BIURO USŁUG INWESTYCYJNYCH
JAS-PROJEKT
ŁÓDŹ ul.MARATOŃSKA 87c/16

WERYFIKACJA NOŚNOŚCI KONSTRUKCJI BUDYNKU GOSPODARCZEGO

Raport obliczeniowy

Lokalizacja:

ul. ks. Tymienieckiego 22G
90-349 Łódź

Inwestor:

Łódzka Specjalna Strefa Ekonomiczna S.A.
ul. ks. Tymienieckiego 22G
90-349 Łódź

Zawartość

1. Zakres opracowania 3

2. Zebranie obciążeń w stanie istniejącym 3

3. Analiza statyczno-wytrzymałościowa konstrukcji w stanie istniejącym 5

3.1. Krokwie dachu drewnianego 5

3.2. Belki stropowe DMS 13

3.3. Żelbetowa belka kalenicowa 25

1. Zakres opracowania

Celem niniejszego opracowania jest określenie nośności istniejącej konstrukcji budynków gospodartczych na terenie ŁSSE w Łodzi. Sprawdzeniu nośności podlegać będzie konstrukcja dachu oraz żelbetowa belka kalenicowa stanowiąca jego podporę.

2. Zebranie obciążeń w stanie istniejącym

W niniejszym punkcie przedstawione zostaną obciążenia stałe oraz zmienne przyjęte do dalszych obliczeń. Dach budynku w jednej części stanowi konstrukcja drewniana, w drugiej konstrukcja z płyt betonowych opartych na belkach DMS.

Obciążenie stałe dachu drewnianego						
Materiał	Ciężar [kN/m^3]	Grubość [m]	g_k [kN/m^2]	$\gamma_{Gj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf}$	g_d [kN/m^2]
Papa termozgrzewalna	-	-	0,055	1,35	1,00	0,07
Papa podkładowa	-	-	0,055	1,35	1,00	0,07
Izolacja termiczna - styropian	0,4	0,1	0,040	1,35	1,00	0,05
Płyta OSB 20mm	6,5	0,02	0,130	1,35	1,00	0,18
		suma	0,280	1,35	-	0,38

Obciążenie śniegiem dachu drewnianego			
Określenie wartości obciążenia równomiernego śniegiem dachu			
Wzór normowy	$s=\mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$		
Strefa obciążenia śniegiem gruntu	II		
Wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem gruntu	$s_k=$	0,9	kN/m^2
Współczynnik ekspozycji	$C_e=$	1	
Współczynnik termiczny	$C_t=$	1	
Podstawowy współczynnik kształtu dachu	$\mu_1=$	0,8	
Wartość obciążenia równomiernego dachu	**s=**	**0,72**	**kN/m^2**

Obciążenie wiatrem dachu drewnianego wg PN-B			
Strefa obciążenia wiatrem	I		
Wzór normowy	$p_k=q_k \cdot C_e \cdot C_z \cdot \beta$		
Wysokość odniesienia	z=	4,65	m
Kategoria terenu	B		
Wartość charakterystyczna obciążenia wiatrem			
$q_k=$	0,3		kN/m^2
$c_e=$	0,65		
$c_{z1.wI}=$	-0,9		
$c_{z2.wI}=$	-0,4		
$c_{z1.wII}=$	-0,4		
$c_{z2.wII}=$	-0,9		
$\beta=$	1,8		
$p_{k1}=q_k \cdot C_e \cdot C_{z1} \cdot \beta=0,3 \cdot 0,65 \cdot (-0,9) \cdot 1,8=$	-0,32		**kN/m^2**
$p_{k2}=q_k \cdot C_e \cdot C_{z2} \cdot \beta=0,3 \cdot 0,65 \cdot (-0,4) \cdot 1,8=$	-0,14		**kN/m^2**

Obciążenie stałe stropodachu						
Materiał	Ciężar [kN/m^3]	Grubość [m]	g_k [kN/m^2]	$\gamma_{Gj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf}$	g_d [kN/m^2]
Papa termozgrzewalna	-	-	0,055	1,35	1,00	0,07
Papa podkładowa	-	-	0,100	1,35	1,00	0,14
Szlichata cementowa	19	0	0,000	1,35	1,00	0,00
Płyta betonowa dachowa 10cm	24	0,10	2,400	1,35	1,00	3,24
		suma	2,555	1,35	-	3,45

Obciążenie śniegiem stropodachu			
Określenie wartości obciążenia równomiernego śniegiem dachu			
Wzór normowy	$s=\mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$		
Strefa obciążenia śniegiem gruntu	II		
Wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem gruntu	$s_k=$	0,9	kN/m^2
Współczynnik ekspozycji	$C_e=$	1	
Współczynnik termiczny	$C_t=$	1	
Podstawowy współczynnik kształtu dachu	$\mu_1=$	0,8	
Wartość obciążenia równomiernego dachu	**s=**	**0,72**	**kN/m^2**

Obciążenie wiatrem dachu drewnianego wg PN-B			
Strefa obciążenia wiatrem	I		
Wzór normowy	$p_k=q_k \cdot C_e \cdot C_z \cdot \beta$		
Wysokość odniesienia	z=	4,65	m
Kategoria terenu	B		
Wartość charakterystyczna obciążenia wiatrem			
$q_k=$	0,3		kN/m^2
$c_e=$	0,65		
$c_{z1.wI}=$	-0,9		
$c_{z2.wI}=$	-0,4		
$c_{z1.wII}=$	-0,4		
$c_{z2.wII}=$	-0,9		
$\beta=$	1,8		
$p_{k1}=q_k \cdot C_e \cdot C_{z1} \cdot \beta=0,3 \cdot 0,65 \cdot (-0,9) \cdot 1,8=$	-0,32		**kN/m^2**
$p_{k2}=q_k \cdot C_e \cdot C_{z2} \cdot \beta=0,3 \cdot 0,65 \cdot (-0,4) \cdot 1,8=$	-0,14		**kN/m^2**

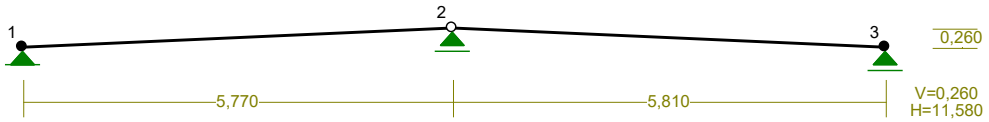
Dla obciążeń określono pasma zbierania obciążeń dla krokwi oraz belek DMS i wynoszą one następująco:

- 0,80m – maksymalny zmierzony w stanie istniejącym rozstaw krokwi 0,84m oraz 0,76m
- 2,00m – rozstaw belek DMS (2 belki co 2m) – do obliczeń nośności belki przyjęto zastępczo pasmo 1,0 dla 1 belki DMS.

3. Analiza statyczno-wytrzymałościowa konstrukcji w stanie istniejącym

3.1. Krokwie dachu drewnianego

WĘZŁY:



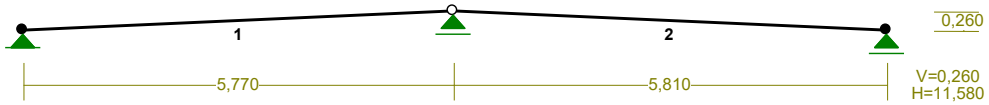
WĘZŁY:

Nr:	X [m]:	Y [m]:
1	0,000	0,000
2	5,770	0,260
3	11,580	0,000

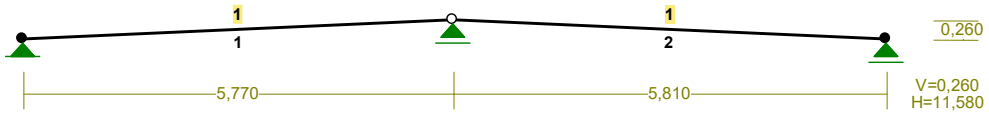
PODPORY:

Węzeł:	Rodzaj:	Kąt:	Dx(Do*): [m / k N]	Dy:	DFi: [rad/kNm]
1	stała	0,0	0,000E+00	0,000E+00	
2	przesuwna	0,0	0,000E+00*		
3	przesuwna	0,0	0,000E+00*		

PRĘTY:



PRZEKROJE PRĘTÓW:



PRĘTY UKŁADU:

Typy prętów: 00 - sztyw.-sztyw.; 01 - sztyw.-przegub;
10 - przegub-sztyw.; 11 - przegub-przegub
22 - cięgno

Pręt:	Typ:	A:	B:	Lx[m]:	Ly[m]:	L[m]:	Red.EJ:	Przekrój:
1	01	1	2	5,770	0,260	5,776	1,000	1 B 16,0x8,0
2	10	2	3	5,810	-0,260	5,816	1,000	1 B 16,0x8,0

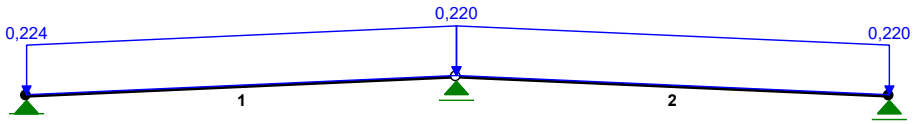
WIELKOŚCI PRZEKROJOWE:

Nr.	A[cm2]	Ix[cm4]	Iy[cm4]	Wg[cm3]	Wd[cm3]	h[cm]	Materiał:
1	128,0	2731	683	341	341	16,0	71 Drewno C24

STAŁE MATERIAŁOWE:

Materiał:	Moduł E: [kN/mm2]	Napręż.gr.: [N/mm2]	AlfaT: [1/K]
71 Drewno C24	11	24,000	5,00E-06

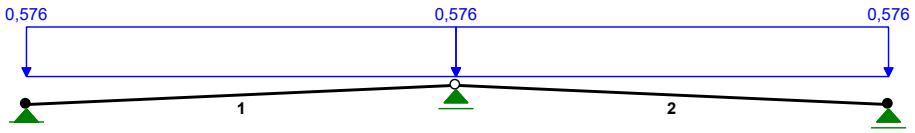
OBCIĄŻENIA:



OBCIĄŻENIA: ([kN],[kNm],[kN/m])

Pręt:	Rodzaj:	Kąt:	P1(Tg):	P2(Td):	a[m]:	b[m]:
Grupa: A "Obc. stałe"				Stałe	γf= 1,35/1,00	
1	Liniowe	0,0	0,224	0,224	0,00	5,78
2	Liniowe	0,0	0,220	0,220	0,00	5,82

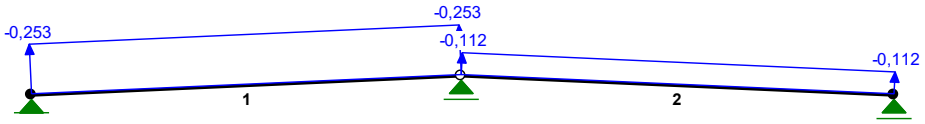
OBCIĄŻENIA:



OBCIĄŻENIA: ([kN],[kNm],[kN/m])

Pręt:	Rodzaj:	Kąt:	P1(Tg):	P2(Td):	a[m]:	b[m]:
Grupa: B "Obc. śniegiem"				Zmienne	γf= 1,50	
1	Liniowe-Y	0,0	0,576	0,576	0,00	5,78
2	Liniowe-Y	0,0	0,576	0,576	0,00	5,82

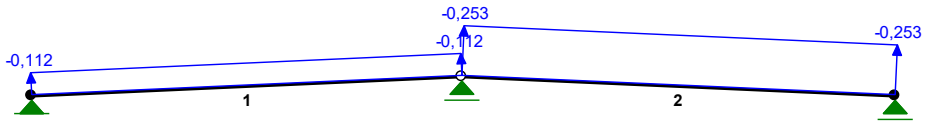
OBCIĄŻENIA:



OBCIĄŻENIA: ([kN],[kNm],[kN/m])

Pręt:	Rodzaj:	Kąt:	P1(Tg):	P2(Td):	a[m]:	b[m]:
Grupa: C "Obc. wiatrem I"				Zmienne	γf= 1,50	
1	Liniowe	2,6	-0,253	-0,253	0,00	5,78
2	Liniowe	-2,6	-0,112	-0,112	0,00	5,82

OBCIĄŻENIA:



OBCIĄŻENIA: ([kN],[kNm],[kN/m])

Pręt:	Rodzaj:	Kąt:	P1(Tg):	P2(Td):	a[m]:	b[m]:
Grupa: D "Obc. wiatrem II"				Zmienne	γf= 1,50	
1	Liniowe	2,6	-0,112	-0,112	0,00	5,78
2	Liniowe	-2,6	-0,253	-0,253	0,00	5,82

==========

W Y N I K I wg PN 82/B-02000
Teoria I-go rzędu
Kombinatoryka obciążeń

==========

OBCIĄŻENIOWE WSPÓŁ. BEZPIECZ.:

Grupa:	Znaczenie:	ψd:	γf:
Ciężar wł.			1,35
A -"Obc. stałe"	Stałe		1,35/1,00
B -"Obc. śniegiem"	Zmienne 1	1,00	1,50
C -"Obc. wiatrem I"	Zmienne 2	1,00	1,50
D -"Obc. wiatrem II"	Zmienne 2	1,00	1,50

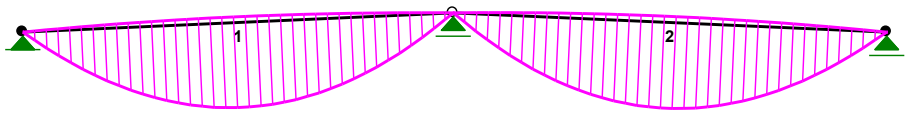
RELACJE GRUP OBCIĄŻEŃ:

Grupa obc.:	Relacje:
Ciężar wł.	ZAWSZE
A -"Obc. stałe"	EWENTUALNIE
B -"Obc. śniegiem"	EWENTUALNIE
C -"Obc. wiatrem I"	EWENTUALNIE Nie występuje z: D
D -"Obc. wiatrem II"	EWENTUALNIE Nie występuje z: C

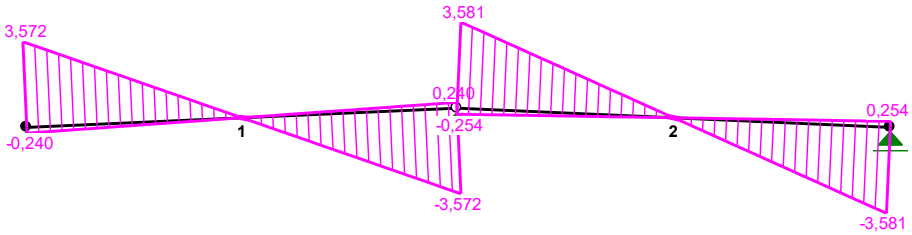
KRYTERIA KOMBINACJI OBCIĄŻEŃ:

Nr:	Specyfikacja:
1	ZAWSZE : A EWENTUALNIE: B+C/D
2	ZAWSZE : A EWENTUALNIE: B/C/D

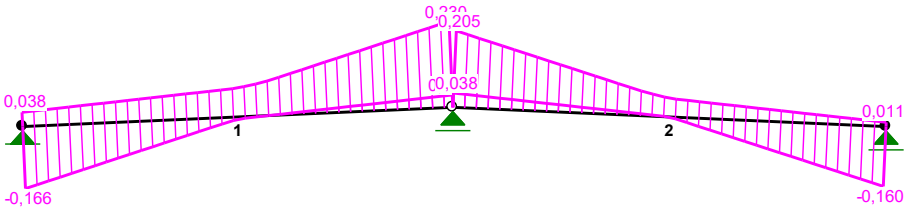
MOMENTY-OBWIEDNIE:



TNĄCE-OBWIEDNIE:



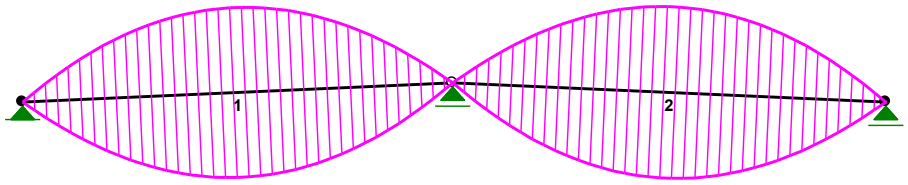
NORMALNE-OBWIEDNIE:



SIŁY PRZEKROJOWE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu
Obciążenia obl.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

Pręt:	x[m]:	M[kNm]:	Q[kN]:	N[kN]:	Kombinacja obciążeń:
1	2,888	**5,158***	-0,000	0,000	AB
	2,888	**-0,347***	-0,000	-0,006	aC
	0,000	-0,000	**3,572***	-0,161	AB
	5,776	-0,000	**-3,572***	0,161	AB
	5,776	0,000	-3,135	**0,230***	ABD
	0,000	0,000	2,586	**-0,166***	ABC
2	2,908	**5,207***	0,000	0,000	AB
	2,908	**-0,369***	-0,000	0,049	aD
	0,000	0,000	**3,581***	0,160	AB
	5,816	0,000	**-3,581***	-0,160	AB
	0,000	0,000	2,588	**0,205***	ABD
	5,816	0,000	-3,581	**-0,160***	AB

NAPĘŻENIA-OBWIEDNIE:



NAPRĘŻENIA - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu
Obciążenia obl.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

Pręt:	x[m]:	SigmaG: Ro	SigmaD:	Sigma: [MPa]	Kombinacja obciążeń:
1	2,888	**0,042***		1,016	aC
	2,888	**-0,630***		-15,111	AB
	2,888		**0,630***	15,111	AB
	2,888		**-0,042***	-1,017	aC
2	2,908	**0,045***		1,084	aD
	2,908	**-0,636***		-15,254	AB
	2,908		**0,636***	15,254	AB
	2,908		**-0,045***	-1,076	aD

REAKCJE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu
Obciążenia obl.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

Węzeł:	H[kN]:	V[kN]:	R[kN]:	M[kNm]:	Kombinacja obciążeń:
1	**0,055***	-0,012	0,056		AC
	0,055*	-0,238	0,244		aC
	-0,055*	0,595	0,597		AD
	-0,055*	0,368	0,372		aD
	-0,000	**3,576***	3,576		AB
	0,055	**-0,238***	0,244		aC
	-0,000	3,576	**3,576***		AB
2	**0,000***	7,160	7,160		AB
	0,000*	0,125	0,125		aC
	-0,000*	2,158	2,158		A
	0,000	**7,160***	7,160		AB
	0,000	**0,125***	0,125		aC
	0,000	7,160	**7,160***		AB
3	**0,000***	3,585	3,585		AB
	-0,000*	-0,254	0,254		aD
	-0,000*	1,075	1,075		A
	0,000	**3,585***	3,585		AB
	-0,000	**-0,254***	0,254		aD
	0,000	3,585	**3,585***		AB

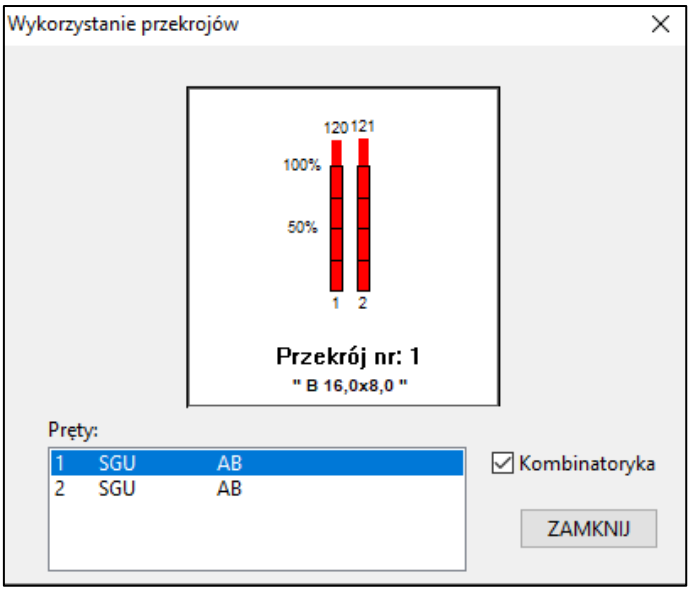
* = Wartości ekstremalne

PRZEMIESZCZENIA - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu
Obciążenia obl.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

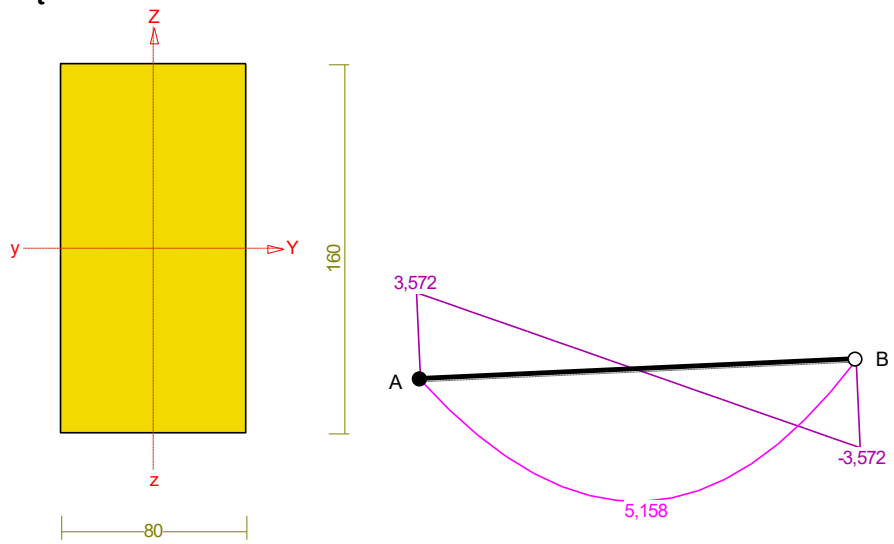
Węzeł:	Ux[m]:	Uy[m]:	Wypadkowe[m]:	Kombinacja obciążeń:
1	0,00000			AC
		0,00000		AB
			0,00000	AB
2	0,00000			aD
		0,00000		AB
			0,00000	aD
3	0,00001			aD
		0,00000		AB
			0,00001	aD

DEFORMACJE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu
Obciążenia obl.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

Pręt:	L/f:	Kombinacja obciążeń:
1	96,8	AB
2	95,2	AB



Pręt nr 1



Sprawdzenie nośności pręta nr 1

Nośność na rozciąganie:

Wyniki dla x_a=5,78 m; x_b=0,00 m, przy obciążeniach „ABD”.
Pole powierzchni przekroju netto $A_n = 128{,}00\ \text{cm}^2$.

$$\sigma_{t,0,d} = N / A_n = 0{,}230 / 128{,}00 \times 10 = \mathbf{0{,}02 < 10{,}04} = f_{t,0,d}$$

Nośność na ściskanie:

Wyniki dla x_a=0,00 m; x_b=5,78 m, przy obciążeniach „ABC”.
Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 0{,}166 / 128{,}00 \times 10 = \mathbf{0{,}01 < 2{,}96} = 0{,}204 \times 14{,}54 = k_c f_{c,0,d}$$

Ściskanie ze zginaniem dla x_a=2,53 m; x_b=3,25 m, przy obciążeniach „AB”:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0{,}00}{0{,}204 \times 14{,}54} + 0{,}7 \times \frac{0{,}00}{16{,}62} + \frac{14{,}87}{16{,}62} = \mathbf{0{,}896 < 1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0{,}00}{0{,}204 \times 14{,}54} + \frac{0{,}00}{16{,}62} + 0{,}7 \times \frac{14{,}87}{16{,}62} = \mathbf{0{,}627 < 1}$$

Nośność na zginanie:

Wyniki dla x_a=2,89 m; x_b=2,89 m, przy obciążeniach „AB”.

Warunek stateczności:

$$\sigma_{m,d} = M / W = 5{,}158 / 341{,}33 \times 10^3 = \mathbf{15{,}11 < 16{,}62} = 1{,}000 \times 16{,}62 = k_{crit} f_{m,d}$$

Nośność dla x_a=2,89 m; x_b=2,89 m, przy obciążeniach „AB”:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0{,}00}{10{,}04} + \frac{15{,}11}{16{,}62} + 0{,}7 \times \frac{0{,}00}{16{,}62} = \mathbf{0{,}909 < 1}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0{,}00}{10{,}04} + 0{,}7 \times \frac{15{,}11}{16{,}62} + \frac{0{,}00}{16{,}62} = \mathbf{0{,}637 < 1}$$

Nośność ze ściskaniem dla x_a=2,53 m; x_b=3,25 m, przy obciążeniach „AB”:

$$\frac{\sigma^2_{c,0,d}}{f^2_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0{,}00^2}{14{,}54^2} + \frac{14{,}87}{16{,}62} + 0{,}7 \times \frac{0{,}00}{16{,}62} = \mathbf{0{,}895 < 1}$$

$$\frac{\sigma^2_{c,0,d}}{f^2_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0{,}00^2}{14{,}54^2} + 0{,}7 \times \frac{14{,}87}{16{,}62} + \frac{0{,}00}{16{,}62} = \mathbf{0{,}627 < 1}$$

Nośność na ścinanie:

Wyniki dla x_a=0,00 m; x_b=5,78 m, przy obciążeniach „AB”.

Warunek nośności

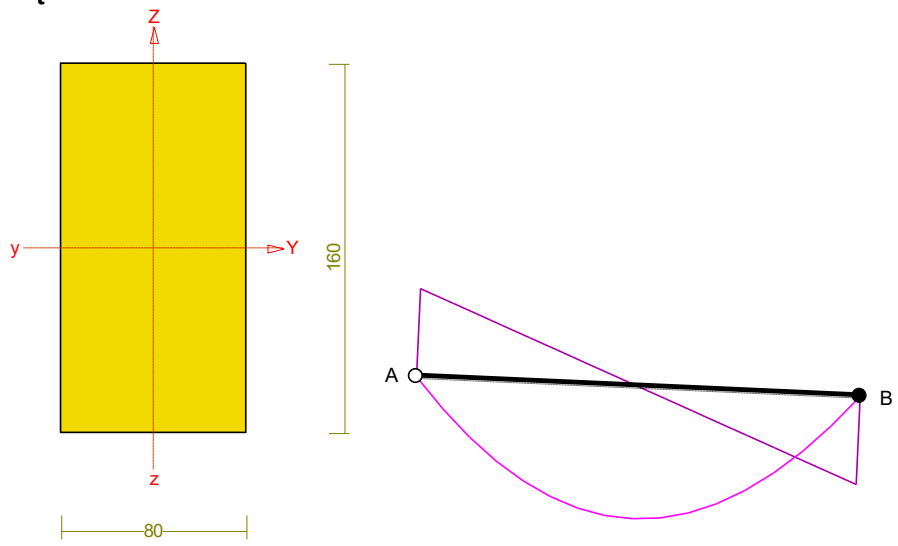
$$\tau_d = \sqrt{\tau^2_{z,d} + \tau^2_{y,d}} = \sqrt{0{,}56^2 + 0{,}00^2} = \mathbf{0{,}56 < 1{,}10} = 0{,}398 \times 2{,}77 = k_v f_{v,d}$$

Stan graniczny użytkowania:

Wyniki dla x_a=2,89 m; x_b=2,89 m, przy obciążeniach „**AB**”.

$$u_{z,fin} = -24{,}1 + -27{,}7 = \mathbf{51{,}8 > 43{,}3} = u_{net,fin}$$

Pręt nr 2



Sprawdzenie nośności pręta nr 2

Nośność na rozciąganie:

Wyniki dla x_a=0,00 m; x_b=5,82 m, przy obciążeniach „ABD”.

Pole powierzchni przekroju netto A_n = 128,00 cm^2.

$$\sigma_{t,0,d} = N / A_n = 0{,}205 / 128{,}00 \times 10 = \mathbf{0{,}02 < 10{,}04} = f_{t,0,d}$$

Nośność na ściskanie:

Wyniki dla x_a=5,82 m; x_b=0,00 m, przy obciążeniach „AB”.
Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 0{,}160 / 128{,}00 \times 10 = \mathbf{0{,}01 < 2{,}93} = 0{,}201 \times 14{,}54 = k_c f_{c,0,d}$$

Ściskanie ze zginaniem dla x_a=3,27 m; x_b=2,54 m, przy obciążeniach „AB”:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0{,}00}{0{,}201 \times 14{,}54} + 0{,}7 \times \frac{0{,}00}{16{,}62} + \frac{15{,}02}{16{,}62} = \mathbf{0{,}904 < 1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0{,}00}{0{,}201 \times 14{,}54} + \frac{0{,}00}{16{,}62} + 0{,}7 \times \frac{15{,}02}{16{,}62} = \mathbf{0{,}633 < 1}$$

Nośność na zginanie:

Wyniki dla x_a=2,91 m; x_b=2,91 m, przy obciążeniach „AB”.
Warunek stateczności:

$$\sigma_{m,d} = M / W = 5{,}207 / 341{,}33 \times 10^3 = \mathbf{15{,}25 < 16{,}62} = 1{,}000 \times 16{,}62 = k_{crit} f_{m,d}$$

Nośność dla x_a=2,91 m; x_b=2,91 m, przy obciążeniach „AB”:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0{,}00}{10{,}04} + \frac{15{,}25}{16{,}62} + 0{,}7 \times \frac{0{,}00}{16{,}62} = \mathbf{0{,}918 < 1}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0{,}00}{10{,}04} + 0{,}7 \times \frac{15{,}25}{16{,}62} + \frac{0{,}00}{16{,}62} = \mathbf{0{,}643 < 1}$$

Nośność ze ściskaniem dla x_a=3,27 m; x_b=2,54 m, przy obciążeniach „AB”:

$$\frac{\sigma^2_{c,0,d}}{f^2_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0{,}00^2}{14{,}54^2} + \frac{15{,}02}{16{,}62} + 0{,}7 \times \frac{0{,}00}{16{,}62} = \mathbf{0{,}904 < 1}$$

$$\frac{\sigma^2_{c,0,d}}{f^2_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0{,}00^2}{14{,}54^2} + 0{,}7 \times \frac{15{,}02}{16{,}62} + \frac{0{,}00}{16{,}62} = \mathbf{0{,}633 < 1}$$

Nośność na ścinanie:

Wyniki dla x_a=5,82 m; x_b=0,00 m, przy obciążeniach „AB”.
Warunek nośności

$$\tau_d = \sqrt{\tau^2_{z,d} + \tau^2_{y,d}} = \sqrt{0{,}56^2 + 0{,}00^2} = \mathbf{0{,}56 < 1{,}10} = 0{,}398 \times 2{,}77 = k_v f_{v,d}$$

Stan graniczny użytkowania:

Wyniki dla x_a=2,91 m; x_b=2,91 m, przy obciążeniach „**AB**”.

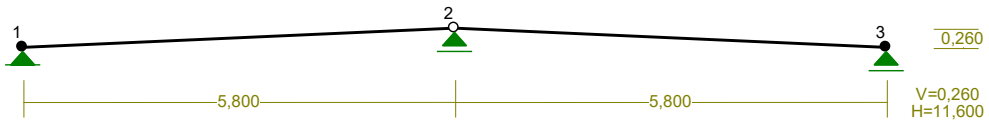
$$u_{z,fin} = -24{,}4 + -28{,}5 = \mathbf{52{,}9 > 43{,}6} = u_{net,fin}$$

Wnioski:

Konstrukcja w stanie istniejącym posiada 92% wytężenie nośności przy jednoczesnym przekroczeniu dopuszczalnych ugięć wynoszącym 121%. Należy zatem dokonać wzmocnienia konstrukcji w celu zapewnienia zapasu nośności dla ew. dołożenia obciążeń wynikającego z wymiany warstw dachowych oraz spełnienia warunków dopuszczalnych ugięć.

3.2. Belki stropowe DMS

WĘZŁY:



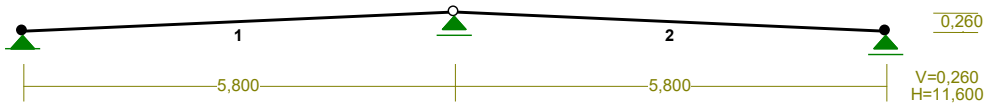
WĘZŁY:

Nr:	X [m]:	Y [m]:
1	0,000	0,000
2	5,800	0,260
3	11,600	0,000

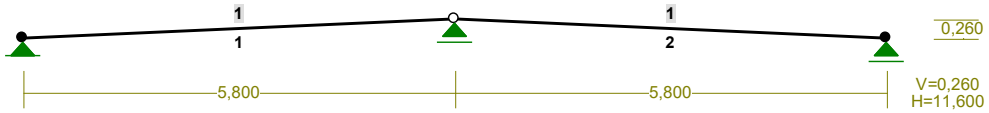
PODPORY:

Węzeł:	Rodzaj:	Kąt:	Podatności Dx(Do*): [m / k N]	Dy:	DFi: [rad/kNm]
1	stała	0,0	0,000E+00	0,000E+00	
2	przesuwna	0,0	0,000E+00*		
3	przesuwna	0,0	0,000E+00*		

PRĘTY:



PRZEKROJE PRĘTÓW:



PRĘTY UKŁADU:

Typy prętów: 00 - sztyw.-sztyw.; 01 - sztyw.-przegub;
10 - przegub-sztyw.; 11 - przegub-przegub
22 - cięgno

Pręt:	Typ:	A:	B:	Lx[m]:	Ly[m]:	L[m]:	Red.EJ:	Przekrój:
1	01	1	2	5,800	0,260	5,806	1,000	1 T 27,0x11,0x7,0
2	10	2	3	5,800	-0,260	5,806	1,000	1 T 27,0x11,0x7,0

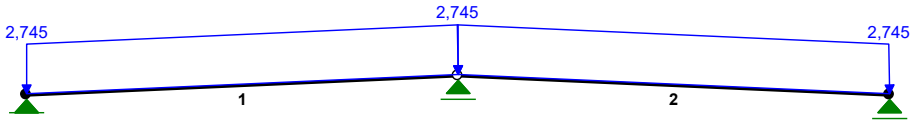
WIELKOŚCI PRZEKROJOWE:

Nr.	A[cm2]	Ix[cm4]	Iy[cm4]	Wg[cm3]	Wd[cm3]	h[cm]	Materiał:
1	217,0	14035	1348	949	1149	27,0	18 B20

STAŁE MATERIAŁOWE:

Materiał:	Moduł E: [kN/mm2]	Napręż.gr.: [N/mm2]	AlfaT: [1/K]
18 B20	29	10,600	1,00E-05

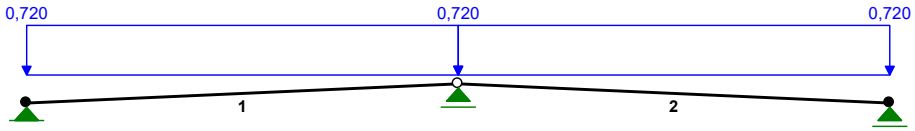
OBCIĄŻENIA:



OBCIĄŻENIA: ([kN],[kNm],[kN/m])

Pręt:	Rodzaj:	Kąt:	P1(Tg):	P2(Td):	a[m]:	b[m]:
Grupa: A "Obc. stałe"				Stałe	γf= 1,35/1,00	
1	Liniowe	0,0	2,745	2,745	0,00	5,81
2	Liniowe	1,0	2,745	2,745	0,00	5,81

OBCIĄŻENIA:



OBCIĄŻENIA: ([kN],[kNm],[kN/m])

Pręt:	Rodzaj:	Kąt:	P1(Tg):	P2(Td):	a[m]:	b[m]:
Grupa: B "Obc. śniegiem"				Zmienne	γf= 1,50	
1	Liniowe-Y	0,0	0,720	0,720	0,00	5,81
2	Liniowe-Y	0,0	0,720	0,720	0,00	5,81

W Y N I K I wg PN 82/B-02000
Teoria I-go rzędu
Kombinatoryka obciążeń

OBCIĄŻENIOWE WSPÓŁ. BEZPIECZ.:

Grupa:	Znaczenie:	ψd:		γf:
Ciężar wł.				1,35
A -"Obc. stałe"	Stałe			1,35/1,00
B -"Obc. śniegiem"	Zmienne	1	1,00	1,50

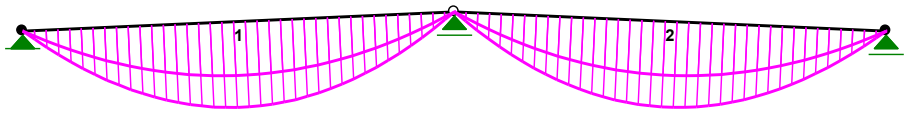
RELACJE GRUP OBCIĄŻEŃ:

Grupa obc.:	Relacje:
Ciężar wł.	ZAWSZE
A -"Obc. stałe"	EWENTUALNIE
B -"Obc. śniegiem"	EWENTUALNIE

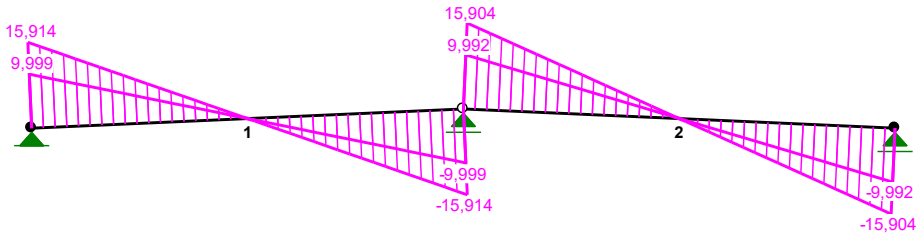
KRYTERIA KOMBINACJI OBCIĄŻEŃ:

Nr:	Specyfikacja:
1	ZAWSZE : A
	EWENTUALNIE: B

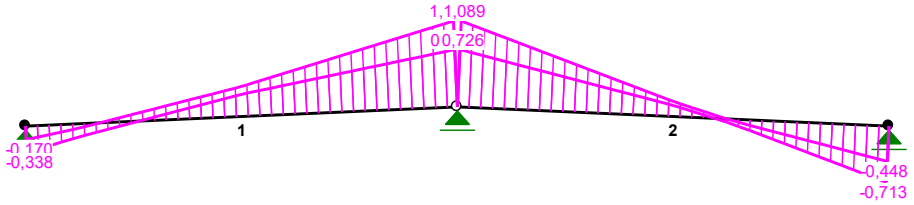
MOMENTY-OBWIEDNIE:



TNĄCE-OBWIEDNIE:



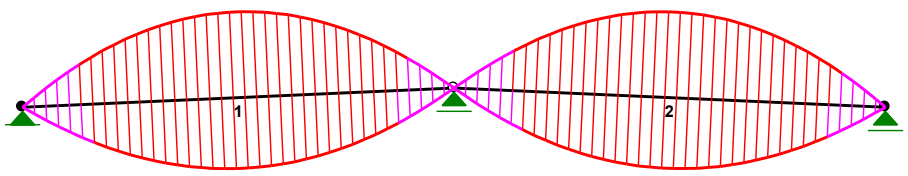
NORMALNE-OBWIEDNIE:



SIŁY PRZEKROJOWE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu
Obciążenia obl.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

Pręt:	x[m]:	M[kNm]:	Q[kN]:	N[kN]:	Kombinacja obciążeń:
1	2,903	**23,099***	0,000	0,376	AB
	0,000	**0,000***	15,914	-0,338	AB
	5,806	**0,000***	-15,914	1,089	AB
	0,000	0,000	**15,914***	-0,338	AB
	5,806	0,000	**-15,914***	1,089	AB
	5,806	0,000	-15,914	**1,089***	AB
	0,000	0,000	15,914	**-0,338***	AB
2	2,903	**23,085***	0,000	0,188	AB
	0,000	**0,000***	15,904	1,089	AB
	5,806	**0,000***	-15,904	-0,713	AB
	0,000	0,000	**15,904***	1,089	AB
	5,806	0,000	**-15,904***	-0,713	AB
	0,000	0,000	15,904	**1,089***	AB
	5,806	0,000	-15,904	**-0,713***	AB

NAPĘŻENIA-OBWIEDNIE:



NAPRĘŻENIA - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu
Obciążenia obl.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

Pręt:	x[m]:	SigmaG: Ro	SigmaD:	Sigma: [MPa]	Kombinacja obciążeń:
1	5,806	**0,005***		0,050	AB
	2,903	**-2,295***		-24,325	AB
	2,903		**1,897***	20,113	AB
	0,000		**-0,001***	-0,016	AB
2	0,000	**0,005***		0,050	AB
	2,903	**-2,294***		-24,319	AB
	2,903		**1,895***	20,091	AB
	5,806		**-0,003***	-0,033	AB

REAKCJE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu
Obciążenia obl.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

Węzeł:	H[kN]:	V[kN]:	R[kN]:	M[kNm]:	Kombinacja obciążeń:
1	**-0,278***	13,129	13,132		aB
	-0,278*	9,997	10,001		a
	-0,375*	15,914	15,918		AB
	-0,375*	12,782	12,787		A
	-0,375	**15,914***	15,918		AB
	-0,278	**9,997***	10,001		a
	-0,375	15,914	**15,918***		AB
2	**-0,000***	31,885	31,885		AB
	0,000*	20,036	20,036		a
	0,000*	25,621	25,621		A
	-0,000	**31,885***	31,885		AB
	0,000	**20,036***	20,036		a
	-0,000	31,885	**31,885***		AB
3	**0,000***	15,920	15,920		AB
	-0,000*	10,002	10,002		a
	-0,000*	12,788	12,788		A
	0,000	**15,920***	15,920		AB
	-0,000	**10,002***	10,002		a
	0,000	15,920	**15,920***		AB

* = Wartości ekstremalne

PRZEMIESZCZENIA - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu
Obciążenia obl.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

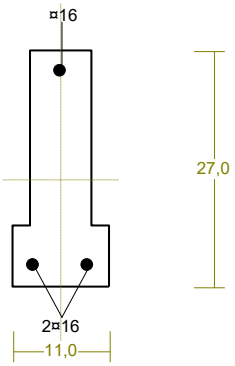
Węzeł:	Ux[m]:	Uy[m]:	Wypadkowe[m]:	Kombinacja obciążeń:
1	0,00000			AB
		0,00000		AB
			0,00000	AB
2	0,00000			AB
		0,00000		AB
			0,00000	AB
3	0,00001			AB
		0,00000		AB
			0,00001	AB

DEFORMACJE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu
Obciążenia obl.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

Pręt:	L/f:	Kombinacja obciążeń:
1	291,4	AB
2	291,5	AB

Cechy przekroju (Skrócony):

Belka DMS, pręt nr 1, przekrój: x_a=3,05 m, x_b=2,76 m



Wymiary przekroju [cm]:
h=27,0, b_w=7,0, b_{eff}=11,0, h_f=7,0,
Cechy materiałowe dla sytuacji stałej lub przejściowej

BETON: **B20**

f_{ck}= **16,0** MPa, $f_{cd}=\alpha \cdot f_{ck}/\gamma_c$=1,00×16,0/1,50=**10,7** MPa

Cechy geometryczne przekroju betonowego:

A_c=**217** cm^2, J_{cx}=**14035** cm^4, J_{cy}=**1348** cm^4

STAL: **A-II** (**St50B**)

f_{yk}=355 MPa, γ_s=1,15, f_{yd}=310 MPa

$\xi_{lim}=0{,}0035/(0{,}0035+f_{yd}/E_s)=0{,}0035/(0{,}0035+310/200000)=0{,}693$,

Zbrojenie główne:

$A_{s1}+A_{s2}$=**6,03** cm^2, $\rho=100\ (A_{s1}+A_{s2})/A_c$ =100×6,03/217=**2,78** %,

J_{sx}=**696** cm^4, J_{sy}=**39** cm^4,

Siły przekrojowe:

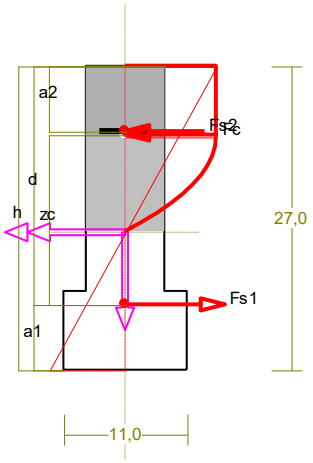
Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **AB**

Momenty zginające:	M_x = -23,040 kNm,	M_y = 0,000 kNm,
Siły poprzeczne:	V_y = -0,803 kN,	V_x = 0,000 kN,
Siła osiowa:	N = 0,412 kN = N_{Sd}, .	

Zbrojenie wymagane:

Obliczenia wykonano:

- przy założeniu maksymalnego wykorzystania nośności strefy ściskanej betonu (ξ_{lim}=0,693).
- dla kombinacji [**AB**] grup obciążeń, dla której suma zbrojenia wymaganego jest największa



Wielkości obliczeniowe:
N_{Sd}=0,412 kN,
$M_{Sd}=\sqrt{(M_{Sdx}^2+ M_{Sdy}^2)} = \sqrt{(-23,040^2+0,000^2)}$ =23,040 kNm
f_{cd}=10,7 MPa, f_{yd}=310 MPa =f_{td},
Zbrojenie rozciągane (ε_{s1}=1,55 ‰):
A_{s1}=**4,89** cm^2 ⇒ (3¤16 = 6,03 cm^2),
Zbrojenie ściskane (ε_c=-3,50 ‰, ε_{co}=-0,74 ‰):
A_{s2}=**2,01** cm^2 ⇒ (1¤16 = 2,01 cm^2)
$A_s=A_{s1}+A_{s2}$=6,90 cm^2, $\rho=100\times A_s/A_c$= 100×6,90/217=3,18 %
Wielkości geometryczne [cm]:
h=27,0, d=21,2, x=14,7 (ξ=0,693),
a_1=5,8, a_2=5,8, a_c=6,1, z_c=15,1, A_{cc}=103 cm^2,
ε_c=-3,50 ‰, ε_{s2}=-2,12 ‰, ε_{s1}=1,55 ‰,
Wielkości statyczne [kN, kNm]:
F_c= -89,089, F_{s1} = 151,657, F_{s2} = -62,156,
M_c= 7,732, M_{s1} = 9,721, M_{s2} = 5,588,
Warunki równowagi wewnętrznej:
$F_c+F_{s1}+F_{s2}$=-89,089+(151,657)+(-62,156)=0,412 kN (N_{Sd}=0,412 kN)
$M_c+M_{s1}+M_{s2}$=7,732+(9,721)+(5,588)=23,040 kNm (M_{Sd}=23,040 kNm)

Długości wyboczeniowe pręta:

- **przy wyboczeniu w płaszczyźnie układu:**

podatności węzłów ustalone według załącznika C normy, współczynnik β obliczono jak dla pręta swobodnego

ze wzoru (C.1) $l_o = \beta\, l_{col}$, l_{col}=5,806 m,

podatności węzłów: κ_a =1,000 ⇒ k_A =(1/κ_a-1)=0,000, κ_b =1,000 ⇒ k_B =(1/κ_b-1)=0,000,

β=1,000 ⇒ l_o=1,000×5,806 = 5,806 m

- **przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:**

podatności węzłów zostały zadane,

podatności węzłów: κ_a=1,000, κ_b=1,000, κ_v=0,000, ⇒ μ = 1,000, dla l_{col} = 5,806, l_o= μ l_{col} = 1,000×5,806 = 5,806 m

Uwzględnienie wpływu smukłości pręta:

- **w płaszczyźnie ustroju:**

mimośród niezamierzony: (l_{col}=5,806 m, h=0,270 m) $e_a = \max\left\langle \frac{l_{col}}{600}, \frac{h}{30}, 0,01 \right\rangle$ = max⟨0,010, 0,009, 0,010⟩ =0,010 m, przyjęto: e_a=0,020 m,

mimośród statyczny: $M_{max}=M_{3Sd}$ =23,099 kNm, N_{Sd}=-0,052 kN $\Rightarrow$ $e_e=|M_{max}/N|=|23,099/(-0,052)|$ = 444,214 m,

mimośród początkowy: $e_o=e_a+e_e$=0,020+444,214=444,234 m,

obliczenie siły krytycznej:
- długość wyboczeniowa: l_o=5,806 m (obliczona wg PN),
- moduł sprężystości betonu: $E_{cm}=29,0\cdot10^6$ kPa,
- momenty bezwładności: $I_c=1,4035\cdot10^{-4}$ m^4,
  $I_s=0,0696\cdot10^{-4}$ m^4 (dla zbrojenia rzeczywistego)
- $e_o/h=\max\langle(e_a+e_e)/h, 0,05, 0,5-0,01(l_o/h+f_{cd})\rangle = \max\langle1645,311, 0,05, 0,178\rangle$ = 1645,311,
- $k_{lt}=1+0,5\,(N_{Sd,lt}/N_{Sd})\,\phi_{(t,to)}$ =1 + 0,5×1,000×2,00 = 2,000,

$$N_{crit}=\frac{9}{l_o^2}\left[\frac{E_{cm}I_c}{2k_{lt}}\left(\frac{0,11}{0,1+\frac{e_o}{h}}+0,1\right)+E_sI_s\right]=$$

$$\frac{9}{5,806^2}\left[\frac{2,900\cdot10^7\times1,403\cdot10^{-4}}{2\times2,000}\left(\frac{0,11}{0,1+1,6E{+}03}+0,1\right)+2,0\cdot10^8\times6,956\cdot10^{-6}\right]=398,657\text{ kN}$$

współczynnik zwiększający mimośród początkowy:

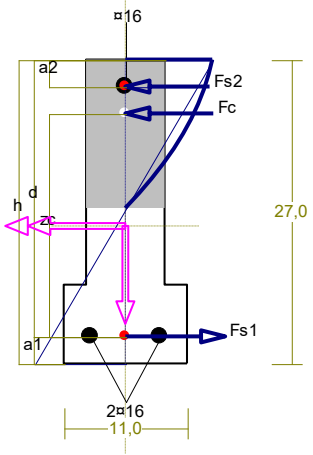
$$\eta=\frac{1}{1-N_{Sd}/N_{crit}}=\frac{1}{1-(0,052/398,657)}=1,000$$

,

- **<u>w płaszczyźnie prostopadłej do ustroju:</u>**
  uwzględnienie wpływu smukłości zaniechano

Nośność przekroju prostopadłego:

Obliczenia wykonano dla kombinacji [**AB**] grup obciążeń, dla której warunek stanu granicznego nośności przekroju jest najniekorzystniejszy



Wielkości obliczeniowe:
N_{Sd}=0,412 kN,
$M_{Sd}=\sqrt{(M_{Sdx}^2+M_{Sdy}^2)}=\sqrt{(-23,040^2+0,000^2)}$ =23,040 kNm
f_{cd}=10,7 MPa, f_{yd}=310 MPa =f_{td},
Zbrojenie rozciągane: A_{s1}=**4,02** cm^2,
Zbrojenie ściskane: A_{s2}=**2,01** cm^2,
$A_s=A_{s1}+A_{s2}$=6,03 cm^2, $\rho=100\times A_s/A_c$= 100×6,03/217=2,78 %
Wielkości geometryczne [cm]:
h=27,0, d=24,6, x=13,2 (ξ=0,536),
a_1=2,4, a_2=2,4, a_c=4,8, z_c=19,8, A_{cc}=92 cm^2,

ε_c=-1,59 ‰, ε_{s2}=-1,30 ‰, ε_{s1}=1,37 ‰,

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

F_c= -57,650, F_{s1} = 110,230, F_{s2} = -52,168,

M_c= 5,763, M_{s1} = 10,813, M_{s2} = 6,464,

Warunek stanu granicznego nośności:

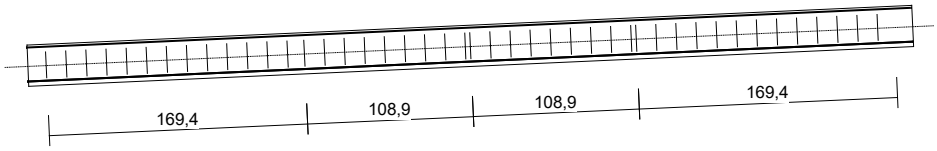
M_{Rd} = **26,475 kNm** > M_{Sd} =M_c+M_{s1}+M_{s2}=5,763+(10,813)+(6,464)=**23,040** kNm

Zbrojenie poprzeczne (strzemiona)

Na całej długości pręta przyjęto strzemiona o średnicy ϕ=8 mm ze stali A-0, dla której f_{ywd} = 190 MPa.

Minimalny stopień zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_{w,min} = 0{,}08\ \sqrt{f_{ck}}\ /\ f_{yk} = 0{,}08\times \sqrt{16}\ /\ 355 = 0{,}00090$$



Rozstaw strzemion:

Strefa nr 1

Początek i koniec strefy: x_a = 12,0 x_b = 181,4 cm

Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla belek:

s_{max} = 0,75 d = 0,75×246 = 185 $s_{max} \le$ 400 mm

przyjęto s_{max} = 185 mm.

Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla słupów:

s_{max} = min{h; b} = min{70,0; 270,0}=70,0 $s_{max} \le$ 400 mm

przyjęto s_{max} = 70,0 mm.

Ze względu na zbrojenie s_{max} = 15 ϕ = 15×16,0 = 240,0 mm.

Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **13,2** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} /(s\ b_w \sin\alpha) = 1{,}01 / (13{,}2\times 7{,}0\times 1{,}000) = 0{,}01088$$

$$\rho_w = \mathbf{0{,}01088 > 0{,}00090} = \rho_{w\,min}$$

Strefa nr 2

Początek i koniec strefy: x_a = 181,4 x_b = 290,3 cm

Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla belek:

s_{max} = 0,75 d = 0,75×246 = 185 $s_{max} \le$ 400 mm

przyjęto s_{max} = 185 mm.

Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla słupów:

s_{max} = min{h; b} = min{70,0; 270,0}=70,0 $s_{max} \le$ 400 mm

przyjęto s_{max} = 70,0 mm.

Ze względu na zbrojenie s_{max} = 15 ϕ = 15×16,0 = 240,0 mm.

Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **13,2** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} /(s\ b_w \sin\alpha) = 1{,}01 / (13{,}2\times 7{,}0\times 1{,}000) = 0{,}01088$$

$$\rho_w = \mathbf{0{,}01088 > 0{,}00090} = \rho_{w\,min}$$

Strefa nr 3

Początek i koniec strefy: x_a = 290,3 x_b = 399,2 cm

Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla belek:

s_{max} = 0,75 d = 0,75×246 = 185 $s_{max} \le$ 400 mm

przyjęto s_{max} = 185 mm.

Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla słupów:

$s_{max} = \min\{h; b\} = \min\{70,0; 270,0\}=70,0 \quad s_{max} \le 400$ mm
przyjęto $s_{max} = 70,0$ mm.

Ze względu na zbrojenie $s_{max} = 15\ \phi = 15\times16,0 = 240,0$ mm.

Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **13,2** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} /(s\ b_w \sin\alpha) = 1,01 / (13,2\times7,0\times1,000) = 0,01088$$

$$\rho_w = \mathbf{0,01088 > 0,00090} = \rho_{w\ min}$$

Strefa nr 4

Początek i koniec strefy: $x_a = 399,2 \quad x_b = 568,6$ cm
Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla belek:

$s_{max} = 0,75\ d = 0,75\times246 = 185 \quad s_{max} \le 400$ mm
przyjęto $s_{max} = 185$ mm.

Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla słupów:

$s_{max} = \min\{h; b\} = \min\{70,0; 270,0\}=70,0 \quad s_{max} \le 400$ mm
przyjęto $s_{max} = 70,0$ mm.

Ze względu na zbrojenie $s_{max} = 15\ \phi = 15\times16,0 = 240,0$ mm.

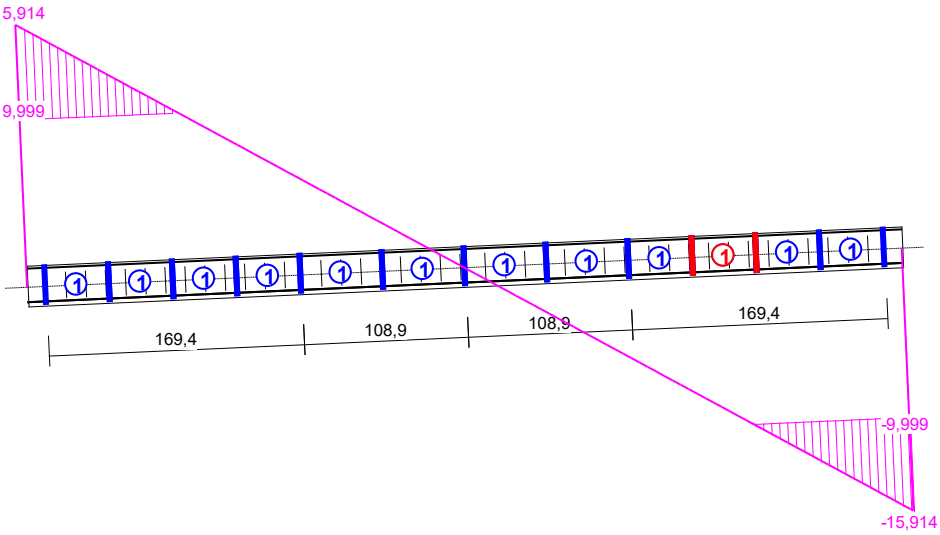
Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **13,2** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} /(s\ b_w \sin\alpha) = 1,01 / (13,2\times7,0\times1,000) = 0,01088$$

$$\rho_w = \mathbf{0,01088 > 0,00090} = \rho_{w\ min}$$

Ścinanie

Przyjęto podparcie lub obciążenie pośrednie.



Odcinek nr 10

Początek i koniec odcinka: $x_a = 441,5 \quad x_b = 483,9$ cm
Siły przekrojowe: $N_{Sd} = 0,866$;
$V_{Sd\ max} = -10,612$ kN

Rodzaj odcinka:

$$\rho_L = \frac{A_{sL}}{b_w d} = \frac{4,02}{7,0\times24,6} = 0,02335; \qquad \rho_L \le 0,01$$

Przyjęto $\rho_L = 0{,}01000$.

$\sigma_{cp} = N_{Sd} / A_C = -0{,}866 / 258{,}60 \times 10 = -0{,}03$ MPa $\sigma_{cp} \le 0{,}2\ f_{cd}$

Przyjęto $\sigma_{cp} = 0{,}00$ MPa.

$V_{Rd1} = [0{,}35\ k\ f_{ctd}\ (1{,}2 + 40\ \rho_L) + 0{,}15\ \sigma_{cp}]\ b_w\ d =$

$= [0{,}35 \times 1{,}35 \times 0{,}90 \times (1{,}2 + 40 \times 0{,}01000) + 0{,}15 \times 0{,}00] \times 7{,}0 \times 24{,}6 \times 10^{-1} = 11{,}716$ kN

$V_{Sd} = 10{,}612 < 11{,}716 = V_{Rd1}$

Nośność odcinka I-go rodzaju:

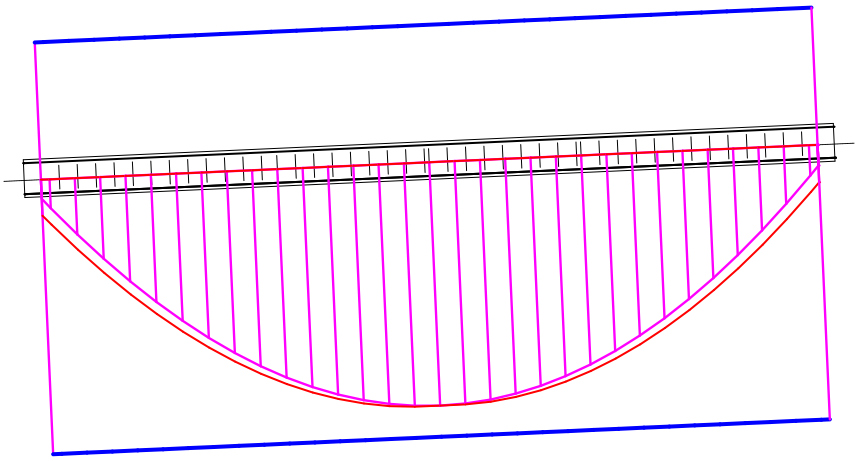
$V_{Sd} =$ **10,612 < 11,716** $= V_{Rd1}$

$\nu = 0{,}6\ (1 - f_{ck} / 250) = 0{,}6 \times (1 - 16 / 250) = 0{,}562$

$V_{Rd2} = 0{,}5\ \nu\ f_{cd}\ b_w\ z = 0{,}5 \times 0{,}562 \times 10{,}7 \times 7{,}0 \times 20{,}0 \times 10^{-1} = 42{,}143$ kN

$V_{Sd} =$ **10,612 < 42,143** $= V_{Rd2}$

Nośność zbrojenia podłużnego



Sprawdzenie siły przenoszonej przez zbrojenie rozciągane dla x = 2,721 m:

$\Delta F_{td} = 0{,}5\ |V_{Sd}|\ (\cot\theta - V_{Rd32} / V_{Rd3}\ \cot\alpha) = 0{,}5 \times 0{,}995 \times (1{,}000) = 0{,}497$ kN

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciąganym:

$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 110{,}040 + 0{,}497 = 110{,}537$ kN;

$F_{td} \le F_{td,max} = 110{,}498$ kN

Przyjęto $F_{td} = 110{,}498$ kN

$F_{td} =$ **110,498 < 124,658** $= 4{,}02 \times 310 \times 10^{-1} = A_s\ f_{yd}$

Zarysowanie

Położenie przekroju:	x = 2,903 m
Siły przekrojowe:	$M_{Sd} = 16{,}774$ kNm
	$N_{Sd} = 0{,}278$ kN e = 6024,8 cm
	$V_{Sd} = 0{,}000$ kN
Wymiary przekroju:	$b_w = 7{,}0$ cm
	$d = h - a_1 = 27{,}0 - 2{,}4 = 24{,}6$ cm
	$A_c = 217$ cm^2
	$W_c = 1149$ cm^3

Minimalne zbrojenie:

Wymagane pole zbrojenia rozciąganego dla zginania, przy naprężeniach wywołanych przyczynami zewnętrznymi, wynosi:

$$A_s = k_c\, k\, f_{ct,eff}\, A_{ct} / \sigma_{s,lim} =$$
$$= 0{,}4 \times 1{,}0 \times 1{,}9 \times 113 / 240 = 0{,}36 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} = \mathbf{4{,}02 > 0{,}36} = A_s$$

Zarysowanie:

$$M_{cr} = f_{ctm}\, W_c = 1{,}9 \times 1149 \times 10^{-3} = 2{,}184 \text{ kNm}$$

$$N_{cr} = \frac{f_{ctm}}{e / W_c + 1 / A_c} = \frac{1{,}9}{6024{,}8/1149{,}48 + 1/217{,}00} \times 10^{-1} = 0{,}036 \text{ kN}$$

$$N_{Sd} = 0{,}278 > 0{,}036 = N_{cr}$$

Przekrój zarysowany.

Szerokość rozwarcia rysy prostopadłej do osi pręta:

Przyjęto $k_2 = 0{,}5$.

$$\rho_r = A_s / A_{ct,eff} = 4{,}02 / 33 = 0{,}12040$$

$$s_{rm} = 50 + 0{,}25\, k_1\, k_2\, \phi / \rho_r = 50 + 0{,}25 \times 0{,}8 \times 0{,}50 \times 16 / 0{,}12040 = 63{,}29$$

$$\varepsilon_{sm} = \sigma_s / E_s \left[1 - \beta_1 \beta_2 (\sigma sr / \sigma s)^2\right] =$$
$$= 197{,}47/200000 \times [1 - 1{,}0 \times 0{,}5 \times (0{,}036/0{,}278)^2] = 0{,}00098$$

$$w_k = \beta\, s_{rm}\, \varepsilon_{sm} = 1{,}7 \times 63{,}29 \times 0{,}00098 = 0{,}11 \text{ mm}$$

$$w_k = \mathbf{0{,}11 < 0{,}3} = w_{lim}$$

Szerokość rozwarcia rysy ukośnej:

Rysy ukośne nie występują.

Ugięcia

Ugięcia wyznaczono dla charakterystycznych obciążeń długotrwałych.

Współczynniki pełzania dla obciążeń długotrwałych przyjęto równy $\phi(t,t_o) = 2{,}00$.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(t, t_o)} = \frac{29000}{1 + 2{,}00} = 9667 \text{ MPa}$$

Moment rysujący:

$$M_{cr} = f_{ctm}\, W_c = 1{,}9 \times 1149 \times 10^{-3} = 2{,}184 \text{ kNm}$$

Całkowity moment zginający $M_{Sd} = 16{,}774$ kN powoduje zarysowanie przekroju.

Sztywność dla długotrwałego działania obciążeń długotrwałych:

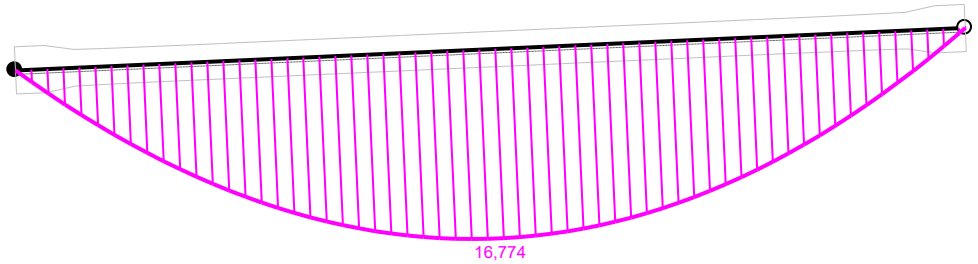
Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M_{Sd} = 16{,}774$ kNm.

Wielkości geometryczne przekroju: $x_I = 15{,}7$ cm $I_I = 28163$ cm^4

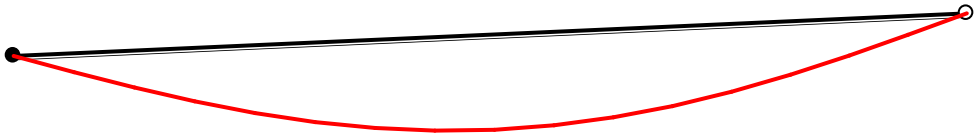
$x_{II} = 12{,}7$ cm $I_{II} = 20974$ cm^4

$$B = \frac{E_{c,eff} I_{II}}{1 - \beta_1 \beta_2 (M_{cr} / M_{Sd})^2 (1 - I_{II} / I_I)} =$$

$$= \frac{9667 \times 20974}{1 - 1{,}0 \times 0{,}5 \times (2{,}184/16{,}774)^2 \times (1 - 20974/28163)} \times 10^{-5} = 2032 \text{ kNm}^2$$



Wykres sztywności i momentów dla obciążeń długotrwałych.



Ugięcia.

Ugięcie w punkcie o współrzędnej x = 2,903 m, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta (1/ρ) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, **liczone od cięciwy osi ugiętej**, wynosi:

$a = a_{\infty,d} = 29{,}0$ mm

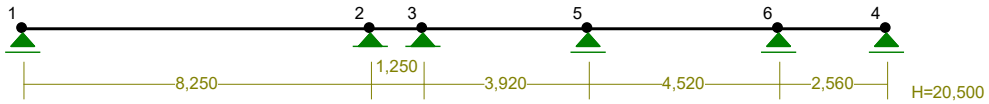
$a = \mathbf{29{,}0 < 29{,}0} = a_{lim}$

Wnioski:

Belki DMS posiadają odpowiednią nośność w stanie istniejącym. Spełnione są również warunki dopuszczalnych ugieć.

3.3. Żelbetowa belka kalenicowa

WĘZŁY:



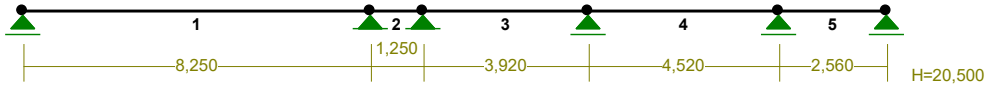
WĘZŁY:

Nr:	X [m]:	Y [m]:	Nr:	X [m]:	Y [m]:
1	0,000	0,000	4	20,500	0,000
2	8,250	0,000	5	13,420	0,000
3	9,500	0,000	6	17,940	0,000

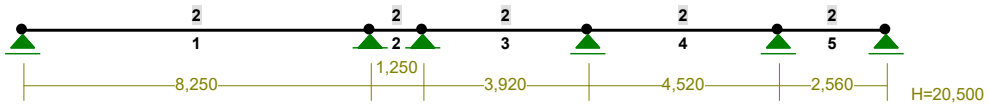
PODPORY: P o d a t n o ś c i

Węzeł:	Rodzaj:	Kąt:	Dx(Do*): [m / k N]	Dy:	DFi: [rad/kNm]
1	przesuwna	0,0	0,000E+00*		
2	stała	0,0	0,000E+00	0,000E+00	
3	stała	0,0	0,000E+00	0,000E+00	
4	przesuwna	0,0	0,000E+00*		
5	przesuwna	0,0	0,000E+00*		
6	przesuwna	0,0	0,000E+00*		

PRĘTY:



PRZEKROJE PRĘTÓW:



PRĘTY UKŁADU:

Typy prętów: 00 - sztyw.-sztyw.; 01 - sztyw.-przegub;
10 - przegub-sztyw.; 11 - przegub-przegub
22 - cięgno

Pręt:	Typ:	A:	B:	Lx[m]:	Ly[m]:	L[m]:	Red.EJ:	Przekrój:
1	00	1	2	8,250	0,000	8,250	1,000	2 B 36,0x25,0
2	00	2	3	1,250	0,000	1,250	1,000	2 B 36,0x25,0
3	00	3	5	3,920	0,000	3,920	1,000	2 B 36,0x25,0
4	00	5	6	4,520	0,000	4,520	1,000	2 B 36,0x25,0
5	00	6	4	2,560	0,000	2,560	1,000	2 B 36,0x25,0

WIELKOŚCI PRZEKROJOWE:

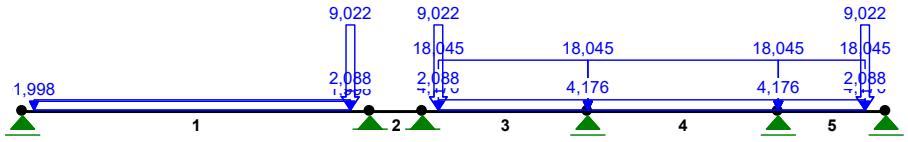
Nr.	A[cm2]	Ix[cm4]	Iy[cm4]	Wg[cm3]	Wd[cm3]	h[cm]	Materiał:

2	900,0	97200	46875	5400	5400	36,0	18 B20

STAŁE MATERIAŁOWE:

Materiał:	Moduł E: [kN/mm2]	Napręż.gr.: [N/mm2]	AlfaT: [1/K]
18 B20	29	10,600	1,00E-05

OBCIĄŻENIA:



OBCIĄŻENIA: ([kN],[kNm],[kN/m])

Pręt:	Rodzaj:	Kąt:	P1(Tg):	P2(Td):	a[m]:	b[m]:
Grupa: A "Obc. stałe"				Stałe	γf= 1,35	
1	Liniowe	0,0	1,998	1,998	0,27	7,78
1	Skupione	0,0	9,022		7,78	
3	Liniowe	0,0	18,045	18,045	0,37	3,92
3	Skupione	0,0	9,022		0,37	
4	Liniowe	0,0	18,045	18,045	0,00	4,52
5	Liniowe	0,0	18,045	18,045	0,00	2,06
5	Skupione	0,0	9,022		2,06	
Grupa: B "Obc. uzytkowe"				Zmienne	γf= 1,50	
1	Liniowe	0,0	4,169	4,169	0,27	7,78
1	Skupione	0,0	2,088		7,78	
3	Liniowe	0,0	4,176	4,176	0,37	3,92
3	Skupione	0,0	2,088		0,37	
4	Liniowe	0,0	4,176	4,176	0,00	4,52
5	Liniowe	0,0	4,176	4,176	0,00	2,06
5	Skupione	0,0	2,088		2,06	

W Y N I K I wg PN 82/B-02000
Teoria I-go rzędu
Kombinatoryka obciążeń

OBCIĄŻENIOWE WSPÓŁ. BEZPIECZ.:

Grupa:	Znaczenie:	ψd:	γf:
Ciężar wł.			1,35
A -"Obc. stałe"	Stałe		1,35
B -"Obc. uzytkowe"	Zmienne 1	1,00	1,50

RELACJE GRUP OBCIĄŻEŃ:

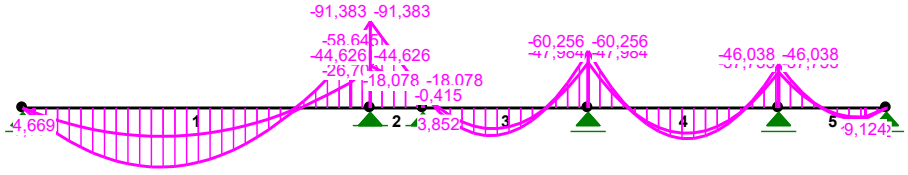
Grupa obc.:	Relacje:
Ciężar wł.	ZAWSZE

```
A -"Obc. stałe"                  EWENTUALNIE
B -"Obc. uzytkowe"               EWENTUALNIE
-------------------------------------------------------------------
```

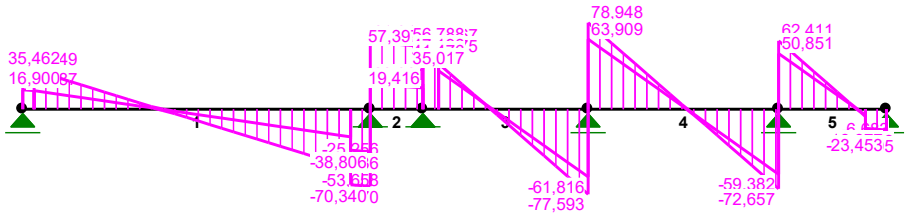
KRYTERIA KOMBINACJI OBCIĄŻEŃ:

```
-------------------------------------------------------------------
Nr:    Specyfikacja:
-------------------------------------------------------------------
 1       ZAWSZE     : A
         EWENTUALNIE: B
-------------------------------------------------------------------
```

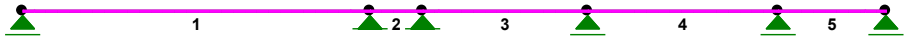
MOMENTY-OBWIEDNIE:



TNĄCE-OBWIEDNIE:



NORMALNE-OBWIEDNIE:



SIŁY PRZEKROJOWE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu

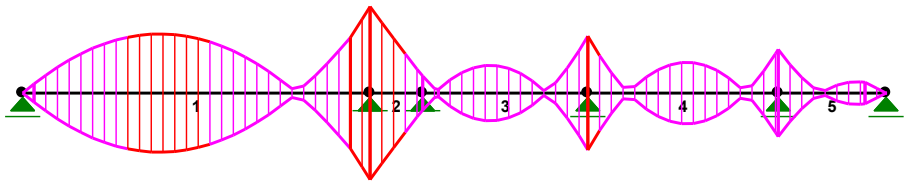
Obciążenia obl.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

Pręt:	x[m]:	M[kNm]:	Q[kN]:	N[kN]:	Kombinacja obciążeń:
1	3,086	**62,491***	2,042	0,000	AB
	8,250	**-91,383***	-70,340	0,000	AB
	8,250	-91,383	**-70,340***	0,000	AB
	8,250	-91,383	-70,340	**0,000***	AB
	3,086	62,491	2,042	**0,000***	AB
	8,250	-91,383	-70,340	**0,000***	AB
	3,086	62,491	2,042	**0,000***	AB
2	1,250	**-17,359***	57,397	0,000	AB
	0,000	**-91,383***	61,042	0,000	AB
	0,000	-91,383	**61,042***	0,000	AB
	0,000	-91,383	61,042	**0,000***	AB
	1,250	-18,078	19,416	**0,000***	A
	0,000	-91,383	61,042	**0,000***	AB
	1,250	-18,078	19,416	**0,000***	A
3	1,701	**29,347***	-3,175	0,000	AB
	3,920	**-60,256***	-77,593	0,000	AB
	3,920	-60,256	**-77,593***	0,000	AB

	3,920	-60,256	-77,593	**0,000***	AB
	1,701	29,347	-3,175	**0,000***	AB
	3,920	-60,256	-77,593	**0,000***	AB
	1,701	29,347	-3,175	**0,000***	AB
4	2,260	**32,510***	3,146	0,000	AB
	0,000	**-60,256***	78,948	0,000	AB
	0,000	-60,256	**78,948***	0,000	AB
	0,000	-60,256	78,948	**0,000***	AB
	2,260	32,510	3,146	**0,000***	AB
	0,000	-60,256	78,948	**0,000***	AB
	2,260	32,510	3,146	**0,000***	AB
5	1,802	**11,971***	1,954	0,000	AB
	0,000	**-46,038***	62,411	0,000	AB
	0,000	-46,038	**62,411***	0,000	AB
	0,000	-46,038	62,411	**0,000***	AB
	1,802	11,971	1,954	**0,000***	AB
	0,000	-46,038	62,411	**0,000***	AB
	1,802	11,971	1,954	**0,000***	AB

* = Wartości ekstremalne

NAPĘŻENIA-OBWIEDNIE:



NAPRĘŻENIA - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu
Obciążenia obl.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

Pręt:	x[m]:	SigmaG: Ro	SigmaD:	Sigma: [MPa]	Kombinacja obciążeń:
1	8,250	**1,596***		16,923	AB
	3,086	**-1,092***		-11,572	AB
	3,086		**1,092***	11,572	AB
	8,250		**-1,596***	-16,923	AB
2	0,000	**1,596***		16,923	AB
	1,250	**0,303***		3,215	AB
	1,250		**-0,303***	-3,215	AB
	0,000		**-1,596***	-16,923	AB
3	3,920	**1,053***		11,158	AB
	1,701	**-0,513***		-5,435	AB
	1,701		**0,513***	5,435	AB
	3,920		**-1,053***	-11,158	AB
4	0,000	**1,053***		11,158	AB
	2,260	**-0,568***		-6,020	AB
	2,260		**0,568***	6,020	AB
	0,000		**-1,053***	-11,158	AB
5	0,000	**0,804***		8,526	AB
	1,802	**-0,209***		-2,217	AB

1,802	**0,209***	2,217	AB
0,000	**-0,804***	-8,526	AB

* = Wartości ekstremalne

REAKCJE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu
Obciążenia obl.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

Węzeł:	H[kN]:	V[kN]:	R[kN]:	M[kNm]:	Kombinacja obciążeń:
1	**0,000***	36,249	36,249		AB
	0,000*	17,687	17,687		A
	0,000	**36,249***	36,249		AB
	0,000	**17,687***	17,687		A
	0,000	36,249	**36,249***		AB
2	**0,000***	131,382	131,382		AB
	0,000*	61,868	61,868		A
	0,000	**131,382***	131,382		AB
	0,000	**61,868***	61,868		A
	0,000	131,382	**131,382***		AB
3	**0,000***	28,859	28,859		A
	0,000*	0,470	0,470		AB
	0,000	**28,859***	28,859		A
	0,000	**0,470***	0,470		AB
	0,000	28,859	**28,859***		A
4	**0,000***	23,453	23,453		AB
	0,000*	18,977	18,977		A
	0,000	**23,453***	23,453		AB
	0,000	**18,977***	18,977		A
	0,000	23,453	**23,453***		AB
5	**0,000***	156,541	156,541		AB
	0,000*	125,725	125,725		A
	0,000	**156,541***	156,541		AB
	0,000	**125,725***	125,725		A
	0,000	156,541	**156,541***		AB
6	**0,000***	135,067	135,067		AB
	0,000*	110,233	110,233		A
	0,000	**135,067***	135,067		AB
	0,000	**110,233***	110,233		A
	0,000	135,067	**135,067***		AB

* = Wartości ekstremalne

PRZEMIESZCZENIA - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu
Obciążenia obl.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

Węzeł:	Ux[m]:	Uy[m]:	Wypadkowe[m]:	Kombinacja obciążeń:
1	0,00000			
		0,00000		AB
			0,00000	AB
2	0,00000			
		0,00000		AB
			0,00000	AB

```
   3       0,00000
                    0,00000                    A
                                  0,00000      A

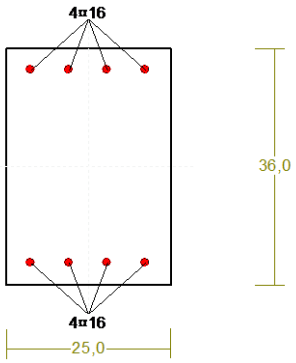
   4       0,00000
                    0,00000                    AB
                                  0,00000      AB

   5       0,00000
                    0,00000                    AB
                                  0,00000      AB

   6       0,00000
                    0,00000                    AB
                                  0,00000      AB
-------------------------------------------------------------------
DEFORMACJE - WARTOŚCI EKSTREMALNE:   T.I rzędu
Obciążenia obl.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"
-------------------------------------------------------------------
Pręt:             L/f:        Kombinacja obciążeń:
-------------------------------------------------------------------
   1              655,8        AB
   2             3305,7        AB
   3             3351,6        AB
   4             2736,2        AB
   5            25318,4        AB
-------------------------------------------------------------------
```

Cechy przekroju (Skrócony) – przęsło 1:

Belka kalenicowa, pręt nr 1, przekrój: x_a=3,56 m, x_b=4,69 m



Wymiary przekroju [cm]:
h=36,0, b=25,0,
Cechy materiałowe dla sytuacji stałej lub przejściowej

BETON: **B20**

f_{ck}= **16,0** MPa, $f_{cd}=\alpha \cdot f_{ck}/\gamma_c$=1,00×16,0/1,50=**10,7** MPa

Cechy geometryczne przekroju betonowego:

A_c=**900** cm^2, J_{cx}=**97200** cm^4, J_{cy}=**46875** cm^4

STAL: **A-II** (**St50B**)

f_{yk}=355 MPa, γ_s=1,15, f_{yd}=310 MPa

$\xi_{lim}=0{,}0035/(0{,}0035+f_{yd}/E_s)=0{,}0035/(0{,}0035+310/200000)=0{,}693$,

Zbrojenie główne:

$A_{s1}+A_{s2}$=**16,08** cm^2, $\rho=100\ (A_{s1}+A_{s2})/A_c$ =100×16,08/900=**1,79** %,

J_{sx}=**3476** cm^4, J_{sy}=**676** cm^4,

Siły przekrojowe:

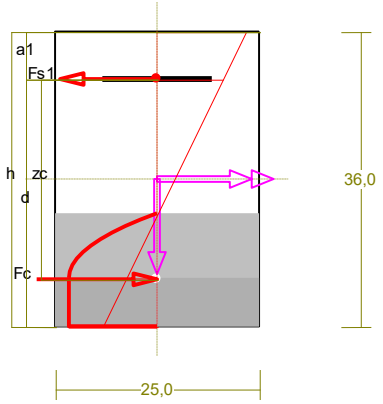
Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **AB**

Momenty zginające:	M_x = -62,142 kNm,	M_y = 0,000 kNm,
Siły poprzeczne:	V_y = -3,528 kN,	V_x = 0,000 kN,
Siła osiowa:	N = 0,000 kN = N_{Sd}, .	

Zbrojenie wymagane:

Obliczenia wykonano:

- przy założeniu maksymalnego wykorzystania nośności strefy ściskanej betonu (ξ_{lim}=0,693).
- dla kombinacji [**AB**] grup obciążeń, dla której suma zbrojenia wymaganego jest największa



Wielkości obliczeniowe:

N_{Sd}=0,000 kN,

$M_{Sd}=\sqrt{(M_{Sdx}^2+ M_{Sdy}^2)} = \sqrt{(73,193^2+0,000^2)}$ =73,193 kNm

f_{cd}=10,7 MPa, f_{yd}=310 MPa =f_{td},

Zbrojenie rozciągane (ε_{s1}=4,15 ‰):

A_{s1}=**9,66** cm^2 $\Rightarrow$ (5¤16 = 10,05 cm^2),

Dodatkowe zbrojenie ściskane nie jest obliczeniowo wymagane.

$A_s=A_{s1}+A_{s2}$=9,66 cm^2, $\rho=100\times A_s/A_c= 100\times 9,66/900$=1,07 %

Wielkości geometryczne [cm]:

h=36,0, d=30,2, x=13,8 (ξ=0,458),
a_1=5,8, a_c=5,8, z_c=24,4, A_{cc}=346 cm^2,
ε_c=-3,50 ‰, ε_{s1}=4,15 ‰,

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

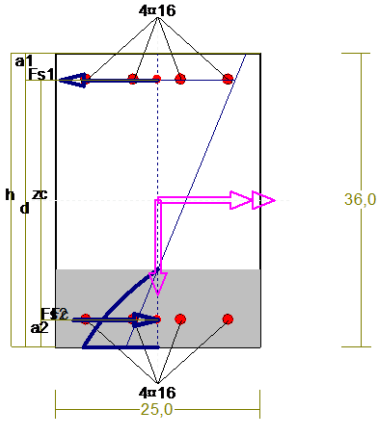
F_c= -299,364, F_{s1} = 299,364,
M_c= 36,671, M_{s1} = 36,522,

Warunki równowagi wewnętrznej:

F_c+F_{s1}=-299,364+(299,364)=0,000 kN (N_{Sd}=0,000 kN)
M_c+M_{s1}=36,671+(36,522)=73,193 kNm (M_{Sd}=73,193 kNm)

Nośność przekroju prostopadłego:

Obliczenia wykonano dla kombinacji [**AB**] grup obciążeń, dla której warunek stanu granicznego nośności przekroju jest najniekorzystniejszy

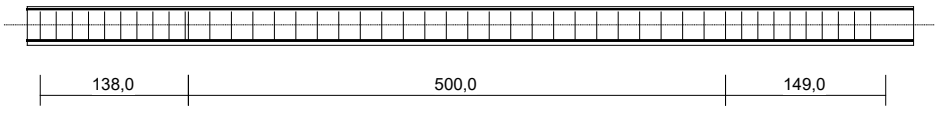


Wielkości obliczeniowe:
N_{Sd}=0,000 kN,
$M_{Sd}=\sqrt{(M_{Sdx}^2+ M_{Sdy}^2)} = \sqrt{(73,193^2+0,000^2)}$ =73,193 kNm
f_{cd}=10,7 MPa, f_{yd}=310 MPa =f_{td},
Zbrojenie rozciągane: A_{s1}=**8,04** cm^2,
Zbrojenie ściskane: A_{s2}=**8,04** cm^2,
$A_s=A_{s1}+A_{s2}$=16,08 cm^2, $\rho=100\times A_s/A_c$= 100×16,08/900=1,79 %
Wielkości geometryczne [cm]:
h=36,0, d=32,7, x=9,5 (ξ=0,291),
a_1=3,3, a_2=3,3, a_c=3,4, z_c=29,3, A_{cc}=238 cm^2,
ε_c=-1,20 ‰, ε_{s2}=-0,79 ‰, ε_{s1}=2,93 ‰,
Wielkości statyczne [kN, kNm]:
F_c= -122,658, F_{s1} = 249,317, F_{s2} = -126,612,
M_c= 17,938, M_{s1} = 36,650, M_{s2} = 18,612,
Warunek stanu granicznego nośności:
M_{Rd} = **74,487 kNm** > $M_{Sd}=M_c+M_{s1}+M_{s2}$=17,938+(36,650)+(18,612)=**73,193** kNm

Zbrojenie poprzeczne (strzemiona)

Na całej długości pręta przyjęto strzemiona o średnicy ϕ=8 mm ze stali A-0, dla której f_{ywd} = 190 MPa.
Minimalny stopień zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_{w,min} = 0,08\ \sqrt{f_{ck}}\ /\ f_{yk} = 0,08\times \sqrt{16}\ /\ 355 = 0,00090$$



Rozstaw strzemion:

Strefa nr 1

Początek i koniec strefy: x_a = 12,0 x_b = 150,0 cm
Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla belek:

s_{max} = 0,75 d = 0,75×327 = 245 $s_{max} \le$ 400 mm
przyjęto s_{max} = 245 mm.

Ze względu na pręty ściskane s_{max} = 15 ϕ = 15×16,0 = 240,0 mm.

Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla słupów:

s_{max} = min{h; b} = min{250,0; 360,0}=250,0 $s_{max} \le$ 400 mm
przyjęto s_{max} = 250,0 mm.

Ze względu na zbrojenie s_{max} = 15 ϕ = 15×16,0 = 240,0 mm.

Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **15,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} /(s\ b_w \sin\alpha) = 1{,}01 / (15{,}0 \times 25{,}0 \times 1{,}000) = 0{,}00268$$

$$\rho_w = \mathbf{0{,}00268 > 0{,}00090} = \rho_{w\ min}$$

Strefa nr 2

Początek i koniec strefy: $x_a = 150{,}0$ $x_b = 650{,}0$ cm
Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla belek:

$s_{max} = 0{,}75\ d = 0{,}75 \times 327 = 245$ $s_{max} \le 400$ mm
przyjęto $s_{max} = 245$ mm.

Ze względu na pręty ściskane $s_{max} = 15\ \phi = 15 \times 16{,}0 = 240{,}0$ mm.

Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla słupów:

$s_{max} = \min\{h; b\} = \min\{250{,}0; 360{,}0\} = 250{,}0$ $s_{max} \le 400$ mm
przyjęto $s_{max} = 250{,}0$ mm.

Ze względu na zbrojenie $s_{max} = 15\ \phi = 15 \times 16{,}0 = 240{,}0$ mm.

Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **20,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} /(s\ b_w \sin\alpha) = 1{,}01 / (20{,}0 \times 25{,}0 \times 1{,}000) = 0{,}00201$$

$$\rho_w = \mathbf{0{,}00201 > 0{,}00090} = \rho_{w\ min}$$

Strefa nr 3

Początek i koniec strefy: $x_a = 650{,}0$ $x_b = 799{,}0$ cm
Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla belek:

$s_{max} = 0{,}75\ d = 0{,}75 \times 327 = 245$ $s_{max} \le 400$ mm
przyjęto $s_{max} = 245$ mm.

Ze względu na pręty ściskane $s_{max} = 15\ \phi = 15 \times 16{,}0 = 240{,}0$ mm.

Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla słupów:

$s_{max} = \min\{h; b\} = \min\{250{,}0; 360{,}0\} = 250{,}0$ $s_{max} \le 400$ mm
przyjęto $s_{max} = 250{,}0$ mm.

Ze względu na zbrojenie $s_{max} = 15\ \phi = 15 \times 16{,}0 = 240{,}0$ mm.

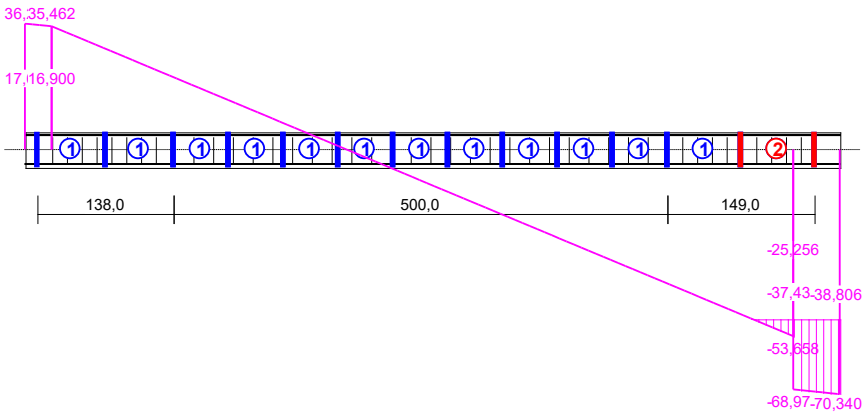
Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **15,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} /(s\ b_w \sin\alpha) = 1{,}01 / (15{,}0 \times 25{,}0 \times 1{,}000) = 0{,}00268$$

$$\rho_w = \mathbf{0{,}00268 > 0{,}00090} = \rho_{w\ min}$$

Ścinanie

Przyjęto podparcie lub obciążenie pośrednie.



Odcinek nr 13

Początek i koniec odcinka: $x_a = 724,5$ $x_b = 799,0$ cm

Siły przekrojowe: $N_{Sd} = 0,000$;

$V_{Sd\,max} = -69,582$ kN

Rodzaj odcinka:

$$\rho_L = \frac{A_{sL}}{b_w d} = \frac{8,04}{25,0 \times 32,7} = 0,00984; \qquad \rho_L \le 0,01$$

Przyjęto $\rho_L = 0,00984$.

$\sigma_{cp} = N_{Sd} / A_C = -0,000 / 1010,93 \times 10 = -0,00$ MPa $\qquad \sigma_{cp} \le 0,2\, f_{cd}$

Przyjęto $\sigma_{cp} = -0,00$ MPa.

$V_{Rd1} = [0,35\, k\, f_{ctd}\, (1,2 + 40\, \rho_L) + 0,15\, \sigma_{cp}]\, b_w\, d =$

$= [0,35 \times 1,27 \times 0,90 \times (1,2+40 \times 0,00984) + 0,15 \times -0,00] \times 25,0 \times 32,7 \times 10^{-1} = 52,114$ kN

$V_{Sd} = 69,582 > 52,114 = V_{Rd1}$

Nośność odcinka II-go rodzaju:

Przyjęto kąt $\theta = 28,2°$

$$\nu = 0,6\,(1 - f_{ck} / 250) = 0,6 \times (1 - 16 / 250) = 0,562$$

$$\Delta V_{Rd} = \frac{A_{sw2}\, f_{ywd2}}{s_2}\, z \cos\alpha \quad \times 10^{-1} = 0 \text{ kN}$$

$$\Delta V_{Rd} \le \nu\, f_{cd} b_w z \frac{\cot\theta}{1+\cot^2\theta} \frac{\cot\alpha}{2\cot\theta + \cot\alpha} \quad \times 10^{-1} = 0 \text{ kN}$$

Przyjęto $\Delta V_{Rd} = 0,000$ kN.

$$V_{Rd2} = \nu\, f_{cd}\, b_w\, z \frac{\cot\theta}{1+\cot^2\theta} + \Delta V_{Rd} =$$

$$= 0,562 \times 10,7 \times 25,0 \times 29,3 \frac{1,863}{1 + 1,863^2} \times 10^{-1} + 0,000 = 183,558 \text{ kN}$$

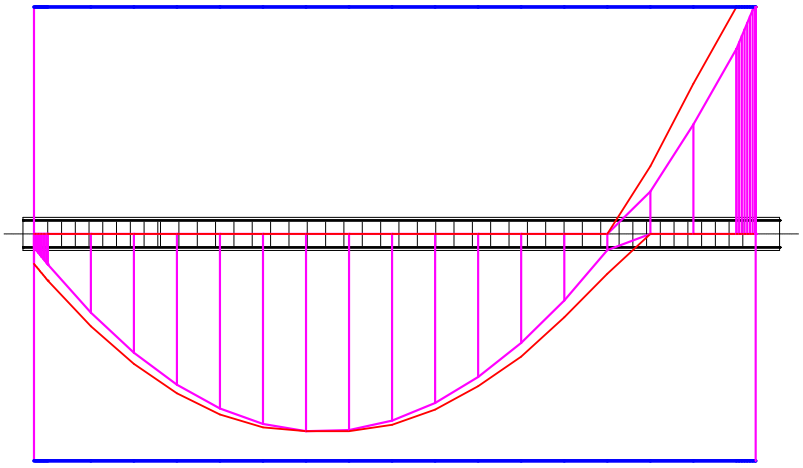
$V_{Sd} = \mathbf{69,582 < 183,558} = V_{Rd2}$

$$V_{Rd3} = V_{Rd31} + V_{Rd32} = \frac{A_{sw1}\, f_{ywd1}}{s_1}\, z \cot\theta + \frac{A_{sw2}\, f_{ywd2}}{s_2}\, z\,(\cot\theta + \cot\alpha) \sin\alpha =$$

$$= \frac{1,01 \times 190}{15,0} 29,3 \times 1,863 \times 10^{-1} = 69,582 \text{ kN}$$

$V_{Sd} = \mathbf{69,582 < 69,582} = V_{Rd3}$

Nośność zbrojenia podłużnego



Sprawdzenie siły przenoszonej przez zbrojenie rozciągane dla x = 7,780 m:

$\Delta F_{td} = 0,5\ |V_{Sd}|\ (\cot\theta - V_{Rd32}/\ V_{Rd3}\ \cot\alpha) = 0,5\times53,658\times(1,863 - -0,000/69,582\ \times -0,000) =$
$49,992$ kN

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciąganym:

$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 203,249 + 49,992 = 253,241$ kN;

$F_{td} \le F_{td,max} = 249,317$ kN

Przyjęto $F_{td} = 249,317$ kN

$F_{td} =$ **249,317 < 249,317** $= 8,04\times310\ \times10^{-1} = A_s\ f_{yd}$

Zarysowanie

Położenie przekroju:	x = 7,990 m
Siły przekrojowe:	M_{Sd} = -51,361 kNm
	N_{Sd} = 0,000 kN
	V_{Sd} = -49,206 kN
Wymiary przekroju:	b_w = 25,0 cm
	$d = h - a_l = 36,0 - 3,3 = 32,7$ cm
	$A_c = 900$ cm^2
	$W_c = 5400$ cm^3

Minimalne zbrojenie:

Wymagane pole zbrojenia rozciąganego dla zginania, przy naprężeniach wywołanych przyczynami zewnętrznymi, wynosi:

$A_s = k_c\ k\ f_{ct,eff}\ A_{ct}\ /\ \sigma_{s,lim} =$
$= 0,4\times1,0\times1,9\times450\ /\ 240 = 1,43$ cm^2

$A_{s1} =$ **8,04 > 1,43** $= A_s$

Zarysowanie:

$M_{cr} = f_{ctm}\ W_c = 1,9\times5400\ \times10^{-3} = 10,260$ kNm

$M_{Sd} = 51,361 > 10,260 = M_{cr}$

Przekrój zarysowany.

Szerokość rozwarcia rysy prostopadłej do osi pręta:

Przyjęto $k_2 = 0,5$.

$\rho_r = A_s / A_{ct,eff} = 8,04 / 197 = 0,04074$

$s_{rm} = 50 + 0,25\ k_1\ k_2\ \phi / \rho_r = 50 + 0,25 \times 0,8 \times 0,50 \times 16/0,04074 = 89,28$

$\varepsilon_{sm} = \sigma_s / E_s\ [1 - \beta_1\beta_2\ (\sigma sr / \sigma s)^2] =$

$= 220,58/200000 \times [1 - 1,0 \times 0,5 \times (10,260/51,361)^2] = 0,00108$

$w_k = \beta\ s_{rm}\ \varepsilon_{sm} = 1,7 \times 89,28 \times 0,00108 = 0,16$ mm

$w_k = \mathbf{0,16 < 0,3} = w_{lim}$

Szerokość rozwarcia rysy ukośnej:

$$\rho_{w1} = \frac{A_{sw1}}{s_1 b_w} = \frac{1,01}{15,0 \times 25,0} = 0,00268$$

$$\rho_{w2} = \frac{A_{s2}}{s_2 b_w \sin\alpha} = 0,00000$$

$\rho_w = \rho_{w1} + \rho_{w2} = 0,00268 + 0,00000 = 0,00268$

$$\lambda = \frac{1}{3\left[\frac{\rho_{w1}}{\eta_1\phi_1} + \frac{\rho_{w2}}{\eta_2\phi_2}\right]} = \frac{1}{3 \times [0,00268/(1,0 \times 8,0)]} = 994,72$$

$$\tau = \frac{V_{Sd}}{b_w d} = \frac{-49,206}{25,0 \times 32,7} \times 10 = 0,602 \text{ MPa}$$

$$w_k = \frac{4\ \tau^2\ \lambda}{\rho_w E_s f_{ck}} = \frac{4 \times 0,602^2 \times 994,72}{0,00268 \times 200000 \times 16} = 0,17 \text{ mm}$$

$w_k = \mathbf{0,17 < 0,3} = w_{lim}$

Ugięcia

Ugięcia wyznaczono dla charakterystycznych obciążeń długotrwałych.

Współczynniki pełzania dla obciążeń długotrwałych przyjęto równy $\phi(t,t_o) = 2,00$.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(t, t_o)} = \frac{29000}{1 + 2,00} = 9667 \text{ MPa}$$

Moment rysujący:

$M_{cr} = f_{ctm}\ W_c = 1,9 \times 5400 \times 10^{-3} = 10,260$ kNm

Całkowity moment zginający $M_{Sd} = -64,228$ kN powoduje zarysowanie przekroju.

Sztywność dla długotrwałego działania obciążeń długotrwałych:

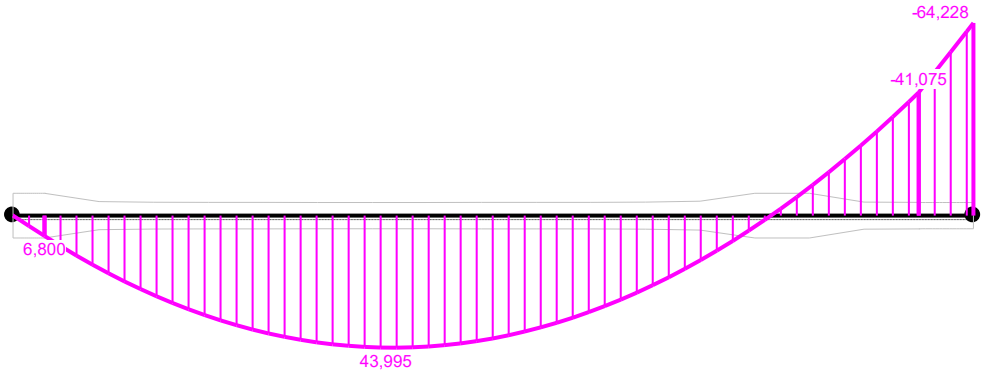
Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M_{Sd} = -64,228$ kNm.

Wielkości geometryczne przekroju: $x_I = 18,0$ cm $I_I = 169113$ cm^4

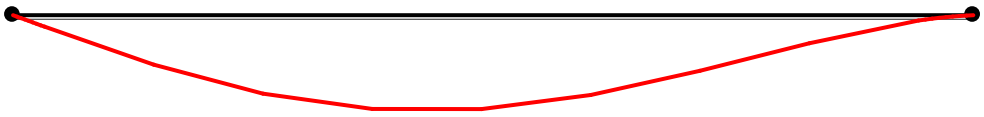
$x_{II} = 12,3$ cm $I_{II} = 98233$ cm^4

$$B = \frac{E_{c,eff} I_{II}}{1 - \beta_1\beta_2 (M_{cr} / M_{Sd})^2 (1 - I_{II} / I_I)} =$$

$$= \frac{9667 \times 98233}{1 - 1,0 \times 0,5 \times (10,260/64,228)^2 \times (1 - 98233/169113)} \times 10^{-5} = 9547 \text{ kNm}^2$$



Wykres sztywności i momentów dla obciążeń długotrwałych.



Ugięcia.

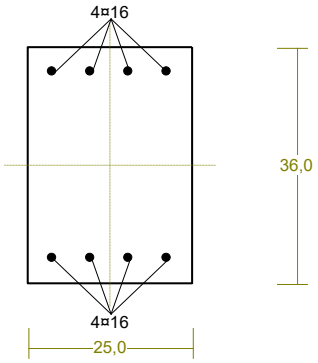
Ugięcie w punkcie o współrzędnej x = 3,556 m, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta (1/ρ) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

$a = a_{\infty,d} = 23,7$ mm

$a = \mathbf{23,7 < 33,0} = a_{lim}$

Cechy przekroju (Skrócony) – przęsło 2:

Belka kalenicowa, pręt nr 3, przekrój: x_a=3,66 m, x_b=0,26 m



Wymiary przekroju [cm]:
h=36,0, b=25,0,
Cechy materiałowe dla sytuacji stałej lub przejściowej

BETON: **B20**

f_{ck}= **16,0** MPa, $f_{cd}=\alpha \cdot f_{ck}/\gamma_c$=1,00×16,0/1,50=**10,7** MPa

Cechy geometryczne przekroju betonowego:

A_c=**900** cm^2, J_{cx}=**97200** cm^4, J_{cy}=**46875** cm^4

STAL: **A-II (St50B)**

f_{yk}=355 MPa, γ_s=1,15, f_{yd}=310 MPa

$\xi_{lim}=0,0035/(0,0035+f_{yd}/E_s)=0,0035/(0,0035+310/200000)=0,693$,

Zbrojenie główne:

$A_{s1}+A_{s2}$=**16,08** cm^2, ρ=100 $(A_{s1}+A_{s2})/A_c$ =100×16,08/900=**1,79** %,
J_{sx}=**3243** cm^4, J_{sy}=**676** cm^4,

Siły przekrojowe:

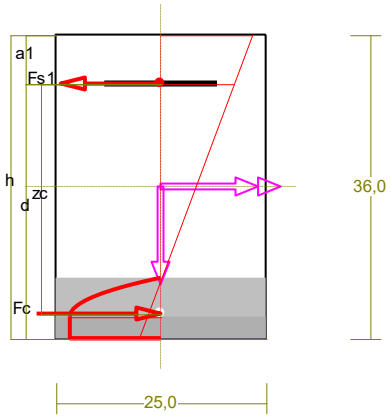
Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **AB**

Momenty zginające:	M_x = 41,215 kNm,	M_y = 0,000 kNm,
Siły poprzeczne:	V_y = -68,873 kN,	V_x = 0,000 kN,
Siła osiowa:	N = 0,000 kN = N_{Sd}, .	

Zbrojenie wymagane:

Obliczenia wykonano:

- dla kombinacji [**AB**] grup obciążeń, dla której suma zbrojenia wymaganego jest największa

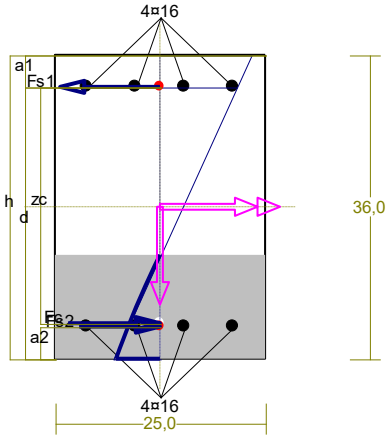


Wielkości obliczeniowe:
N_{Sd}=0,000 kN,
M_{Sd}=√(M_{Sdx}^2+ M_{Sdy}^2) = √(41,215^2+0,000^2) =41,215 kNm
f_{cd}=10,7 MPa, f_{yd}=310 MPa =f_{td},
Zbrojenie rozciągane (ε_{s1}=10,00 ‰):
A_{s1}=**4,88** cm^2 ⇒ (3¤16 = 6,03 cm^2),
Dodatkowe zbrojenie ściskane nie jest obliczeniowo wymagane.
$A_s=A_{s1}+A_{s2}$=4,88 cm^2, ρ=100×A_s/A_c= 100×4,88/900=0,54 %
Wielkości geometryczne [cm]:
h=36,0, d=30,2, x=7,2 (ξ=0,238),
a_1=5,8, a_c=2,9, z_c=27,3, A_{cc}=180 cm^2,
ε_c=-3,12 ‰, ε_{s1}=10,00 ‰,
Wielkości statyczne [kN, kNm]:
F_c= -151,133, F_{s1} = 151,132,
M_c= 22,777, M_{s1} = 18,438,
Warunki równowagi wewnętrznej:
F_c+F_{s1}=-151,133+(151,132)=-0,001 kN (N_{Sd}=0,000 kN)
M_c+M_{s1}=22,777+(18,438)=41,215 kNm (M_{Sd}=41,215 kNm)

Nośność przekroju prostopadłego:

zadanie Belka kalenicowa, pręt nr 3, przekrój: x_a=3,66 m, x_b=0,26 m

Obliczenia wykonano dla kombinacji [**AB**] grup obciążeń, dla której warunek stanu granicznego nośności przekroju jest najniekorzystniejszy

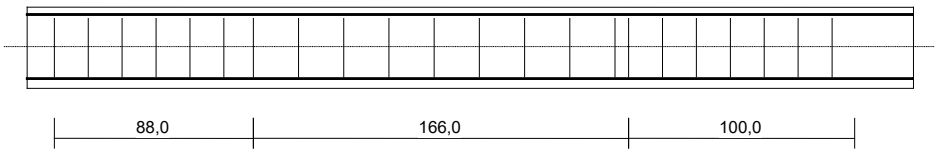


Wielkości obliczeniowe:
N_{Sd}=0,000 kN,
$M_{Sd}=\sqrt{(M_{Sdx}^2+ M_{Sdy}^2)} = \sqrt{(41,215^2+0,000^2)}$ =41,215 kNm
f_{cd}=10,7 MPa, f_{yd}=310 MPa =f_{td},
Zbrojenie rozciągane: A_{s1}=**8,04** cm^2,
Zbrojenie ściskane: A_{s2}=**8,04** cm^2,
$A_s=A_{s1}+A_{s2}$=16,08 cm^2, $\rho=100\times A_s/A_c= 100\times16,08/900$=1,79 %
Wielkości geometryczne [cm]:
h=36,0, d=32,2, x=12,3 (ξ=0,382),
a_1=3,8, a_2=3,8, a_c=4,2, z_c=28,0, A_{cc}=307 cm^2,
ε_c=-0,56 ‰, ε_{s2}=-0,39 ‰, ε_{s1}=0,91 ‰,
Wielkości statyczne [kN, kNm]:
F_c= -83,826, F_{s1} = 146,322, F_{s2} = -62,496,
M_c= 11,563, M_{s1} = 20,778, M_{s2} = 8,874,
Warunek stanu granicznego nośności:
M_{Rd} = **72,505 kNm** > $M_{Sd}=M_c+M_{s1}+M_{s2}$=11,563+(20,778)+(8,874)=**41,215** kNm

Zbrojenie poprzeczne (strzemiona)

Na całej długości pręta przyjęto strzemiona o średnicy ϕ=8 mm ze stali A-0, dla której f_{ywd} = 190 MPa.
Minimalny stopień zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_{w,min} = 0,08\ \sqrt{f_{ck}}\ /\ f_{yk} = 0,08\times \sqrt{16}\ /\ 355 = 0,00090$$



Rozstaw strzemion:
Strefa nr 1

Początek i koniec strefy: x_a = 12,0 x_b = 100,0 cm
Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla belek:

s_{max} = 0,75 d = 0,75×322 = 242 $s_{max} \le$ 400 mm
przyjęto s_{max} = 242 mm.

Ze względu na pręty ściskane s_{max} = 15 ϕ = 15×16,0 = 240,0 mm.
Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla słupów:

s_{max} = min{h; b} = min{250,0; 360,0}=250,0 $s_{max} \le 400$ mm
przyjęto s_{max} = 250,0 mm.

Ze względu na zbrojenie $s_{max} = 15\ \phi = 15 \times 16{,}0 = 240{,}0$ mm.

Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **15,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} /(s\ b_w \sin\alpha) = 1{,}01 / (15{,}0 \times 25{,}0 \times 1{,}000) = 0{,}00268$$

$$\rho_w = \mathbf{0{,}00268 > 0{,}00090} = \rho_{w\ min}$$

Strefa nr 2

Początek i koniec strefy: x_a = 100,0 x_b = 266,0 cm
Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla belek:

$s_{max} = 0{,}75\ d = 0{,}75 \times 322 = 242$ $s_{max} \le 400$ mm
przyjęto s_{max} = 242 mm.

Ze względu na pręty ściskane $s_{max} = 15\ \phi = 15 \times 16{,}0 = 240{,}0$ mm.

Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla słupów:

s_{max} = min{h; b} = min{250,0; 360,0}=250,0 $s_{max} \le 400$ mm
przyjęto s_{max} = 250,0 mm.

Ze względu na zbrojenie $s_{max} = 15\ \phi = 15 \times 16{,}0 = 240{,}0$ mm.

Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **20,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} /(s\ b_w \sin\alpha) = 1{,}01 / (20{,}0 \times 25{,}0 \times 1{,}000) = 0{,}00201$$

$$\rho_w = \mathbf{0{,}00201 > 0{,}00090} = \rho_{w\ min}$$

Strefa nr 3

Początek i koniec strefy: x_a = 266,0 x_b = 366,0 cm
Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla belek:

$s_{max} = 0{,}75\ d = 0{,}75 \times 322 = 242$ $s_{max} \le 400$ mm
przyjęto s_{max} = 242 mm.

Ze względu na pręty ściskane $s_{max} = 15\ \phi = 15 \times 16{,}0 = 240{,}0$ mm.

Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla słupów:

s_{max} = min{h; b} = min{250,0; 360,0}=250,0 $s_{max} \le 400$ mm
przyjęto s_{max} = 250,0 mm.

Ze względu na zbrojenie $s_{max} = 15\ \phi = 15 \times 16{,}0 = 240{,}0$ mm.

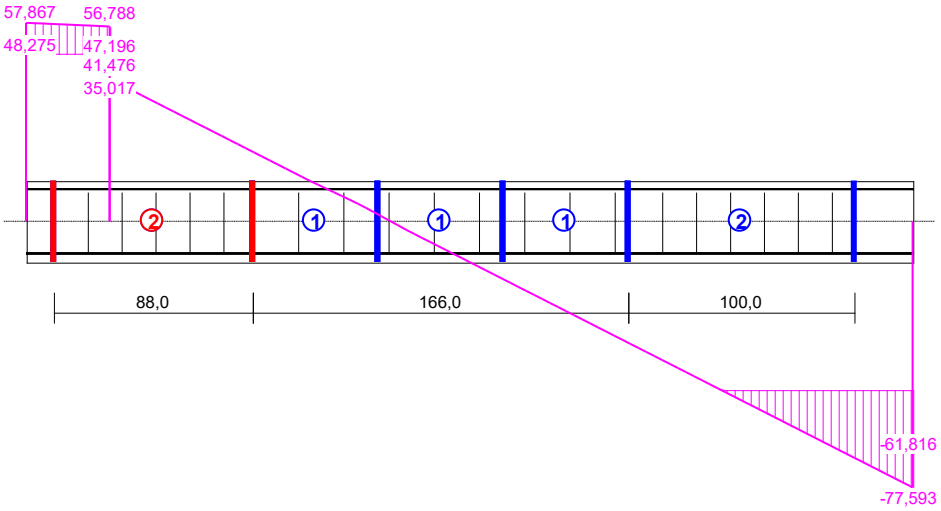
Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **15,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} /(s\ b_w \sin\alpha) = 1{,}01 / (15{,}0 \times 25{,}0 \times 1{,}000) = 0{,}00268$$

$$\rho_w = \mathbf{0{,}00268 > 0{,}00090} = \rho_{w\ min}$$

Ścinanie

Przyjęto podparcie lub obciążenie pośrednie.



Odcinek nr 1

Początek i koniec odcinka: $x_a = 12,0$ $x_b = 100,0$ cm

Siły przekrojowe: $N_{Sd} = 0,000$;

$V_{Sd\,max} = 56,855$ kN

Rodzaj odcinka:

$$\rho_L = \frac{A_{sL}}{b_w d} = \frac{8,04}{25,0 \times 32,2} = 0,00999; \qquad \rho_L \le 0,01$$

Przyjęto $\rho_L = 0,00999$.

$\sigma_{cp} = N_{Sd} / A_C = -0,000 / 1010,93 \times 10 = -0,00$ MPa $\qquad \sigma_{cp} \le 0,2\, f_{cd}$

Przyjęto $\sigma_{cp} = -0,00$ MPa.

$V_{Rd1} = [0,35\, k\, f_{ctd}\, (1,2 + 40\, \rho_L) + 0,15\, \sigma_{cp}]\, b_w\, d =$

$= [0,35 \times 1,28 \times 0,90 \times (1,2+40 \times 0,00999) + 0,15 \times -0,00] \times 25,0 \times 32,2 \times 10^{-1} = 51,920$ kN

$V_{Sd} = 56,855 > 51,920 = V_{Rd1}$

Nośność odcinka II-go rodzaju:

Przyjęto kąt $\theta = 32,2°$

$\nu = 0,6\,(1 - f_{ck} / 250) = 0,6 \times (1 - 16 / 250) = 0,562$

$$\Delta V_{Rd} = \frac{A_{sw2}\, f_{ywd2}}{s_2} z \cos\alpha \quad \times 10^{-1} = 0 \text{ kN}$$

$$\Delta V_{Rd} \le \nu\, f_{cd} b_w z \frac{\cot\theta}{1+\cot^2\theta} \frac{\cot\alpha}{2\cot\theta + \cot\alpha} \quad \times 10^{-1} = 0 \text{ kN}$$

Przyjęto $\Delta V_{Rd} = 0,000$ kN.

$$V_{Rd2} = \nu\, f_{cd}\, b_w\, z \frac{\cot\theta}{1+\cot^2\theta} + \Delta V_{Rd} =$$

$$= 0,562 \times 10,7 \times 25,0 \times 28,1 \frac{1,590}{1 + 1,590^2} \times 10^{-1} + 0,000 = 190,160 \text{ kN}$$

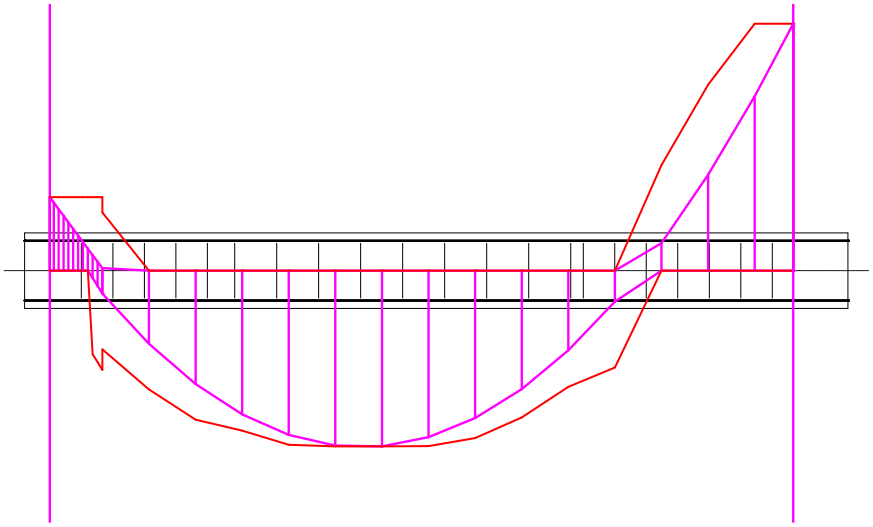
$V_{Sd} = \mathbf{56,855 < 190,160} = V_{Rd2}$

$$V_{Rd3} = V_{Rd31} + V_{Rd32} = \frac{A_{sw1}\, f_{ywd1}}{s_1} z \cot\theta + \frac{A_{sw2}\, f_{ywd2}}{s_2} z\,(\cot\theta + \cot\alpha) \sin\alpha =$$

$$= \frac{1{,}01 \times 190}{15{,}0} 28{,}1 \times 1{,}590 \times 10^{-1} = 56{,}855 \text{ kN}$$

V_{Sd} = **56,855 < 56,855** = V_{Rd3}

Nośność zbrojenia podłużnego



Sprawdzenie siły przenoszonej przez zbrojenie rozciągane dla x = 3,476 m:

$\Delta F_{td} = 0{,}5\ |V_{Sd}|\ (\cot\theta - V_{Rd32}/\ V_{Rd3}\ \cot\alpha) = 0{,}5 \times 62{,}710 \times (1{,}932 - 0{,}000/68{,}873 \times -0{,}000) =$
60,581 kN

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciąganym:

$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 103{,}274 + 60{,}581 = 163{,}855$ kN;

$F_{td} \le F_{td,max} = 146{,}322$ kN

Przyjęto $F_{td} = 146{,}322$ kN

F_{td} = **146,322 < 249,317** = $8{,}04 \times 310 \times 10^{-1} = A_s\ f_{yd}$

Zarysowanie

zadanie Belka kalenicowa, pręt nr 3,

Położenie przekroju:	x = 3,660 m
Siły przekrojowe:	M_{Sd} = -29,909 kNm
	N_{Sd} = 0,000 kN
	V_{Sd} = -49,969 kN
Wymiary przekroju:	b_w = 25,0 cm
	$d = h - a_1 = 36{,}0 - 3{,}8 = 32{,}2$ cm
	A_c = 900 cm^2
	W_c = 5400 cm^3

Minimalne zbrojenie:

Wymagane pole zbrojenia rozciąganego dla zginania, przy naprężeniach wywołanych przyczynami zewnętrznymi, wynosi:

$A_s = k_c\ k\ f_{ct,eff}\ A_{ct} / \sigma_{s,lim} =$
$= 0{,}4 \times 1{,}0 \times 1{,}9 \times 450 / 240 = 1{,}43$ cm^2

A_{s1} = **8,04 > 1,43** = A_s

Zarysowanie:

$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 1,9 \times 5400 \times 10^{-3} = 10,260$ kNm

$M_{Sd} = 29,909 > 10,260 = M_{cr}$

Przekrój zarysowany.

Szerokość rozwarcia rysy prostopadłej do osi pręta:

Przyjęto $k_2 = 0,5$.

$\rho_r = A_s / A_{ct,eff} = 8,04 / 197 = 0,04074$

$s_{rm} = 50 + 0,25\, k_1\, k_2\, \phi / \rho_r = 50 + 0,25 \times 0,8 \times 0,50 \times 16/0,04074 = 89,28$

$\varepsilon_{sm} = \sigma_s / E_s\, [1 - \beta_1\beta_2\, (\sigma sr / \sigma s)^2] =$

$= 131,75/200000 \times [1 - 1,0 \times 0,5 \times (10,260/29,909)^2] = 0,00062$

$w_k = \beta\, s_{rm}\, \varepsilon_{sm} = 1,7 \times 89,28 \times 0,00062 = 0,09$ mm

$w_k =$ **0,09 < 0,3** $= w_{lim}$

Szerokość rozwarcia rysy ukośnej:

$$\rho_{w1} = \frac{A_{sw1}}{s_1 b_w} = \frac{1,01}{15,0 \times 25,0} = 0,00268$$

$$\rho_{w2} = \frac{A_{s2}}{s_2 b_w \sin\alpha} = 0,00000$$

$\rho_w = \rho_{w1} + \rho_{w2} = 0,00268 + 0,00000 = 0,00268$

$$\lambda = \frac{1}{3\left[\frac{\rho_{w1}}{\eta_1\phi_1} + \frac{\rho_{w2}}{\eta_2\phi_2}\right]} = \frac{1}{3 \times [0,00268/(1,0 \times 8,0)]} = 994,72$$

$$\tau = \frac{V_{Sd}}{b_w d} = \frac{-49,969}{25,0 \times 32,2} \times 10 = 0,621 \text{ MPa}$$

$$w_k = \frac{4\,\tau^2\,\lambda}{\rho_w E_s f_{ck}} = \frac{4 \times 0,621^2 \times 994,72}{0,00268 \times 200000 \times 16} = 0,18 \text{ mm}$$

$w_k =$ **0,18 < 0,3** $= w_{lim}$

Ugięcia

Ugięcia wyznaczono dla charakterystycznych obciążeń długotrwałych.

Współczynniki pełzania dla obciążeń długotrwałych przyjęto równy $\phi(t,t_o) = 2,00$.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(t, t_o)} = \frac{29000}{1 + 2,00} = 9667 \text{ MPa}$$

Moment rysujący:

$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 1,9 \times 5400 \times 10^{-3} = 10,260$ kNm

Całkowity moment zginający $M_{Sd} = -43,725$ kN powoduje zarysowanie przekroju.

Sztywność dla długotrwałego działania obciążeń długotrwałych:

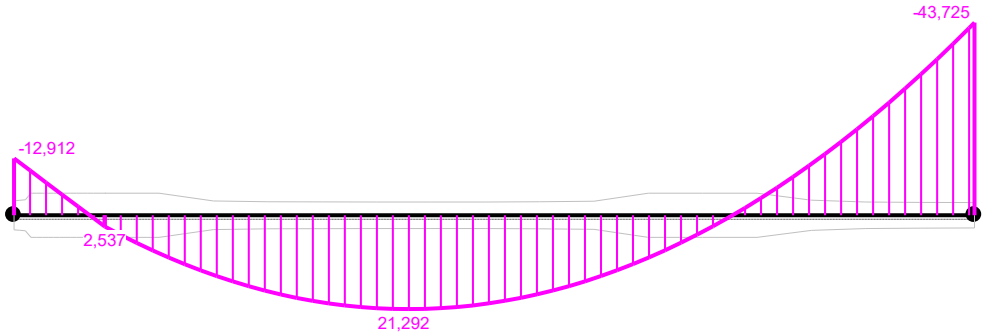
Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M_{Sd} = -43,725$ kNm.

Wielkości geometryczne przekroju: $x_I = 18,0$ cm $I_I = 164304$ cm^4

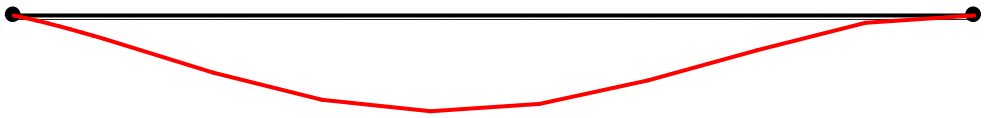
$x_{II} = 12,3$ cm $I_{II} = 93424$ cm^4

$$B = \frac{E_{c,eff} I_{II}}{1 - \beta_1\beta_2 (M_{cr}/M_{Sd})^2 (1 - I_{II}/I_I)} =$$

$$= \frac{9667 \times 93424}{1 - 1{,}0 \times 0{,}5 \times (10{,}260/43{,}725)^2 \times (1 - 93424/164304)} \times 10^{-5} = 9140 \text{ kNm}^2$$



Wykres sztywności i momentów dla obciążeń długotrwałych.



Ugięcia.

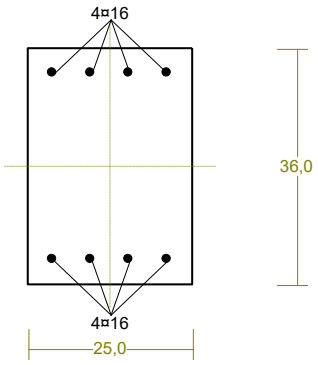
Ugięcie w punkcie o współrzędnej x = 1,701 m, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta (1/ρ) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

$a = a_{\infty,d} = 1{,}9$ mm

$a = \mathbf{1{,}9 < 15{,}7} = a_{lim}$

Cechy przekroju (Skrócony) – przęsło 3:

Belka kalenicowa, pręt nr 4, przekrój: x_a=0,12 m, x_b=4,40 m



Wymiary przekroju [cm]:
h=36,0, b=25,0,
Cechy materiałowe dla sytuacji stałej lub przejściowej

BETON: **B20**

f_{ck}= **16,0** MPa, $f_{cd}=\alpha \cdot f_{ck}/\gamma_c$=1,00×16,0/1,50=**10,7** MPa

Cechy geometryczne przekroju betonowego:

A_c=**900** cm^2, J_{cx}=**97200** cm^4, J_{cy}=**46875** cm^4

STAL: **A-II** (**St50B**)

f_{yk}=355 MPa, γ_s=1,15, f_{yd}=310 MPa

$\xi_{lim}=0{,}0035/(0{,}0035+f_{yd}/E_s)=0{,}0035/(0{,}0035+310/200000)=0{,}693$,

Zbrojenie główne:

$A_{s1}+A_{s2}$=**16,08** cm^2, $\rho=100\ (A_{s1}+A_{s2})/A_c$ =100×16,08/900=**1,79** %,

J_{sx}=**3243** cm^4, J_{sy}=**676** cm^4,

Siły przekrojowe:

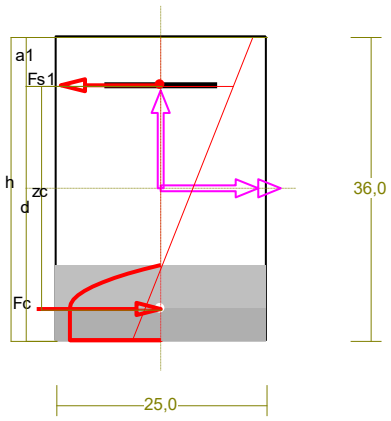
Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **AB**

Momenty zginające:	M_x = 51,024 kNm,	M_y = 0,000 kNm,
Siły poprzeczne:	V_y = 74,923 kN,	V_x = 0,000 kN,
Siła osiowa:	N = 0,000 kN = N_{Sd}, .	

Zbrojenie wymagane:

Obliczenia wykonano:

- przy założeniu maksymalnego wykorzystania nośności strefy ściskanej betonu (ξ_{lim}=0,693).
- dla kombinacji [**AB**] grup obciążeń, dla której suma zbrojenia wymaganego jest największa



Wielkości obliczeniowe:

N_{Sd}=0,000 kN,

$M_{Sd}=\sqrt{(M_{Sdx}^2+M_{Sdy}^2)}=\sqrt{(51{,}024^2+0{,}000^2)}$ =51,024 kNm

f_{cd}=10,7 MPa, f_{yd}=310 MPa =f_{td},
Zbrojenie rozciągane (ε_{s1}=8,39 ‰):
A_{s1}=**6,21** cm^2 $\Rightarrow$ (4¤16 = 8,04 cm^2),
Dodatkowe zbrojenie ściskane nie jest obliczeniowo wymagane.
$A_s=A_{s1}+A_{s2}$=6,21 cm^2, $\rho=100\times A_s/A_c$= 100×6,21/900=0,69 %

Wielkości geometryczne [cm]:

h=36,0, d=30,2, x=8,9 (ξ=0,294),
a_1=5,8, a_c=3,7, z_c=26,5, A_{cc}=222 cm^2,
ε_c=-3,50 ‰, ε_{s1}=8,39 ‰,

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

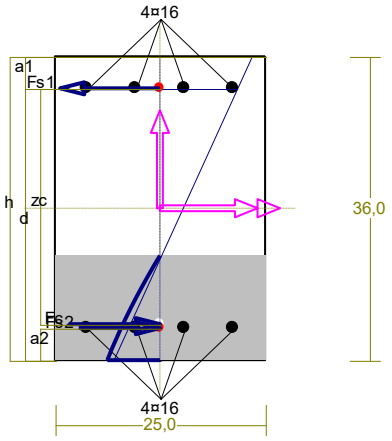
F_c= -192,529, F_{s1} = 192,529,
M_c= 27,535, M_{s1} = 23,489,

Warunki równowagi wewnętrznej:

F_c+F_{s1}=-192,529+(192,529)=0,000 kN (N_{Sd}=0,000 kN)
M_c+M_{s1}=27,535+(23,489)=51,024 kNm (M_{Sd}=51,024 kNm)

Nośność przekroju prostopadłego:

Obliczenia wykonano dla kombinacji [**AB**] grup obciążeń, dla której warunek stanu granicznego nośności przekroju jest najniekorzystniejszy



Wielkości obliczeniowe:
N_{Sd}=0,000 kN,
$M_{Sd}=\sqrt{(M_{Sdx}^2+M_{Sdy}^2)}=\sqrt{(51{,}024^2+0{,}000^2)}$ =51,024 kNm
f_{cd}=10,7 MPa, f_{yd}=310 MPa =f_{td},
Zbrojenie rozciągane: A_{s1}=**8,04** cm^2,
Zbrojenie ściskane: A_{s2}=**8,04** cm^2,
$A_s=A_{s1}+A_{s2}$=16,08 cm^2, $\rho=100\times A_s/A_c$= 100×16,08/900=1,79 %

Wielkości geometryczne [cm]:
h=36,0, d=32,2, x=12,4 (ξ=0,384),
a_1=3,8, a_2=3,8, a_c=4,3, z_c=27,9, A_{cc}=309 cm^2,
ε_c=-0,70 ‰, ε_{s2}=-0,49 ‰, ε_{s1}=1,13 ‰,

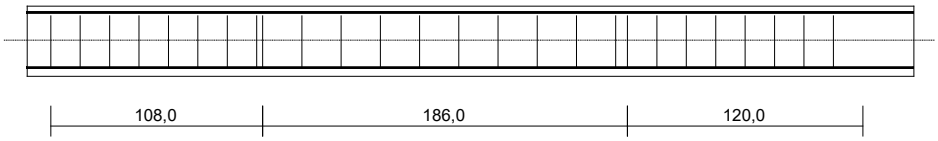
Wielkości statyczne [kN, kNm]:
F_c= -102,868, F_{s1} = 181,337, F_{s2} = -78,469,
M_c= 14,131, M_{s1} = 25,750, M_{s2} = 11,143,
Warunek stanu granicznego nośności:
M_{Rd} = **72,505 kNm** > $M_{Sd}=M_c+M_{s1}+M_{s2}$=14,131+(25,750)+(11,143)=**51,024** kNm

Zbrojenie poprzeczne (strzemiona)

Na całej długości pręta przyjęto strzemiona o średnicy ϕ=8 mm ze stali A-0, dla której f_{ywd} = 190 MPa.

Minimalny stopień zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_{w,min} = 0{,}08\ \sqrt{f_{ck}}\ /\ f_{yk} = 0{,}08\times \sqrt{16}\ /\ 355 = 0{,}00090$$



Rozstaw strzemion:

Strefa nr 1

Początek i koniec strefy: $x_a = 12{,}0$ $x_b = 120{,}0$ cm
Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla belek:

$s_{max} = 0{,}75\ d = 0{,}75\times 322 = 242$ $s_{max} \le 400$ mm
przyjęto $s_{max} = 242$ mm.

Ze względu na pręty ściskane $s_{max} = 15\ \phi = 15\times 16{,}0 = 240{,}0$ mm.

Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla słupów:

$s_{max} = \min\{h; b\} = \min\{250{,}0; 360{,}0\}=250{,}0$ $s_{max} \le 400$ mm
przyjęto $s_{max} = 250{,}0$ mm.

Ze względu na zbrojenie $s_{max} = 15\ \phi = 15\times 16{,}0 = 240{,}0$ mm.

Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **15,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw}\ /(s\ b_w \sin\alpha) = 1{,}01\ /\ (15{,}0\times 25{,}0\times 1{,}000) = 0{,}00268$$

$$\rho_w = \mathbf{0{,}00268 > 0{,}00090} = \rho_{w\,min}$$

Strefa nr 2

Początek i koniec strefy: $x_a = 120{,}0$ $x_b = 306{,}0$ cm
Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla belek:

$s_{max} = 0{,}75\ d = 0{,}75\times 322 = 242$ $s_{max} \le 400$ mm
przyjęto $s_{max} = 242$ mm.

Ze względu na pręty ściskane $s_{max} = 15\ \phi = 15\times 16{,}0 = 240{,}0$ mm.

Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla słupów:

$s_{max} = \min\{h; b\} = \min\{250{,}0; 360{,}0\}=250{,}0$ $s_{max} \le 400$ mm
przyjęto $s_{max} = 250{,}0$ mm.

Ze względu na zbrojenie $s_{max} = 15\ \phi = 15\times 16{,}0 = 240{,}0$ mm.

Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **20,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw}\ /(s\ b_w \sin\alpha) = 1{,}01\ /\ (20{,}0\times 25{,}0\times 1{,}000) = 0{,}00201$$

$$\rho_w = \mathbf{0{,}00201 > 0{,}00090} = \rho_{w\,min}$$

Strefa nr 3

Początek i koniec strefy: $x_a = 306{,}0$ $x_b = 426{,}0$ cm
Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla belek:

$s_{max} = 0{,}75\ d = 0{,}75\times 322 = 242$ $s_{max} \le 400$ mm
przyjęto $s_{max} = 242$ mm.

Ze względu na pręty ściskane $s_{max} = 15\ \phi = 15\times 16{,}0 = 240{,}0$ mm.

Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla słupów:

$s_{max} = \min\{h; b\} = \min\{250{,}0; 360{,}0\}=250{,}0$ $s_{max} \le 400$ mm
przyjęto $s_{max} = 250{,}0$ mm.

Ze względu na zbrojenie $s_{max} = 15\ \phi = 15\times16,0 = 240,0$ mm.

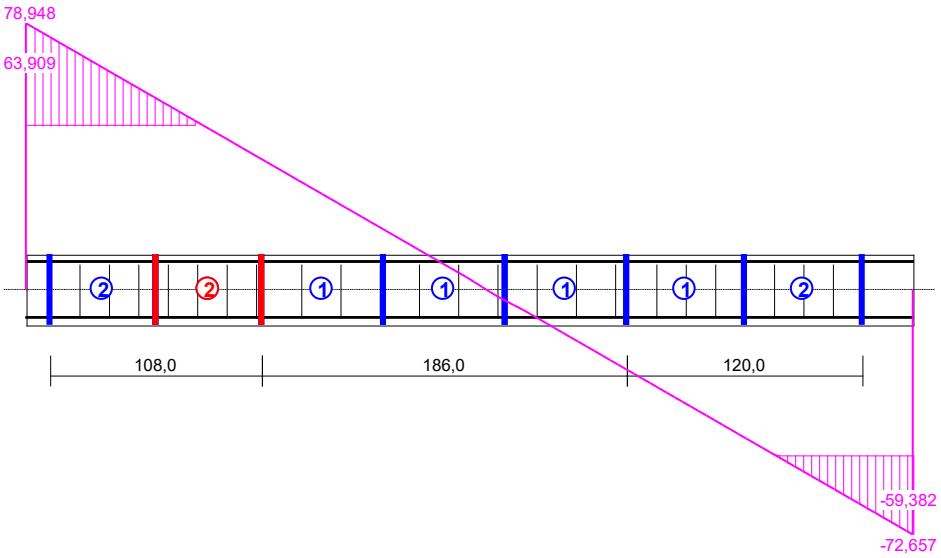
Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **15,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} /(s\ b_w \sin\alpha) = 1,01 / (15,0\times25,0\times1,000) = 0,00268$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00268 > 0,00090} = \rho_{w\ min}$$

Ścinanie

Przyjęto podparcie i obciążenie bezpośrednie.



Odcinek nr 2

Początek i koniec odcinka: $x_a = 66,0$ $x_b = 120,0$ cm

Siły przekrojowe: $N_{Sd} = 0,000$;

$V_{Sd\ max} = 56,811$ kN

Rodzaj odcinka:

$$\rho_L = \frac{A_{sL}}{b_w d} = \frac{8,04}{25,0\times32,2} = 0,00999; \qquad \rho_L \le 0,01$$

Przyjęto $\rho_L = 0,00999$.

$\sigma_{cp} = N_{Sd} / A_C = -0,000 / 1010,93 \times10 = -0,00$ MPa $\qquad \sigma_{cp} \le 0,2\ f_{cd}$

Przyjęto $\sigma_{cp} = -0,00$ MPa.

$$V_{Rd1} = [0,35\ k\ f_{ctd}\ (1,2 + 40\ \rho_L) + 0,15\ \sigma_{cp}]\ b_w\ d =$$

$$= [0,35\times1,28\times0,90\times(1,2+40\times0,00999) + 0,15\times-0,00]\times25,0\times32,2\times10^{-1} = 51,920 \text{ kN}$$

$V_{Sd} = 56,811 > 51,920 = V_{Rd1}$

Nośność odcinka II-go rodzaju:

Przyjęto kąt $\theta = 33,0°$

$$\nu = 0,6\ (1 - f_{ck} / 250) = 0,6\times(1 - 16 / 250) = 0,562$$

$$\Delta V_{Rd} = \frac{A_{sw2}\ f_{ywd2}}{s_2} z \cos\alpha \quad \times10^{-1} = 0 \text{ kN}$$

$$\Delta V_{Rd} \le \nu\ f_{cd} b_w z \frac{\cot\theta}{1+\cot^2\theta} \frac{\cot\alpha}{2\cot\theta + \cot\alpha} \quad \times10^{-1} = 0 \text{ kN}$$

Przyjęto $\Delta V_{Rd} = 0,000$ kN.

$$V_{Rd2} = \nu\, f_{cd}\, b_w\, z\, \frac{\cot\theta}{1+\cot^2\theta} + \Delta V_{Rd} =$$

$$= 0{,}562\times 10{,}7\times 25{,}0\times 29{,}0\, \frac{1{,}539}{1+1{,}539^2}\times 10^{-1} + 0{,}000 = 198{,}882 \text{ kN}$$

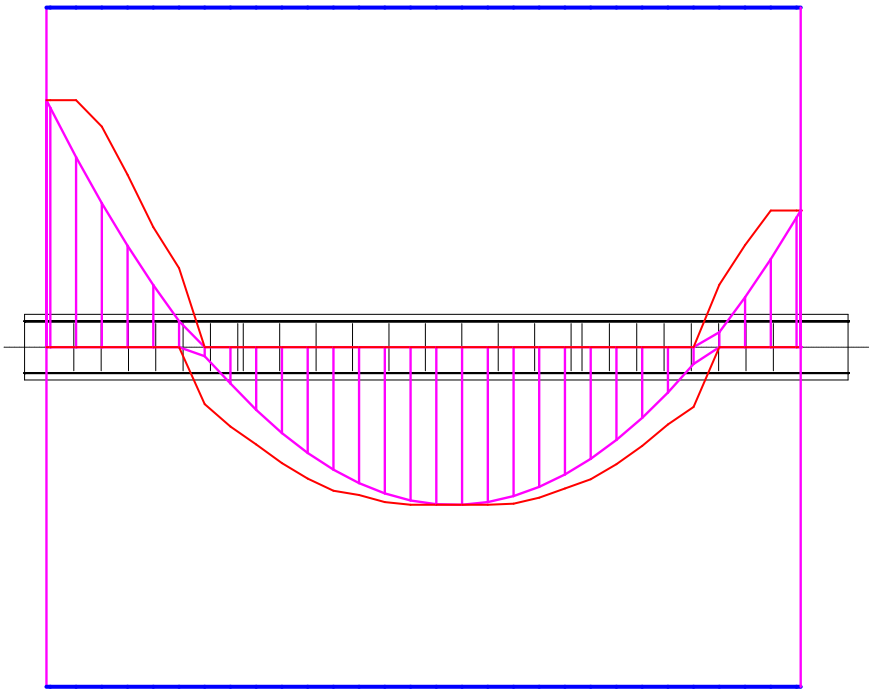
$V_{Sd} = \mathbf{56{,}811 < 198{,}882} = V_{Rd2}$

$$V_{Rd3} = V_{Rd31} + V_{Rd32} = \frac{A_{sw1}\, f_{ywd1}}{s_1}\, z\cot\theta + \frac{A_{sw2}\, f_{ywd2}}{s_2}\, z\,(\cot\theta+\cot\alpha)\sin\alpha =$$

$$= \frac{1{,}01\times 190}{15{,}0}\, 29{,}0\times 1{,}539\times 10^{-1} = 56{,}811 \text{ kN}$$

$V_{Sd} = \mathbf{56{,}811 < 56{,}811} = V_{Rd3}$

Nośność zbrojenia podłużnego



Sprawdzenie siły przenoszonej przez zbrojenie rozciągane dla x = 0,283 m:

$\Delta F_{td} = 0{,}5\,|V_{Sd}|\,(\cot\theta - V_{Rd32}/V_{Rd3}\,\cot\alpha) = 0{,}5\times 69{,}472\times(1{,}738 - -0{,}000/64{,}123\times -0{,}000) =$ 60,358 kN

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciąganym:

$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 139{,}464 + 60{,}358 = 199{,}822$ kN;

$F_{td} \le F_{td,max} = 181{,}337$ kN

Przyjęto $F_{td} = 181{,}337$ kN

$F_{td} = \mathbf{181{,}337 < 249{,}317} = 8{,}04\times 310\times 10^{-1} = A_s\, f_{yd}$

Zarysowanie

Położenie przekroju: x = 0,120 m

Siły przekrojowe: M_{Sd} = -37,017 kNm

N_{Sd} = 0,000 kN
V_{Sd} = 54,440 kN

Wymiary przekroju:
b_w = 25,0 cm
$d = h - a_1 = 36,0 - 3,8 = 32,2$ cm
$A_c = 900$ cm^2
$W_c = 5400$ cm^3

Minimalne zbrojenie:

Wymagane pole zbrojenia rozciąganego dla zginania, przy naprężeniach wywołanych przyczynami zewnętrznymi, wynosi:

$$A_s = k_c\, k\, f_{ct,eff}\, A_{ct} / \sigma_{s,lim} =$$
$$= 0,4 \times 1,0 \times 1,9 \times 450 / 240 = 1,43 \text{ cm}^2$$

A_{s1} = **8,04 > 1,43** = A_s

Zarysowanie:

$$M_{cr} = f_{ctm}\, W_c = 1,9 \times 5400 \times 10^{-3} = 10,260 \text{ kNm}$$
$$M_{Sd} = 37,017 > 10,260 = M_{cr}$$

Przekrój zarysowany.

Szerokość rozwarcia rysy prostopadłej do osi pręta:

Przyjęto $k_2 = 0,5$.

$$\rho_r = A_s / A_{ct,eff} = 8,04 / 197 = 0,04074$$
$$s_{rm} = 50 + 0,25\, k_1\, k_2\, \phi / \rho_r = 50 + 0,25 \times 0,8 \times 0,50 \times 16/0,04074 = 89,28$$
$$\varepsilon_{sm} = \sigma_s / E_s\, [1 - \beta_1 \beta_2\, (\sigma sr / \sigma s)^2] =$$
$$= 163,06/200000 \times [1 - 1,0 \times 0,5 \times (10,260/37,017)^2] = 0,00078$$
$$w_k = \beta\, s_{rm}\, \varepsilon_{sm} = 1,7 \times 89,28 \times 0,00078 = 0,12 \text{ mm}$$

w_k = **0,12 < 0,3** = w_{lim}

Szerokość rozwarcia rysy ukośnej:

$$\rho_{w1} = \frac{A_{sw1}}{s_1 b_w} = \frac{1,01}{15,0 \times 25,0} = 0,00268$$

$$\rho_{w2} = \frac{A_{s2}}{s_2 b_w \sin\alpha} = 0,00000$$

$$\rho_w = \rho_{w1} + \rho_{w2} = 0,00268 + 0,00000 = 0,00268$$

$$\lambda = \frac{1}{3\left[\frac{\rho_{w1}}{\eta_1 \phi_1} + \frac{\rho_{w2}}{\eta_2 \phi_2}\right]} = \frac{1}{3 \times [0,00268/(1,0 \times 8,0)]} = 994,72$$

$$\tau = \frac{V_{Sd}}{b_w d} = \frac{54,440}{25,0 \times 32,2} \times 10 = 0,676 \text{ MPa}$$

$$w_k = \frac{4\, \tau^2\, \lambda}{\rho_w E_s f_{ck}} = \frac{4 \times 0,676^2 \times 994,72}{0,00268 \times 200000 \times 16} = 0,21 \text{ mm}$$

w_k = **0,21 < 0,3** = w_{lim}

Ugięcia

zadanie Belka kalenicowa, pręt nr 4

Ugięcia wyznaczono dla charakterystycznych obciążeń długotrwałych.

Współczynniki pełzania dla obciążeń długotrwałych przyjęto równy $\phi(t,t_o) = 2,00$.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1+\phi(t,t_o)} = \frac{29000}{1+2,00} = 9667 \text{ MPa}$$

Moment rysujący:

$$M_{cr} = f_{ctm}\, W_c = 1,9 \times 5400 \times 10^{-3} = 10,260 \text{ kNm}$$

Całkowity moment zginający $M_{Sd} = -43,725$ kN powoduje zarysowanie przekroju.

Sztywność dla długotrwałego działania obciążeń długotrwałych:

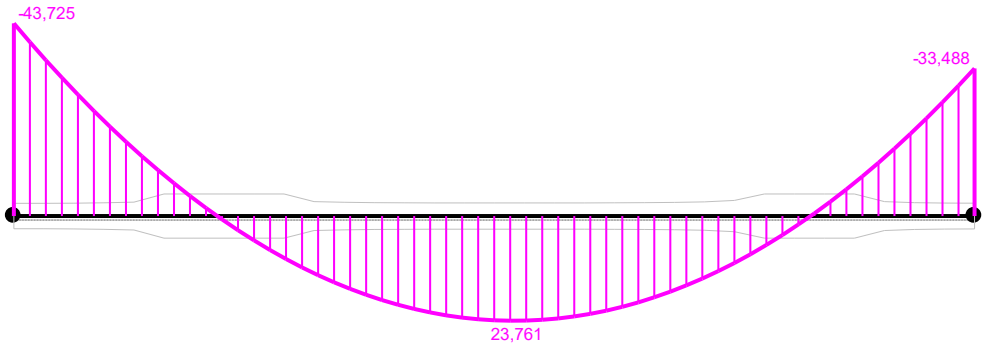
Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M_{Sd} = -43,725$ kNm.

Wielkości geometryczne przekroju: $x_I = 18,0$ cm $I_I = 164304$ cm^4

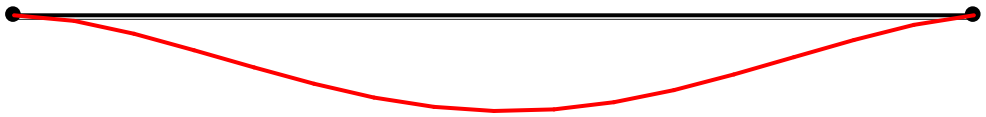
$x_{II} = 12,3$ cm $I_{II} = 93424$ cm^4

$$B = \frac{E_{c,eff} I_{II}}{1-\beta_1\beta_2 (M_{cr}/M_{Sd})^2 (1-I_{II}/I_I)} =$$

$$= \frac{9667 \times 93424}{1 - 1,0 \times 0,5 \times (10,260/43,725)^2 \times (1 - 93424/164304)} \times 10^{-5} = 9140 \text{ kNm}^2$$



Wykres sztywności i momentów dla obciążeń długotrwałych.



Ugięcia.

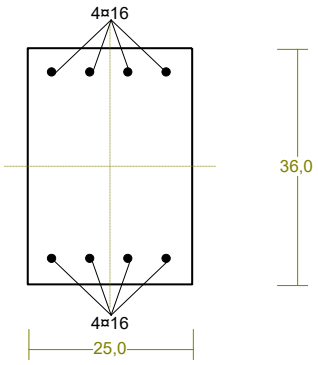
Ugięcie w punkcie o współrzędnej x = 2,260 m, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta (1/ρ) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

$a = a_{\infty,d} = 3,2$ mm

$a = \mathbf{3,2 < 18,1} = a_{lim}$

Cechy przekroju (Skrócony) – przęsło 3:

Belka kalenicowa, pręt nr 5, przekrój: x_a=1,28 m, x_b=1,28 m



Wymiary przekroju [cm]:
h=36,0, b=25,0,
Cechy materiałowe dla sytuacji stałej lub przejściowej

BETON: **B20**

f_{ck}= **16,0** MPa, $f_{cd}=\alpha\cdot f_{ck}/\gamma_c=1{,}00\times 16{,}0/1{,}50=$**10,7** MPa

Cechy geometryczne przekroju betonowego:

A_c=**900** cm^2, J_{cx}=**97200** cm^4, J_{cy}=**46875** cm^4

STAL: **A-II** (**St50B**)

f_{yk}=355 MPa, γ_s=1,15, f_{yd}=310 MPa

$\xi_{lim}=0{,}0035/(0{,}0035+f_{yd}/E_s)=0{,}0035/(0{,}0035+310/200000)=0{,}693$,

Zbrojenie główne:

$A_{s1}+A_{s2}$=**16,08** cm^2, $\rho=100\ (A_{s1}+A_{s2})/A_c=100\times 16{,}08/900=$**1,79** %,

J_{sx}=**3243** cm^4, J_{sy}=**676** cm^4,

Siły przekrojowe:

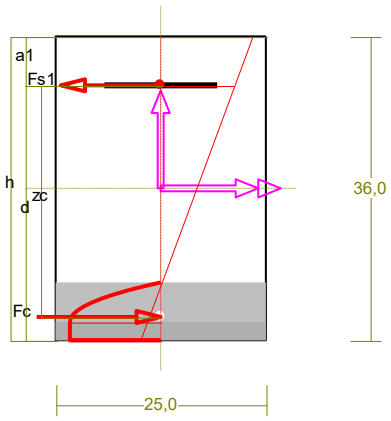
Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **AB**

Momenty zginające:	M_x = -6,372 kNm,	M_y = 0,000 kNm,
Siły poprzeczne:	V_y = 19,479 kN,	V_x = 0,000 kN,
Siła osiowa:	N = 0,000 kN = N_{Sd}, .	

Zbrojenie wymagane:

Obliczenia wykonano:

- dla kombinacji [**AB**] grup obciążeń, dla której suma zbrojenia wymaganego jest największa



Wielkości obliczeniowe:

N_{Sd}=0,000 kN,

$M_{Sd}=\sqrt{(M_{Sdx}^2+M_{Sdy}^2)}=\sqrt{(38{,}790^2+0{,}000^2)}=38{,}790$ kNm

f_{cd}=10,7 MPa, f_{yd}=310 MPa =f_{td},

Zbrojenie rozciągane (ε_{s1}=9,98 ‰):
A_{s1}=**4,56** cm^2 $\Rightarrow$ (3¤16 = 6,03 cm^2),
Dodatkowe zbrojenie ściskane nie jest obliczeniowo wymagane.
$A_s=A_{s1}+A_{s2}$=4,56 cm^2, $\rho=100\times A_s/A_c$= 100×4,56/900=0,51 %

Wielkości geometryczne [cm]:

h=36,0, d=30,2, x=6,8 (ξ=0,227),
a_1=5,8, a_c=2,8, z_c=27,4, A_{cc}=171 cm^2,
ε_c=-2,93 ‰, ε_{s1}=9,98 ‰,

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

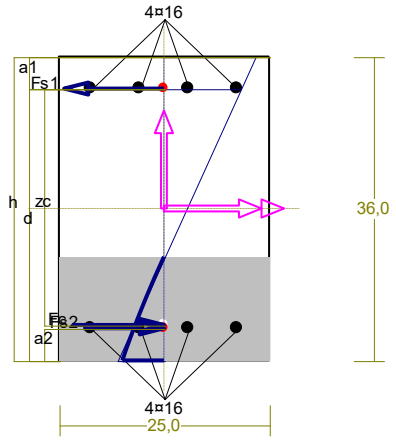
F_c= -141,365, F_{s1} = 141,350,
M_c= 21,548, M_{s1} = 17,245,

Warunki równowagi wewnętrznej:

F_c+F_{s1}=-141,365+(141,350)=-0,015 kN (N_{Sd}=0,000 kN)
M_c+M_{s1}=21,548+(17,245)=38,792 kNm (M_{Sd}=38,790 kNm)

Nośność przekroju prostopadłego:

Obliczenia wykonano dla kombinacji [**AB**] grup obciążeń, dla której warunek stanu granicznego nośności przekroju jest najniekorzystniejszy



Wielkości obliczeniowe:
N_{Sd}=0,000 kN,
$M_{Sd}=\sqrt{(M_{Sdx}^2+ M_{Sdy}^2)}$ = $\sqrt{(38,790^2+0,000^2)}$ =38,790 kNm
f_{cd}=10,7 MPa, f_{yd}=310 MPa =f_{td},
Zbrojenie rozciągane: A_{s1}=**8,04** cm^2,
Zbrojenie ściskane: A_{s2}=**8,04** cm^2,
$A_s=A_{s1}+A_{s2}$=16,08 cm^2, $\rho=100\times A_s/A_c$= 100×16,08/900=1,79 %
Wielkości geometryczne [cm]:
h=36,0, d=32,2, x=12,3 (ξ=0,381),
a_1=3,8, a_2=3,8, a_c=4,2, z_c=28,0, A_{cc}=307 cm^2,
ε_c=-0,53 ‰, ε_{s2}=-0,36 ‰, ε_{s1}=0,86 ‰,
Wielkości statyczne [kN, kNm]:
F_c= -79,058, F_{s1} = 137,677, F_{s2} = -58,619,
M_c= 10,916, M_{s1} = 19,550, M_{s2} = 8,324,
Warunek stanu granicznego nośności:
M_{Rd} = **72,505 kNm** > $M_{Sd}=M_c+M_{s1}+M_{s2}$=10,916+(19,550)+(8,324)=**38,790** kNm

Zbrojenie poprzeczne (strzemiona)

Na całej długości pręta przyjęto strzemiona o średnicy ϕ=8 mm ze stali A-0, dla której f_{ywd} = 190 MPa.

Minimalny stopień zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_{w,min} = 0,08\ \sqrt{f_{ck}}\ /\ f_{yk} = 0,08\times \sqrt{16}\ /\ 355 = 0,00090$$



Rozstaw strzemion:

Strefa nr 1

Początek i koniec strefy: $x_a = 12,0$ $x_b = 60,0$ cm
Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla belek:

$s_{max} = 0,75\ d = 0,75\times 322 = 242$ $s_{max} \le 400$ mm
przyjęto $s_{max} = 242$ mm.

Ze względu na pręty ściskane $s_{max} = 15\ \phi = 15\times 16,0 = 240,0$ mm.

Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla słupów:

$s_{max} = \min\{h; b\} = \min\{250,0; 360,0\}=250,0$ $s_{max} \le 400$ mm
przyjęto $s_{max} = 250,0$ mm.

Ze względu na zbrojenie $s_{max} = 15\ \phi = 15\times 16,0 = 240,0$ mm.

Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **15,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} /(s\ b_w \sin\alpha) = 1,01 / (15,0\times 25,0\times 1,000) = 0,00268$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00268 > 0,00090} = \rho_{w\ min}$$

Strefa nr 2

Początek i koniec strefy: $x_a = 60,0$ $x_b = 170,0$ cm
Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla belek:

$s_{max} = 0,75\ d = 0,75\times 322 = 242$ $s_{max} \le 400$ mm
przyjęto $s_{max} = 242$ mm.

Ze względu na pręty ściskane $s_{max} = 15\ \phi = 15\times 16,0 = 240,0$ mm.

Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla słupów:

$s_{max} = \min\{h; b\} = \min\{250,0; 360,0\}=250,0$ $s_{max} \le 400$ mm
przyjęto $s_{max} = 250,0$ mm.

Ze względu na zbrojenie $s_{max} = 15\ \phi = 15\times 16,0 = 240,0$ mm.

Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **20,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} /(s\ b_w \sin\alpha) = 1,01 / (20,0\times 25,0\times 1,000) = 0,00201$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00201 > 0,00090} = \rho_{w\ min}$$

Strefa nr 3

Początek i koniec strefy: $x_a = 170,0$ $x_b = 230,0$ cm
Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla belek:

$s_{max} = 0,75\ d = 0,75\times 322 = 242$ $s_{max} \le 400$ mm
przyjęto $s_{max} = 242$ mm.

Ze względu na pręty ściskane $s_{max} = 15\ \phi = 15\times 16,0 = 240,0$ mm.

Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla słupów:

$s_{max} = \min\{h; b\} = \min\{250,0; 360,0\}=250,0$ $s_{max} \le 400$ mm

przyjęto s_{max} = 250,0 mm.

Ze względu na zbrojenie s_{max} = 15 ϕ = 15×16,0 = 240,0 mm.

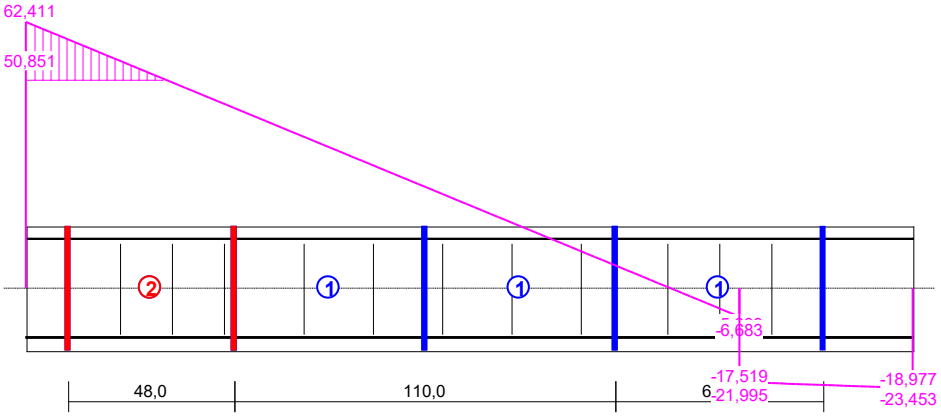
Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **15,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} /(s\, b_w \sin\alpha) = 1{,}01 / (15{,}0\times 25{,}0\times 1{,}000) = 0{,}00268$$

$$\rho_w = \mathbf{0{,}00268 > 0{,}00090} = \rho_{w\,min}$$

Ścinanie

Przyjęto podparcie lub obciążenie pośrednie.



Odcinek nr 1

Początek i koniec odcinka: x_a = 12,0 x_b = 60,0 cm

Siły przekrojowe: N_{Sd} = 0,000;

$V_{Sd\,max}$ = 58,386 kN

Rodzaj odcinka:

$$\rho_L = \frac{A_{sL}}{b_w d} = \frac{8{,}04}{25{,}0\times 32{,}2} = 0{,}00999; \qquad \rho_L \le 0{,}01$$

Przyjęto ρ_L = 0,00999.

$$\sigma_{cp} = N_{Sd} / A_C = -0{,}000 / 1010{,}93 \times 10 = -0{,}00\ \text{MPa} \qquad \sigma_{cp} \le 0{,}2\, f_{cd}$$

Przyjęto σ_{cp} = -0,00 MPa.

$$V_{Rd1} = [0{,}35\, k\, f_{ctd}\,(1{,}2 + 40\,\rho_L) + 0{,}15\,\sigma_{cp}]\, b_w\, d =$$

$$= [0{,}35\times 1{,}28\times 0{,}90\times(1{,}2+40\times 0{,}00999) + 0{,}15\times -0{,}00]\times 25{,}0\times 32{,}2\times 10^{-1} = 51{,}920\ \text{kN}$$

V_{Sd} = 58,386 > 51,920 = V_{Rd1}

Nośność odcinka II-go rodzaju:

Przyjęto kąt θ = 31,4°

$$\nu = 0{,}6\,(1 - f_{ck} / 250) = 0{,}6\times(1 - 16 / 250) = 0{,}562$$

$$\Delta V_{Rd} = \frac{A_{sw2}\, f_{ywd2}}{s_2} z \cos\alpha \quad \times 10^{-1} = 0\ \text{kN}$$

$$\Delta V_{Rd} \le \nu\, f_{cd} b_w z \frac{\cot\theta}{1+\cot^2\theta} \frac{\cot\alpha}{2\cot\theta + \cot\alpha} \quad \times 10^{-1} = 0\ \text{kN}$$

Przyjęto ΔV_{Rd} = 0,000 kN.

$$V_{Rd2} = \nu\, f_{cd}\, b_w\, z \frac{\cot\theta}{1+\cot^2\theta} + \Delta V_{Rd} =$$

$$= 0{,}562\times10{,}7\times25{,}0\times28{,}0\ \frac{1{,}637}{1+1{,}637^2}\times10^{-1} + 0{,}000 = 187{,}173\ \text{kN}$$

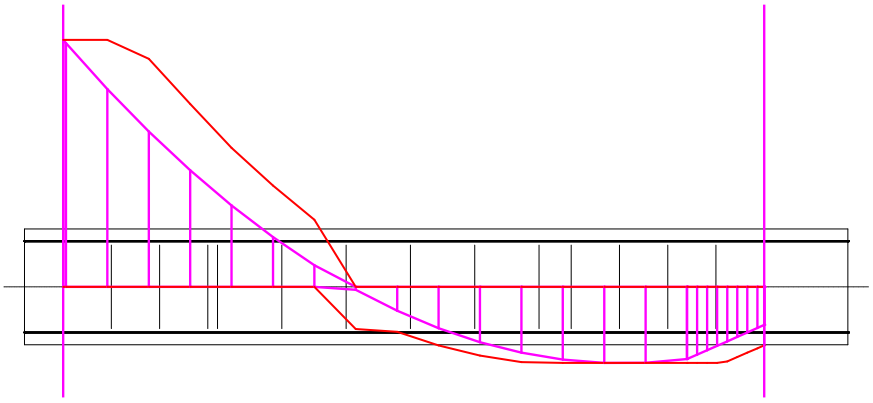
V_{Sd} = **58,386 < 187,173** = V_{Rd2}

$$V_{Rd3} = V_{Rd31} + V_{Rd32} = \frac{A_{sw1}\ f_{ywd1}}{s_1}\ z\ \cot\theta + \frac{A_{sw2}\ f_{ywd2}}{s_2}\ z\ (\cot\theta + \cot\alpha)\ \sin\alpha\ =$$

$$= \frac{1{,}01\times190}{15{,}0}\ 28{,}0\times1{,}637\ \times10^{-1} = 58{,}386\ \text{kN}$$

V_{Sd} = **58,386 < 58,386** = V_{Rd3}

Nośność zbrojenia podłużnego



Sprawdzenie siły przenoszonej przez zbrojenie rozciągane dla x = 0,120 m:

$\Delta F_{td} = 0{,}5\ |V_{Sd}|\ (\cot\theta - V_{Rd32}/\ V_{Rd3}\ \cot\alpha) = 0{,}5\times58{,}386\times(1{,}637 - 0{,}000/58{,}386\ \times\text{-}0{,}000) =$
47,791 kN

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciąganym:

$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 137{,}677 + 47{,}791 = 185{,}468$ kN;

$F_{td} \le F_{td,max} = 137{,}677$ kN

Przyjęto $F_{td} = 137{,}677$ kN

F_{td} = **137,677 < 249,317** = $8{,}04\times310\ \times10^{-1} = A_s\ f_{yd}$

Zarysowanie

Położenie przekroju:	x = 0,120 m
Siły przekrojowe:	M_{Sd} = -28,219 kNm
	N_{Sd} = 0,000 kN
	V_{Sd} = 42,448 kN
Wymiary przekroju:	b_w = 25,0 cm
	$d = h - a_1 = 36{,}0 - 3{,}8 = 32{,}2$ cm
	A_c = 900 cm^2
	W_c = 5400 cm^3

Minimalne zbrojenie:

Wymagane pole zbrojenia rozciąganego dla zginania, przy naprężeniach wywołanych przyczynami zewnętrznymi, wynosi:

$A_s = k_c\ k\ f_{ct,eff}\ A_{ct}\ /\ \sigma_{s,lim} =$

$= 0{,}4\times1{,}0\times1{,}9\times450\ /\ 240 = 1{,}43$ cm^2

A_{s1} = **8,04 > 1,43** = A_s

Zarysowanie:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 1,9 \times 5400 \times 10^{-3} = 10,260 \text{ kNm}$$
$$M_{Sd} = 28,219 > 10,260 = M_{cr}$$

Przekrój zarysowany.

Szerokość rozwarcia rysy prostopadłej do osi pręta:

Przyjęto $k_2 = 0,5$.

$\rho_r = A_s / A_{ct,eff} = 8,04 / 197 = 0,04074$

$s_{rm} = 50 + 0,25\ k_1\ k_2\ \phi / \rho_r = 50 + 0,25 \times 0,8 \times 0,50 \times 16/0,04074 = 89,28$

$\varepsilon_{sm} = \sigma_s / E_s\ [1 - \beta_1\beta_2\ (\sigma sr / \sigma s)^2] =$

$= 124,31/200000 \times [1 - 1,0 \times 0,5 \times (10,260/28,219)^2] = 0,00058$

$w_k = \beta\ s_{rm}\ \varepsilon_{sm} = 1,7 \times 89,28 \times 0,00058 = 0,09$ mm

$$w_k = \mathbf{0,09 < 0,3} = w_{lim}$$

Szerokość rozwarcia rysy ukośnej:

$$\rho_{w1} = \frac{A_{sw1}}{s_1 b_w} = \frac{1,01}{15,0 \times 25,0} = 0,00268$$

$$\rho_{w2} = \frac{A_{s2}}{s_2 b_w \sin\alpha} = 0,00000$$

$\rho_w = \rho_{w1} + \rho_{w2} = 0,00268 + 0,00000 = 0,00268$

$$\lambda = \frac{1}{3\left[\frac{\rho_{w1}}{\eta_1\phi_1} + \frac{\rho_{w2}}{\eta_2\phi_2}\right]} = \frac{1}{3 \times [0,00268/(1,0 \times 8,0)]} = 994,72$$

$$\tau = \frac{V_{Sd}}{b_w d} = \frac{42,448}{25,0 \times 32,2} \times 10 = 0,527 \text{ MPa}$$

$$w_k = \frac{4\ \tau^2\ \lambda}{\rho_w E_s f_{ck}} = \frac{4 \times 0,527^2 \times 994,72}{0,00268 \times 200000 \times 16} = 0,13 \text{ mm}$$

$$w_k = \mathbf{0,13 < 0,3} = w_{lim}$$

Ugięcia

Ugięcia wyznaczono dla charakterystycznych obciążeń długotrwałych.

Współczynniki pełzania dla obciążeń długotrwałych przyjęto równy $\phi(t,t_o) = 2,00$.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(t, t_o)} = \frac{29000}{1 + 2,00} = 9667 \text{ MPa}$$

Moment rysujący:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 1,9 \times 5400 \times 10^{-3} = 10,260 \text{ kNm}$$

Całkowity moment zginający $M_{Sd} = -33,488$ kN powoduje zarysowanie przekroju.

Sztywność dla długotrwałego działania obciążeń długotrwałych:

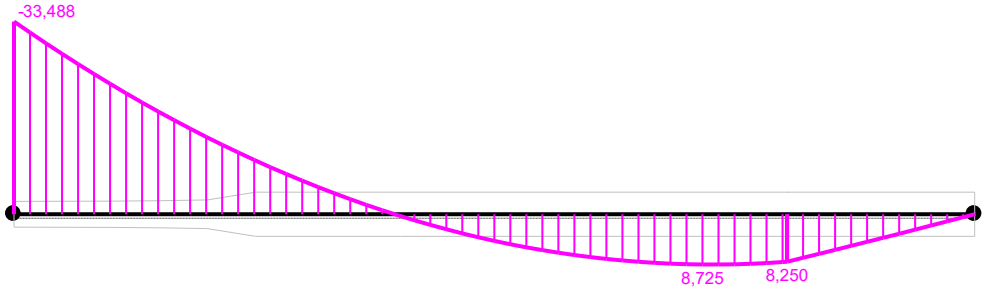
Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M_{Sd} = -33,488$ kNm.

Wielkości geometryczne przekroju: $x_I = 18,0$ cm $I_I = 164304$ cm^4

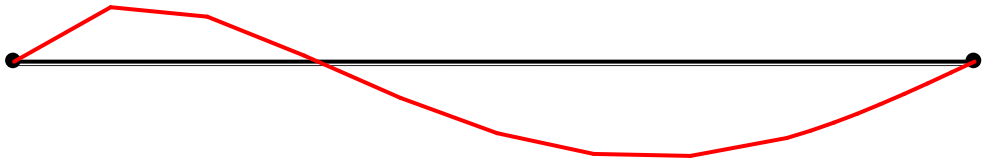
$x_{II} = 12,3$ cm $I_{II} = 93424$ cm^4

$$B = \frac{E_{c,eff} I_{II}}{1 - \beta_1 \beta_2 (M_{cr} / M_{Sd})^2 (1 - I_{II} / I_I)} =$$

$$= \frac{9667 \times 93424}{1 - 1{,}0 \times 0{,}5 \times (10{,}260/33{,}488)^2 \times (1 - 93424/164304)} \times 10^{-5} = 9218 \text{ kNm}^2$$



Wykres sztywności i momentów dla obciążeń długotrwałych.



Ugięcia.

Ugięcie w punkcie o współrzędnej x = 1,674 m, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta (1/ρ) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

$a = a_{\infty,d} = 0{,}2$ mm

$a = \mathbf{0{,}2 < 10{,}2} = a_{lim}$

Wnioski:

Konstrukcja belki kalenicowej w stanie istniejącym posiada wystarczającą nośność oraz spełnia warunki dopuszczalnych ugięć. Jednakże w pierwszym przęśle, które podpiera dach w konstrukcji drewnianej przy zwiększeniu obciążeń stałych, konieczne będzie wprowadzenie dodatkowej podpory w postaci słupa w połowie rozpiętości przęsła.

W kolejnych przęsłach rezerwy nośności nie są zbyt duże stąd niemożliwe jest usunięcie obecnych podpór w postaci słupów żeliwnych. Ich usunięcie możliwe jest tylko w przypadku wykonania obok nowych słupów żelbetowych zachowując ilość podparć belki kaleniocwej.