

## 1. Projekt techniczny Podciagu

Podciąg jako belka teowa stanowi bezpośrednio podparcie dla żeber. Jest to główny element stropu najczęściej ślinie bądź średnio obciążony ciężarem własnym oraz reakcjami podporowymi z żeber, wywołanymi obciążeniem stałym i technologicznym.

*Uwaga: w Przykładzie pokazano różne metody uzyskania sił wewnętrznych w podciagu (tablice Winklera obliczenia w programach Robot i RM-Win – filmy instruktażowe na stronie [www.m.jurkiewicz.po.opole.pl](http://www.m.jurkiewicz.po.opole.pl)). W projekcie proszę wybrać jedną dowolną metodę uzyskania sił wewnętrznych. Jeśli ktoś postanowi obliczyć siły wewnętrzne w innym programie, proszę podać nazwę tego programu.*

### 1.1. Siły wewnętrzne

- Uaktualnienie obciążeń

Ponieważ ostateczne wymiary podciagu różnią się od pierwotnie zakładanych, a pozostałe obciążenia stanowią reakcje żeber, pierwszym krokiem obliczeń staje się więc zdefiniowanie nowych obciążeń przypadających na podciąg

- Szerokość płyty współpracująca z przekrojem

$$h_f = 85\text{mm} \geq \frac{b_{eff1(2)}}{6} \rightarrow b_{eff1} = b_{eff2} = 6 \times h_f = 6 \times 0,085 = 0,51\text{m}$$

$$l_{eff1} = 1,6 + 2 \times 2,0 = 5,6\text{m}$$

$$\text{przęsło skrajne} - l_0 = 0,85 \times l_{eff1} = 0,85 \times 5,6 = 4,76\text{m}$$

$$\text{przęsło środkowe} - l_0 = 0,7 \times l_{eff2} = 0,7 \times 6,0 = 4,20\text{m}$$

$$\text{strefa przypodporowa} - l_0 = 0,15 \times (l_{eff1} + l_{eff2}) = 0,15 \times (5,6 + 6,0) = 5,04\text{m}$$

$$b_{eff} = \min \left\{ \begin{array}{l} b_w + \frac{l_0}{5} = 0,3 + \frac{4,76}{5} = 1,25\text{m} \\ b_w + \frac{l_0}{5} = 0,3 + \frac{4,20}{5} = 1,14\text{m} \\ b_w + \frac{l_0}{5} = 0,3 + \frac{5,04}{5} = 1,31\text{m} \\ b_{eff1} + b_{eff2} + b_w = 0,51 + 0,51 + 0,3 = 1,32\text{m} \end{array} \right.$$

$$g_{pk} = C_{ob} \times [h_f \times b_{eff,max} + (h - h_f) \times b_w] = 25,0 \times [0,085 \times 1,32 + (0,45 - 0,085) \times 0,3] \\ = 5,5 \text{ kN/m}$$

Ciężar podciagu można wliczyć w siły skupione stanowiące reakcje z żeber. Zabieg ten umożliwia skorzystanie z tablic Winklera ze schematu obciążenia belki odpowiednią ilością sił skupionych w przęśle. Korzystając z programu komputerowego (np. ROBOT) zabieg ten nie jest konieczny.

- Przeliczenie ciężaru na siły skupione (dwie siły w przęśle podciagu)

$$G_{pk} = g_{pk} \times \frac{l_{eff,p}}{2} = 5,5 \times \frac{6,0}{2} = 16,5 \text{ kN}$$

- Reakcje podporowe żebra (program ROBOT – wartości charakterystyczne)
  - od obciążeń stałych  $G_k = 45,8 \text{ kN}$
  - od obciążeń technologicznych  $Q_k = 80,5 \text{ kN}$

- Kombinacje obciążeń

$Q_0$

$$= \max \begin{cases} 1,35 \times (G_k + G_{pk}) + 1,05 \times Q_k = 1,35 \times (45,8 + 16,5) + 1,05 \times 80,5 = 84,1 + 84,5 = 168,6 \\ 1,15 \times (G_k + G_{pk}) + 1,5 \times Q_k = 1,15 \times (45,8 + 16,5) + 1,5 \times 80,5 = 71,6 + 120,8 = 192,4 \end{cases}$$

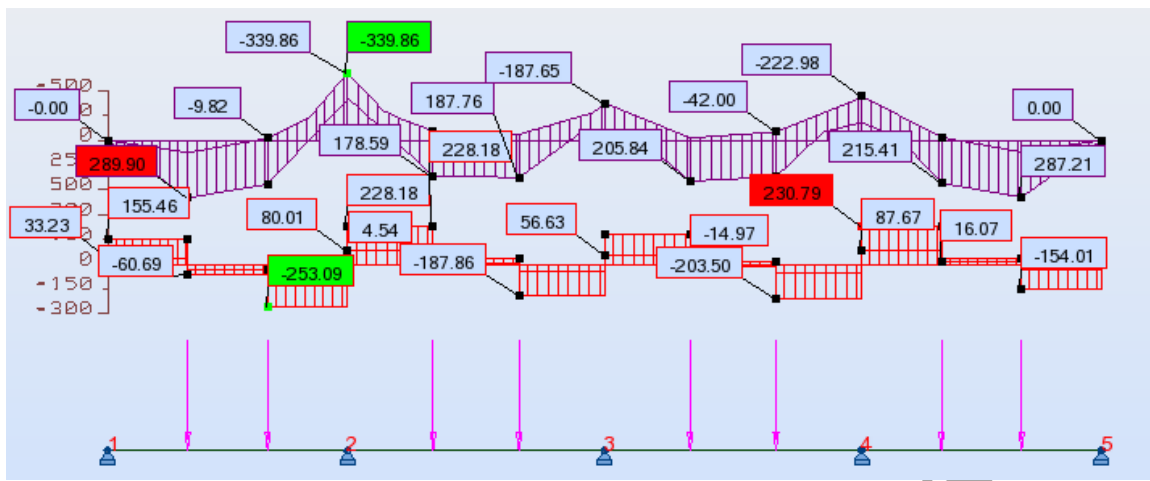
$$Q_0 = 192,4 \text{ kN}$$

- Siły wewnętrzne obliczone za pomocą tablic Winklera

Siły	$G_0$	$Q_0$	$l_{eff}$	$a$	$a_1$	$a_2$	$a_3$
$M_{1max}$	276,7	71,6	120,8	5,6	0,238	0,268	-
$M_{1min}$	256,4	71,6	120,8	5,6	0,238	0,238	-
$M_{2max}$	128,1	71,6	120,8	6,0	0,111	0,111	-
$M_{2min}$	-32,8	71,6	120,8	6,0	0,111	-0,111	-
$M_B$	-343,7	71,6	120,8	5,8	-0,286	-0,321	-
$M_C$	-289,3	71,6	120,8	6,0	-0,191	-0,286	-
$Q_A$	154,6	71,6	120,8	-	-	-	0,714
$Q_{BL}$	-180,1	71,6	120,8	-	-	-	-0,286
$Q_{BP}$	232,3	71,6	120,8	-	-	-	1,095
$Q_{CL}$	-208,6	71,6	120,8	-	-	-	-0,905

- Siły wewnętrzne obliczone za pomocą programu ROBOT

	FZ (kN)	MY (kNm)
<b>MAX dla pręta 1</b>	155,46	289,88
<b>w punkcie :</b>	x=0,0 (m)	x=1,86 (m)
<b>MIN dla pręta 1</b>	-253,09	-339,86
<b>w punkcie :</b>	x=3,74 (m)	x=5,60 (m)
<b>MAX dla pręta 2</b>	228,18	187,74
<b>w punkcie :</b>	x=0,0 (m)	x=4,00 (m)
<b>MIN dla pręta 2</b>	-187,86	-339,86
<b>w punkcie :</b>	x=4,00 (m)	x=0,0 (m)
<b>MAX dla pręta 3</b>	181,30	205,84
<b>w punkcie :</b>	x=0,0 (m)	x=2,00 (m)
<b>MIN dla pręta 3</b>	-203,50	-222,98
<b>w punkcie :</b>	x=4,00 (m)	x=6,00 (m)
<b>MAX dla pręta 4</b>	230,79	287,19
<b>w punkcie :</b>	x=0,0 (m)	x=3,74 (m)
<b>MIN dla pręta 4</b>	-154,01	-222,98
<b>w punkcie :</b>	x=3,74 (m)	x=0,0 (m)



Do dalszych obliczeń przyjęto wartości otrzymane z programu ROBOT

## 1.2. Stan graniczny nośności

Obliczenia stanu granicznego nośności obejmują obliczenia prętów zbrojenia głównego w przęsłach i nad podporami wewnętrznymi żebra, oraz obliczenia strzemion na ścinanie.

$$S_{L,min} \geq \begin{cases} \phi \\ 20\text{mm} \\ d_g + \Delta d_g = (8 \div 32) + 5 \text{ [mm]} \end{cases} \quad \text{dobrano } S_L = 20\text{mm} = 0,020\text{m}$$

$$c_{nom} \geq \begin{cases} \phi \\ 20\text{mm} \\ c_{min} + \Delta c = 20 + (5 = 10) \text{ [mm]} \end{cases} \quad \text{dobrano } c_{nom} = 25\text{mm} = 0,025\text{m}$$

- Obliczenia prętów zbrojenia głównego w przęśle skrajnym

Ustalając pozycje zbrojenia głównego podciągu należy mieć na uwadze przebieg zbrojenia w żębrze tak aby poszczególne płaszczyzny zbrojenia nie kolidowały ze sobą.

- położenie osi ciężkości zbrojenia głównego

$$a_1 = c_{nom} + \phi_s + \phi_z + \phi + 0,5 \times S_L = 25 + 8 + 12 + 20 + 0,5 \times 20 = 75\text{mm} = 0,075\text{m}$$

- wysokość użyteczna przekroju

$$d = h - a_1 = 450 - 75 = 377\text{mm} = 0,375\text{m}$$

- obliczenie granicznego momentu zginającego przenoszonego przez półkę przekroju teowego

$$M_{sd} = 289,9 \text{ kNm} < M_{sd,f} = f_{cd} \times b_{eff} \times h_f \times (d - 0,5 \times h_f) \\ = 17,9 \times 10^3 \times 1,25 \times 0,085 \times (0,375 - 0,5 \times 0,085) = 512,9 \text{ kNm}$$

Przekrój pozornie teowy wymiarowany jak prostokątny o wymiarach  $b_{eff} \times h$

- bezwymiarowa wartość momentu zginającego przekrój

$$S_{c,eff} = \frac{M_{sd}}{f_{cd} \times b_{eff} \times d^2} = \frac{289,9}{17,9 \times 10^3 \times 1,25 \times 0,375^2} = 0,0912$$

- względna efektywna wysokość strefy ściskanej i porównanie z wartością graniczną

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{1 - 2 \times S_{c,eff}} = 1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,0190} = 0,0957 < \xi_{eff,lim} = 0,5$$

- umowne położenie osi obojętnej przekroju

$$x_{eff} = d \times \xi_{eff} = 0,375 \times 0,0195 = 0,0361$$

- łączne pole przekroju podłużnego zbrojenia

$$A_{s1} = \frac{f_{cd} \times b_{eff} \times x_{eff}}{f_{yd}} = \frac{17,9 \times 1,25 \times 0,0361}{420} = 0,001923m^2 = 19,23cm^2$$

- dobór i rozmieszczenie prętów zbrojenia głównego w jednym rzędzie

$$\text{pole przekroju jednego pręta } \emptyset 20 \rightarrow A_s = \frac{\pi \times \emptyset^2}{4} = \frac{\pi \times 2,0^2}{4} = 3,14cm^2;$$

$$\text{liczba prętów } \emptyset 20 \rightarrow n = \frac{A_{s1}}{A_s} = \frac{19,23}{3,14} = 6,12 \rightarrow 7 \text{ sztuk};$$

$$A_{s,prov} = n * A_s = 7 \times 3,14 = 21,98cm^2 > A_{s1} = 19,23cm^2$$

$$S_L = \frac{b_w - 2 \times c_{nom} - 2 \times \emptyset_s - n \times \emptyset}{n - 1} = \frac{300 - 2 \times 25 - 2 \times 8 - 5 \times 20}{5 - 1} = 33,5mm > 20mm$$

- sprawdzenie czy zostało zapewnione minimalne normowe zbrojenie

$$A_{s1,prov} = 21,98m^2$$

$$A_{s1} = 19,23cm^2$$

$$\left. \begin{aligned} A_{s,min} &= 0,26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b_w \times d = 0,26 \times \frac{2,6}{500} \times 0,3 \times 0,375 = 0,000152m^2 = 1,52cm^2 \\ A_{s,min} &= 0,0013 \times b_w \times d = 0,0013 \times 0,3 \times 0,375 = 0,000146m^2 = 1,46cm^2 \\ A_{s,min} &= k_c \times k \times f_{ct,eff} \times \frac{A_{ct}}{\sigma_{s,lim}} = 0,4 \times 0,5 \times 2,6 \times \frac{0,5 \times 0,45 \times 0,3}{220} = 0,000159m^2 = 1,59cm^2 \end{aligned} \right\}$$

Zbrojenie w środkowym przęśle oraz nad podporą zostało obliczone analogicznie.

Wyniki obliczeń dla wszystkich przęseł i strefy podporowej przedstawiono w poniższej tabeli

przęsło	$M_{sd}$	$M_{sd,f}$	$b_{eff}$	$S_{c,eff}$	$\xi_{eff}$	$x_{eff}$	$A_{s1}$	$A_{s,prov}$	ilość
	[kNm]	kNm]	[m]	-	-	[m]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>2</sup> ]	[szt.]
skrajne	289,9	636,2	1,25	0,0912	0,0957	0,0361	19,23	21,98	7
pośrednie	187,8	580,2	1,14	0,0648	0,0670	0,0253	12,27	12,56	4
Strefa podporowa	339,9	666,7	1,31	0,1020	0,1078	0,0406	22,69	25,12	8

- Ujemne momenty przęsłowe

Obliczenia związane z ujemnymi momentami zginającymi w przęśle są analogiczne jak przy płycie.

Wartość momentu ujemnego momentu przęsłowego odczytano z programu ROBOT

$$M^- = 42,0 \text{ kNm}$$

$$M^- = -0,33 \times (|M_p| + |M_{min}|) = -0,33 \times (|-339,9| + |-42,0|) = 126,0 \text{ kNm}$$

jeżeli  $M^- < M_{cr}$  wtedy beton nie zostanie zarysowany

$$z_0 = \frac{b_{eff} \times h_f \times (h - 0,5 \times h_f) + b_w \times (h - h_f) \times 0,5 \times (h - h_f)}{b_{eff} \times h_f + b_w \times (h - h_f)}$$

$$z_0 = \frac{1,14 \times 0,085 \times (0,45 - 0,5 \times 0,085) + 0,3 \times (0,45 - 0,085) \times 0,5 \times (0,45 - 0,085)}{1,14 \times 0,085 + 0,3 \times (0,45 - 0,085)} = 0,29m$$

$$\begin{aligned}
I_y &= \left[ \frac{b_w \times (h - h_f)^3}{12} + b_w \times (h - h_f) \times (z_0 - 0,5 \times (h - h_f))^2 \right] \\
&\quad + \left[ \frac{b_{eff} \times h_f^3}{12} + b_{eff} \times h_f \times (z_0 - h - 0,5 \times h_f)^2 \right] \\
&= \left[ \frac{0,3 \times (0,45 - 0,085)^3}{12} + 0,3 \times (0,45 - 0,085) \right. \\
&\quad \left. * (0,29 - 0,5 \times (0,45 - 0,085))^2 \right] \\
&\quad + \left[ \frac{1,14 \times 0,085^3}{12} + 1,14 * 0,085 \times (0,29 - 0,45 - 0,5 \times 0,085)^2 \right] \\
&= 0,002621 + 0,004032 = 0,006677 \text{ m}^4 \\
W_y &= \frac{I_y}{z_0} = \frac{0,006652}{0,28} = 0,024 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \times W_y = 2600 \times 0,024 = 62,4 \text{ kNm}$$

W przęśle dojdzie do zarysowania. W takim wypadku należy zaprojektować pręty zbrojenia górnego w tym przęśle. Pręty te zostaną dodane na podstawie obwiedni sił rozciągających.

- Długość zakotwienia prętów zbrojenia głównego (tabela 24 ; punkt 8.1.2.3. ; 8.1.3.4. )

$$l_b = \frac{\phi}{4} \times \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{20}{4} \times \frac{420}{2,7} = 778 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = 0,3 \times l_b = 0,3 \times 778 = 233 \text{ mm} > \begin{cases} 10 \times \phi = 10 \times 20 = 200 \text{ mm} \\ 100 \text{ mm} \end{cases}$$

$$l_{bd} = \alpha_a \times l_b \times \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} = 1,0 \times 778 \times \frac{12,56}{21,38} = 459 \text{ mm} > l_{b,min} = 233 \text{ mm}$$

**Przyjęto długość zakotwienia  $l_{bd} = 460 \text{ mm}$**

- Zakład prętów według punktu 8.1.4.3.

$$l_{s,min} = 0,3 \times \alpha_a \times l_b = 0,3 \times 1,0 \times 778 = 233 > 200 \text{ mm}$$

$$l_{s,min} = 233 \text{ mm}$$

$$l_s = \alpha_2 \times l_b \times \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} = 1,0 \times 778 \times \frac{12,56}{21,38} = 451,24 \text{ mm} > l_{s,min} = 200 \text{ mm}$$

**Przyjęto długość zakładu  $l_s = 450 \text{ mm}$**

### 1.3. Obliczenie zbrojenia na ścinanie (strzemiona)

100% siły ścinającej przenoszą strzemiona

- Strefa przy podporze skrajnej

$$V_{sd} = Q_A = 155,5 \text{ kN}$$

Ponieważ wykres sił tnących jest stały na odcinkach pomiędzy kolejnymi siłami skupionymi wartości w osi i w skraju podpory są takie same.

W kolejnym kroku obliczamy nośność betonowych krzyżulców ściskanych.

$$V_{rd1} = [0,35 \times k \times f_{ctd} \times (1,2 + 40 \times \rho_{LQ}) + 0,15 \times \sigma_{cp}] \times b_w \times d_{prov}$$

$$k = 1,6 - d = 1,6 - 0,375 = 1,22 \rightarrow \text{więcej niż 50\% prętów przy podporze}$$

$$\rho_{LQ} = \frac{A_{s,req}}{b_w \times d_{prov}} = \frac{0,001256}{0,30 \times 0,375} = 0,011$$

$$\sigma_{cp} = 0 - \text{brak siły poziomej w układzie}$$

$$V_{rd1} = [0,35 \times 1,22 \times 1300 \times (1,2 + 40 \times 0,011) + 0,15 \times 0] \times 0,30 \times 0,375 = 102,4 \text{ kN}$$

$V_{rd1} < V_{sd,kr}$  – przekrój wymaga obliczenia zbrojenia na ścinanie

$$V_{rd2} = v \times f_{cd} \times b_w \times z \times \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta}$$

$$v = 0,6 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \times \left(1 - \frac{25}{250}\right) = 0,54$$

$$z = 0,85 \times d = 0,85 \times 0,375 = 0,32 \text{ m}$$

$$\cot \theta = 1,75$$

$$V_{rd2} = 0,54 \times 17900 \times 0,30 \times 0,32 \times \frac{1,75}{1 + 1,75^2} = 399,7 \text{ kN}$$

$V_{sd,kr} < V_{rd2}$  – nośność rozciąganych krzyżulców stalowych jest wystarczająca

- długość odcinka drugiego rodzaju

Zbrojenie strzemionami potrzebne jest na odcinku od skrajnej podpory do pierwszej siły tnącej

- rozstaw strzemion

$$V_{sd} = 155,5 \text{ kN}$$

$$A_{sw} = 2 \times 0,25 \times \pi \times \phi_s^2 = 0,0001 \text{ m}^2$$

Strzemiona dwucięte

$$s_w = \frac{A_{sw} \times f_{yw1} \times z \times \cot \theta}{V_{sd}} = \frac{2 \times 0,0001 \times 310000 \times 0,32 \times 1,75}{155,5} = 0,223 \text{ m} \approx 0,21 \text{ m}$$

(Obliczony rozstaw zaokrąglamy do pełnych centymetrów i odejmujemy od niego 1cm)

Obliczono rozstaw  $s_w=11\text{cm}$  strzemion  $\phi 8$  – czterocięte

- stopień zbrojenia

$$\rho_{w,min} = \frac{0,08 \times \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \times \sqrt{25}}{355} = 0,0011$$

$$\rho_{w,l_{A,2}} = \frac{A_{sw}}{s_{A,1} \times b_w} = \frac{2 \times 0,0001}{0,13 \times 0,30} = 0,0032 > 0,0011$$

- maksymalny i minimalny rozstaw strzemion

$$s_{min} = 80mm$$

$$s_{max} \leq \begin{cases} 400mm (EC2 - 600mm) \\ 0,75 \times d_{prov} = 0,75 \times 375 = 280mm \end{cases}$$

W analogiczny sposób należy obliczyć zbrojenie przy podporach wewnętrznych.

Wyniki przedstawiono w poniższej tabeli.

podpora	siła	rozstaw
A	155,5	0,21
B	253,1	0,12
C	187,9	0,17

#### 1.4. Ścinanie pomiędzy półką a środkiem (Janusz Pędziwiatr – Wstęp do projektowania konstrukcji żelbetowych wg PN-EN 1992-1-1:2008; strony 70-71)

- Obliczenia w przęśle skrajnym

- odcinek przyrostu siły

$$\Delta x = 0,25 \times l_0 = 0,25 \times 0,85 \times l_{eff} = 0,25 \times 0,85 \times 5,6 = 1,19m$$

- przyrost siły podłużnej

$$\Delta F_d = f_{cd} \times 0,5 \times (b_{eff} - b_w) \times x_{eff} = 17900 \times 0,5 \times (1,25 - 0,3) \times 0,0361 = 306,9 kN$$

- naprężenia działające na styku półki i środka

$$v_{Ed} = \frac{\Delta F_d}{h_f \times \Delta x} = \frac{306,9}{0,085 \times 1,19} = 3034,1 \frac{kN}{m^2}$$

- parametry kąta  $\theta$

$$ctg\theta = 1,75 \rightarrow \theta = 60,23^\circ; \sin\theta = 0,868; \cos\theta = 0,497;$$

- warunki nośności

$$v_{Ed} \leq v \times f_{cd} \times \cos\theta \times \sin\theta = 0,54 \times 17900 \times 0,868 \times 0,497 = 4169,9 \frac{kN}{m^2}$$

- warunek został spełniony

- obliczenie zbrojenia wymaganego ze względu na rozwarstwienie żebra i płyty

$$v_{Ed} \leq \frac{A_{sf} \times f_{yd}}{s_f} \times \frac{ctg\theta}{h_f}; \frac{A_{sf}}{s_f} \geq \frac{v_{Ed} \times h_f}{f_{yd} \times ctg\theta} = \frac{3,03 \times 0,085}{420 \times 1,75} = 3,5 cm^2/m$$

- zbrojenie w płycie przy podporze

$$A_{s1,prov} = 2,8 cm^2/m (\text{Ø}4,5 \text{ co } 120mm)$$

- zbrojenie wymagane ze względu na zginanie

$$A_{s1} = 1,75 cm^2/m$$

- dodatkowe zbrojenie w podciągach

$$A_{s1} = 2,8 cm^2/m (\text{Ø}4,5 \text{ co } 120mm)$$

Ponieważ nadmiar zbrojenia w płycie przewyższa zapotrzebowanie zbrojenia ze względu na rozwarstwienie, dodatkowe zbrojenie nie jest konieczne

### 1.5. Siły rozciągające

- stałe ramię sił wewnętrznych w przekroju teowym (odległość środka ciężkości strefy ściskanej od osi zbrojenia rozciąganego)

$$z = 0,85 \times d_{prov} = 0,85 \times 0,375 = 0,32m$$

- siły rozciągające w zbrojeniu podłużnym bez uwzględnienia ścinania w przekroju

$$F_{td,req1} = \frac{|M_{Sd}|}{z} + 0,5 \times |N_{Sd}| \quad [kN] \quad \{N_{Sd} = 0\}$$

- siły rozciągające w zbrojeniu podłużnym z uwzględnieniem ścinania w przekroju

$$\Delta F_{td} = 0,5 \times V_{Sd} \times \left( \cot\theta - \frac{V_{Rd32}}{V_{Rd3}} \times \cot\alpha \right) [kN]; \quad \cot\alpha = 0; \quad F_{td} = F_{s,req1} + \Delta F_{td} [kN]$$

- nośność pojedynczego pręta zbrojenia głównego

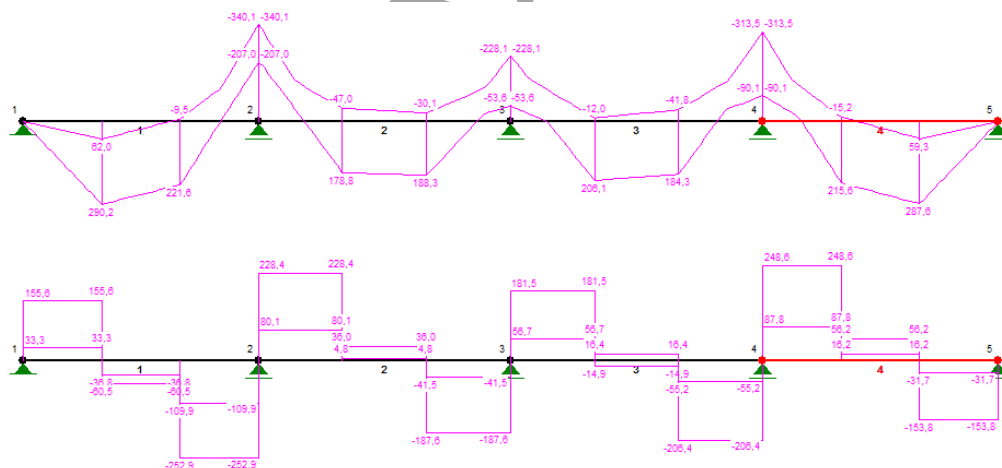
$$F_{S1} = A_s \times f_{yd} = 0,000314 \times 420000 = 131,9 kN$$

- odcinek  $a_L$

$$a_L = 0,5 \times z \times \left( \cot\theta - \frac{V_{Rd32}}{V_{Rd3}} \times \cot\alpha \right) = 0,5 \times 0,32 \times 1,75 = 0,28m$$

- Obwiednia sił wewnętrznych otrzymana za pomocą programu RM-WIN (wersja edukacyjna, dedykowana studentom do pobrania ze strony <http://www.rm-win.pl/pobierz>)

Przewagą programu RM-WIN jest fakt iż w obwiedni sił wewnętrznych pokazuje on dwie wartości w każdym punkcie konstrukcji (wartość minimalną i wartość maksymalną dzięki temu można narysować dokładny wykres sił rozciągających).



Punkt (m)	$My_{min}$	$My_{max}$	$F_{tdmin}$	$F_{tdmax}$
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,87	290,2	62,0	906,9	193,8
3,73	221,6	-9,5	692,5	-29,7
5,6	-207,0	-340,1	-646,9	-1062,8
5,6	-207,0	-340,1	-646,9	-1062,8
7,6	178,8	-47,0	558,8	-146,9
9,6	188,3	-30,1	588,4	-94,1
11,6	-53,6	-228,1	-167,5	-712,8



### 1.6. Stan graniczny użytkowania

Na stan graniczny użytkowania płyty składają się obliczenia uproszczone i dokładne stanu granicznego zarysowania oraz ugięć.

- charakterystyczny moment zginający w najbardziej wyężonym przęśle z uwzględnieniem obciążenia działającego krótkotrwale

$$M_k = a_1 \times G_k \times l_{eff} + 0,5 \times a_2 \times Q_k \times l_{eff} \\ = 0,111 \times 62,3 \times 6,0 + 0,5 \times 0,222 \times 80,5 \times 6,0 = 50,4 \text{ kNm}$$

- bezwymiarowa wartość momentu zginającego przekrój

$$S_{c,eff} = \frac{M_{sd}}{f_{cd} \times b_w \times d^2} = \frac{50,4}{17,9 \times 10^3 \times 0,3 \times 0,375^2} = 0,07$$

- względna efektywna wysokość strefy ściskanej i porównanie z wartością graniczną

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{1 - 2 \times S_{c,eff}} = 1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,07} = 0,07 < \xi_{eff,lim} = 0,5 \\ \zeta_{eff} = 1 - 0,5 \times \xi_{eff} = 1 - 0,5 \times 0,07 = 0,965$$

- naprężenia w zbrojeniu głównym

$$A_{s1} = A_{s1,prov} = 12,56 \text{ cm}^2 \\ \sigma_s = \frac{M_k}{\zeta_{eff} \times d \times A_{s1}} = \frac{50,4}{0,965 \times 0,375 \times 0,001256} = 110887 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 110,9 \text{ MPa} < \sigma_{s,lim} = 220 \text{ MPa}$$

- Stan graniczny zarysowania (metoda uproszczona)

Ponieważ naprężenia występujące w zbrojeniu okazało się mniejsze od granicznego stan graniczny zarysowania nie zostanie przekroczony

- Stan graniczny ugięć (metoda uproszczona tablica 13 normy)

$$\delta_1 = 1,0 - \text{ponieważ rozpiętość przęśla płyty nie przekracza 6 m}$$

Jeżeli rozpiętość przęśla przekroczy 6m  $\delta_1$  obliczamy z poniższego wzoru na podstawie tabeli 8 z normy (strona 31)

$$\delta_1 = 200 \times \frac{a_{lim}}{l_{eff}} \leq 1,0$$

$$\delta_2 = \frac{250}{\sigma_s} = \frac{250}{110,9} = 2,25$$

$$\left(\frac{l_{eff}}{d}\right) = \frac{5,6}{0,375} = 14,9 < \delta_1 \times \delta_2 \times \left(\frac{l_{eff}}{d}\right)_{lim} = 1,0 \times 2,25 \times 24 = 54$$

Stan graniczny ugięć nie zostanie przekroczony

- Stan graniczny zarysowania (metoda dokładna - Janusz Pędziwiatr – Wstęp do projektowania konstrukcji żelbetowych wg PN-EN 1992-1-1:2008; strony 74-77)

W celu obliczenia zarysowania metoda dokładną korzystamy z wcześniej wyznaczonego momentu rysującego i sprawdzamy czy w elemencie obciążenia prawie stałe spowodują zarysowanie.

$$M_k = 50,4 \text{ kNm} < M_{cr} = 62,4 \text{ kNm}$$

- przekrój pracuje jako niezarysowany

- Stan graniczny ugięć (metoda dokładna - Janusz Pędziwiatr – Wstęp do projektowania konstrukcji żelbetowych wg PN-EN 1992-1-1:2008; strony 80-85)

Ponieważ metoda uproszczona daje duży zapas w kwestii ugięcia sprawdzenie warunku metodą *dokładną nie jest konieczne.*

### 1.7. Zestawienie stali zbrojeniowej

nr pręta	Φ pręta [mm]	długość pręta [mm]	ilość [szt.]	długość ogólna [m]	stal		
					AIIIIN		AII
					Φ12	Φ20	Φ6
1	12	4646	8	37,168	37,168		
2	20	4819	4	19,276		19,276	
3	20	4564	2	9,128		9,128	
4	20	4027	2	8,054		8,054	
5	20	3478	2	6,956		6,956	
6	20	2934	2	5,868		5,868	
7	20	2391	2	4,782		4,782	
8	20	1848	2	3,696		3,696	
9	20	1511	2	3,022		3,022	
10	20	4816	2	9,632		9,632	
11	20	3990	1	3,99		3,99	
12	20	3152	1	3,152		3,152	
13	20	2286	1	2,286		2,286	
14	20	1462	1	1,462		1,462	
15	12	3127	8	25,016	25,016		
16	20	4567	2	9,134		9,13	
17	20	4111	2	8,222		8,22	
18	20	2878	2	5,756		5,76	
19	20	3789	2	7,578		7,58	
20	20	6245	8	49,96		49,96	
21	20	6510	8	52,08		52,08	
22	6	1030	300	309			309
długość ogólna wg średnic [m]					62,18	214,03	309
masa jednego metra bieżącego pręta [kg]					0,888	2,47	0,222
masa całkowita [kg]					55,2	528,7	68,6
razem [kg]					583,9		68,6