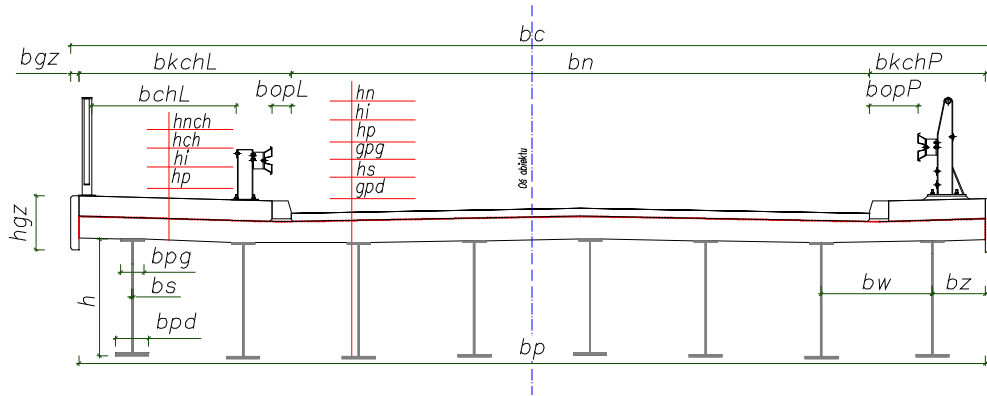




Rys.1. Wymiary przekroju

1. Dane wyjściowe (W)

Długość przęsła - L	20.700	m	
Rozpiętość teoretyczna - L_t	20.000	m	
Szerokość całkowita - b_c	14.66	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 jezdni - b_n	10.50	m	(razem z przeciwnadskami)
Szerokość kapy prawej - b_{kchP}	1.30	m	
Szerokość chodnika prawego - b_{chP}	0.00	m	
Szerokość pobocza prawego - b_{opP}	0.50	m	
Szerokość gzymsów/desk gzymsowych - b_{gz}	0.05	m	
Szerokość płyty - b_p	14.56	m	
Grubość płyty - h_p	0.24	m	
Grubość kap chodnikowych - h_{ch}	0.24	m	
Grubość nawierzchni - h_n	0.10	m	
Grubość izolacji - h_i	0.005	m	
Wysokość gzymsu - h_{gz}	0.60	m	

1.1. Wymiary dźwigara blachownicowego

Grubość środnika - g_s	0.012	m
Wysokość środnika - h_s	1.50	m
Szerokość półki górnej - b_{pg}	0.20	m
Grubość półki górnej - g_{pg}	0.020	m
Szerokość półki dolnej - b_{pd}	0.34	m
Grubość półki dolnej - g_{pd}	0.032	m
Wysokość blachownicy - $h = g_{pg} + h_s + g_{pd}$	1.552	m

1.2. Założenie liczby belek

b_p	/k					bew		bskr		
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	

Liczba dźwigarów - k	8	szt
Wysięg wspornika płyty - b_z	0.91	m
Rozstaw dźwig. skr. i przyskr. - b_w	1.82	m

1.3. Materiały konstrukcyjne**1.3.1. Stal konstrukcyjna**

γ_s - ciężar właściwy stali	78.5	kN/m ³
E_s -	206	GPa
Dźwigar - stal konstrukcyjna	S355	
f_{yk} =	355	MPa
f_{yd} =	309	MPa
f_u =	470	MPa

1.3.2. Beton

Beton C	30	/	37	Beton suchy zbrojony -	24	kN/m ³
E_{cm} =			32	Beton mokry zbrojony -	25	kN/m ³
$E_{cm0} = 1,6^{-1} * E_{cm}$			20	Dodatek na zbrojenie -	1	kN/m ³
f_{ck} =	30	MPa				
f_{ctk} =	2.0	MPa				
f_{cd} =	21.43	MPa				
f_{ctd} =	1.3	MPa				
f_{cm} =	38	MPa				

Deskowanie	
sklejka 21 mm	0.13 kN/m2
belki szalunkowe HS20 co 25cm	0.2 kN/m2
2 nakrętki	0.02 kN/m2
2 ściagi	0.02 kN/m2
rygiel 2C100	0.22 kN/m2
q_{desk} =	0.58 kN/m2

1.4. Współczynniki bezpieczeństwa

$\gamma_0 = \gamma_{M0} =$	1.00
$\gamma_1 = \gamma_{M1} =$	1.10
$\gamma_2 = \gamma_{M2} =$	1.25

Współczynniki bezpieczeństwa - dla korzystnych wartości obciążeń

$\gamma_{G,odc} = (\text{odc.})$	0.9
$\gamma_{Q,odc} = (\text{odc.})$	0
$\gamma_{q,odc} = (\text{odc.})$	0

Współczynniki bezpieczeństwa - dla niekorzystnych wartości obciążeń

$\gamma_{G,obc} = (\text{obc.bet})$	1.35
$\gamma_{G,obc} = (\text{obc.wyp.})$	1.5
$\gamma_{Q,obc} = (\text{obc.})$	1.35
$\gamma_{q,obc} = (\text{obc.})$	1.35

2. Zebranie obciążeń przypadających na dźwigar

2.1. Obciążenia stałe

FAZA I - montażowa

Ciężary 'na belkę' podaje się jako linowe

Ciężar blachownicy	$q_{s,k} = (b_{pg} * g_{pg} + g_s * h_s + b_{pd} * g_{pd}) * \gamma_s$	2.58 kN/m
Ciężar płyty (mokry beton):	$q_{b,k} = (b_z + 0,5 * b_w) * h_p * \gamma_{\text{betonu}}$	10.92 kN/m
Ciężar łączników i stężeń	$q_{c,k} =$	1.00 kN/m
Ciężar deskowania	$q_{d,k} = (b_z + 0,5 * b_w + h_p - b_{pg}) * q_{\text{desk}}$	1.08 kN/m

Zestawienie ciężarów w Fazie I

Belka skrajna	$q_{t,k} = q_{s,k} + q_{bt,k} + q_{c,k} + q_{dt,k}$	15.6 kN/m
---------------	---	-----------

FAZA II - użytkowa

Ciężary 'na pomost' podaje się jako powierzchniowe

Ciężar odparowanej wody na 1m ² pomostu:	$q_{w,k} = h_p * 1 \text{ kN/m}^3$	-0.24 kN/m ²
Ciężar zdemontowanego deskowania	$q_{d,k} = - q_{d,k} / (b_z + b_w / 2) =$	-0.58 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:	$q_{ch,k} = h_{ch} * 25 \text{ kN/m}^3$	6.00 kN/m ²
Balustrady, bariery, deski gzymsowe – obciążenia liniowe		
Bariery	$q_{ba,k}$	0.50 kN/m
Ciężar gzymsu	$q_{gz,k} = h_{gz} * b_{gz} * \gamma_{\text{bet}}$	0.72 kN/m

2.2. Obciążenia przypadające na skrajny dźwigar :

2.2.1. Obciążenia stałe (charakterystyczne)

Odp. woda oraz ciężar desk.	$q_{wk} + q_{dk} = (q_{wk} + q_{dk}) * b_p / k =$	-1.50 kN/m
Nawierzchnia	$q_{nk} = q_{nk} * b_n / k =$	3.02 kN/m
Izolacja	$q_{ik} = q_{ik} * b_p / k =$	0.13 kN/m
Chodnik	$q_{chk} = q_{chk} * (b_{kchL} + b_{kchP}) / k =$	3.05 kN/m
Bariery	$q_{bak} = q_{bak} * n_{ba} / k =$	0.19 kN/m
Gzyms	$q_{gzk} = q_{gzk} * 2 / k =$	0.18 kN/m

2.2.2. Obciążenia stałe (obliczeniowe):

Odp. woda oraz ciężar desk.	$q_{wd} + q_{dd} = (q_{wk} + q_{dk}) * \gamma_G =$	-2.24 kN/m
Nawierzchnia	$q_{nd} = q_{nk} * \gamma_G =$	4.53 kN/m
Izolacja	$q_{id} = q_{ik} * \gamma_G =$	0.19 kN/m
Chodnik	$q_{chd} = q_{chk} * \gamma_G =$	4.57 kN/m
Bariery	$q_{bad} = q_{bak} * \gamma_G =$	0.28 kN/m
Gzyms	$q_{gzd} = q_{gzk} * \gamma_G =$	0.27 kN/m

2.3. Obciążenia użytkowe

LM1

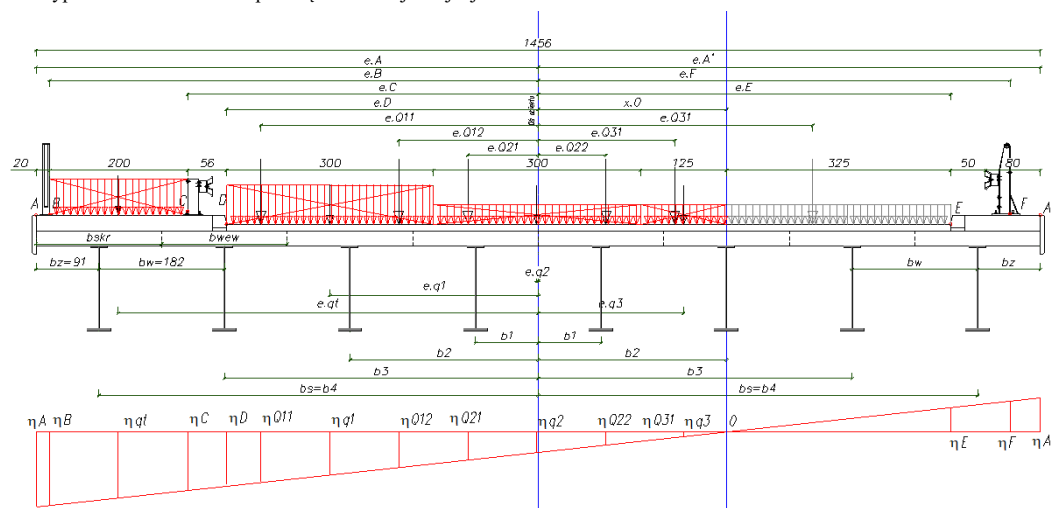
TS		$\psi_{0,1}$ to:	kl. I	kl. II
PU1 2 siły Q_1 po 300 kN = 2 x 300 kN (opisywane jako $Q_{11} + Q_{12}$)	300 kN	$\alpha_{Q1} =$	1.00	1.00
PU2 2 siły Q_2 po 200 kN = 2 x 200 kN (opisywane jako $Q_{21} + Q_{22}$)	200 kN	$\alpha_{Q2} =$	1.00	1.00
PU3 2 siły Q_3 po 100 kN = 2 x 100 kN (opisywane jako $Q_{31} + Q_{32}$)	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

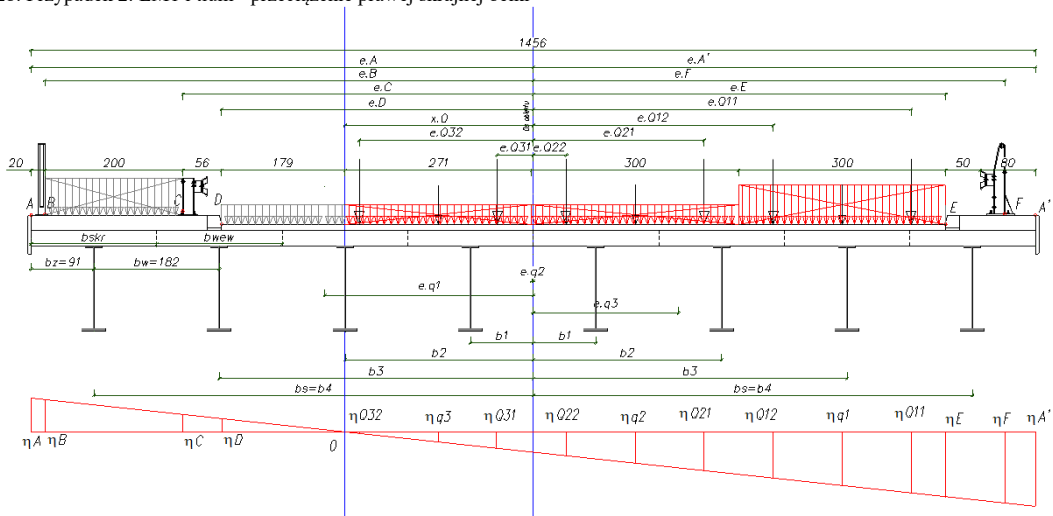
$q_t = 3 \text{ kN/m}^2$	3 kN/m ²
--------------------------	---------------------

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

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



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

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

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

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

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

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

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

$bs = 6.37 \text{ m}$

$k = 8$

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

2.3.2. Wartości rzędnych linii wpływu

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

(wzór ogólny)

$$1/k = 0.125$$

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

Wyznaczenie odległości punktu zerowego

(za którym nie uwzględniamy obciążeń ruchomych)

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

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

$$^{IV}\eta = 0.125 + e \cdot bs / (2 \sum b_i^2) = 0.046$$

2.3.3. Wyznaczenie odległości sił i wartości obciążeń skrajnego dźwigara prawego

Przypadek w którym ustawiam obciążenia ruchome po stronie węższej kapy

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

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

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

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

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

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

$e_{Q32(1)} =$	-2.52 m	$^{IV}\eta_{Q32(1)} =$	0.010		
$e_{q1(1)} =$	4.48 m	$^{IV}\eta_{q1(1)} =$	0.330	obciążenie oddziaływu na szerokości PU1 i wynosi $b_{q1} =$	3.00 m
$e_{q2(1)} =$	1.48 m	$^{IV}\eta_{q2(1)} =$	0.193	obciążenie oddziaływu na szerokości PU2 i wynosi $b_{q2} =$	3.00 m
$e_{q3(1)} =$	-1.38 m	$^{IV}\eta_{q3(1)} =$	0.062	obciążenie oddziaływu na szerokości PU3 ale tylko do x_0 i wynosi $b_{q2} =$	2.72 m
$e_{qt(1)} =$	-6.08 m	$^{IV}\eta_{qt(1)} =$	-0.153	Wartość jest ujemna co oznacza, że znajduje się poza x_0 i nie uwzględniamy jej do obliczeń	

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 :	$\eta_{q1} = 9\text{kPa} \cdot b_{q1} \cdot \alpha($	1*	0.125	+	0.046	$*e_{q1}) =$	11.9	kN/m
od q_2 :	$\eta_{q2} = 2.5\text{kPa} \cdot b_{q2} \cdot \alpha($	1*	0.125	+	0.046	$*e_{q2}) =$	3.5	kN/m
od q_3 :	$\eta_{q3} = 2.5\text{kPa} \cdot b_{q3} \cdot \alpha($	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	$*e_{qt}) =$	-0.9	kN/m

3. Kombinacja obciążeń

Tu przyjęta kombinacja obciążeń: STR

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

3.2.4. Obliczenie sił wewnętrznych

Faza I

Stałe charakterystyczne

$^I T_{sk} = ^I q_{tk} \cdot L / 2 =$	161	kN
$^I M_{sk} = ^I q_{tk} \cdot L_t^2 / 8 =$	779	kNm

Stałe obliczeniowe

$^I T_{sd} = ^I q_{td} \cdot L / 2 =$	242	kN
$^I M_{sd} = ^I q_{td} \cdot L_t^2 / 8 =$	1169	kNm

Faza II

Stałe charakterystyczne

$^{II} T_{sk} = (^{II} q_{wk} + ^{II} q_{dk} + ^{II} q_{nk} + ^{II} q_{chk} + ^{II} q_{bak} + ^{II} q_{gzk}) \cdot L / 2 =$	52	kN
$^{II} M_{sk} = (^{II} q_{wk} + ^{II} q_{dk} + ^{II} q_{nk} + ^{II} q_{chk} + ^{II} q_{bak} + ^{II} q_{gzk}) \cdot L_t^2 / 8 =$	253	kNm

Stałe obliczeniowe

$^{II} T_{sd} = (^{II} q_{wd} + ^{II} q_{dd} + ^{II} q_{nd} + ^{II} q_{id} + ^{II} q_{chd} + ^{II} q_{bad} + ^{II} q_{gzd}) \cdot L / 2 =$	79	kN
$^{II} M_{sd} = (^{II} q_{wd} + ^{II} q_{dd} + ^{II} q_{nd} + ^{II} q_{id} + ^{II} q_{chd} + ^{II} q_{bd} + ^{II} q_{gzd}) \cdot L_t^2 / 8 =$	380	kNm

Ruchome charakterystyczne LM1+LM4

$^{II} T_{rk} = (\eta_{q1} + \eta_{q2} + \eta_{q3}) L_t / 2 + (\eta_{Q1} + \eta_{Q2} + \eta_{Q3}) =$	433	kN
$^{II} M_{rk} = (\eta_{q1} + \eta_{q2} + \eta_{q3}) L_t^2 / 8 + (\eta_{Q1} + \eta_{Q2} + \eta_{Q3}) \cdot L_t / 4 =$	2223	kNm

Ruchome obliczeniowe LM1+LM4

$^{II} T_{rd} = \gamma_q \cdot (\eta_{q1} + \eta_{q2} + \eta_{q3}) L_t / 2 + \gamma_Q \cdot (\eta_{Q1} + \eta_{Q2} + \eta_{Q3}) =$	581	kN
$^{II} M_{rd} = \gamma_q \cdot (\eta_{q1} + \eta_{q2} + \eta_{q3}) L_t^2 / 8 + \gamma_Q \cdot (\eta_{Q1} + \eta_{Q2} + \eta_{Q3}) \cdot L_t / 4 =$	2830	kNm

Całkowite charakterystyczne

$T_k =$	647	kN
$M_k =$	3255	kNm

Całkowite obliczeniowe

$T_d =$	901	kN
$M_d =$	4378	kNm

4.Wymiarowanie przekroju

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

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

$\beta_i = 1.0$

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

$b_0 = 0.132 \quad m$

$L_e = 20.000 \quad m$

$b_z = 0.910 \quad m \quad = b_1$

$b_{w/2} = 0.910 \quad m \quad = b_2$

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

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

$\quad \quad \quad 0.844 \quad m$

$b_{e1} = 0.844 \quad m$

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

$\quad \quad \quad 0.844 \quad m$

$b_{e2} = 0.844 \quad m$

$\beta_i = 1.142 \quad \leq \quad 1.000$

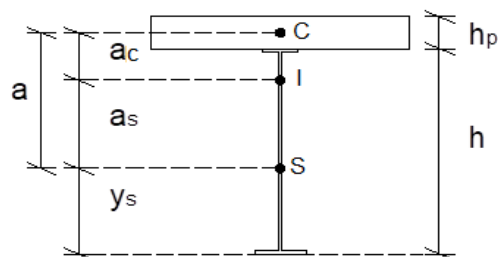
$b_{eff} = 1.820 \quad m \quad \leq \quad 1.820 \quad m$

- w przypadku podprór pośrednich
- tylko na podporze skrajnej
- rozstaw skrajnych łączników
- rozpiętość teoretyczna
- wysięg wspornika płyty na zewnątrz od osi środknika
- wysięg płyty do wewnątrz od osi środknika (połów rozpiętości między środknikami)
- wysięg płyty od osi skrajnego łącznika - na zewnątrz wspornika lub do środka płyty
- wyznaczony wysięg płyty od osi skrajnego łącznika na zewnątrz wspornika
- wyznaczony wysięg płyty od osi skrajnego łącznika do środka płyty

4.2. Parametry geometryczne przekroju zespolonego (W)

Podstawy mostownictwa
dr inż. M. Kowal

4.2.1. W metodzie bezpośredniej



Rys.3. Przekrój zespolony

$$I_s = b_{pg} \cdot g_{pg}^3 / 12 + b_{pg} \cdot g_{pg} \cdot (h - y_s - g_{pg} / 2)^2 + g_s \cdot h_s^3 / 12 + g_s \cdot h_s \cdot (h_s / 2 + g_{pd} - y_s)^2 + b_{pd} \cdot g_{pd}^3 / 12 + b_{pd} \cdot g_{pd} \cdot (y_s - g_{pd} / 2)^2 = 0.011217 \text{ m}^4$$

$$I_i = I_s + I_c / n_o + a^2 \cdot A_s \cdot A_c / (n_o \cdot A_i) = 0.036008 \text{ m}^4$$

$$n_o = E_s / E_{cm} = 6.438$$

$$A_s = b_g \cdot h_g + b_s \cdot h_s + b_d \cdot h_d = 0.033 \text{ m}^2$$

$$A_c = h_p \cdot b_{eff} = 0.437 \text{ m}^2$$

$$A_i = A_s + A_c / n_o = 0.101 \text{ m}^2$$

$$S_{xx} = b_{pg} \cdot g_{pg} \cdot (h - g_{pg} / 2) + g_s \cdot h_s \cdot (h_s / 2 + g_{pd}) + b_{pd} \cdot g_{pd} \cdot (g_{pd} / 2) = 0.020 \text{ m}^3$$

$$S_{xx}^{stali} = 0.020 \text{ m}^3$$

$$y_s = S_{xx}^{stali} / A_s = 0.621 \text{ m}$$

$$a = h - y_s + h_p / 2 = 1.051 \text{ m}$$

$$A_i \cdot a_c = A_s \cdot a$$

$$a_c = A_s \cdot a / A_i = 0.343 \text{ m}$$

$$a_s = a - a_c = 0.708 \text{ m}$$

$$I_c = b_{eff} \cdot h_p^3 / 12 = 0.002097 \text{ m}^4$$

$$y_i = y_s + a_s = 1.329 \text{ m}$$

5. Obliczenie naprężeń w konstrukcji (Wartości obliczeniowe)

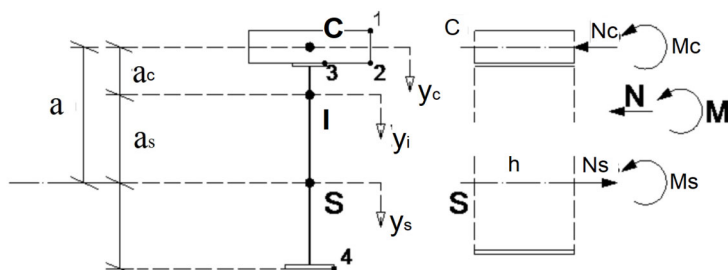
5.1. Faza I – pracuje tylko stal

Naprężenia od obciążeń stałych

$$\sigma_s = M_s / I_s \cdot y$$

$$\sigma_s^3 = M_s / I_s \cdot (y_s - h) = -97.0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s^4 = M_s / I_s \cdot y_s = 64.7 \text{ MPa}$$



Rys.04. Punkty obliczania naprężeń

5.2. Faza II – beton wciągnięty do współpracy

5.2.1. Naprężenia od obciążeń ruchomych

$$\sigma_1^r = M_{rd} / I_i \cdot (-h_p / 2 - a_c) = -36.4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2^r = M_{rd} / I_i \cdot (h_p / 2 - a_c) = -17.5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3^r = M_{rd} / I_i \cdot (y_s + a_s - h) = -17.5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4^r = M_{rd} / I_i \cdot (y_s + a_s) = 104.4 \text{ MPa}$$

Naprężenia rzeczywiste w betonie płyty

$$\sigma_1^r = \sigma_1^r / n_o = -5.7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2^r = \sigma_2^r / n_o = -2.7 \text{ MPa}$$

5.3. Pękanie betonu

$$E_{c,creep} = E_{cm} / (1 + \phi_{t,t_0})$$

$$\phi(t, t_0) = \phi(\Delta t_0) = \beta_c(\Delta t_0) \cdot \phi_o(t_{o,m})$$

$$\Delta t_0 = t - t_0$$

$$t = 36500$$

$$t_0 = 28$$

$$\Delta t_0 = 36472$$

$$t_{o,m} = t_{o,T} \cdot \left(-\frac{11}{2 + t_{o,T}^{1.2}} + 1 \right)^{\alpha} \geq 0,5$$

$$t_{o,m} \approx t_{o,T} + \begin{cases} -3, & \text{dla cementu klasy S} \\ 0, & \text{dla cementu klasy N} \\ +5, & \text{dla cementu klasy R} \end{cases}$$

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

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

$$17 \quad 2 \quad -3 \quad 0.8683 \quad -2.605$$

$$19 \quad 2 \quad -1 \quad 0.9543 \quad -0.954$$

$$20 \quad 16 \quad 0 \quad 1.0000 \quad 0$$

$$21 \quad 2 \quad 1 \quad 1.0475 \quad 1.048$$

$$23 \quad 2 \quad 3 \quad 1.1484 \quad 3.445$$

$$25 \quad 2 \quad 5 \quad 1.2574 \quad 6.287$$

$$7.221$$

$$t_{o,m} = 7.22$$

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

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

$$\beta_{fcm} = 2.725$$

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

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

$$\alpha_1 = 0.963$$

$$\alpha_2 = 0.989$$

$$\varphi_{RH} = 1.451$$

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

$$\beta_T(t_{o,m}) = 0.630931134$$

$$\varphi_o(t_{o,m}) = 2.495$$

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

$$\beta_{\Delta t_o} = 1.000$$

$$\varphi(t, t_o) = 2.495$$

$$E_{c,creep} = E_{cm} / (1 + \varphi_{t,t_o})$$

$$E_{c,creep} = 9.157$$

$$n_{creep} = E_s / E_{c,creep} = 22.5$$

$$A_{s,creep} = A_s = 0.033 \text{ m}^2$$

$$A_{c,creep} = A_c / n_{creep} = 0.019 \text{ m}^2$$

$$A_i = A_s + A_{c,creep} = 0.101 \text{ m}^2$$

$$S_{xx}^{stali} = 0.020 \text{ m}^3$$

$$y_s = S_{xx}^{stali} / A_s = 0.621 \text{ m}$$

$$a = h - y_s + h_p / 2 = 1.051 \text{ m}$$

$$A_i \cdot a_c = A_s \cdot a$$

$$a_c = A_s \cdot a / A_i = 0.343 \text{ m}$$

$$a_s = a - a_c = 0.708 \text{ m}$$

$$I_{c,creep} = I_{c,creep} = 0.000093 \text{ m}^4$$

$$I_{s,creep} = I_s = 0.011217 \text{ m}^4$$

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

$$I_{i,creep} = 0.018311 \text{ m}^4$$

5.3.1. Naprężenia od obciążeń stałych + pełzania

$$M_c = M_{sd}^{II} \cdot I_{c,creep} / I_{i,creep} = 1.93 \text{ kNm}$$

$$M_s = M_{sd}^{II} \cdot I_{s,creep} / I_{i,creep} = 232.59 \text{ kNm}$$

$$a_{creep} = a = 1.051012 \text{ m}$$

$$\lambda_{creep} = (A_s \cdot A_{c,creep} / A_{i,creep})^{0,5} = 0.079611 \text{ m}$$

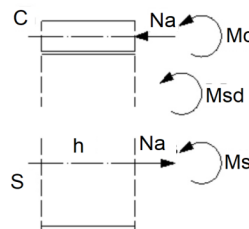
$$N_a = M_{sd}^{II} \cdot \lambda_{creep} \cdot a_{creep}^2 / I_{i,creep} = 1823 \text{ kN}$$

$$\sigma_1^s = -N_a / A_c + M_c / (I_{c,creep}) \cdot (-h_p / 2) = -6.7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2^s = -N_a / A_c + M_c / (I_{c,creep}) \cdot (h_p / 2) = -1.7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3^s = -N_a / A_s - M_s \cdot (-h + y_i) / I_{i,creep} = -52.6 \text{ MPa}$$

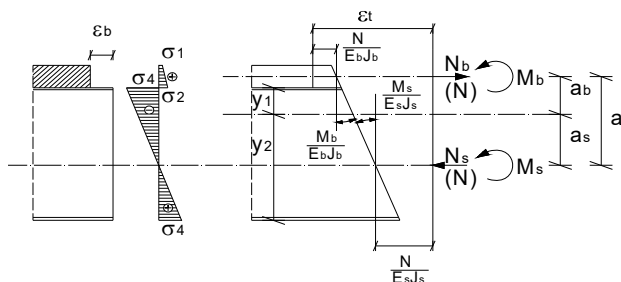
$$\sigma_4^s = N_a / A_s + M_s \cdot y_i / I_{i,creep} = 72.3 \text{ MPa}$$



Rys.5. Siły wewnętrzne w przekroju zespolonym od obciążeń stałych i pełzania betonu

5.4. Skurcz betonu bez pełzania

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



Sztynności osiowe

$$D_s = A_s \cdot E_s = 6773280 \text{ kN}$$

$$D_c = A_c \cdot E_{cm} = 13977600 \text{ kN}$$

$$D_i = D_c + D_s = 20750880 \text{ kN}$$

Sztynności giętnie

$$B_s = I_s \cdot E_s = 2310708 \text{ kNm}^2$$

$$B_c = I_c \cdot E_{cm} = 67092 \text{ kNm}^2$$

$$B_i = B_s + B_c + a^2 \cdot D_c \cdot D_s / D_i = 7417569 \text{ kNm}^2$$

Rys.6. 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

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

$$\begin{aligned}\varepsilon_{cd,0} &= 0,85 \cdot (220 + 110 \alpha_{ds1}) \cdot e^{(-\alpha_{ds2} \cdot f_{cm} / f_{cm0})} \cdot \beta_{RH} \cdot 10^{-6} \text{ [Załącznik B.2]} \\ \alpha_{ds1} &= 4 \\ \alpha_{ds2} &= 0,12 \\ f_{cm} &= 38 \text{ MPa} \\ f_{cm0} &= 10 \text{ MPa} \\ \beta_{RH} &= 1,55 \cdot [1 - (RH / RH_0)^3] \\ RH &= 70 \\ RH_0 &= 100 \\ \beta_{RH} &= 1,55 \cdot [1 - (RH / RH_0)^3] = 1,018350 \\ \varepsilon_{cd,0} &= 0,000362 \text{ -skurcz swobodny} \\ k_h &\text{ -współczynnik zależny od wymiaru } h_b \text{ [interpolując z Tablicy 3.3]} \\ h_0 &= 2A_c / u \text{ - miarodajny wymiar przekroju} \\ A_c &\text{ - pole przekroju betonu,} \\ u &\text{ - obwód pola przekroju betonu stykającego się z powietrzem, przynajmniej okresowo.} \\ h_0 &= 2 \cdot A_c / (2 \cdot b_{ef} + h_p - b_{pg}) = 237 \text{ mm} \\ k_h &= (200 - h_0) \cdot (0,85 - 0,75) / (300 - 200) + 0,75 = 0,813 \\ k_h &= (300 - h_0) \cdot (0,85 - 0,75) / (300 - 200) + 0,75 = 0,813 \\ \varepsilon_{cd} &= k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} = 0,000294 \\ \varepsilon_{ca} &= \varepsilon_{ca,\infty} = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 0,000050 \\ \varepsilon_{cs} &= \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} = 0,000344\end{aligned}$$

Siły wewnętrzne do naprężeń od skurczu

$$\begin{aligned}\beta &= \varepsilon \cdot D_c \cdot D_s / (D \cdot B_i) = 0,000212 \\ N_c = -N_s &= \beta \cdot (B_c + B_s) = 503,5 \text{ kN} \\ M_c &= \beta \cdot a \cdot B_c = 14,9 \text{ kNm} \\ N_s &= -\beta \cdot (B_c + B_s) = -503,5 \text{ kN} \\ M_s &= \beta \cdot a \cdot B_s = 514 \text{ kNm}\end{aligned}$$

5.4.1. Naprężenia od skurczu

$$\begin{aligned}\sigma_1^{sk} &= N_c / A_c + M_c / (I_c \cdot (-h_p / 2)) = 0,3 \text{ MPa} \\ \sigma_2^{sk} &= N / A_c + M_c \cdot (h_p / 2) / I_c = 2,0 \text{ MPa} \\ \sigma_3^{sk} &= N_s / A_s + M_s \cdot (-h + y_s) / I_s = -58,0 \text{ MPa} \\ \sigma_4^{sk} &= N_s / A_s + M_s \cdot y_s / I_s = 13,2 \text{ MPa}\end{aligned}$$

5.5. Naprężenia od zmian temperatury

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

5.5.1. Naprężenia od zmian temperatury

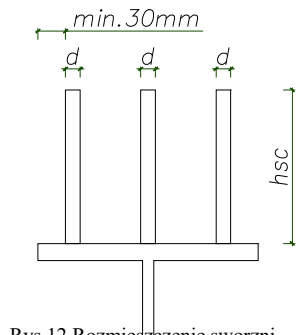
$$\begin{aligned}\sigma_1^t &= \pm 0,2 \text{ MPa} \\ \sigma_2^t &= \pm 1,4 \text{ MPa} \\ \sigma_3^t &= \pm -40,4 \text{ MPa} \\ \sigma_4^t &= \pm 9,2 \text{ MPa}\end{aligned}$$

5.6. Zestawienie naprężeń normalnych [MPa]

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	-	-6.7	-5.7	0.3	-0.2	0.2	-12.2	-11.8
2	-	-1.7	-2.7	2.0	-1.4	1.4	-3.8	-1.0
3	-97.0	-52.6	-17.5	-58.0	40.4	-40.4	-184.7	-265.6
4	64.7	72.3	104.4	13.2	-9.2	9.2	245.5	263.8

$$\begin{aligned}\sigma_{bmax} &= 12,2 \text{ MPa} < f_{cd} = 21,4 \text{ MPa} > 57,1\% \text{ maksymalne ściskanie betonu} \\ \sigma_{smaxFI} &= 97 \text{ MPa} < f_{yd} = 309 \text{ MPa} \text{ maksymalne naprężenia w stali w Fazie I} \\ \sigma_{smaxFII} &= 266 \text{ MPa} < f_{yd} = 309 \text{ MPa} \text{ maksymalne naprężenia w stali w Fazie II} \\ \sigma_{sminFII,4} &= 245 \text{ MPa} < f_{yd} = 309 \text{ MPa} > 0,60 f_{yd} = 185 \text{ MPa} \text{ minimalne naprężenia w stali w Fazie II}\end{aligned}$$



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 $n = 2 \text{ szt.}$

Maksymalna podłużna siła ścinająca na styku stali z betonem:

$$V_{LEd} = 0,5 T_{sd} + T_d = 1022 \text{ kN}$$

Nośność obliczeniowa trzpienia

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

lub

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

bez względu na to, która jest mniejsza, przy:

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

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

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

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

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

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

$$\alpha = 1$$

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

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

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

Przyjmując:

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

Rozstaw łączników

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

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

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

$$\text{Przyjęto } e = 0,170 \text{ m}$$

$$\text{Ilość sworzni na 1 mb } n_{sw} = 1/e \cdot n = 11,76 \text{ szt/m}$$

Sprawdzenie nośności sworzni

$$V_{LEd} / (n_{sw} \cdot P_{Rd}) = 0,956 \leq 1 \text{ - warunek spełniony}$$

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]

$$F = b_o d_o$$

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

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

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

$$F_1 = n \cdot d \cdot h_{sc} \cdot 0,5 \cdot \Pi = 113 \text{ cm}^2$$

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

$$F_1/F = 0,24$$

$$K = 2,04$$

$$R_d = K \cdot f_{cd} = 43,8 \text{ MPa - wytrzymałość na docisk w betonie}$$

$$\sigma_{doc} = n \cdot P_{Rd} / F_1 = 16,1 < R_d = 43,8 \text{ - warunek spełniony}$$

7. Ugięcie (Stany graniczne użytkowalności - 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

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

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

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

Ugięcie całkowite (od obciążeń stałych i skurczu):

$$w_{tot} = w_{ml} + \Delta w_{fsk} + \Delta w_{fzw}$$

w_{ml} – ugięcie dźwigara w fazie montażowej (fazie I)

$$w_{ml} = 5/48 * I^I M_{sk} * L_t^2 / (E_s * I_s) = 14 \text{ mm}$$

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

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

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

$$\epsilon_{cs} = 0.000344$$

$$a = 1.051 \text{ m}$$

$$M_{cs} = 756.8 \text{ kNm}$$

$$B_i = 7417569 \text{ kNm}^2$$

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

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

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

$$w_c = 34 \text{ mm}$$

Przyjęto odwrotną strzałkę ugięcia w_c równą **34 mm**