

ETAP DOKUMENTACJI	PROJEKT BUDOWLANO - WYKONAWCZY				
ZAWARTOŚĆ TOMU	VIII OBLICZENIA STATYCZNO-WYTRZYMAŁOŚCIOWE				
NAZWA ZADANIA	Projekt remontu mostu drogowego w ciągu ul. Akacjowej bocznej w Ustroniu				
LOKALIZACJA	miejscowość Ustroń, ul. Akacjowa Miasto Ustroń, Powiat Cieszyński, Województwo Śląskie				
	Numery ewidencyjne działek:				
	Powiat: cieszyński Jednostka ewidencyjna: 240302_1-USTROŃ				
	Obręb	Arkusz	Działka	Nieruchomość	Jednostka
	0004 - USTROŃ	9	5044/6	KW 56688	G992
	0004 - USTROŃ	9	2052/63	KW 35872	G2126
	0004 - USTROŃ	9	2052/21	KW 00044443	G1674
INWESTOR	Miasto Ustroń ul. Rynek 1, 43-450 Ustroń				
JEDNOSTKA PROJEKTOWA	Pracownia projektowania i diagnostyki budowli inżynierskich MOSTOPROJEKT KATOWICE mgr inż. Marcin CZECH tel. 502 646 235 fax 32 252 47 56 ul. Słupska 12/68, 40-715 Katowice mostoprojekt@mostoprojekt.pl  MOSTOPROJEKT Katowice PRACOWNIA PROJEKTOWANIA I DIAGNOSTYKI BUDOWLI INŻYNIERSKICH				

ZESPÓŁ PROJEKTOWY					
Zakres w opracowaniu	Tytuł, imię i nazwisko	Specjalność	Nr uprawnień	Data	Podpis
projektant	mgr inż. Marcin CZECH	mostowa	SLK/0657/POOM/04	luty 2009 r.	
wykonał	mgr inż. Maciej WALICZEK	mostowa		luty 2009 r.	

Spis treści:

1. Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe mostu projektowanego. Układ podłużny.	3
1.1. Model obliczeniowy.	3
1.2. Faza I (montażowa). Obliczenie sił wewnętrznych i sprawdzenie naprężeń.	4
1.2.1. Zestawienie obciążeń i obliczenie sił wewnętrznych.	4
1.2.2. Obliczenie parametrów dźwigara stalowego.	5
1.2.3. Obliczenie i sprawdzenie naprężeń normalnych.	6
1.2.4. Obliczenie i sprawdzenie naprężeń stycznych.	6
1.2.5. Obliczenie i sprawdzenie naprężeń zastępczych.	6
1.3. Faza II. Obliczenie sił wewnętrznych.	8
1.3.1. Zestawienie obciążeń i obliczenie momentów zginających.	8
1.3.2. Obliczenie parametrów dźwigara zespolonego (wsp. „n”)	8
1.3.3. Obliczenie naprężeń normalnych.	10
1.4. Pełzanie. Obliczenie sił wewnętrznych i naprężeń.	11
1.4.1. Obliczenie parametrów dźwigara zespolonego (wsp. n_{FM}).	11
1.4.2. Obliczenie naprężeń normalnych.	13
1.5. Skurcz. Obliczenie sił wewnętrznych i naprężeń.	13
1.5.1. Obliczenie parametrów dźwigara zespolonego (wsp. n_{FS}).	13
1.5.2. Obliczenie naprężeń normalnych.	15
1.6. Temperatura. Obliczenie sił wewnętrznych i naprężeń.	16
1.6.1. Obliczenie parametrów dźwigara zespolonego (wsp. „n”).	16
1.6.2. Obliczenie naprężeń normalnych.	17
1.7. Zsumowanie i sprawdzenie naprężeń normalnych.	18
1.8. Wnioski z obliczeń.	19
2. Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe mostu projektowanego. Układ poprzeczny.	20
2.1. Model obliczeniowy.	20
2.2. Zestawienie obciążeń.	21
2.3. Obliczenie momentów zginających.	23
2.4. Obliczenie i sprawdzenie naprężeń.	26

1. Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe mostu projektowanego. Układ podłużny.

Projektowany most drogowy to konstrukcja zespolona stalowo-betonowa. Ustrój nośny stanowią cztery belki z walcowanego profilu dwuteowego IN500 oparte na istniejących żelbetowych podporach skrajnych, oraz żelbetowa płyta zespolona o grubości 0,180 m. Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe przeprowadzono metodą naprężeń liniowych w konwencji rozdzielnych współczynników bezpieczeństwa. Obliczono i sprawdzono naprężenia w miarodajnych przekrojach zgodnie z polskimi normami oraz literaturą, tj.:

- [1] PN-85/S-10030 Obiekty mostowe. Obciążenia.
- [2] PN-82/S-10052 Obiekty mostowe. Konstrukcje stalowe. Projektowanie.
- [3] PN-91/S-10042 Obiekty mostowe. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Projektowanie.
- [4] Kazimierz Furtak „Mosty zespolone”. Wydawnictwo naukowe PWN
- [5] Janusz Karlikowski, Krzysztof Sturzbecher „Mosty stalowe. Mosty belkowe i zespolone. Przewodnik do ćwiczeń projektowych”. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
- [6] J. Karlikowski, A. Madaj, W. Wołowicki „Mostowe konstrukcje zespolone stalowo-betonowe”. Wydawnictwo komunikacji i łączności.

Most zaprojektowano na klasę obciążeń A wg [1]. Obliczenia statyczne przeprowadzono w programie komputerowym ROBOT Millennium 21.0.

Konwencja znakowania momentów zginających:

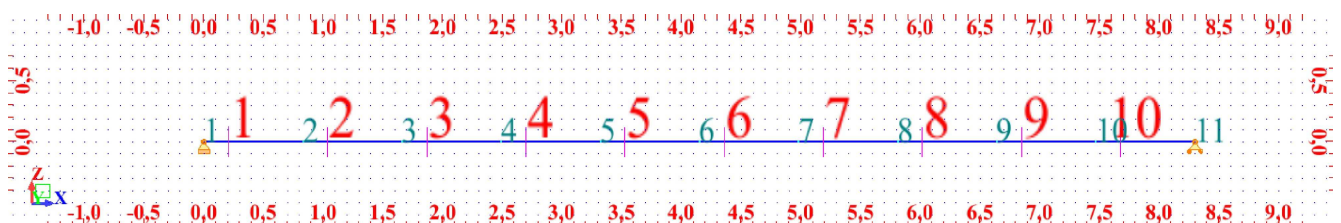
- Moment zginający rozciągający włókna dolne +
- Moment zginający rozciągający włókna górne -

Konwencja znakowania naprężeń:

- Naprężenie rozciągające +
- Naprężenie ściskające -

1.1. Model obliczeniowy.

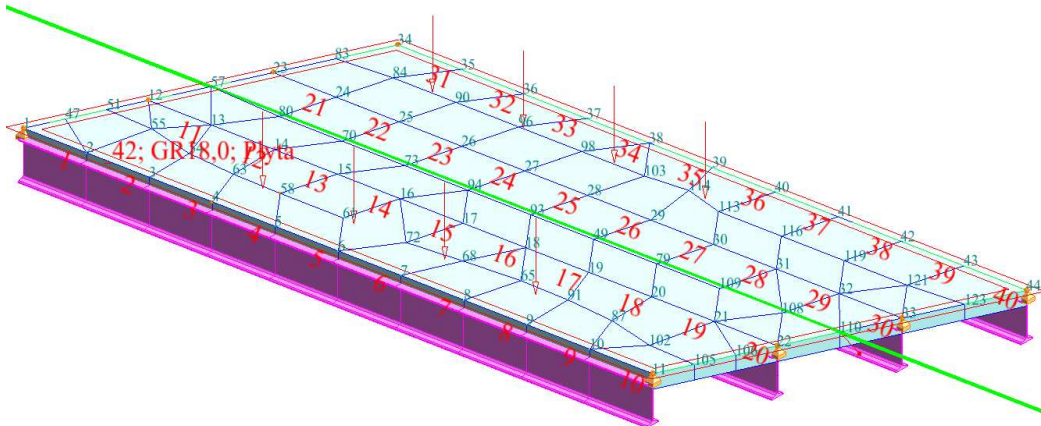
- Dla obliczenia momentów i sił poprzecznych od obciążeń stałych w Fazie I i Fazie II



Rys. Model obliczeniowy dla obciążeń stałych. Numeracja węzłów i prętów.

Schemat belki swobodnie podpartej. Rozpiętość teoretyczna $l_t = 8,30$ m.

- Dla obliczenia momentów i sił poprzecznych od obciążenia zmiennego K (Faza II)



Rys. Model obliczeniowy dla obciążenia zmiennego K.

Model prętowo – powłokowy: składa się z czterech belek z walcowanego profilu dwuteowego IN500 w rozstawie 1,27 m i długości każda 8,30 m, oraz żelbetowej płyty o grubości 0,180 m. Kąt skosu wynosi 65°. W programie komputerowym użyto funkcji *offset* dla belek stalowych względem żelbetowej płyty zespolonej.

Materiały:

- Beton B40 (C35/45)
 - $R_{b1} = 23,1 \text{ MPa}$ - obliczeniowa wytrzymałość na ściskanie,
 - $R_{bt0.05} = 1,4 \text{ MPa}$ - obliczeniowa wytrzymałość betonu na rozciąganie,
 - $E_b = 36400 \text{ MPa}$ - współczynnik sprężystości podłużnej betonu.
- Stal 18G2A (S355)
 - $R = 280 \text{ MPa}$ - obliczeniowa wytrzymałość stali na rozciąganie i ściskanie,
 - $R_t = 170 \text{ MPa}$ - obliczeniowa wytrzymałość stali na ścinanie,
 - $E_{st} = 205000 \text{ MPa}$ - współczynnik sprężystości podłużnej stali.

1.2. Faza I (montażowa). Obliczenie sił wewnętrznych i sprawdzenie naprężeń.

1.2.1. Zestawienie obciążeń i obliczenie sił wewnętrznych.

Współczynnik obciążenia $\gamma_f = (0,9) 1,2$ dla Układu P i PD

- Obciążenie ciężarem własnym cw :

Przyjęto w programie przekrój IN500 i obliczono moment maksymalny i ekstremalną siłę poprzeczną

Wartość charakterystyczna maksymalnego momentu w środku rozpiętości:

$$M_{cw,6} = 12 \text{ kNm}$$

Wartość charakterystyczna siły poprzecznej na skraju belki:

$$V_{cw,1(11)} = 6 \text{ kN}$$

- Obciążenie g_m : „mokrą” płytą żelbetową g_b , ciężarem dekowania g_d , obciążenie użytkowe g_u .

Obciążenie g_b :

$$\text{Grubość płyty żelbetowe: } g = 0,180 \text{ m}$$

$$\text{Rozstaw dźwigarów } b = 1,270 \text{ m}$$

$$\text{Ciężar objętościowy płyty } \gamma_b = (25 + 1 + 2 + 1) \text{ kN/m}^3 = 28 \text{ kN/m}^3$$

$$g_b = g \cdot b \cdot \gamma_b = 0,180 \text{ m} \cdot 1,270 \text{ m} \cdot 28 \text{ kN/m}^3 = 6,4 \text{ kN/m}$$

Obciążenie g_d :

$$\text{Obciążenie na m}^2 \text{ powierzchni } g_d = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

$$g_d = g_d \cdot b = 1,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,270 \text{ m} = 1,91 \text{ kN/m}$$

Obciążenie g_u :

$$g_u = 1 \text{ kN/m}$$

$$\text{RAZEM: } g_m = g_b + g_d + g_u = 6,4 \text{ kN/m} + 1,91 \text{ kN/m} + 1 \text{ kN/m} = 9,31 \text{ kN/m}$$

Rozpiętość teoretyczna: $l_t = 8,30 \text{ m}$

Wartość charakterystyczna maksymalnego momentu w środku rozpiętości:

$$M_{gm,6} = g_m \cdot l_t^2 / 8 = 9,31 \cdot (8,30 \text{ m})^2 / 8 = 80 \text{ kNm}$$

Wartość charakterystyczna siły poprzecznej na skraju belki:

$$V_{gm,1(11)} = g_m \cdot l_t / 2 = 9,31 \cdot 8,30 \text{ m} / 2 = 39 \text{ kN}$$

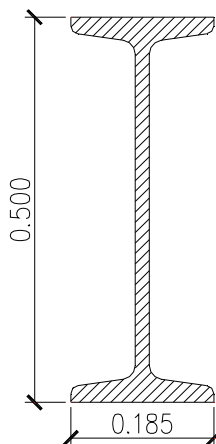
- RAZEM: $cw + g_m$:

Wartości charakterystyczne:

$$M_6^I = M_{cw,6} + M_{gm,6} = 12 \text{ kNm} + 80 \text{ kNm} = 92 \text{ kNm}$$

$$V_{1(11)}^I = V_{cw,1(11)} + V_{gm,1(11)} = 6 \text{ kN} + 39 \text{ kN} = 45 \text{ kN}$$

1.2.2. Obliczenie parametrów dźwigara stalowego.



IN500, wskaźniki zginania: $W_d = 2,75E-03 \text{ m}^3$ $W_g = -2,75E-03 \text{ m}^3$

1.2.3. Obliczenie i sprawdzenie naprężeń normalnych.

Naprężenie normalne charakterystyczne:

Włókna górne: $\sigma_{6,g}^I = M_6^I / W_g = 92 \text{ kNm} / -2,75E-03 \text{ m}^3 = -33 \text{ MPa}$

Włókna dolne: $\sigma_{6,d}^I = M_6^I / W_d = 92 \text{ kNm} / 2,75E-03 \text{ m}^3 = 33 \text{ MPa}$

Naprężenia normalne obliczeniowe ekstremalne:

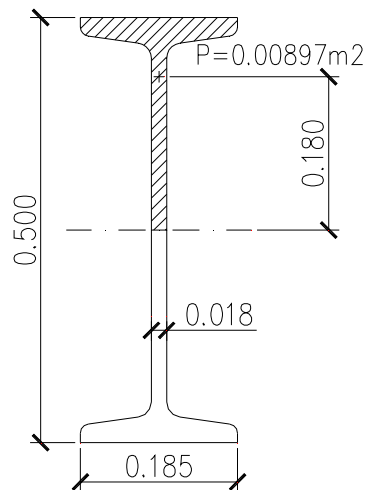
Włókna górne: $\sigma_{6,g,eks}^I = \sigma_{6,g}^I * 1,2 = -33 \text{ MPa} * 1,2 = -40 \text{ MPa}$

Włókna dolne: $\sigma_{6,d,eks}^I = \sigma_{6,d}^I * 1,2 = 33 \text{ MPa} * 1,2 = 40 \text{ MPa}$

Sprawdzenie naprężeń:

$$|\sigma_{6,g,eks}^I| = \sigma_{6,d,eks}^I = 40 \text{ MPa} < R = 280 \text{ MPa}$$

1.2.4. Obliczenie i sprawdzenie naprężeń stycznych.



$$S_{\max} = 0,00897 \text{ m}^2 * 0,180 \text{ m} = 1,615E-03 \text{ m}^3$$

$$I = 6,874E-04 \text{ m}^4$$

$$g = 0,018 \text{ m}$$

Naprężenie styczne obliczeniowe maksymalne:

$$\tau_{1(11),\max}^I = (V_{1(11)}^I * S_{\max}) / (I * g) * 1,2$$

$$\tau_{1(11),\max}^I = (45 \text{ kN} * 1,615E-03 \text{ m}^3) / (6,874E-04 \text{ m}^4 * 0,018 \text{ m}) = 7 \text{ MPa}$$

Sprawdzenie naprężeń stycznych:

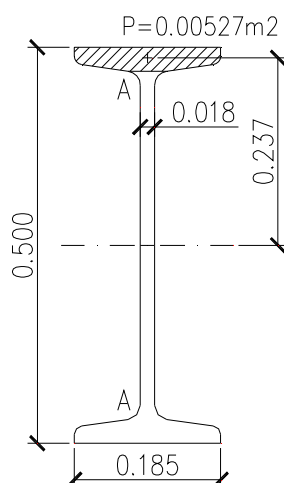
$$\tau_{1(11),\max}^I = 7 \text{ MPa} < R_t = 170 \text{ MPa}$$

1.2.5. Obliczenie i sprawdzenie naprężeń zastępczych.

Poniżej w tabelach obliczono naprężenia normalne, styczne i sprawdzono naprężenia zastępcze na długości belki w punkcie A na wysokości przekroju wg rys poniżej.

Naprężenie zastępcze obliczono i sprawdzono wg wzoru:

$$\sigma_z = (\sigma^2 + 3 * \tau^2)^{0,5} < 1,1 * R = 280 * 1,1 = 308 \text{ MPa}$$



$$S_{\max} = 0,00527 \text{ m}^2 * 0,237 \text{ m} = 1,250\text{E-}03 \text{ m}^3$$

$$I = 6,874\text{E-}04 \text{ m}^4$$

$$g = 0,018 \text{ m}$$

FAZA I. Obliczenie naprężeń zastępczych w punkcie A (wg rys przekroju).

Węzeł	Odległość [m]	Obliczenie naprężeń stycznych i normalnych. Wartość obliczeniowa $\gamma_f=1,2$							
		$V_{cw}+V_{gm}$ [kN]	S_A [m ³]	I [m ⁴]	g [m]	$ T_A _{\max}$ [MPa]	$M_{cw}+M_{gm}$ [kNm]	$W_d = W_g $ [m ³]	$\sigma_A = \sigma_{\text{eks,d}} = \sigma_{\text{eks,g}} $ [MPa]
1	0,00	44	1,25E-03	6,87E-04	0,018	5	0	2,75E-03	0
2	0,83	35	1,25E-03	6,87E-04	0,018	4	33	2,75E-03	14
3	1,66	27	1,25E-03	6,87E-04	0,018	3	59	2,75E-03	26
4	2,49	18	1,25E-03	6,87E-04	0,018	2	77	2,75E-03	34
5	3,32	9	1,25E-03	6,87E-04	0,018	1	88	2,75E-03	39
6	4,15	0	1,25E-03	6,87E-04	0,018	0	92	2,75E-03	40
7	4,98	-9	1,25E-03	6,87E-04	0,018	1	88	2,75E-03	39
8	5,81	-18	1,25E-03	6,87E-04	0,018	2	77	2,75E-03	34
9	6,64	-27	1,25E-03	6,87E-04	0,018	3	59	2,75E-03	26
10	7,47	-35	1,25E-03	6,87E-04	0,018	4	33	2,75E-03	14
11	8,30	-44	1,25E-03	6,87E-04	0,018	5	0	2,75E-03	0

FAZA I. Obliczenie i sprawdzenie naprężeń zastępczych.

Węzeł	Odległość [m]	Obliczeniowa wartość naprężeń i wytrzymałości				
		$ T_A _{\max}$ [MPa]	σ_A [MPa]	σ_z [MPa]	SPR	1,1R [MPa]
1	0,00	5	0	9	<ok.	308
2	0,83	4	14	16	<ok.	308
3	1,66	3	26	26	<ok.	308
4	2,49	2	34	34	<ok.	308
5	3,32	1	39	39	<ok.	308
6	4,15	0	40	40	<ok.	308
7	4,98	1	39	39	<ok.	308
8	5,81	2	34	34	<ok.	308
9	6,64	3	26	26	<ok.	308
10	7,47	4	14	16	<ok.	308
11	8,30	5	0	9	<ok.	308

1.3. Faza II. Obliczenie sił wewnętrznych.

1.3.1. Zestawienie obciążeń i obliczenie momentów zginających.

- Obciążenie elementami niekonstrukcyjnymi Δg :

Współczynnik obciążenia $\gamma_f = (0,9) 1,5$ dla Układu P i PD

Izolacja z papy: $14 \text{ kN/m}^3 * 0,01 \text{ m} * 1,27 \text{ m} = 0,18 \text{ kN/m}$

Nawierzchnia: $23 \text{ kN/m}^3 * 0,1 \text{ m} * 1,27 \text{ m} = 2,92 \text{ kN/m}$

Barieroporęcz: 1 kN/m

RAZEM: $0,18 + 2,92 + 1 = 4,1 \text{ kN/m}$

Wartość charakterystyczna maksymalnego momentu w środku rozpiętości:

$$M_{\Delta g,6}^{\text{II}} = \Delta g * l_t^2 / 8 = 4,1 * (8,30 \text{ m})^2 / 8 = 35 \text{ kNm}$$

- Obciążenie zmienne K i q :

Współczynnik obciążenia $\gamma_f = (0) 1,5$ dla Układu P; $\gamma_f = (0) 1,25$ dla Układu PD

Klasa obciążenia A

- Obciążenie zmienne równomiernie rozłożone q :

$$q = 4 \text{ kN/m}^2 * 1,27 \text{ m} = 5,1 \text{ kN/m}$$

$$M_{q,6} = q * l_t^2 / 8 = 5,1 * (8,30 \text{ m})^2 / 8 = 44 \text{ kNm}$$

- Obciążenie skupione K :

Wartość momentu odczytano z programu komputerowego wg pkt. 1.1. (model obliczeniowy dla pojazdu K). Zdefiniowano obciążenie ruchome, 8 sił po 100 kN w rozstawie wg [1]:

$$M_{K,6} = 265 \text{ kNm} - \text{wartość bez współczynnika dynamicznego}$$

Współczynnik dynamiczny:

$$\varphi = 1,35 - 0,005 * l_t = 1,35 - 0,005 * 8,30 = 1,31$$

Moment charakterystyczny z uwzględnieniem współczynnika dynamicznego:

$$M_{K,6} = 265 * 1,31 = 347 \text{ kNm}$$

- RAZEM. Moment charakterystyczny maksymalny w środku rozpiętości:

$$M_{Kiq,6}^{\text{II}} = 44 + 347 = 391 \text{ kNm}$$

1.3.2. Obliczenie parametrów dźwigara zespolonego (wsp. „n”)

- Wyznaczenie szerokości współpracującej:

Oznaczenia wg rysunku poniżej

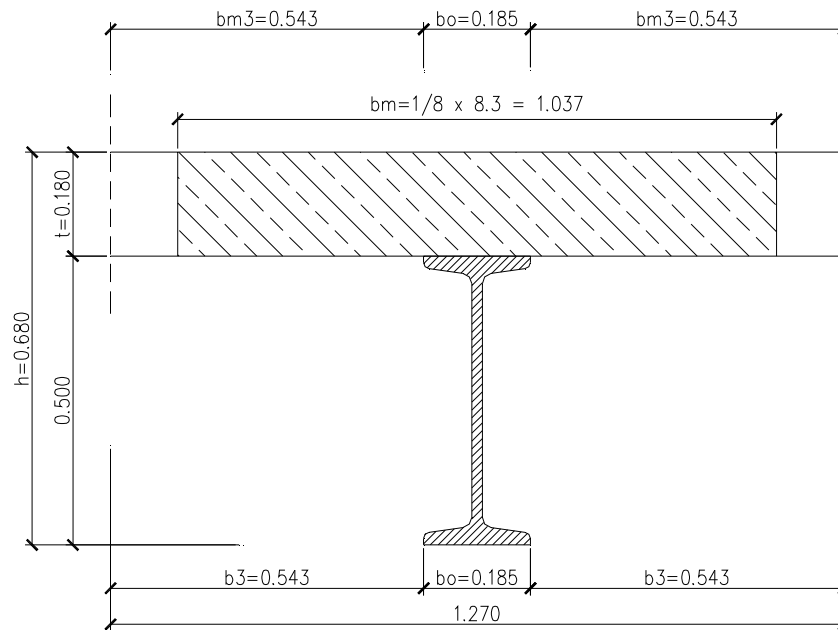
$l = l_t = 8,30 \text{ m}$ – rozpiętość podporowa, schemat belki swobodnie podpartej

$b_o = 0,185 \text{ m}$ $b_3 = 0,543 \text{ m}$ $t = 0,180 \text{ m}$ $h = 0,680 \text{ m}$

$b_o / l = 0,185 / 8,30 = 0,02$ $b_3 / l = 0,543 / 8,30 = 0,07$ $t / h = 0,180 / 0,680 = 0,265$

wg [3] tabl.10 $\lambda = 1 \rightarrow b_{m3} = 0,543$

$b_m = \min(l/8; b_o + 2 * b_{m3}) = \min(1,038 \text{ m} ; 1,27 \text{ m}) = 1,038 \text{ m}$



- Pole przekroju płyty betonowej:

$$F_b = 0,180 \text{ m} * 1,0375 \text{ m} = 0,18675 \text{ m}^2$$

- Moment bezwładności płyty betonowej:

$$I_b = (1,0375 \text{ m} * (0,180 \text{ m})^2) / 12 = 5,04\text{E-}04 \text{ m}^4$$

- Współczynnik sprężystości betonu:

$$E_b = 36400 \text{ MPa}$$

- Pole przekroju dźwigara stalowego:

$$F_{st} = 0,017935 \text{ m}^2$$

- Moment bezwładności dźwigara stalowego:

$$I_{st} = 6,874\text{E-}04 \text{ m}^4$$

- Współczynnik sprężystości stali

$$E_{st} = 205000 \text{ MPa}$$

- Współczynnik n :

$$n = E_{st} / E_b = 205000 / 36400 = 5,63$$

- Pole przekroju dźwigara zespolonego:

$$F_i = F_{st} + F_b / n = 0,017935 \text{ m}^2 + 0,18675 \text{ m}^2 / 5,63 = 0,051095 \text{ m}^2$$

- Odległość pomiędzy środkiem ciężkości płyty a środkiem ciężkości dźwigara stalowego (wg rysunku poniżej):

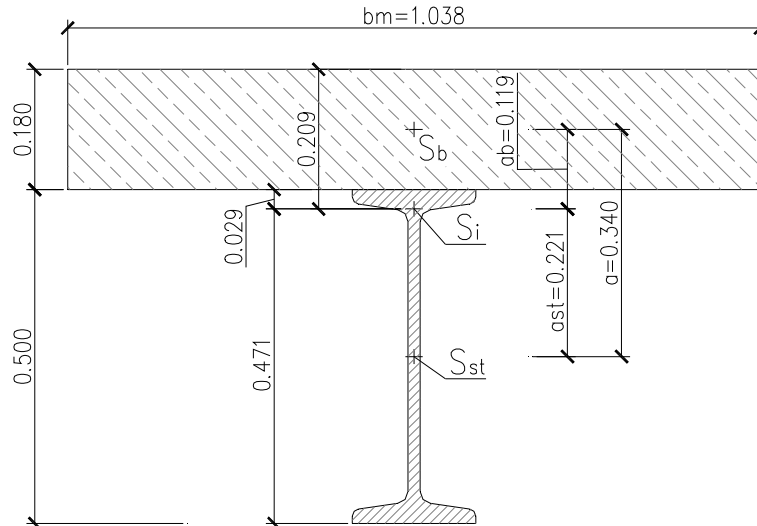
$$a = 0,340 \text{ m}$$

- Odległość pomiędzy środkiem ciężkości dźwigara stalowego a środkiem ciężkości dźwigara zespolonego:

$$a_{st} = (F_b * a) / (n * F_i) = (0,18675 \text{ m}^2 * 0,340 \text{ m}) / (5,63 * 0,051095 \text{ m}^2) = 0,221 \text{ m}$$

- Odległość pomiędzy środkiem ciężkości płyty betonowej a środkiem ciężkości dźwigara zespolonego:

$$a_b = (F_{st} * a) / F_i = (0,017935 \text{ m}^2 * 0,340 \text{ m}) / 0,051095 \text{ m}^2 = 0,119 \text{ m}$$



- Moment bezwładności przekroju zespolonego:

$$I_i = I_{st} + F_{st} * a_{st}^2 + (1/n) * I_b + (1/n) * F_b * a_b^2 = 6,874E-04 \text{ m}^4 + 0,017935 \text{ m}^2 * (0,221 \text{ m})^2 + (1/5,63) * 5,04E-04 \text{ m}^4 + (1/5,63) * 0,18675 \text{ m}^2 (0,119 \text{ m})^2 = 2,122E-03 \text{ m}^4$$

- Wskaźnik zginania względem włókien górnych płyty betonowej:

$$W_{g,b}^{II} = I_i / -0,209 \text{ m} = -1,02E-02 \text{ m}^3$$

- Wskaźnik zginania względem włókien dolnych płyty betonowej:

$$W_{d,b}^{II} = I_i / -0,029 \text{ m} = -7,32E-02 \text{ m}^3$$

- Wskaźnik zginania względem włókien górnych dźwigara stalowego:

$$W_{g,st}^{II} = I_i / -0,029 \text{ m} = -7,32E-02 \text{ m}^3$$

- Wskaźnik zginania względem włókien dolnych dźwigara stalowego:

$$W_{d,st}^{II} = I_i / *0,471 \text{ m} = 4,51E-03 \text{ m}^3$$

1.3.3. Obliczenie naprężeń normalnych.

Obciążenie Δg :

Naprężenie normalne charakterystyczne w środku rozpiętości belki:

$$\sigma_{6,g,b}^{II\Delta g} = M_{\Delta g,6}^{II} / (W_{g,b}^{II} * n) = 35 \text{ kNm} / (-1,02E-02 \text{ m}^3 * 5,63) = -0,61 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{6,d,b}^{II\Delta g} = M_{\Delta g,6}^{II} / (W_{d,b}^{II} * n) = 35 \text{ kNm} / (-7,32E-02 \text{ m}^3 * 5,63) = -0,08 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{6,g,st}^{II\Delta g} = M_{\Delta g,6}^{II} / W_{g,st}^{II} = 35 \text{ kNm} / -7,32E-02 \text{ m}^3 = -0,48 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{6,d,st}^{II\Delta g} = M_{\Delta g,6}^{II} / W_{d,st}^{II} = 35 \text{ kNm} / 4,51E-03 \text{ m}^3 = 7,76 \text{ MPa}$$

Obciążenie K i q :

Naprężenie normalne charakterystyczne w środku rozpiętości belki:

$$\sigma_{6,g,b}^{IIKiq} = M_{Kiq,6}^{II} / (W_{g,b}^{II} * n) = 391 \text{ kNm} / (-1,02E-02 \text{ m}^3 * 5,63) = -6,84 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{6,d,b}^{IIKiq} = M_{Kiq,6}^{II} / (W_{d,b}^{II} * n) = 391 \text{ kNm} / (-7,32E-02 \text{ m}^3 * 5,63) = -0,95 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{6,g,st}^{IIKiq} = M_{Kiq,6}^{II} / W_{g,st}^{II} = 391 \text{ kNm} / -7,32E-02 \text{ m}^3 = -5,35 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{6,d,st}^{IIKiq} = M_{Kiq,6}^{II} / W_{d,st}^{II} = 391 \text{ kNm} / 4,51E-03 \text{ m}^3 = 86,85 \text{ MPa}$$

1.4. Pełzanie. Obliczenie sił wewnętrznych i naprężeń.

Współczynnik obciążenia $\gamma_f = (0,85) 1,2$ dla Układu P i PD.

1.4.1. Obliczenie parametrów dźwigara zespolonego (wsp. n_{FM}).

- Szerokość współpracująca wg pkt. 1.3.2

$$b_m = 1,038 \text{ m}$$

- Pole przekroju płyty betonowej:

$$F_b = 0,180 \text{ m} * 1,0375 \text{ m} = 0,18675 \text{ m}^2$$

- Moment bezwładności płyty betonowej:

$$I_b = (1,0375 \text{ m} * (0,180 \text{ m})^2) / 12 = 5,04E-04 \text{ m}^4$$

- Współczynnik sprężystości betonu:

$$E_b = 36400 \text{ MPa}$$

- Pole przekroju dźwigara stalowego:

$$F_{st} = 0,017935 \text{ m}^2$$

- Moment bezwładności dźwigara stalowego:

$$I_{st} = 6,874E-04 \text{ m}^4$$

- Współczynnik sprężystości stali

$$E_{st} = 205000 \text{ MPa}$$

- Współczynnik n :

$$n = E_{st} / E_b = 205000 / 36400 = 5,63$$

- Współczynniki pełzania i współczynnik n_{FM} :

$$\phi_p = 2 \quad \psi_{FM} = 1,1$$

$$n_{FM} = 1,4 * n * (1 + \psi_{FM} * \phi_p / 1,4) = 1,4 * 5,63 * (1 + 1,1 * 2 / 1,4) = 20,27$$

- Pole przekroju dźwigara zespolonego:

$$F_i = F_{st} + F_b / n_{FM} = 0,017935 \text{ m}^2 + 0,18675 \text{ m}^2 / 20,27 = 0,027146 \text{ m}^2$$

- Odległość pomiędzy środkiem ciężkości płyty a środkiem ciężkości dźwigara stalowego (wg rysunku poniżej):

$$a = 0,340 \text{ m}$$

- Odległość pomiędzy środkiem ciężkości dźwigara stalowego a środkiem ciężkości dźwigara zespolonego:

$$a_{st} = (F_b * a) / (n_{FM} * F_i) = (0,18675 \text{ m}^2 * 0,340 \text{ m}) / (20,27 * 0,027146 \text{ m}^2) = 0,115 \text{ m}$$

- Odległość pomiędzy środkiem ciężkości płyty betonowej a środkiem ciężkości dźwigara zespolonego:

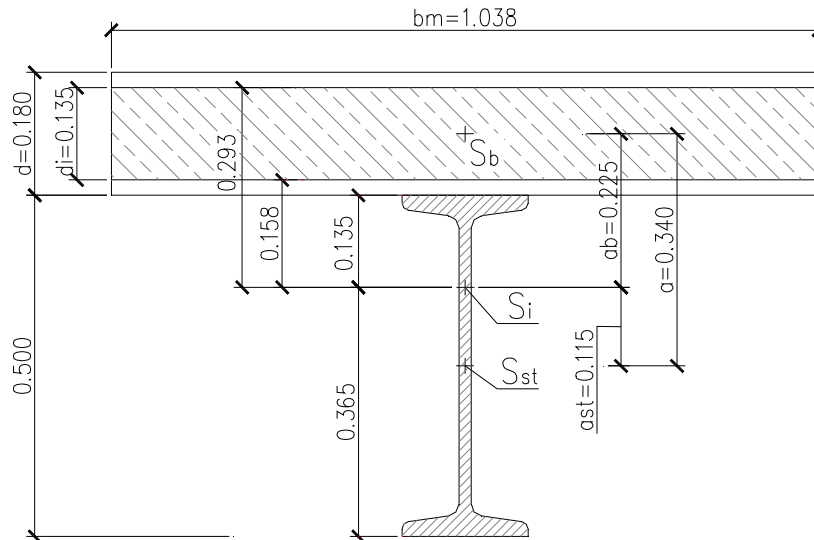
$$a_b = (F_{st} * a) / F_i = (0,017935 \text{ m}^2 * 0,340 \text{ m}) / 0,027146 \text{ m}^2 = 0,225 \text{ m}$$

- Obliczenie zredukowanej grubości płyty betonowej d_i :

$$d = t = 0,180 \text{ m}$$

$$\psi_{JB} = 1,7 \quad n_{JB} = 1,4 * n * (1 + \psi_{JB} * \phi_p / 1,4) = 1,4 * 5,63 * (1 + 1,7 * 2 / 1,4) = 27,02$$

$$d_i = (n_{FM} / n_{JB}) * d = (20,27 / 27,02) * 0,180 \text{ m} = 0,135 \text{ m}$$



- Moment bezwładności przekroju zespolonego:

$$I_i = I_{st} + F_{st} * a_{st}^2 + (1 / n_{FM}) * I_b + (1 / n_{FM}) * F_b * a_b^2 = 6,874E-04 \text{ m}^4 + 0,017935 \text{ m}^2 * (0,115 \text{ m})^2 + (1 / 20,27) * 5,04E-04 \text{ m}^4 + (1 / 20,27) * 0,18675 \text{ m}^2 * (0,225 \text{ m})^2 = 1,416E-03 \text{ m}^4$$

- Wskaźnik zginania względem włókien górnych płyty betonowej dla wsp. n_{FM} :

$$W^{nFM}_{g,b} = I_i / -0,293 \text{ m} = -4,83E-03 \text{ m}^3$$

- Wskaźnik zginania względem włókien dolnych płyty betonowej:

$$W^{nFM}_{d,b} = I_i / -0,158 \text{ m} = -8,96E-03 \text{ m}^3$$

- Wskaźnik zginania względem włókien górnych dźwigara stalowego:

$$W^{nFM}_{g,st} = I_i / -0,135 \text{ m} = -1,05E-02 \text{ m}^3$$

- Wskaźnik zginania względem włókien dolnych dźwigara stalowego:

$$W^{nFM}_{d,st} = I_i / *0,365 \text{ m} = 3,88E-03 \text{ m}^3$$

1.4.2. Obliczenie naprężeń normalnych.

Poniżej obliczono naprężenia charakterystyczne normalne w środku rozpiętości belki od wpływów pełzania (obciążenia Δg , współczynniki n oraz n_{FM}) wg wzoru poniżej:

$$\sigma^{\text{Pełzanie}} = \sigma(n_{FM}) - \sigma(n)$$

$\sigma(n)$ – wg pkt. 1.3.3.

PEŁZANIE. Obliczenie naprężeń od wpływu pełzania. Wartości charakterystyczne								
Węzeł	$M_{\Delta g}$	W^I	n	$W^{n_{FM}}$	n_{FM}	$\sigma^{I, \Delta g}$	$\sigma^{n_{FM}, \Delta g}$	$\sigma^{\text{Pełzanie}}$
6	[kNm]	[m ³]	[-]	[m ³]	[-]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
$\sigma_{i,bg}$	35	-1,02E-02	5,63	-4,83E-03	20,27	-0,61	-0,36	0,25
$\sigma_{i,bd}$	35	-7,32E-02	5,63	-8,96E-03	20,27	-0,08	-0,19	-0,11
$\sigma_{i,stg}$	35	-7,32E-02	-	-1,05E-02	-	-0,48	-3,33	-2,86
$\sigma_{i,std}$	35	4,51E-03	-	3,88E-03	-	7,76	9,01	1,25
"+" naprężenia rozciągające			"-" naprężenia ściskające					

1.5. Skurcz. Obliczenie sił wewnętrznych i naprężeń.

Współczynnik obciążenia $\gamma_f = (0,85) 1,2$ dla Układu P i PD.

1.5.1. Obliczenie parametrów dźwigara zespolonego (wsp. n_{FS}).

- Szerokość współpracująca wg pkt. 1.3.2

$$b_m = 1,038 \text{ m}$$

- Pole przekroju płyty betonowej:

$$F_b = 0,180 \text{ m} * 1,0375 \text{ m} = 0,18675 \text{ m}^2$$

- Moment bezwładności płyty betonowej:

$$I_b = (1,0375 \text{ m} * (0,180 \text{ m})^2) / 12 = 5,04E-04 \text{ m}^4$$

- Współczynnik sprężystości betonu:

$$E_b = 36400 \text{ MPa}$$

- Pole przekroju dźwigara stalowego:

$$F_{st} = 0,017935 \text{ m}^2$$

- Moment bezwładności dźwigara stalowego:

$$I_{st} = 6,874E-04 \text{ m}^4$$

- Współczynnik sprężystości stali

$$E_{st} = 205000 \text{ MPa}$$

- Współczynnik n :

$$n = E_{st} / E_b = 205000 / 36400 = 5,63$$

- Współczynniki skurczu i współczynnik n_{FS} :

$$\psi_{FS} = 0,52 \quad \phi_{fv} = 2,5$$

$$n_{FS} = 1,4 * n * (1 + \psi_{FS} * \phi_{fv}) = 1,4 * 5,63 * (1 + 0,52 * 2,5) = 18,13$$

- Pole przekroju dźwigara zespolonego:

$$F_i = F_{st} + F_b / n_{FS} = 0,017935 \text{ m}^2 + 0,18675 \text{ m}^2 / 18,13 = 0,028233 \text{ m}^2$$

- Odległość pomiędzy środkiem ciężkości płyty a środkiem ciężkości dźwigara stalowego (wg rysunku poniżej):

$$a = 0,340 \text{ m}$$

- Odległość pomiędzy środkiem ciężkości dźwigara stalowego a środkiem ciężkości dźwigara zespolonego:

$$a_{st} = (F_b * a) / (n_{FS} * F_i) = (0,18675 \text{ m}^2 * 0,340 \text{ m}) / (18,13 * 0,028233 \text{ m}^2) = 0,124 \text{ m}$$

- Odległość pomiędzy środkiem ciężkości płyty betonowej a środkiem ciężkości dźwigara zespolonego:

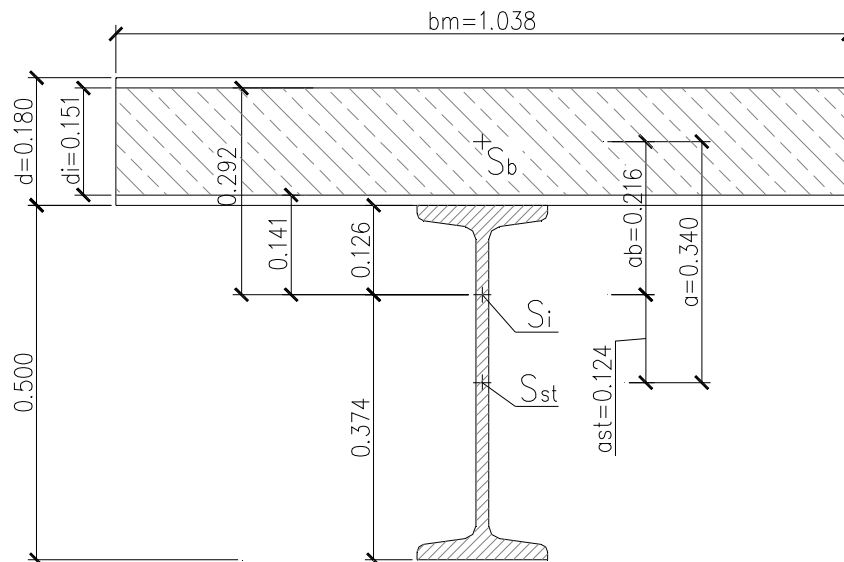
$$a_b = (F_{st} * a) / F_i = (0,017935 \text{ m}^2 * 0,340 \text{ m}) / 0,028233 \text{ m}^2 = 0,216 \text{ m}$$

- Obliczenie zredukowanej grubości płyty betonowej d_i :

$$d = t = 0,180 \text{ m}$$

$$\psi_{JS} = 0,7 \quad n_{JS} = 1,4 * n * (1 + \psi_{JS} * \phi_{fv}) = 1,4 * 5,63 * (1 + 0,7 * 2,5) = 21,68$$

$$d_i = (n_{FS} / n_{JS}) * d = (18,13 / 21,68) * 0,180 \text{ m} = 0,151 \text{ m}$$



- Moment bezwładności przekroju zespolonego:

$$I_i = I_{st} + F_{st} * a_{st}^2 + (1 / n_{FS}) * I_b + (1 / n_{FS}) * F_b * a_b^2 = 6,874E-04 \text{ m}^4 + 0,017935 \text{ m}^2 * (0,124 \text{ m})^2 + (1 / 18,13) * 5,04E-04 \text{ m}^4 + (1 / 18,13) * 0,18675 \text{ m}^2 (0,216 \text{ m})^2 = 1,471E-03 \text{ m}^4$$

- Wskaźnik zginania względem włókien górnych płyty betonowej dla wsp. n_{FS} :

$$W_{g,b}^{nFS} = I_i / -0,292 \text{ m} = -5,04E-03 \text{ m}^3$$

- Wskaźnik zginania względem włókien dolnych płyty betonowej:

$$W_{d,b}^{nFS} = I_i / -0,141 \text{ m} = -1,04E-02 \text{ m}^3$$

- Wskaźnik zginania względem włókien górnych dźwigara stalowego:

$$W_{g,st}^{nFS} = I_i / -0,126 \text{ m} = -1,17E-02 \text{ m}^3$$

- Wskaźnik zginania względem włókien dolnych dźwigara stalowego:

$$W_{d,st}^{nFS} = I_i / *0,374 \text{ m} = 3,93E-03 \text{ m}^3$$

1.5.2. Obliczenie naprężeń normalnych.

- Obliczenie siły rozciągającej od skurczu:

$$n = 5,63 \quad n_{FS} = 18,13$$

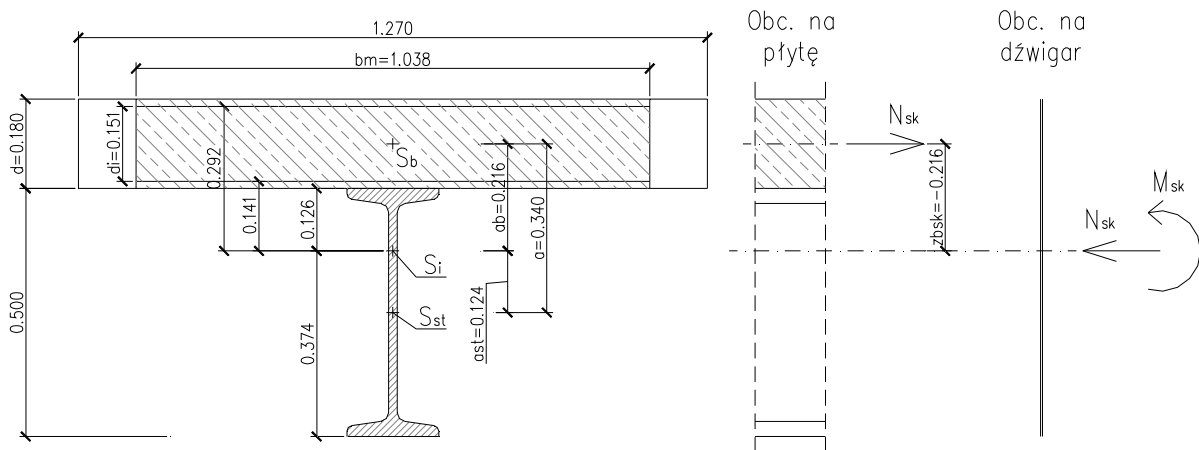
$\epsilon_s = 0,2 \text{ mm/m}$ – wartość odkształcenia skurczu betonu zwykłego

$$E_b = 36400 \text{ MPa}$$

$F_b = 0,18675 \text{ m}^2$ – pole dla obliczenia wartości siły obliczone z szerokości współpracującej

$$N_{Sk} = \epsilon_s * (n / n_{FS}) * E_b * F_b = 0,2 \text{ mm/m} * (5,63 / 18,13) * 36400 \text{ MPa} * 0,18675 \text{ m}^2 = 422 \text{ kN}$$

- Rozkład sił od skurczu:



- Obliczenie momentu od skurczu M_{Sk} :

$$z_{bsk} = -0,216 \text{ m}$$

$$M_{Sk} = -N_{Sk} * z_{bsk} = -422 * -0,216 = 91 \text{ kNm}$$

- Obliczenie naprężeń normalnych charakterystycznych od skurczu:

Naprężenia w betonie:

$$\sigma_{g,b}^{Sk} = N_{Sk} / F_b + -N_{Sk} / (n_{FS} * F_i) + M_{Sk} / (n_{FS} * W_{g,b}^{nFS})$$

$$\sigma_{d,b}^{Sk} = N_{Sk} / F_b + -N_{Sk} / (n_{FS} * F_i) + M_{Sk} / (n_{FS} * W_{d,b}^{nFS})$$

Naprężenia w dźwigarze stalowym:

$$\sigma_{g,st}^{Sk} = -N_{Sk} / F_i + M_{Sk} / W_{g,st}^{nFS}$$

$$\sigma_{d,st}^{Sk} = -N_{Sk} / F_i + M_{Sk} / W_{d,st}^{nFS}$$

Poniżej w tabeli obliczono naprężenia, gdzie:

$$W_{g,b}^{nFS} = -5,04E-03 \text{ m}^3 \quad W_{d,b}^{nFS} = -1,04E-02 \text{ m}^3$$

$$W_{g,st}^{nFS} = -1,17E-02 \text{ m}^3 \quad W_{d,st}^{nFS} = 3,93E-03 \text{ m}^3$$

$$N_{Sk} = 422 \text{ kN} \quad M_{Sk} = 91 \text{ kNm}$$

$$n_{FS} = 18,13$$

$$F_i = 0,028233 \text{ m}^2 \quad F_b = 0,18675 \text{ m}^2$$

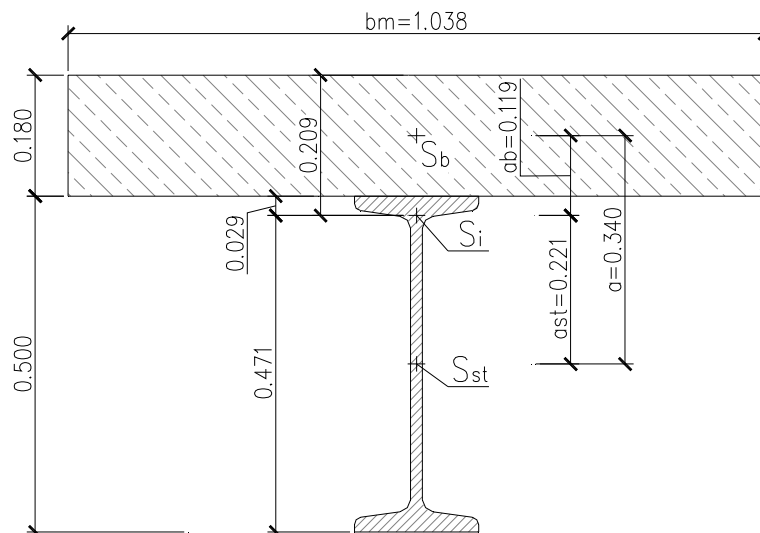
Obliczenie naprężeń od skurczu			
Naprężenie charakterystyczne w betonie, włókna górne.			
N_{sk}/F_b	$-N_{sk}/(n_{FS} \cdot F_i)$	$M_{sk}/(n_{FS} \cdot W_{g,b}^{nFS})$	$\sigma_{g,b}^{Sk}$
[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
2,26	-0,82	-1,00	0,44
Naprężenie charakterystyczne w betonie, włókna dolne.			
N_{sk}/F_b	$-N_{sk}/(n_{FS} \cdot F_i)$	$M_{sk}/(n_{FS} \cdot W_{d,b}^{nFS})$	$\sigma_{d,b}^{Sk}$
[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
2,26	-0,82	-0,48	0,95
Naprężenie charakterystyczne w stali, włókna górne.			
	$-N_{sk}/F_i$	$M_{sk}/W_{g,st}^{nFS}$	$\sigma_{g,st}^{Sk}$
	[MPa]	[MPa]	[MPa]
	-14,95	-7,81	-22,76
Naprężenie charakterystyczne w stali, włókna dolne.			
	$-N_{sk}/F_i$	$M_{sk}/W_{d,st}^{nFS}$	$\sigma_{d,st}^{Sk}$
	[MPa]	[MPa]	[MPa]
	-14,95	23,18	8,23
"+" naprężenia rozciągające "-" naprężenia ściskające			

1.6. Temperatura. Obliczenie sił wewnętrznych i naprężeń.

Współczynnik obciążenia $\gamma_f = (0) 1,2$ dla Układu PD.

1.6.1. Obliczenie parametrów dźwigara zespolonego (wsp. „n”).

Obliczenia analogicznie jak w pkt.1.3.2. (wsp. n):



$$F_b = 0,180 \text{ m} \cdot 1,0375 \text{ m} = 0,18675 \text{ m}^2$$

$$n=5,63$$

$$F_i = F_{st} + F_b/n = 0,017935 \text{ m}^2 + 0,18675 \text{ m}^2 / 5,63 = 0,051095 \text{ m}^2$$

$$W_{g,b}^{Temp} = I_i / -0,209 \text{ m} = -1,02E-02 \text{ m}^3$$

$$W_{d,b}^{Temp} = I_i / -0,029 \text{ m} = -7,32E-02 \text{ m}^3$$

$$W_{g,st}^{Temp} = I_i / -0,029 \text{ m} = -7,32E-02 \text{ m}^3$$

$$W_{d,st}^{Temp} = I_i / *0,471 \text{ m} = 4,51E-03 \text{ m}^3$$

1.6.2. Obliczenie naprężeń normalnych.

- Obliczenie siły od wpływów temperatury:

$F_b = 0,18675 \text{ m}^2$ – pole dla obliczenia wartości siły obliczone z szerokości współpracującej

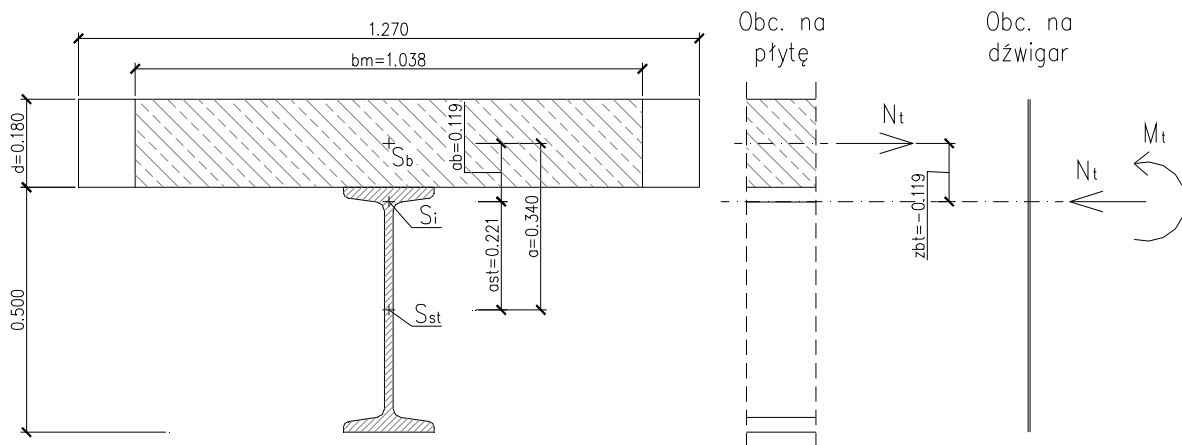
$E_b = 36400 \text{ MPa}$

$\Delta t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ – różnica nagrzania betonu i stali

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

$N_t = \alpha_t \cdot \Delta t \cdot E_b \cdot F_b = 0,000012 \cdot 1 / ^\circ\text{C} \cdot 10 \text{ }^\circ\text{C} \cdot 36400 \text{ MPa} \cdot 0,18675 \text{ m}^2 = 816 \text{ kN}$

- Rozkład sił od temperatury (rozciąganie w betonie):



- Obliczenie momentu od skurczu M_{sk} :

$z_{bt} = -0,119 \text{ m}$

$M_t = -N_t \cdot z_{bt} = -816 \cdot -0,119 = 97 \text{ kNm}$

- Obliczenie naprężeń normalnych charakterystycznych od wpływu temperatury:

Naprężenia w betonie:

$$\sigma_{g,b}^{\text{Temp}} = N_t / F_b + -N_t / (n \cdot F_i) + M_t / (n \cdot W_{g,b}^{\text{Temp}})$$

$$\sigma_{d,b}^{\text{Temp}} = N_t / F_b + -N_t / (n \cdot F_i) + M_t / (n \cdot W_{d,b}^{\text{Temp}})$$

Naprężenia w dźwigarze stalowym:

$$\sigma_{g,st}^{\text{Temp}} = -N_t / F_i + M_t / W_{g,st}^{\text{Temp}}$$

$$\sigma_{d,st}^{\text{Temp}} = -N_t / F_i + M_t / W_{d,st}^{\text{Temp}}$$

Poniżej w tabeli obliczono naprężenia, gdzie:

$$W_{g,b}^{\text{Temp}} = -1,02\text{E-}02 \text{ m}^3$$

$$W_{d,b}^{\text{Temp}} = -7,32\text{E-}02 \text{ m}^3$$

$$W_{g,st}^{\text{Temp}} = -7,32\text{E-}02 \text{ m}^3$$

$$W_{d,st}^{\text{Temp}} = 4,51\text{E-}03 \text{ m}^3$$

$$n = 5,63$$

$$F_i = 0,051095 \text{ m}^2$$

$$F_b = 0,18675 \text{ m}^2$$

Obliczenie naprężeń od wpływu temperatury				
			TEMP +	TEMP -
Naprężenie charakterystyczne w betonie, włókna górne.				
N_t/F_b	$-N_t/(n \cdot F_i)$	$M_t/(n \cdot W_{g,b}^{Temp})$	$\sigma_{g,b}^{Temp}$	$\sigma_{g,b}^{Temp}$
[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
4,37	-2,83	-1,70	-0,16	0,16
Naprężenie charakterystyczne w betonie, włókna dolne.				
N_t/F_b	$-N_t/(n \cdot F_i)$	$M_t/(n \cdot W_{d,b}^{Temp})$	$\sigma_{d,b}^{Temp}$	$\sigma_{d,b}^{Temp}$
[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
4,37	-2,83	-0,24	1,30	-1,30
Naprężenie charakterystyczne w stali, włókna górne.				
	$-N_t/F_i$	$M_t/W_{g,st}^{Temp}$	$\sigma_{g,st}^{Temp}$	$\sigma_{g,st}^{Temp}$
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
	-15,96	-1,33	-17,29	17,29
Naprężenie charakterystyczne w stali, włókna dolne.				
	$-N_t/F_i$	$M_t/W_{d,st}^{Temp}$	$\sigma_{d,st}^{Temp}$	$\sigma_{d,st}^{Temp}$
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
	-15,96	21,54	5,58	-5,58
"+" naprężenia rozciągające "-" naprężenia ściskające				

1.7. Zsumowanie i sprawdzenie naprężeń normalnych.

Naprężenia normalne.Węzeł nr 6. Wartości charakterystyczne [MPa].									
	FAZA I	FAZA II		PEŁZANIE	SKURCZ	TEMP +	TEMP -	σ_{min}	σ_{max}
		Δg	K+q						
σ_b^g	-	-0,61	-6,84	0,25	0,44	-0,16	0,16	-6,93	0,25
σ_b^d	-	-0,08	-0,95	-0,11	0,95	1,30	-1,30	-1,49	2,06
σ_{st}^g	-33,46	-0,48	-5,35	-2,86	-22,76	-17,29	17,29	-82,20	-42,27
σ_{st}^d	33,46	7,76	86,85	1,25	8,23	5,58	-5,58	45,12	143,13
"+" naprężenia rozciągające "-" naprężenia ściskające									

Naprężenia normalne.Węzeł nr 6. Wartości obliczeniowe [MPa]. Układ obciążeń P.												
	FAZA I		FAZA II				PEŁZANIE		SKURCZ		σ_{min}	σ_{max}
	$\gamma_i=0,9$	$\gamma_i=1,2$	Δg		K+g		$\gamma_i=0,85$	$\gamma_i=1,2$	$\gamma_i=0,85$	$\gamma_i=1,2$		
			$\gamma_i=0,9$	$\gamma_i=1,5$	min $\gamma_i=1,5$	max $\gamma_i=1,5$						
σ_b^g	-	-	-0,55	-0,92	-10,26	0,00	0,22	0,31	0,37	0,53	-10,59	0,28
σ_b^d	-	-	-0,08	-0,13	-1,42	0,00	-0,09	-0,13	0,81	1,15	-0,87	0,98
σ_{st}^g	-30,12	-40,16	-0,43	-0,72	-8,02	0,00	-2,43	-3,43	-19,35	-27,32	-79,64	-52,32
σ_{st}^d	30,12	40,16	6,98	11,63	0,00	130,28	1,07	1,51	6,99	9,87	45,16	193,45
"+" naprężenia rozciągające "-" naprężenia ściskające												

Naprężenia normalne.Węzeł nr 6. Wartości obliczeniowe [MPa]. Układ obciążeń PD.														
	FAZA I		FAZA II				PEŁZANIE		SKURCZ		TEMP +	TEMP	σ _{min}	σ _{max}
	γ _i =0,9	γ _i =1,2	Δg		K+g		γ _i =0,85	γ _i =1,2	γ _i =0,85	γ _i =1,2	γ _i =1,2	γ _i =1,2		
			γ _i =0,9	γ _i =1,5	min γ _i =1,25	max γ _i =1,25								
σ _b ^g	-	-	-0,55	-0,92	-8,55	0,00	0,22	0,31	0,37	0,53	-0,20	0,20	-9,08	0,48
σ _b ^d	-	-	-0,08	-0,13	-1,19	0,00	-0,09	-0,13	0,81	1,15	1,56	-1,56	-2,19	2,53
σ _{st} ^g	-30,12	-40,16	-0,43	-0,72	-6,68	0,00	-2,43	-3,43	-19,35	-27,32	-20,75	20,75	-99,05	-31,57
σ _{st} ^d	30,12	40,16	6,98	11,63	0,00	108,57	1,07	1,51	6,99	9,87	6,69	-6,69	38,47	178,43
"+" naprężenia rozciągające "-" naprężenia ściskające														

Sprawdzenie naprężeń:

- Naprężenia w dźwigarze stalowym:

$$\sigma_{\text{eks}} = |\sigma_{\text{st}}^{\text{d P}}| = |193 \text{ MPa}| < R = 280 \text{ MPa}$$

- Naprężenia w betonie:

- o Naprężenia rozciągające:

$$\sigma_{\text{eks}} = |\sigma_{\text{b}}^{\text{d PD}}| = |2,53 \text{ MPa}| > R_{\text{bt}0.005} = 1,4 \text{ MPa} - \text{warunek niespełniony}$$

- o Naprężenia ściskające:

$$\sigma_{\text{eks}} = |\sigma_{\text{b}}^{\text{g P}}| = |-10,6 \text{ MPa}| < R_{\text{b1}} = 23,1 \text{ MPa}$$

Uwaga:

Zgodnie z tabelami powyżej dla układu obciążeń P (bez uwzględnienia wpływów temperatury) naprężenia nie przekraczają wartości dopuszczalnych.

1.8. Wnioski z obliczeń.

Z powodu przekroczenia dopuszczalnych naprężeń rozciągających w płycie betonowej (układ obciążeń PD) zdecydowano o dodaniu jeszcze jednego dźwigara stalowego IN500, wg rys. wykonawczych. Docelowo ustrój nośny składa się z 5 belek IN500 w rozstawie co 1,10 m (skrajne belki odsunięte od krawędzi mostu o 0,36 m), oraz żelbetowej płyty zespolonej grubości 0,180 m. Kąt skosu wynosi 65°. Zmniejszenie rozstawów dźwigarów spowoduje spadek naprężeń rozciągających w płycie żelbetowej (od obciążenia skurczem i temperaturą).

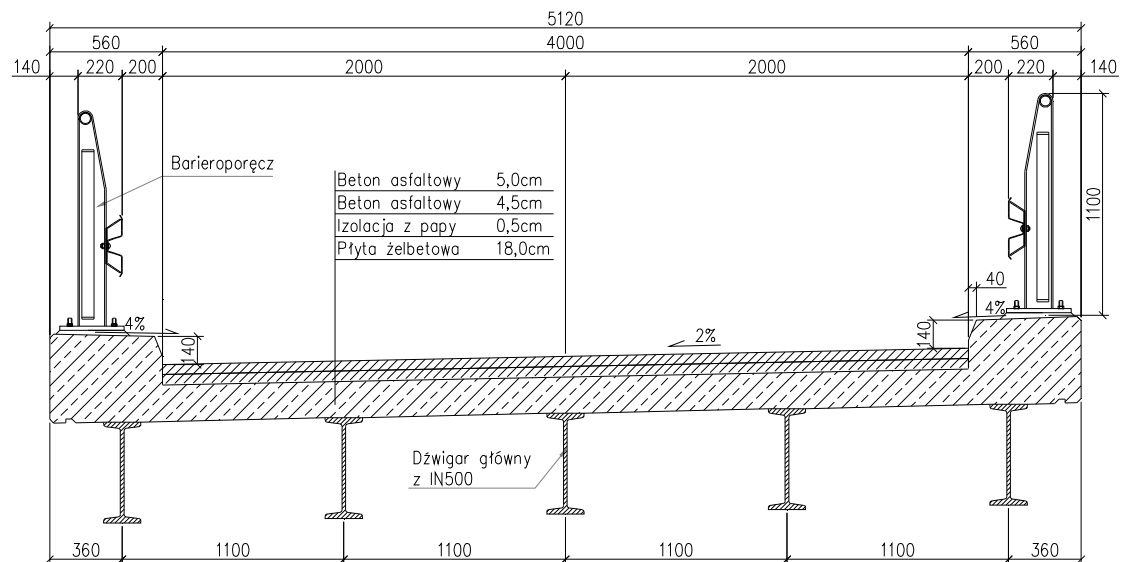
2. Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe mostu projektowanego. Układ poprzeczny.

Po dodaniu jeszcze jednego dźwigara stalowego ustrój nośny stanowi pięć belek z walcowanego profilu dwuteowego IN500 opartych na istniejących żelbetowych podporach skrajnych, oraz żelbetowa płyta zespolona o grubości 0,180 m. Kąt skosu wynosi 65° . W punkcie tym zestawiono obliczenia płyty żelbetowej w układzie poprzecznym. Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe przeprowadzono metodą naprężeń liniowych w konwencji rozdzielnych współczynników bezpieczeństwa. Obliczono i sprawdzono naprężenia w miarodajnych przekrojach zgodnie z polskimi normami, tj.: [1] i [3].

Obliczenia statyczne przeprowadzono w programie komputerowym ROBOT Millennium 21.0.

Konwencja znakowania momentów zginających:

- Moment zginający rozciągający włókna dolne -
- Moment zginający rozciągający włókna górne +



Rys. Przekrój poprzeczny mostu projektowanego.

2.1. Model obliczeniowy.

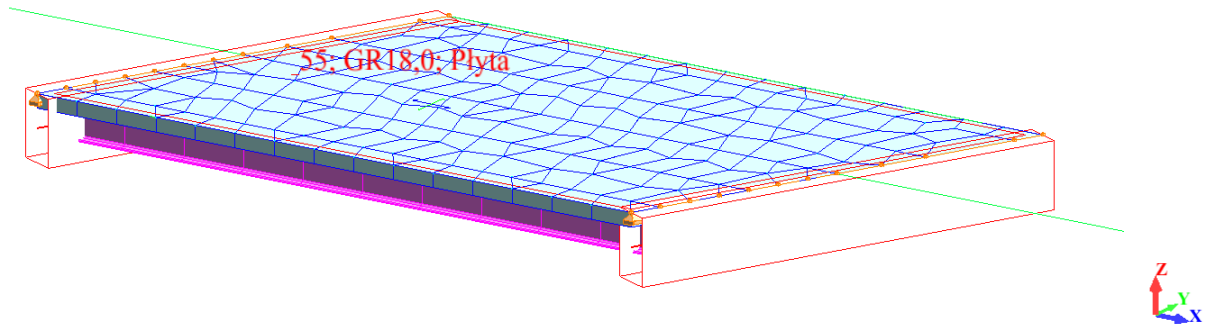
Model prętowo – powłokowy składa się z:

- pięciu belek z walcowanego profilu dwuteowego IN500 w rozstawie 1,10 m i długości 8,30 m,
- żelbetowej płyty o grubości 0,180 m, szerokości 5,12 m i długości 8,30 m,
- dwóch skrajnych poprzecznic żelbetowych o wymiarach 0,50 x 0,85 m.

W programie komputerowym użyto funkcji *offset* dla belek stalowych względem żelbetowej płyty zespolonej. Kąt skosu 65° . Podparcie liniowe wg rys poniżej.

Materiały:

- Belki IN500 - Stal 18G2A (S355)
- Płyta i poprzecznice - Beton B40 (C35/45)



Rys. Model obliczeniowy do wyznaczenia momentów M_{yy} (W&A) w płycie żelbetowej.

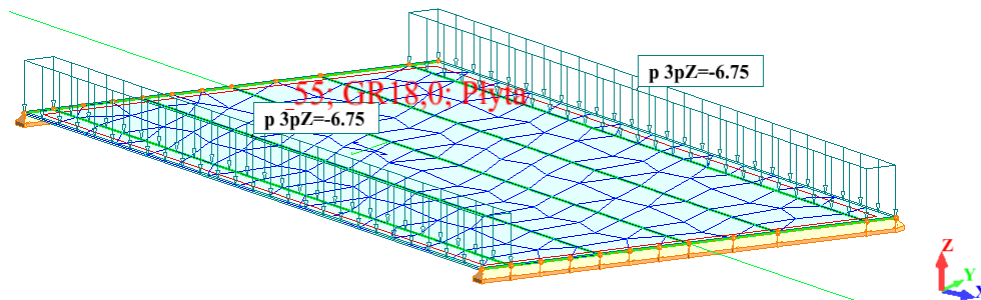
2.2. Zestawienie obciążeń.

Obciążenie zestawione na m^2 płyty żelbetowej.

- Przypadek 1: g - Obciążenie elementami konstrukcyjnymi.

Współczynnik obciążenia $\gamma_f = (0,9) 1,2$.

- Ciężar własny konstrukcji cw zadany w programie komputerowym,
- Dodatkowo obciążenie na skrajach płyty na szerokości 0,56 m ze względu na zwiększenie wysokości płyty ($27 \text{ kN/m}^3 * 0,25 \text{ m} = 6,75 \text{ kN/m}^2$).

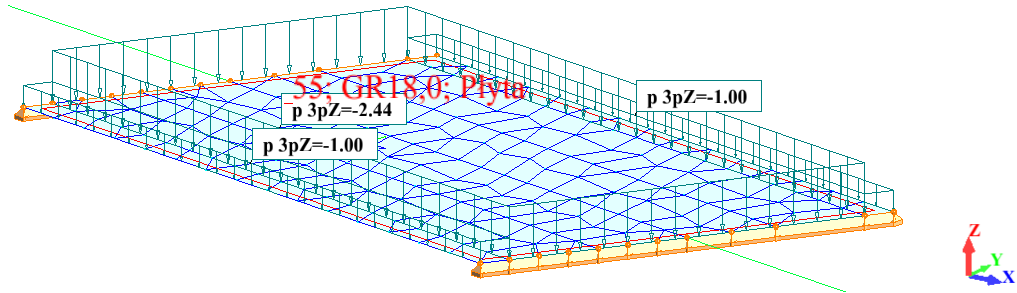


Rys. Obciążenie elementami konstrukcyjnymi g . $Cw + 6,75 \text{ kN/m}^2$.

- Przypadek 2: Δg - Obciążenie elementami nie konstrukcyjnymi.

Współczynnik obciążenia $\gamma_f = (0,9) 1,5$.

- Izolacja $14 \text{ kN/m}^3 * 0,01 \text{ m} = 0,14 \text{ kN/m}^2$
- Nawierzchnia $23 \text{ kN/m}^3 * 0,10 \text{ m} = 2,3 \text{ kN/m}^2$
- RAZEM = $2,44 \text{ kN/m}^2$
- Barieroporęcz 1 kN/m^2



Rys. Obciążenie elementami nie konstrukcyjnymi Δg .

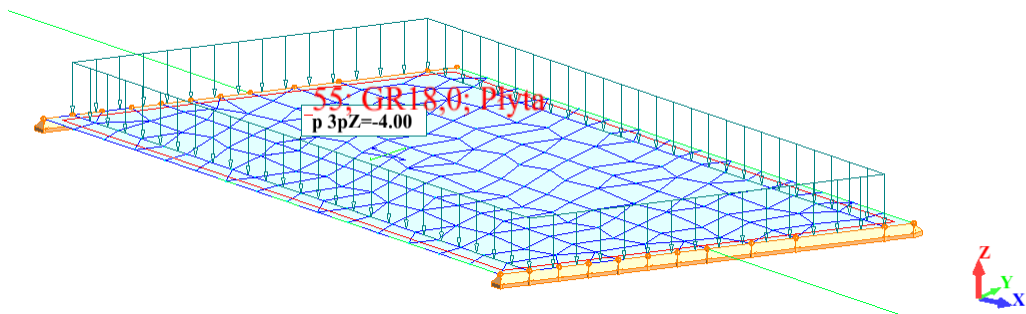
- Przypadek 3 K i q - Obciążenie zmienne taborem samochodowym.

Współczynnik obciążenia $\gamma_f = (0) 1,5$

Klasa obciążenia A wg [1].

- o Obciążenie równomiernie rozłożone q .

$$q = 4 \text{ kN/m}^2$$



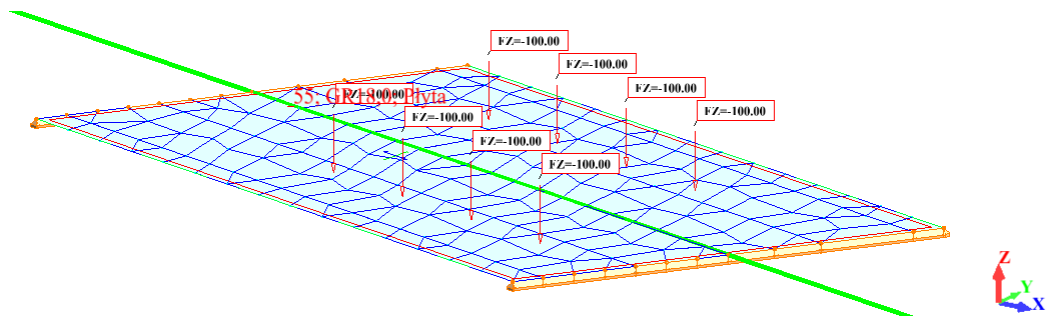
Rys. Obciążenie zmienne równomiernie rozłożone q .

- o Obciążenie skupione K .

$$\text{Współczynnik dynamiczny } \phi = 1,35 - 0,005 * 8,30 = 1,31$$

Obciążenie skupione: 8x100 kN, w rozstawie podłużnym 3 * 1,20 m i poprzecznym 2,70 m.

Obciążenie na przekroju poprzecznym ustawione centralnie (oś obc oddalona od krawędzi jezdni o 2,00 m, co jest zgodne z [1]). Obciążenie w programie zdefiniowane jako ruchome w kierunku podłużnym.



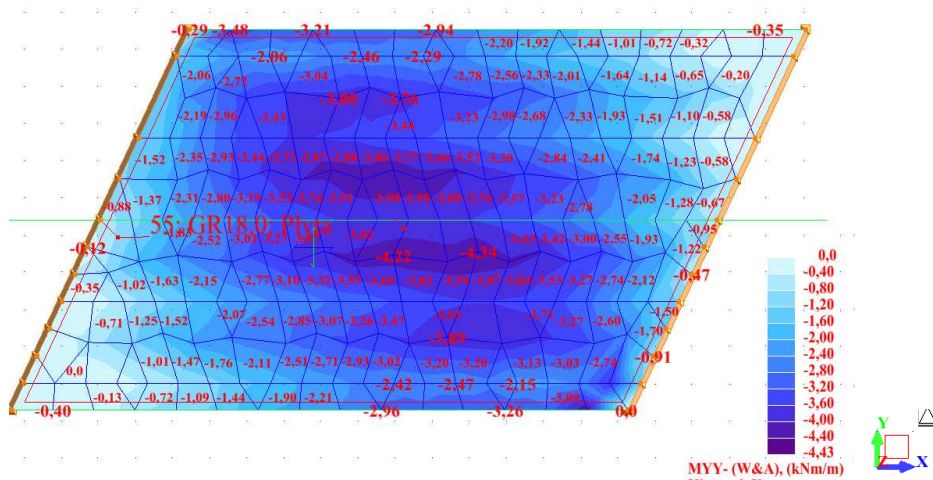
Rys. Obciążenie zmienne skupione K , zdefiniowane w programie jako ruchome.

2.3. Obliczenie momentów zginających.

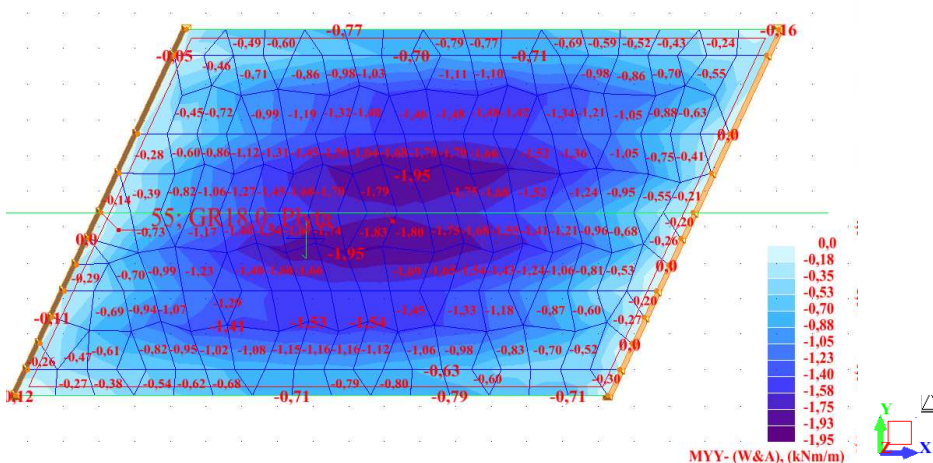
Ze względu na skos, który wynosi 65° , w programie komputerowym ROBOT Millennium odczytano momenty zginające M_{yy} złożone dla obliczenia zbrojenia wg Wood & Armer. Poniżej na rysunkach pokazano mapy momentów zginających charakterystycznych $M_{yy}(W\&A)$ od poszczególnych przypadków dla obliczenia zbrojenia dołem i górą. Obliczono sumę obliczeniową momentu $M_{yy}(W\&A)$ od wszystkich przypadków obciążenia w węzłach obliczeniowych siatki płyty, zaś w opracowaniu wg tabel poniżej zamieszczono wyniki dla najbardziej wyężonego punktu płyty.

- Mapy momentów zginających $M_{yy}(W\&A)$ dla obliczenia zbrojenia dołem:

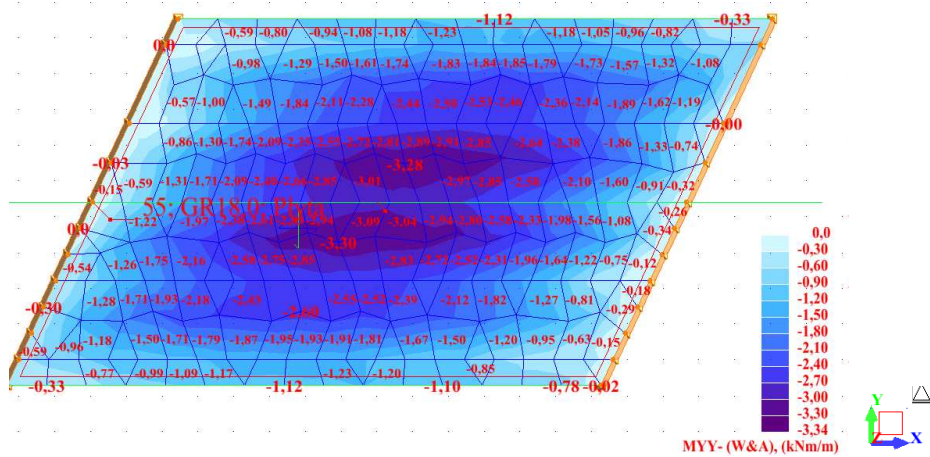
o Obc g



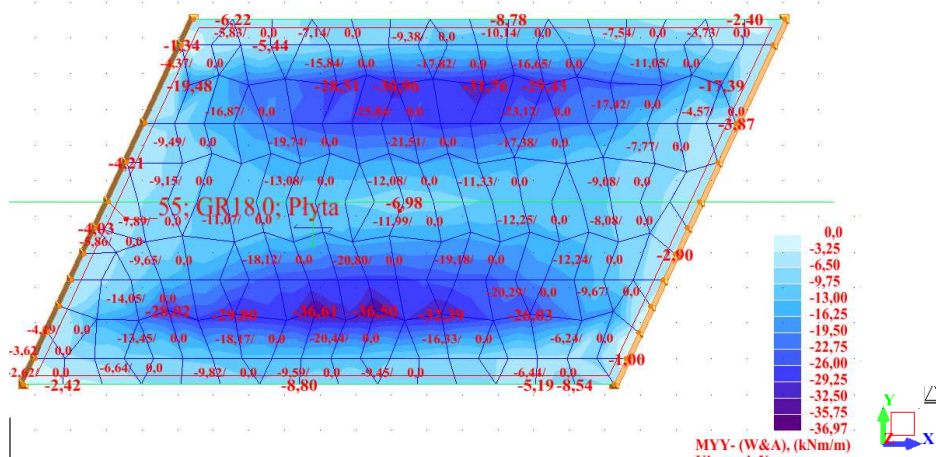
o Obc Δg



o Obc q

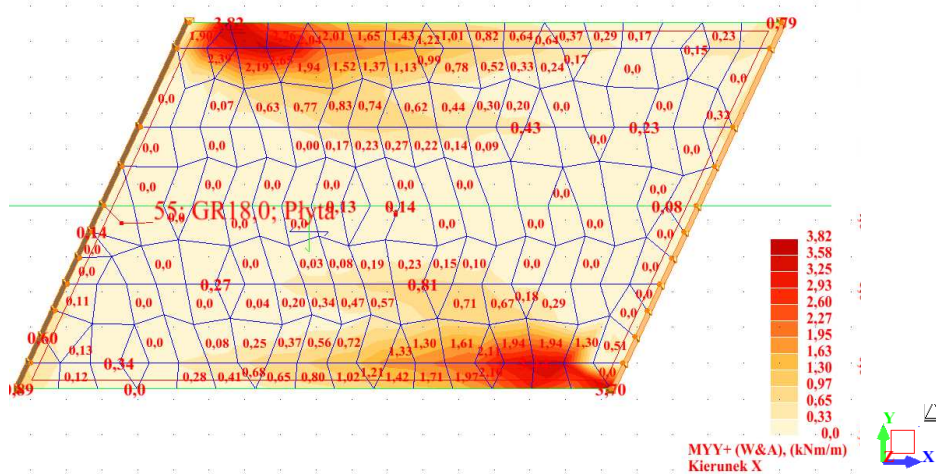


o Obc K

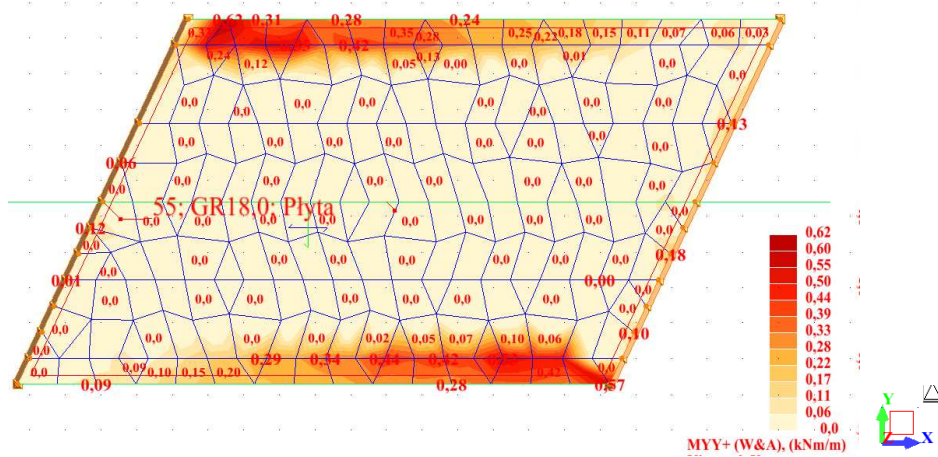


- Mapy momentów zginających $M_{yy}(W\&A)$ dla obliczenia zbrojenia górą:

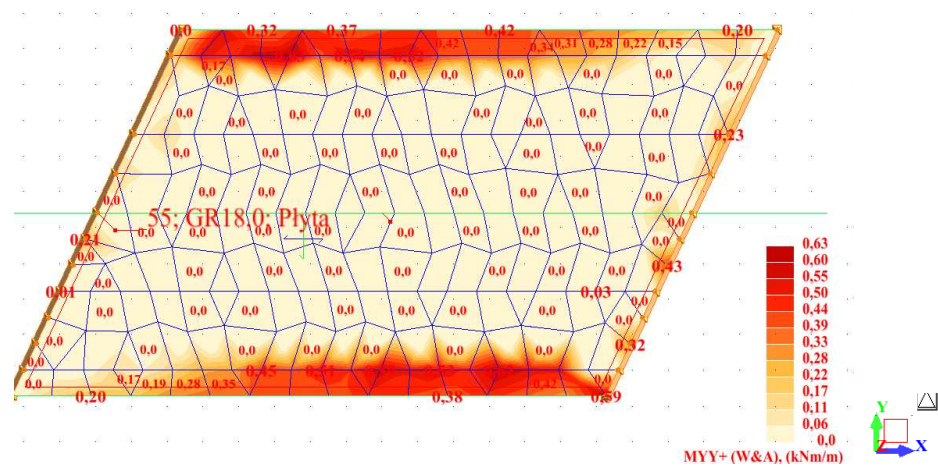
o Obc g



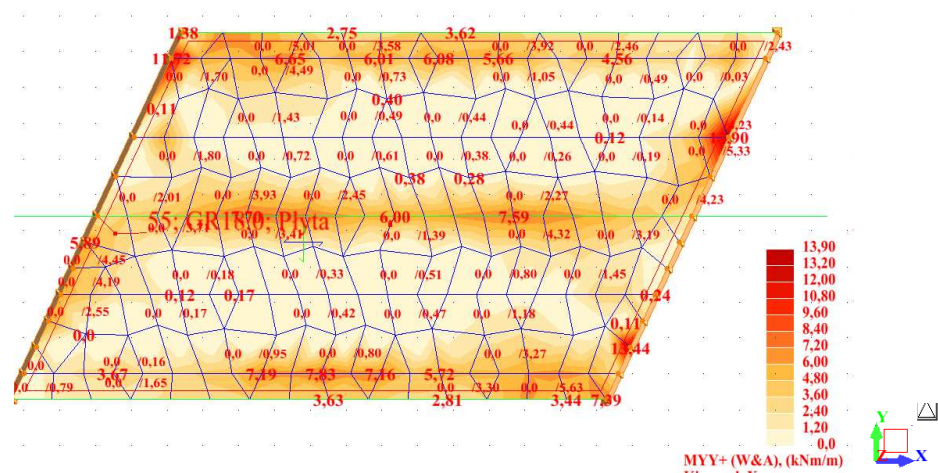
o Obc Δg



o Obc q



o Obc $K+$



- Suma obliczeniowa momentów zginających $M_{yy}(W\&A)$ w najbardziej wyężonym punkcie płyty dla zbrojenia dołem (wartość momentu jako wartość całki z szerokości 1m przekroju w miejscu wyżej wymienionego punktu na płycie):

Moment zginający dla wymiarowania zbrojenia dolnego. Siły wg Wood & Armer .										
Węzeł [nr]	M _{yy,g,k} [kNm/m]	γ _f [-]	M _{yy,Δg,k} [kNm/m]	γ _f [-]	M _{yy,q,k} [kNm/m]	γ _f [-]	M _{yy,K,k} [kNm/m]	γ _f [-]	φ [-]	M _{yy,obl} [kNm/m]
128	-3,59	1,2	-1,54	1,5	-2,56	1,5	-29,25	1,5	1,31	-68

- Suma obliczeniowa momentów $M_{yy}(W\&A)$ w najbardziej wyężonym punkcie płyty dla zbrojenia górą (wartość momentu jako wartość całki z szerokości 1m przekroju w miejscu wyżej wymienionego punktu na płycie)::

Moment zginający dla wymiarowania zbrojenia górnego. Siły wg Wood & Armer .										
Węzeł [nr]	M _{yy,g,k} [kNm/m]	γ _f [-]	M _{yy,Δg,k} [kNm/m]	γ _f [-]	M _{yy,q,k} [kNm/m]	γ _f [-]	M _{yy,K,k} [kNm/m]	γ _f [-]	φ [-]	M _{yy,obl} [kNm/m]
44	0,51	1,2	0,13	1,5	0,23	1,5	13,9	1,5	1,31	28

2.4. Obliczenie i sprawdzenie naprężeń.

Obliczenie i sprawdzenie naprężeń dokonano zgodnie z [3]: załącznik 1 pkt. 4.1. Elementy zbrojone, zginane, o przekroju prostokątnym. Zbrojenie jednostronne.

- Zbrojenie dołem. Przyjęto 10 prętów $\phi 16$ co 100 mm na jednym metrze bieżącym płyty.

Obliczenie naprężeń w stali i w betonie			
Beton B40 (C35/45)	$R_b =$	23,1	[MPa]
Stal A-IIIIN	$R_a =$	375	[MPa]
Moduł sprężystości betonu	$E_b =$	36400	[MPa]
Moduł sprężystości stali	$E_a =$	200000	[MPa]
Współczynnik n	$n =$	5,5	
Średnica zbrojenia nośnego	$\phi =$	0,016	[m]
Liczba prętów na 1 mb szer.	$n_a =$	10	[-]
Pole zbrojenia na 1 mb szer.	$A_a =$	0,00201	[m ²]
Szerokość	$b =$	1,000	[m]
Wysokość konstrukcyjna	$h =$	0,180	[m]
Odległość a_1	$a_1 =$	0,033	[m]
Wysokość użyteczna	$h_1 =$	0,147	[m]
Wysokość strefy ściskanej	$x =$	0,047	[m]
Moment obliczeniowy	$M =$	68	[kNm/m]
Naprężenia w betonie	$\sigma_{b \max} =$	22,0	[MPa]
Naprężenia w stali	$\sigma_{a \max} =$	257	[MPa]

$$\sigma_{b \max} = 22,0 \text{ MPa} < R_b = 23,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{a \max} = 257 \text{ MPa} < R_a = 375 \text{ MPa}$$

- Zbrojenie górą. Przyjęto 10 prętów $\phi 16$ co 100 mm na jednym metrze bieżącym płyty.

Obliczenie naprężeń w stali i w betonie			
Beton B40 (C35/45)	$R_b =$	23,1	[MPa]
Stal A-IIIIN	$R_a =$	375	[MPa]
Moduł sprężystości betonu	$E_b =$	36400	[MPa]
Moduł sprężystości stali	$E_a =$	200000	[MPa]
Współczynnik n	$n =$	5,5	
Średnica zbrojenia nośnego	$\phi =$	0,016	[m]
Liczba prętów na 1 mb szer.	$n_a =$	10	[-]
Pole zbrojenia na 1 mb szer.	$A_a =$	0,00201	[m ²]
Szerokość	$b =$	1,000	[m]
Wysokość konstrukcyjna	$h =$	0,180	[m]
Odległość a_1	$a_1 =$	0,033	[m]
Wysokość użyteczna	$h_1 =$	0,147	[m]
Wysokość strefy ściskanej	$x =$	0,047	[m]
Moment obliczeniowy	$M =$	28	[kNm/m]
Naprężenia w betonie	$\sigma_{b \max} =$	9,2	[MPa]
Naprężenia w stali	$\sigma_{a \max} =$	108	[MPa]

$$\sigma_{b \max} = 9,2 \text{ MPa} < R_b = 23,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{a \max} = 108 \text{ MPa} < R_a = 375 \text{ MPa}$$

Wykonał:

Projektant:

mgr inż. Maciej Waliczek

mgr inż. Marcin Czech

Katowice, luty 2009 r.