844 \quad \text{m}$$

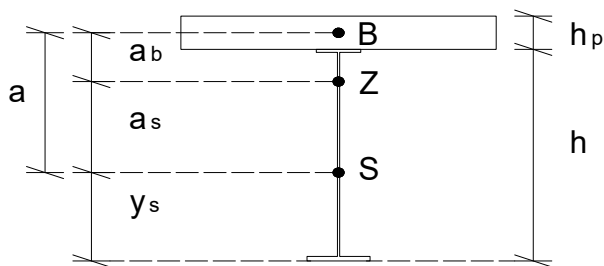
- wyznaczony wysięg płyty od osi skrajnego łącznika do środka płyty

$$\beta_i = 1,142 \leq 1,000$$

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

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
$m_o = E_s/E_{cmo}$	10,300
$A_s = b_g \cdot h_g + b_s \cdot h_s + b_d \cdot h_d =$	0,033 m ²
$A_c = h_p \cdot b_{eff} =$	0,437 m ²
$A_i = A_s + A_c/n_o$	0,101 m ²
S_{xx}^{stali}	0,020 m ³
$y_s = S_{xx}^{stali} / A_s$	0,621 m
$a = h - y_s + h_p/2 =$	1,051 m
$A_i \cdot a_c = A_s \cdot a$	
$a_c = A_s \cdot a / A_i =$	0,343 m
$a_s = a - a_c =$	0,708 m
$I_c = b_p \cdot h_p^3 / 12 =$	0,002097 m ⁴
$y_i = y_s + a_s =$	1,329 m
$I_s = b_g \cdot h_g^3 / 12 + b_g \cdot h_g \cdot (h - y_s - h_g/2)^2 + b_s \cdot h_s^3 / 12 + b_s \cdot h_s \cdot (h_s/2 + h_d - y_s)^2 + b_d \cdot h_d^3 / 12 + b_d \cdot h_d \cdot (y_s - h_d/2)^2 =$	0,011217 m ⁴
$I_i = I_s + I_c/n_o + A_s \cdot a_s + A_c/n_o \cdot a_c =$	0,058098 m ⁴

Sztywności osiowe

$D_s = A_s \cdot E_s =$	6773280 kN
$D_c = A_c \cdot E_{cm} =$	13977600 kN
$D_i = D_c + D_s =$	20750880 kN

Sztywności giętne

$B_s = I_s \cdot E_s =$	2310708 kNm ²
$B_c = I_c \cdot E_{cmo} =$	41933 kNm ²
$B_i = B_s + B_c + a^2 \cdot D_c \cdot D_s / D_i =$	7392409 kNm ²

5. Obliczenie naprężeń w konstrukcji (Wartości obliczeniowe)

5.1. Faza I – pracuje tylko stal

Naprężenia od obciążeń stałych

$\sigma_s = M_s / I_s \cdot y$	
$\sigma_s^3 = M_s / I_s \cdot (y_s - h) =$	-93,0 MPa
$\sigma_s^4 = M_s / I_s \cdot y_s =$	62,1 MPa

5.2. Faza II – beton wciągnięty do współpracy

$\sigma_s = M / I_i \cdot y_i$	
$\sigma_b = M / (m_o \cdot I_i) \cdot [y_b - a \cdot A_s \cdot m_o / (A_z \cdot n_o)]$	
$a \cdot A_s \cdot m_o / (A_z \cdot n_o) =$	0,549 m

5.2.1. Naprężenia od obciążeń ruchomych

$\sigma_1^r = M_{rd} / I_i \cdot (-h_p/2 - a_c) =$	-23,0 MPa
$\sigma_2^r = M_{rd} / I_i \cdot (h_p/2 - a_c) =$	-11,1 MPa
$\sigma_3^r = M_{rd} / I_i \cdot (y_s + a_s - h) =$	-11,1 MPa
$\sigma_4^r = M_{rd} / I_i \cdot (y_s + a_s) =$	66,2 MPa

Naprężenia rzeczywiste w betonie płyty

$\sigma_1^r = \sigma_1^r / n_o =$	-3,6 MPa
$\sigma_2^r = \sigma_2^r / n_o =$	-1,7 MPa

5.3. Pełzanie betonu

$E_{c,creep} = E_{cm} / (1 + \phi_{t,t0})$	
$\phi(t, t_o) = \phi(\Delta t_o) = \beta_c(\Delta t_o) \cdot \phi_o(t_o, m)$	- współczynnik pełzania
$\Delta t_o = t - t_o$	- okres trwania obciążenia
$t =$	36500 - wiek betonu
$t_o =$	28 - wiek w dniu obciążenia
$\Delta t_o =$	36472

$$t_{o,m} = t_{o,T} \cdot \left(-\frac{11}{2 + t_{o,T}^2} + 1 \right)^\alpha \geq 0,5 \quad t_{o,m} \approx t_{o,T} + \begin{cases} -3, & \text{dla cementu klasy S} \\ 0, & \text{dla cementu klasy N} \\ +5, & \text{dla cementu klasy R} \end{cases}$$

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

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

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

$t_{o,m} =$	7,22	- zmodyfikowany wiek obciążenia
-------------	------	---------------------------------

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

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

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

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

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

$$\alpha_1 = 0,963$$

$$\alpha_2 = 0,989$$

$$\varphi_{RH} = 1,451$$

$$\beta_{\tau(t_{o,m})} = 1 / (0,1 + t_{o,m}^{0,20})$$

$$\beta_{\tau(t_{o,m})} = 0,63093113$$

$$\varphi_o(t_{o,m}) = 2,495$$

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

$$\beta_{\Delta t_o} = 1,000$$

$$\varphi(t, t_o) = 2,495$$

$$E_{c,creep} = 9,157$$

$$n_{creep} = n \cdot 3 = 19,3$$

$$A_{s,creep} = A_s = 0,033 \text{ m}^2$$

$$A_{c,creep} = A_c / n_{creep} = 0,023 \text{ m}^2$$

$$A_i = A_s + A_{c,creep} = 0,101 \text{ m}^2$$

$$S_{xx}^{stali} = 0,020 \text{ m}^3$$

$$y_s = S_{xx}^{stali} / A_s = 0,621 \text{ m}$$

$$a = h - y_s + h_p/2 = 1,051 \text{ m}$$

$$A_i \cdot a_b = A_s \cdot a$$

$$a_b = A_s \cdot a / A_i = 0,343 \text{ m}$$

$$a_s = a - a_b = 0,708 \text{ m}$$

$$I_{c,creep} = I_c / n_{creep} = 0,000109 \text{ m}^4$$

$$I_{s,creep} = I_s = 0,011217 \text{ m}^4$$

$$I_{i,creep} = I_{s,creep} + I_{c,creep} + a^2 \cdot A_s \cdot A_{c,creep} / A_i =$$

$$I_{i,creep} = 0,019481 \text{ m}^4$$

5.3.1. Naprężenia od obciążeń stałych + pełzania

$$M_c = M_{sd}^{II} \cdot I_{c,creep} / I_{i,creep} = 2,38 \text{ kNm}$$

$$M_s = M_{sd}^{II} \cdot I_{s,creep} / I_{i,creep} = 245,42 \text{ kNm}$$

$$a_{creep} = a = 1,051012 \text{ m}$$

$$\lambda_{creep} = (A_s \cdot A_{c,creep} / A_{i,creep})^{0,5} = 0,085922 \text{ m}$$

$$N_a = M_{sd}^{II} \cdot \lambda_{creep} \cdot a_{creep}^2 / I_{i,creep} = 2077 \text{ kN}$$

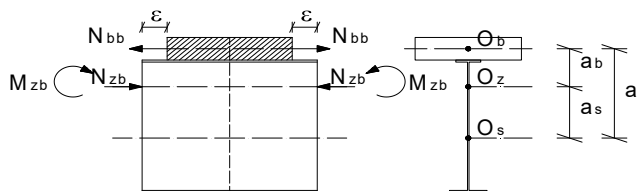
$$\sigma_1^s = -N_a / A_c + M_c / (I_{c,creep}) \cdot (-h_p/2) = -7,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2^s = -N_a / A_c + M_c / (I_{c,creep}) \cdot (h_p/2) = -2,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3^s = -N_a / A_s - M_s \cdot (-h_s + y_s) / I_{i,creep} = -51,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4^s = N_a / A_s + M_s \cdot y_i / I_{i,creep} = 79,9 \text{ MPa}$$

Obliczenie naprężeń od skurczu betonu bez pękania (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]

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

ε_{cd} – odkształcenie skurczowe spowodowane wysychaniem

ε_{ca} – odkształcenie skurczu autogenicznego

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

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

$$\alpha_{ds1} = 4$$

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

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

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

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

$$RH = 70$$

$$RH_0 = 100$$

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

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

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.

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

$$k_h = (200 - h_0) \cdot (0,85 - 0,75) / (300 - 200) + 0,85 = 0,813$$

$$k_h = (300 - h_0) \cdot (0,85 - 0,75) / (300 - 200) + 0,75 = 0,813$$

$$\varepsilon_{cd} = k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} = 0,000294$$

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

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

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

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

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

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

$$M_{zb} = 1651 \text{ kNm}$$

5.4.1. Naprężenia od skurczu

$$\begin{aligned}\sigma_b^{sk} &= N_{bb}/A_b + N_{zb}/(n_o A_z) + M_{zb}/(m_o J_z) * (y_b - a_b * m_o / n_o) \\ \sigma_1^{sk} &= N_{bb}/A_b + N_{zb}/(n_o A_z) + M_{zb}/(m_o J_z) * (-h_p/2 - a_b * m_o / n_o) = 1,8 \text{ MPa} \\ \sigma_1^{sk} &= N_{bb}/A_b + N_{zb}/(n_o A_z) + M_{zb}/(m_o J_z) * (h_p/2 - a_b * m_o / n_o) = 2,4 \text{ MPa} \\ \sigma_s^{sk} &= N_{zb}/A_z + M_{zb} * y_b / J_z \\ \sigma_3^{sk} &= N_{zb}/A_z + M_{zb} * (-h + y_z) / J_z = -54,1 \text{ MPa} \\ \sigma_4^{sk} &= N_{zb}/A_z + M_{zb} * y_z / J_z = -10,0 \text{ MPa}\end{aligned}$$

5.5. Naprężenia od zmian temperatury

$$\begin{aligned}\epsilon_t &= \alpha_t * \Delta_t \\ \alpha_t &= 0,000012 \text{ } 1/^{\circ}\text{C} \\ \Delta_t &= \pm 20 \text{ } ^{\circ}\text{C} \\ \epsilon_t &= 0,000240 \\ \epsilon_{cs} &= 0,000344 \\ \epsilon_t / \epsilon_{cs} &= 0,70\end{aligned}$$

5.5.1. Naprężenia od zmian temperatury

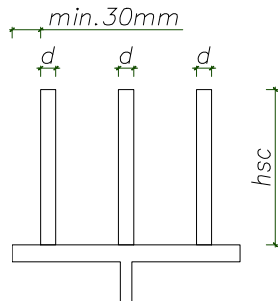
$$\begin{aligned}\sigma_1^t &= \pm 1,2 \text{ MPa} \\ \sigma_2^t &= \pm 1,7 \text{ MPa} \\ \sigma_3^t &= \pm -37,7 \text{ MPa} \\ \sigma_4^t &= \pm -7,0 \text{ MPa}\end{aligned}$$

5.6. Zestawienie naprężeń normalnych [MPa]

Metoda bezpośrednia

Metoda bezpośrednia								
Poziom naprężeń	Faza I	Faza II					Razem	
		Od obciążeń stałych+pełzania	Od obciążeń ruchomych	Od skurczu bez pełzania	Od zmian temperatury			
	A	B	C	D	E	F	A+B+C+D+E	A+B+C+D+F
1	-	-7,4	-3,6	1,8	-1,2	1,2	-10,4	-8,0
2	-	-2,1	-1,7	2,4	-1,7	1,7	-3,1	0,2
3	-93,0	-51,4	-11,1	-54,1	37,7	-37,7	-172,0	-247,4
4	62,1	79,9	66,2	-10,0	7,0	-7,0	205,1	191,1

$$\begin{aligned}\sigma_{bmax} &= 10,4 \text{ MPa} < f_{cd} = 21,4 \text{ MPa} & 48,7\% & \text{maksymalne ściskanie betonu} \\ \sigma_{smaxFI} &= 93 \text{ MPa} < f_{yd} = 309 \text{ MPa} & & \text{maksymalne naprężenia w stali w Fazie I} \\ \sigma_{smaxFII} &= 247 \text{ MPa} < f_{yd} = 309 \text{ MPa} & & \text{maksymalne naprężenia w stali w Fazie II} \\ \sigma_{sminFII,4} &= 191 \text{ MPa} < f_{yd} = 309 \text{ MPa} & > 0,60 f_{yd} = 185 \text{ MPa} & \text{minimalne naprężenia w stali w Fazie II}\end{aligned}$$



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:

$$V_{LEd} = 0,5 T_{sd} + T_d = 1030 \text{ kN}$$

Nośność obliczeniowa trzpienia

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

lub

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

bez względu na to, która jest mniejsza, przy:

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

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

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

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

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

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

$$\alpha = 1$$

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

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

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

Przyjmując:

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

Rozstaw łączników

$$t_f = b_{pg} = 0,020 \text{ m - grubość półki}$$

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

$$e = 22 t_f (235/f_y)^{0,5} = 0,358 \text{ m (maksymalny rozstaw założonych sworzni)}$$

$$\text{Przyjęto } e = 0,250 \text{ m}$$

$$\text{Ilość sworzni na 1 mb } n_{sw} = 1/e \cdot n = 12 \text{ szt/m}$$

Sprawdzenie nośności sworzni

$$V_{LEd} / (n_{sw} \cdot P_{Rd}) = 0,944 \leq 1 \text{ - warunek spełniony}$$

Sprawdzenie docisku sworzni do betonu

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

Gdzie:

 K – współczynnik zwiększający naprężenia w betonie F_I – powierzchnia docisku [cm^2] F – powierzchnia obliczeniowa, na którą działa docisk [cm^2]

$$F = b_o d_o$$

$$b_o = b_{pg} \text{ - szerokość pasa stalowego [cm]} \quad 20 \text{ cm}$$

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

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

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

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

$$F_I / F = 0,35$$

$$K = 1,73$$

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

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

7. Ugięcie (Stany graniczne użytkowości - SLS)

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

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

$$w_{rz} = 5/48 * I^{II} M_{rk} * L_t^2 / (E_s * I_i) = 8 \text{ mm}$$

$$w_{rz} < w_{dop} = 33,3 \text{ mm} \quad - \text{warunek spełniony}$$

Ugięcie całkowite (od obciążeń stałych i skurczu):

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

w_m – ugięcie dźwigara w fazie montażowej (fazie I)

$$w_m = 5/48 * I^I M_{sk} * L_t^2 / (E_s * I_s) = 13 \text{ mm}$$

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

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

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

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

$$a = 1,051 \text{ m}$$

$$M_{cs} = 756,8 \text{ kNm}$$

$$B_i = 7392409 \text{ kNm}^2$$

$$\Delta w_{fs} = 11 \text{ mm}$$

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

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

$$\Delta w_{fzw} = 3 \text{ mm}$$

$$w_{tot} = 28 \text{ mm}$$

Odwrotna strzałka ugięcia – w_c

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

$$w_c = 32 \text{ mm}$$

Przyjęto odwrotną strzałkę ugięcia w_c równą

32 mm