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

REMONT I PRZEBUDOWA BUDYNKU NR 75 NA TERENIE KOMPLEKSU 3 ŁSSE S.A.

Raport obliczeniowy

Lokalizacja:

ul. ks. Tymienieckiego 22G
90-349 Łódź
dz. nr ewid. 80/40 obręb W-25 m. 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 5

3.1. Krokwie dachu drewnianego po zagęszczeniu rozstawu 5

3.2. Belki stropowe DMS 12

3.3. Żelbetowa belka kalenicowa 24

3.4. Słup żelbetowy 67

3.5. Stopa fundamentowa 74

1. Zakres opracowania

Celem niniejszego opracowania jest zaprojektowanie wzmocnień 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 projektowanym

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
Dodatkowe obciążenie	-	-	0,150	1,35	1,00	0,20
		suma	0,430	1,35	-	0,58

Rozstaw krokwi [m]	Obc. na 1mb
0,42	0,18 kN/m

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**

Rozstaw krokwi [m]	Obc. na 1mb
0,42	0,30 kN/m

Obciążenie wiatrem dachu 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			
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	
β=	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**

Rozstaw [m]	Obc. na 1mb
0,42	-0,13 kN/m
	-0,06 kN/m

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	μ_1=	0,8	
Wartość obciążenia równomiernego dachu	**s=**	**0,72**	**kN/m^2**

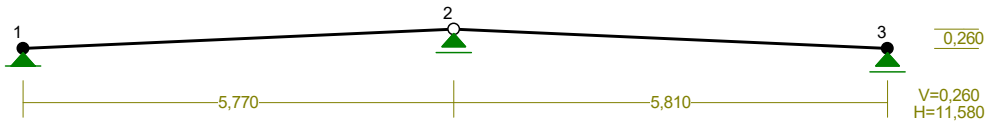
Dla obciążeń określono pasma zbierania obciążeń dla krokwi oraz belek DMS i wynoszą one następująco:

- 0,42m – maksymalny rozstaw krokwi po ich zagęszczeniu
- 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

3.1. Krokwie dachu drewnianego po zagęszczeniu rozstawu

WĘZŁY:



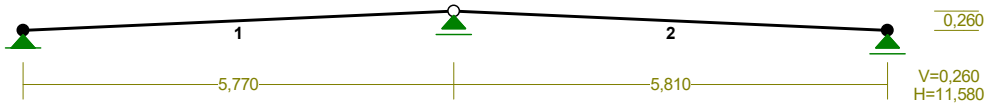
WĘZŁY:

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

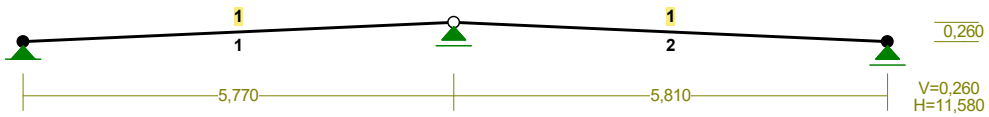
PODPORY: P o d a t n o ś c i

Węzeł:	Rodzaj:	Kąt:	Dx(Do*): [m / k N]	Dy:	DFi: [rad/kNm]
1	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

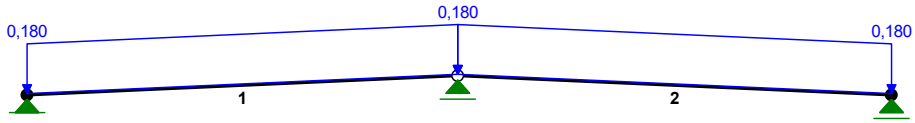
WIELKOŚCI PRZEKROJOWE:

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

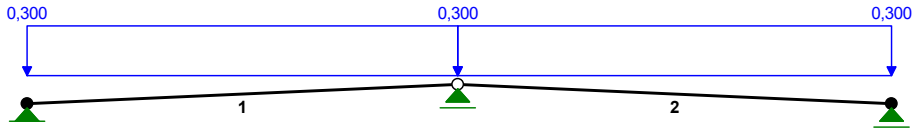
OBCIĄŻENIA:



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	0,180	0,180	0,00	5,78
2	Liniowe	0,0	0,180	0,180	0,00	5,82

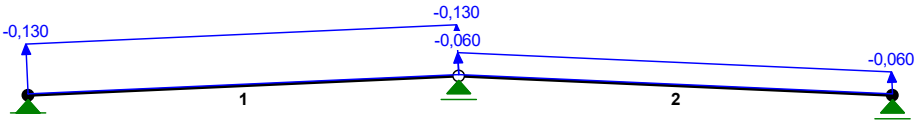
OBCIĄŻENIA:



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	0,300	0,300	0,00	5,78
2	Liniowe-Y	0,0	0,300	0,300	0,00	5,82

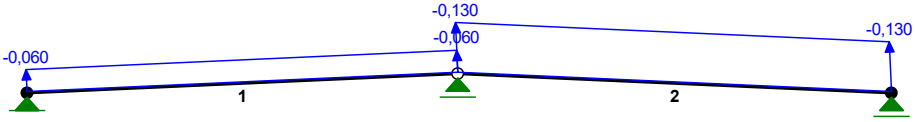
OBCIĄŻENIA:



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	-0,130	-0,130	0,00	5,78
2	Liniowe	2,6	-0,060	-0,060	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	-0,060	-0,060	0,00	5,78
2	Liniowe	2,6	-0,130	-0,130	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

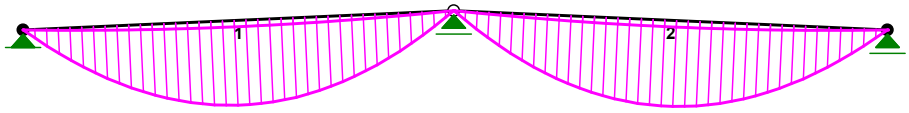
RELACJE GRUP OBCIĄŻEŃ:

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

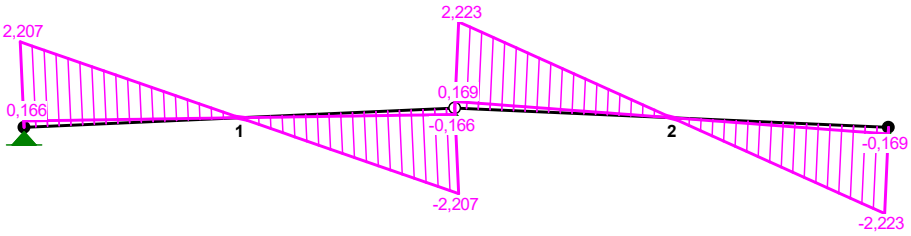
KRYTERIA KOMBINACJI OBCIĄŻEŃ:

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

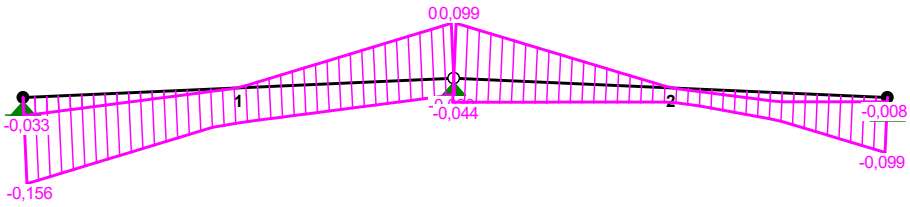
MOMENTY-OBWIEDNIE:



TNĄCE-OBWIEDNIE:



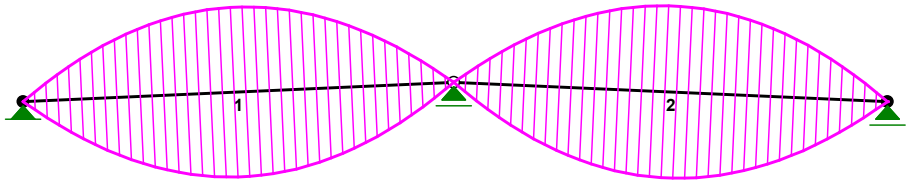
NORMALNE-OBWIEDNIE:



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	**3,187***	-0,000	-0,000	AB
	5,776	**-0,000***	-2,207	0,099	AB
	0,000	**0,000***	1,973	-0,156	ABD
	0,000	-0,000	**2,207***	-0,099	AB
	5,776	-0,000	**-2,207***	0,099	AB
	5,776	-0,000	-2,207	**0,099***	AB
	0,000	0,000	1,973	**-0,156***	ABD
2	2,908	**3,232***	-0,000	0,000	AB
	0,000	**0,000***	2,223	0,099	AB
	5,816	**-0,000***	-2,223	-0,099	AB
	0,000	0,000	**2,223***	0,099	AB
	5,816	-0,000	**-2,223***	-0,099	AB
	0,000	0,000	2,223	**0,099***	AB
	5,816	-0,000	-2,223	**-0,099***	AB

NAPĘŻENIA-OBWIEDNIE:



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

Pręt:	x[m]:	SigmaG: Ro	SigmaD: Ro	Sigma: [MPa]	Kombinacja obciążeń:
1	5,776	**0,000***		0,008	AB
	2,888	**-0,389***		-9,338	AB
	2,888		**0,389***	9,338	AB
	0,000		**-0,001***	-0,012	ABD
2	0,000	**0,000***		0,008	AB
	2,908	**-0,394***		-9,468	AB
	2,908		**0,394***	9,468	AB
	5,816		**-0,000***	-0,008	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	**0,074***	0,655	0,659		AD
	0,074*	0,473	0,478		aD
	-0,000*	2,210	2,210		AB
	-0,000*	0,729	0,729		a
	-0,000*	0,911	0,911		A
	-0,000	**2,210***	2,210		AB
	0,074	**0,169***	0,185		aC
	-0,000	2,210	**2,210***		AB

2	**-0,000***	4,435	4,435	AB
	0,000*	0,634	0,634	aD
	0,000*	1,829	1,829	A
	-0,000	**4,435***	4,435	AB
	0,000	**0,634***	0,634	aD
	-0,000	4,435	**4,435***	AB
3	**0,000***	2,225	2,225	AB
	-0,000*	0,169	0,169	aD
	0,000*	0,918	0,918	A
	0,000	**2,225***	2,225	AB
	-0,000	**0,169***	0,169	aD
	0,000	2,225	**2,225***	AB

* = Wartości ekstremalne

PRZEMIESZCZENIA - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu

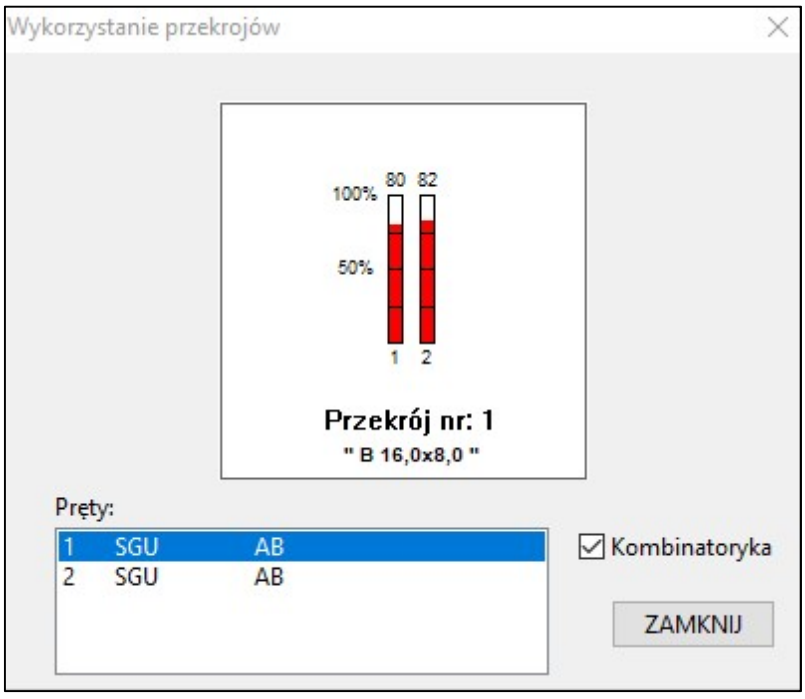
Obciążenia obl.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

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

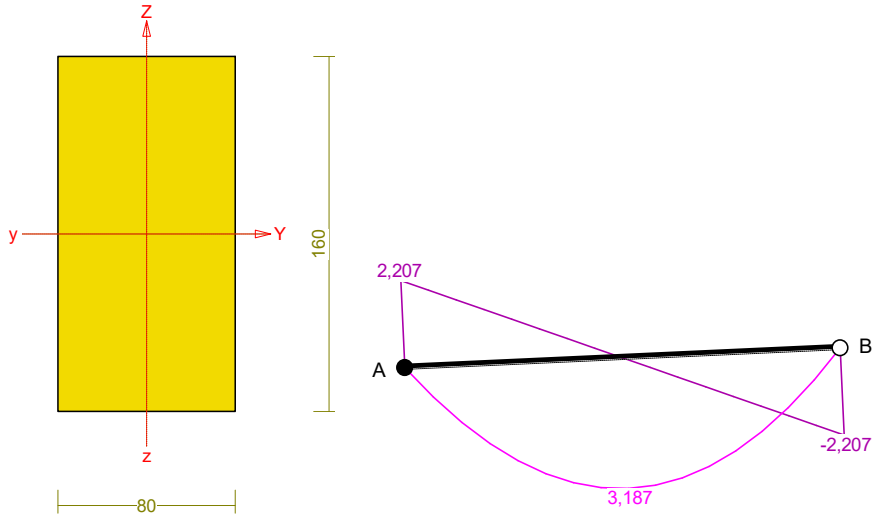
DEFORMACJE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu

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

Pręt:	L/f:	Kombinacja obciążeń:
1	156,6	AB
2	153,4	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 „AB”.
Pole powierzchni przekroju netto $A_n = 128{,}00$ cm^2.

$$\sigma_{t,0,d} = N / A_n = 0{,}099 / 128{,}00 \times 10 = \mathbf{0{,}01 < 8{,}92} = f_{t,0,d}$$

Nośność na ściskanie:

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

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 0{,}156 / 128{,}00 \times 10 = \mathbf{0{,}01 < 2{,}64} = 0{,}204 \times 12{,}92 = k_c f_{c,0,d}$$

Ściskanie ze zginaniem dla x_a=2,89 m; x_b=2,89 m, przy obciążeniach „AB”:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0{,}00}{0{,}204 \times 12{,}92} + 0{,}7 \times \frac{0{,}00}{14{,}77} + \frac{9{,}34}{14{,}77} = \mathbf{0{,}632 < 1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0{,}00}{0{,}204 \times 12{,}92} + \frac{0{,}00}{14{,}77} + 0{,}7 \times \frac{9{,}34}{14{,}77} = \mathbf{0{,}443 < 1}$$

Nośność na zginanie:

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

Warunek stateczności:

$$\sigma_{m,d} = M / W = 3{,}187 / 341{,}33 \times 10^3 = \mathbf{9{,}34 < 14{,}77} = 1{,}000 \times 14{,}77 = k_{crit} f_{m,d}$$

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

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{9{,}34}{14{,}77} + 0{,}7 \times \frac{0{,}00}{14{,}77} = \mathbf{0{,}632 < 1}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}7 \times \frac{9{,}34}{14{,}77} + \frac{0{,}00}{14{,}77} = \mathbf{0{,}443 < 1}$$

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

$$\frac{\sigma^2_{c,0,d}}{f^2_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0{,}00^2}{12{,}92^2} + \frac{9{,}34}{14{,}77} + 0{,}7 \times \frac{0{,}00}{14{,}77} = \mathbf{0{,}632 < 1}$$

$$\frac{\sigma^2_{c,0,d}}{f^2_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0{,}00^2}{12{,}92^2} + 0{,}7 \times \frac{9{,}34}{14{,}77} + \frac{0{,}00}{14{,}77} = \mathbf{0{,}443 < 1}$$

Nośność na ścinanie:

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

Warunek nośności

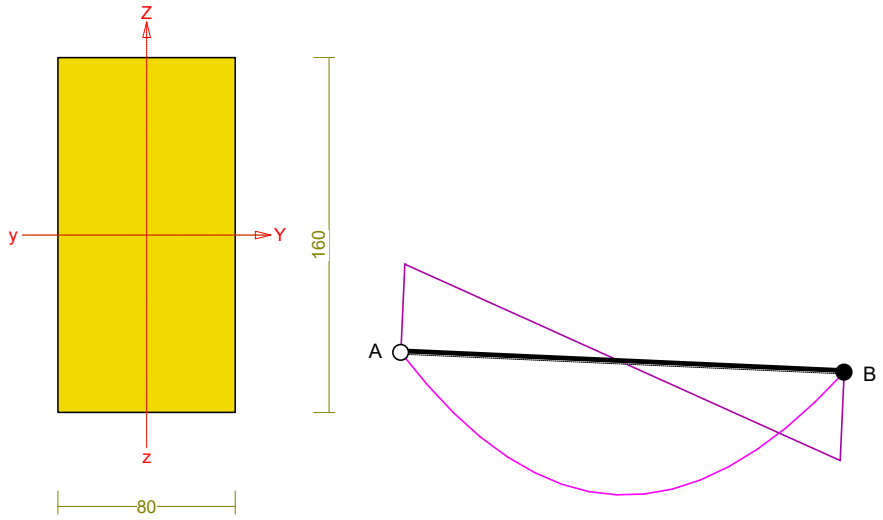
$$\tau_d = \sqrt{\tau_{z,d}^2 + \tau_{y,d}^2} = \sqrt{0{,}34^2 + 0{,}00^2} = \mathbf{0{,}34 < 0{,}98} = 0{,}398 \times 2{,}46 = k_v f_{v,d}$$

Stan graniczny użytkowania:

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

$$u_{z,fin} = -20{,}3 + -14{,}4 = \mathbf{34{,}7 < 43{,}3} = u_{net,fin}$$

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 „AB”.

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

$$\sigma_{t,0,d} = N / A_n = 0{,}099 / 128{,}00 \times 10 = \mathbf{0{,}01 < 8{,}92} = f_{t,0,d}$$

Nośność na ściskanie:

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

Nośność na ściskanie:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_d = 0{,}099 / 128{,}00 \times 10 = \mathbf{0{,}01 < 2{,}60} = 0{,}201 \times 12{,}92 = k_c f_{c,0,d}$$

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

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0{,}00}{0{,}201 \times 12{,}92} + 0{,}7 \times \frac{0{,}00}{14{,}77} + \frac{9{,}32}{14{,}77} = \mathbf{0{,}631 < 1}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{0{,}00}{0{,}201 \times 12{,}92} + \frac{0{,}00}{14{,}77} + 0{,}7 \times \frac{9{,}32}{14{,}77} = \mathbf{0{,}442 < 1}$$

Nośność na zginanie:

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

Warunek stateczności:

$$\sigma_{m,d} = M / W = 3{,}232 / 341{,}33 \times 10^3 = \mathbf{9{,}47 < 14{,}77} = 1{,}000 \times 14{,}77 = k_{crit} f_{m,d}$$

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

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,00}{8,92} + \frac{9,47}{14,77} + 0,7 \times \frac{0,00}{14,77} = \mathbf{0,641 < 1}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,00}{8,92} + 0,7 \times \frac{9,47}{14,77} + \frac{0,00}{14,77} = \mathbf{0,449 < 1}$$

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

$$\frac{\sigma^2_{c,0,d}}{f^2_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,00^2}{12,92^2} + \frac{9,32}{14,77} + 0,7 \times \frac{0,00}{14,77} = \mathbf{0,631 < 1}$$

$$\frac{\sigma^2_{c,0,d}}{f^2_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{0,00^2}{12,92^2} + 0,7 \times \frac{9,32}{14,77} + \frac{0,00}{14,77} = \mathbf{0,442 < 1}$$

Nośność na ścinanie:

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

Warunek nośności

$$\tau_d = \sqrt{\tau^2_{z,d} + \tau^2_{y,d}} = \sqrt{0,35^2 + 0,00^2} = \mathbf{0,35 < 0,98} = 0,398 \times 2,46 = k_v f_{v,d}$$

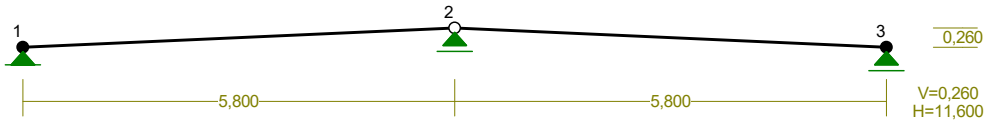
Stan graniczny użytkowania:

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

$$u_{z,fin} = -20,8 + -14,8 = \mathbf{35,7 < 43,6} = u_{net,fin}$$

3.2. Belki stropowe DMS

WĘZŁY:



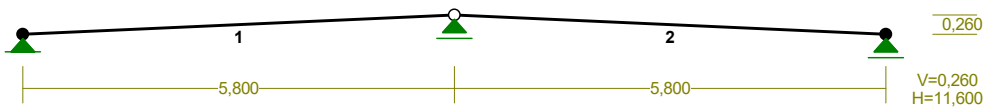
WĘZŁY:

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

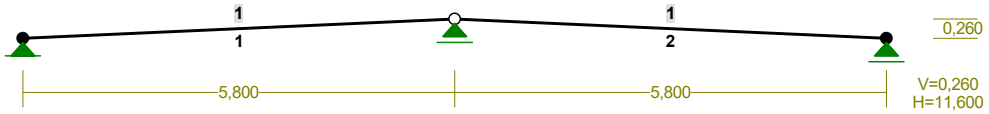
PODPORY: P o d a t n o ś c i

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	5,800	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

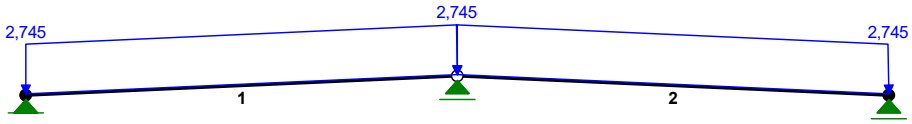
WIELKOŚCI PRZEKROJOWE:

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

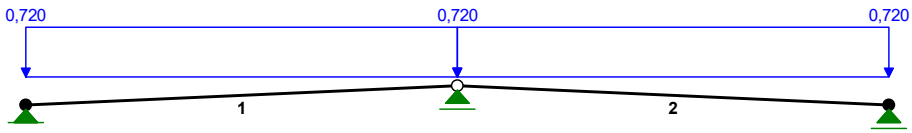
OBCIĄŻENIA:



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

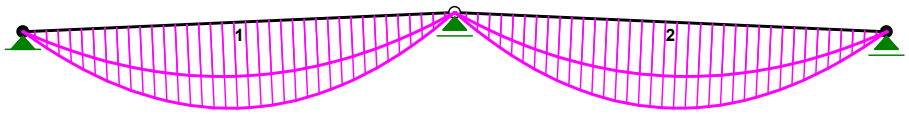
RELACJE GRUP OBCIĄŻEŃ:

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

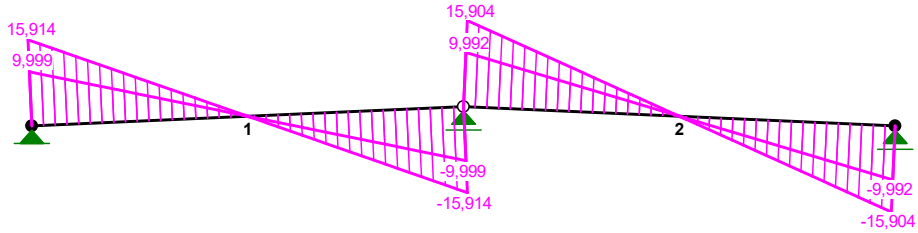
KRYTERIA KOMBINACJI OBCIĄŻEŃ:

Nr:	Specyfikacja:
1	ZAWSZE : A
	EWENTUALNIE: B

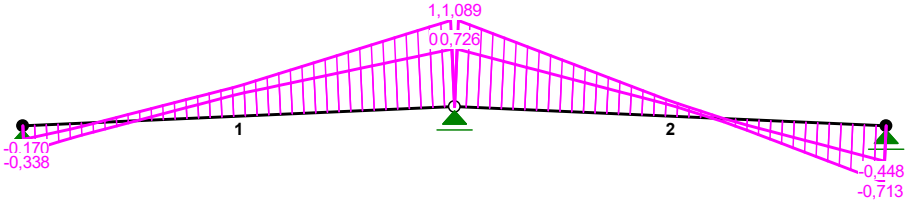
MOMENTY-OBWIEDNIE:



TNĄCE-OBWIEDNIE:



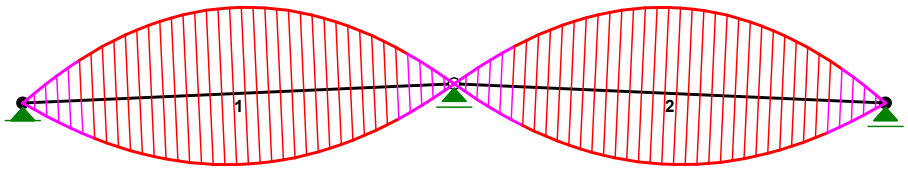
NORMALNE-OBWIEDNIE:



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:	SigmaD:	Sigma: [MPa]	Kombinacja obciążeń:
		Ro			
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"

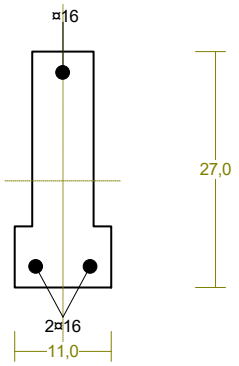
Węzeł:	Ux[m]:	Uy[m]:	Wypadkowe[m]:	Kombinacja obciążeń:
1	0,00000			AB
		0,00000		AB
			0,00000	AB
2	0,00000			AB
		0,00000		AB
			0,00000	AB
3	0,00001			AB
		0,00000		AB
			0,00001	AB

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

ξ_{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, ρ=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:

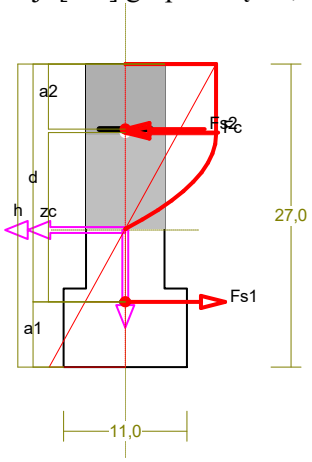
Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **AB**

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}=√(M_{Sdx}^2+ M_{Sdy}^2) = √(-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, ρ=100×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 $\Rightarrow$ k_A =(1/κ_a-1)=0,000, κ_b =1,000 $\Rightarrow$ k_B =(1/κ_b-1)=0,000,

β=1,000 $\Rightarrow$ 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, $\Rightarrow$ 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⟨$(e_a+e_e)/h$, 0,05, 0,5-0,01($l_o/h+f_{cd}$)⟩ = max⟨1645,311, 0,05, 0,178⟩ = 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:

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

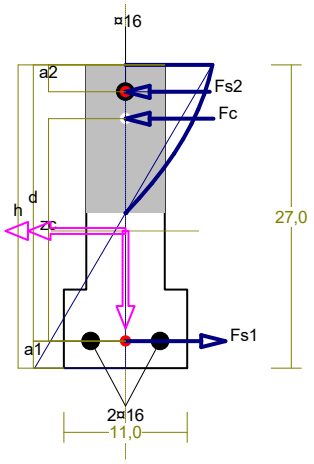
,

- **w płaszczyźnie prostopadłej do ustroju:**

uwzględnienie wpływu smukłości zaniechano

Nośność przekroju prostopadłego:

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

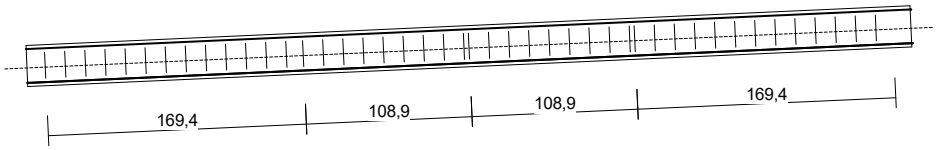


Wielkości obliczeniowe:
N_{Sd}=0,412 kN,
$M_{Sd}=\sqrt{(M_{Sdx}^2+ M_{Sdy}^2)} = \sqrt{(-23,040^2+0,000^2)}$ =23,040 kNm
f_{cd}=10,7 MPa, f_{yd}=310 MPa =f_{td},
Zbrojenie rozciągane: A_{s1}=**4,02** cm^2,
Zbrojenie ściskane: A_{s2}=**2,01** cm^2,
$A_s=A_{s1}+A_{s2}$=6,03 cm^2, $\rho=100\times A_s/A_c$= 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:

$s_{max} = 0{,}75\, d = 0{,}75\times 246 = 185$ $s_{max} \le 400$ 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 $s_{max} = 15\,\phi = 15\times 16{,}0 = 240{,}0$ 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:

$s_{max} = 0{,}75\, d = 0{,}75\times 246 = 185$ $s_{max} \le 400$ 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 $s_{max} = 15\,\phi = 15\times 16{,}0 = 240{,}0$ 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 4

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

$s_{max} = 0{,}75\, d = 0{,}75\times 246 = 185$ $s_{max} \le 400$ 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 $s_{max} = 15\,\phi = 15\times 16{,}0 = 240{,}0$ mm.

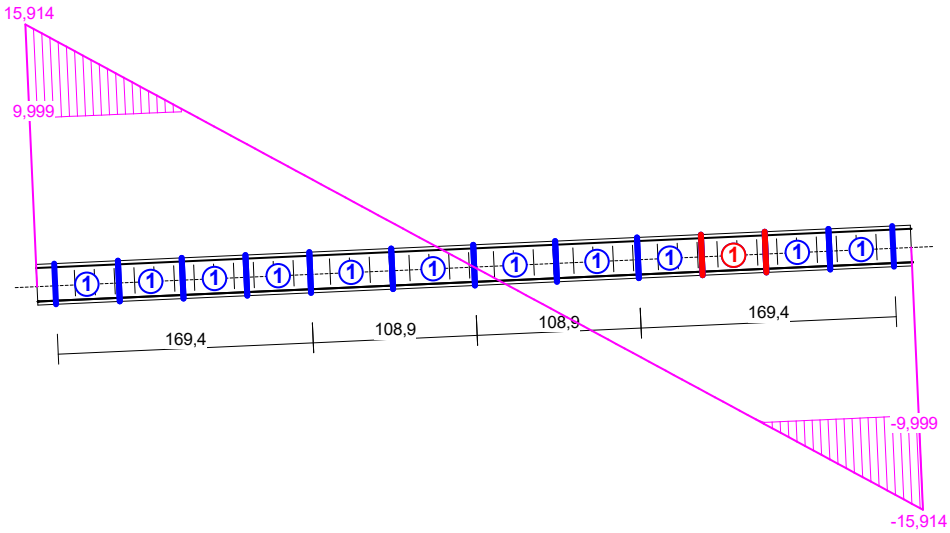
Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **13,2** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

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

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

Ścinanie

Przyjęto podparcie lub obciążenie pośrednie.



Odcinek nr 10

Początek i koniec odcinka: $x_a = 441,5$ $x_b = 483,9$ cm

Siły przekrojowe: $N_{Sd} = 0,866$;

$V_{Sd\ max} = -10,612$ kN

Rodzaj odcinka:

$$\rho_L = \frac{A_{sL}}{b_w d} = \frac{4,02}{7,0 \times 24,6} = 0,02335; \qquad \rho_L \le 0,01$$

Przyjęto $\rho_L = 0,01000$.

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

Przyjęto $\sigma_{cp} = 0,00$ MPa.

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

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

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

Nośność odcinka I-go rodzaju:

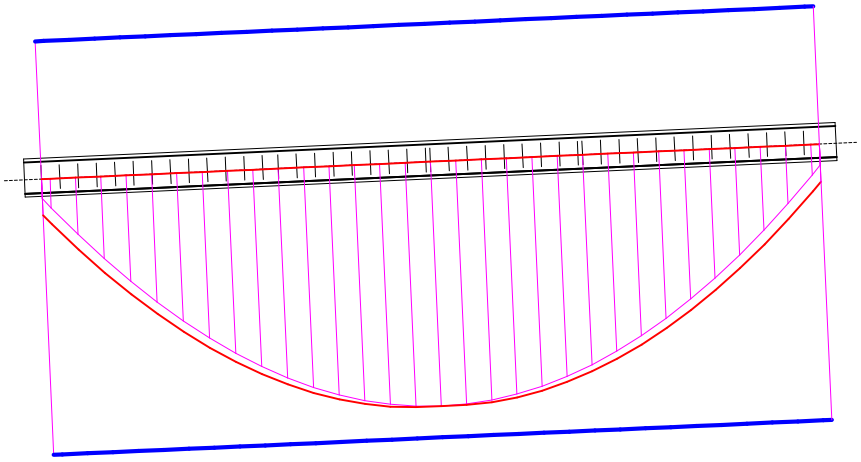
$V_{Sd} =$ **10,612 < 11,716** $= V_{Rd1}$

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

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

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

Nośność zbrojenia podłużnego



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

$\Delta F_{td} = 0,5\ |V_{Sd}|\ (\cot\theta - V_{Rd32}/\ V_{Rd3}\ \cot\alpha) = 0,5\times0,995\times(1,000) = 0,497$ 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** $= 4,02\times310\times10^{-1} = A_s\ f_{yd}$

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:

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

$= 0,4\times1,0\times1,9\times113\ /\ 240 = 0,36$ cm^2

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

Zarysowanie:

$M_{cr} = f_{ctm}\ W_c = 1,9\times1149\times10^{-3} = 2,184$ kNm

$$N_{cr} = \frac{f_{ctm}}{e / W_c + 1/ A_c} = \frac{1,9}{6024,8/1149,48 + 1/217,00}\times10^{-1} = 0,036 \text{ kN}$$

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

Przekrój zarysowany.

Szerokość rozwarcia rysy prostopadłej do osi pręta:

Przyjęto $k_2 = 0,5$.

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

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

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

$= 197,47/200000 \times [1 - 1,0 \times 0,5 \times (0,036/0,278)^2] = 0,00098$

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

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

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

Sztywność dla długotrwałego działania obciążeń długotrwałych:

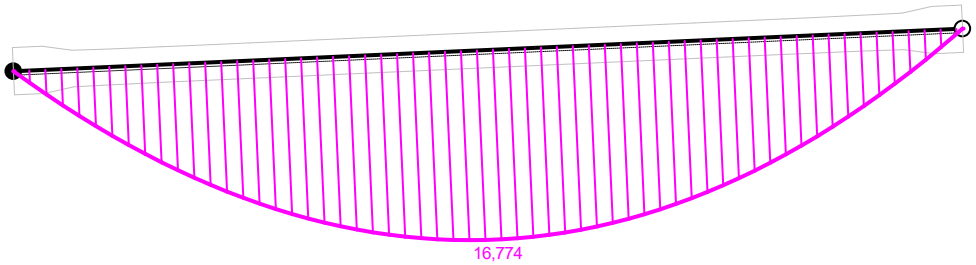
Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M_{Sd} = 16,774$ kNm.

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

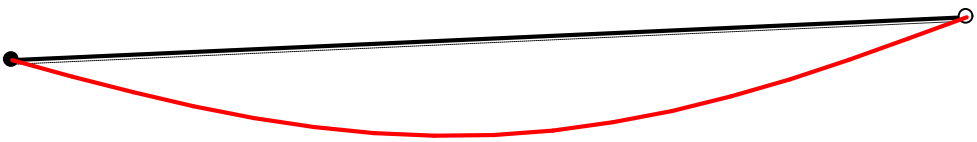
$x_{II} = 12,7$ cm $I_{II} = 20974$ cm^4

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

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



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:

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

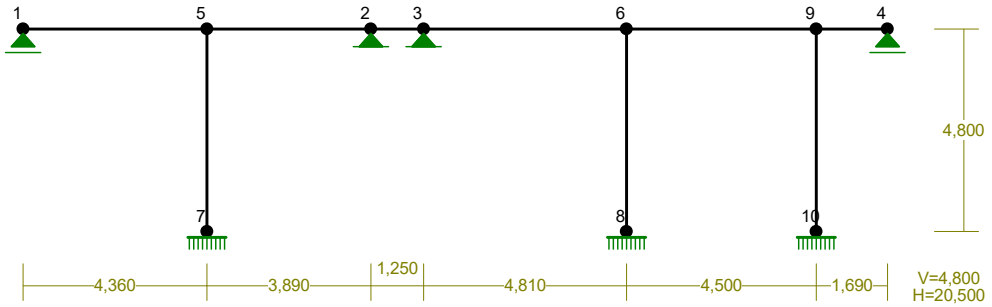
$$a = \mathbf{29{,}0 < 29{,}0} = a_{lim}$$

Wnioski:

Belki DMS posiadają odpowiednią nośność w stanie istniejącym. Spełnione są również warunki dopuszczalnych ugięć. Nie ma potrzeby wzmacniania konstrukcji dachu w tej części.

3.3. Żelbetowa belka kalenicowa

WĘZŁY:



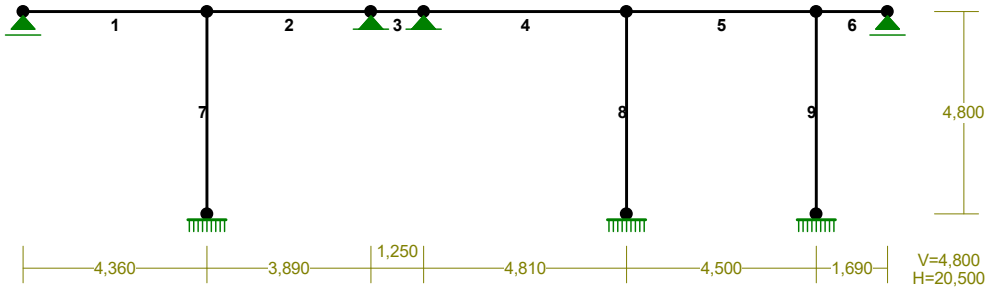
WĘZŁY:

Nr:	X [m]:	Y [m]:	Nr:	X [m]:	Y [m]:
1	0,000	4,800	6	14,310	4,800
2	8,250	4,800	7	4,360	0,000
3	9,500	4,800	8	14,310	0,000
4	20,500	4,800	9	18,810	4,800
5	4,360	4,800	10	18,810	0,000

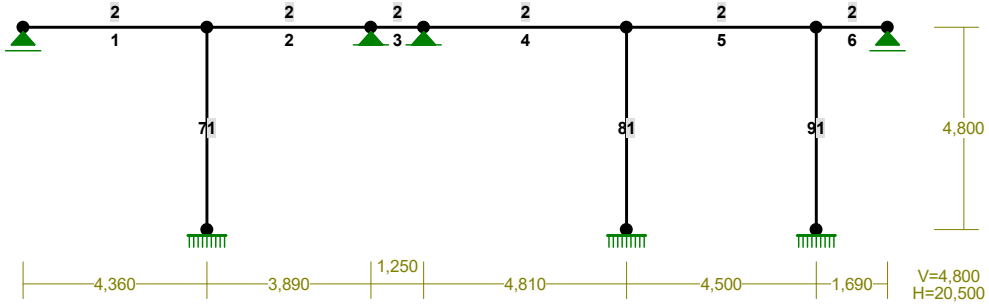
PODPORY: P o d a t n o ś c i

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*		
7	utwierdzenie	90,0	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
8	utwierdzenie	90,0	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
10	utwierdzenie	90,0	0,000E+00	0,000E+00	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	5	4,360	0,000	4,360	1,000	2 B 36,0x25,0
2	00	5	2	3,890	0,000	3,890	1,000	2 B 36,0x25,0
3	00	2	3	1,250	0,000	1,250	1,000	2 B 36,0x25,0
4	00	3	6	4,810	0,000	4,810	1,000	2 B 36,0x25,0
5	00	6	9	4,500	0,000	4,500	1,000	2 B 36,0x25,0
6	00	9	4	1,690	0,000	1,690	1,000	2 B 36,0x25,0
7	00	5	7	0,000	-4,800	4,800	1,000	1 B 30,0x25,0
8	00	6	8	0,000	-4,800	4,800	1,000	1 B 30,0x25,0
9	00	9	10	0,000	-4,800	4,800	1,000	1 B 30,0x25,0

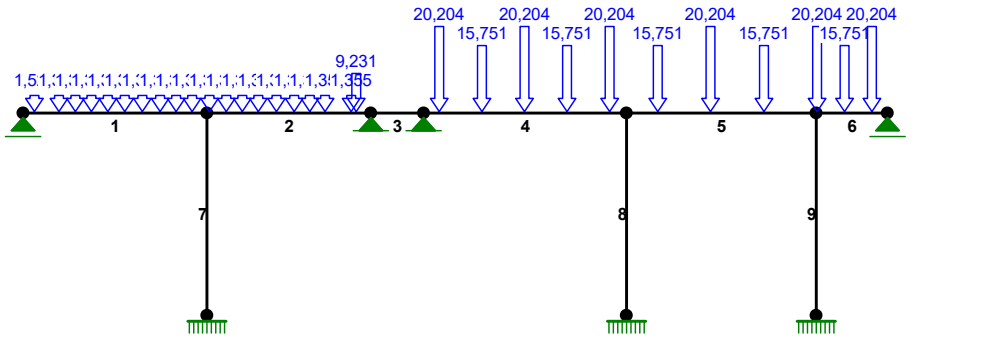
WIELKOŚCI PRZEKROJOWE:

Nr.	A[cm2]	Ix[cm4]	Iy[cm4]	Wg[cm3]	Wd[cm3]	h[cm]	Materiał:
1	750,0	56250	39063	3750	3750	30,0	19 B25
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
19 B25	30	13,300	1,00E-05

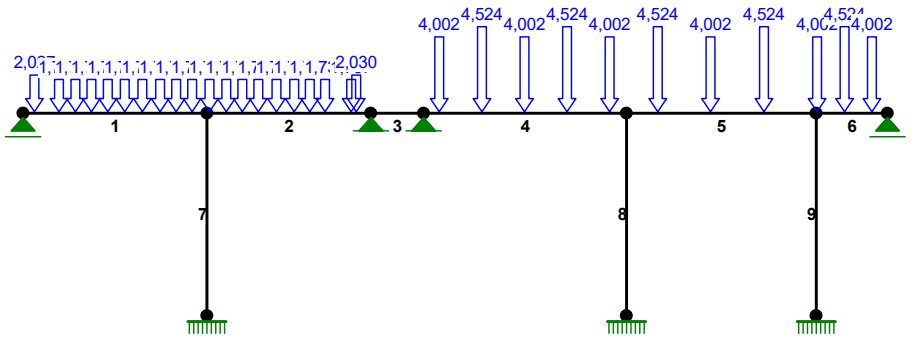
OBCIĄŻENIA:



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	Skupione	0,0	1,529		0,27	
1	Skupione	0,0	1,355		0,85	
1	Skupione	0,0	1,355		1,24	
1	Skupione	0,0	1,355		1,62	
1	Skupione	0,0	1,355		2,01	
1	Skupione	0,0	1,355		2,41	
1	Skupione	0,0	1,355		2,83	
1	Skupione	0,0	1,355		3,25	
1	Skupione	0,0	1,355		3,63	
1	Skupione	0,0	1,355		4,01	
2	Skupione	0,0	1,355		0,06	
2	Skupione	0,0	1,355		0,46	
2	Skupione	0,0	1,355		0,84	
2	Skupione	0,0	1,355		1,22	
2	Skupione	0,0	1,355		1,65	
2	Skupione	0,0	1,355		2,07	
2	Skupione	0,0	1,355		2,44	
2	Skupione	0,0	1,355		2,80	
2	Skupione	0,0	1,355		3,42	
2	Skupione	0,0	9,231		3,54	
4	Skupione	0,0	20,204		0,37	
4	Skupione	0,0	15,751		1,38	
4	Skupione	0,0	20,204		2,39	
4	Skupione	0,0	15,751		3,40	
4	Skupione	0,0	20,204		4,41	
5	Skupione	0,0	15,751		0,74	
5	Skupione	0,0	20,204		1,99	
5	Skupione	0,0	15,751		3,26	
6	Skupione	0,0	20,204		0,02	
6	Skupione	0,0	15,751		0,67	
6	Skupione	0,0	20,204		1,32	

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	Skupione	0,0	2,027		0,27	
1	Skupione	0,0	1,737		0,85	
1	Skupione	0,0	1,737		1,24	
1	Skupione	0,0	1,737		1,62	

1	Skupione	0,0	1,737	2,01
1	Skupione	0,0	1,737	2,41
1	Skupione	0,0	1,737	2,83
1	Skupione	0,0	1,737	3,25
1	Skupione	0,0	1,737	3,63
1	Skupione	0,0	1,737	4,01
2	Skupione	0,0	1,737	0,06
2	Skupione	0,0	1,737	0,46
2	Skupione	0,0	1,737	0,84
2	Skupione	0,0	1,737	1,22
2	Skupione	0,0	1,737	1,65
2	Skupione	0,0	1,737	2,07
2	Skupione	0,0	1,737	2,44
2	Skupione	0,0	1,737	2,80
2	Skupione	0,0	1,737	3,42
2	Skupione	0,0	2,030	3,54
4	Skupione	0,0	4,002	0,37
4	Skupione	0,0	4,524	1,38
4	Skupione	0,0	4,002	2,39
4	Skupione	0,0	4,524	3,40
4	Skupione	0,0	4,002	4,41
5	Skupione	0,0	4,524	0,74
5	Skupione	0,0	4,002	1,99
5	Skupione	0,0	4,524	3,26
6	Skupione	0,0	4,002	0,02
6	Skupione	0,0	4,524	0,67
6	Skupione	0,0	4,002	1,32

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.			1,10
A -"Obc. stałe"	Stałe		1,35/1,00
B -"Obc. śniegiem"	Zmienne 1	1,00	1,50

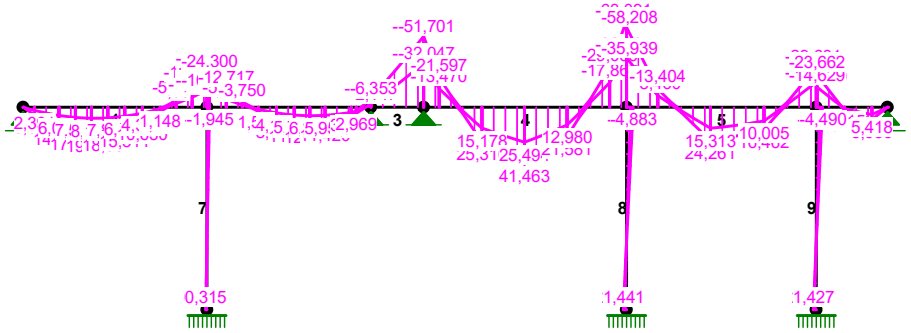
RELACJE GRUP OBCIĄŻEŃ:

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

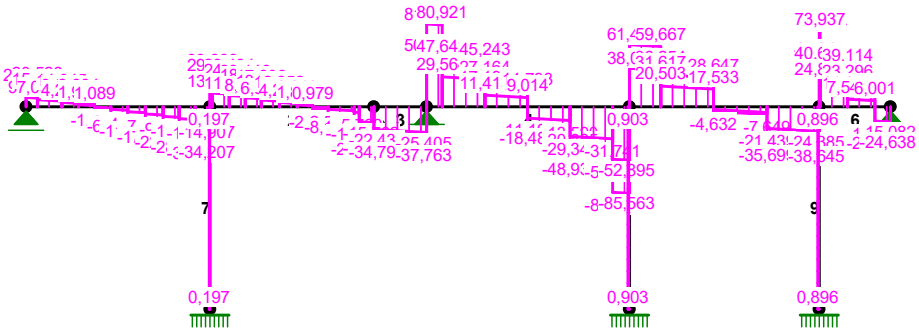
KRYTERIA KOMBINACJI OBCIĄŻEŃ:

Nr:	Specyfikacja:
1	ZAWSZE : A EWENTUALNIE: B

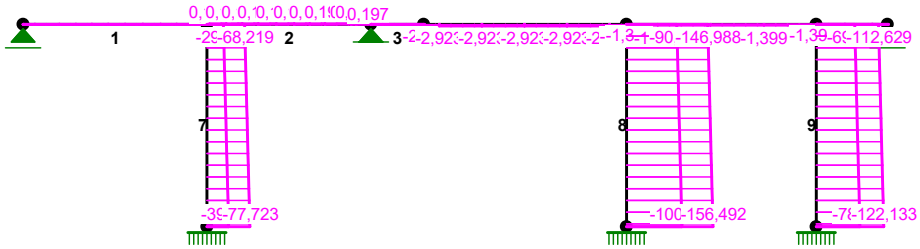
MOMENTY-OBWIEDNIE:



TNĄCE-OBWIEDNIE:



NORMALNE-OBWIEDNIE:

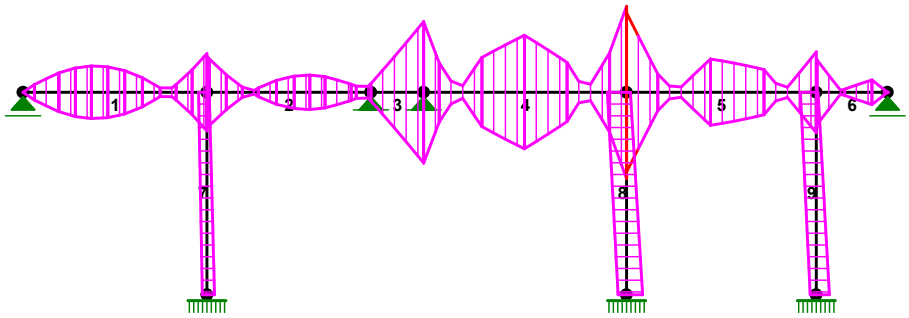


SIŁY PRZEKROJOWE - WARTOŚCI EKSTREMALNE: T.I rzędu
Obciążenia obl.: Ciężar wł.+"Kombinacja obciążeń"

Pręt:	x[m]:	M[kNm]:	Q[kN]:	N[kN]:	Kombinacja obciążeń:
1	1,620	**19,186***	3,346	0,000	AB
	4,360	**-28,282***	-34,207	0,000	AB
	4,360	-28,282	**-34,207***	0,000	AB
	4,360	-28,282	-34,207	**0,000***	AB
	1,620	19,186	3,346	**0,000***	AB
	4,360	-28,282	-34,207	**0,000***	AB
	1,620	19,186	3,346	**0,000***	AB
2	2,440	**12,592***	-2,829	0,608	AB
	2,440	**12,592***	1,605	0,608	AB
	0,000	**-26,337***	34,011	0,608	AB
	0,000	-26,337	**34,011***	0,608	AB
	0,000	-26,337	34,011	**0,608***	AB
	2,440	12,592	1,605	**0,608***	AB
	3,890	-2,147	-15,762	**0,197***	a
	2,440	6,241	0,979	**0,197***	a
	0,000	-11,757	14,906	**0,197***	a

3	0,000	**-2,147***	-22,435	-0,000	a
	1,250	**-51,701***	-37,763	-0,000	AB
	1,250	-51,701	**-37,763***	-0,000	AB
	1,250	-51,701	-37,763	**-0,000***	AB
	0,000	-6,353	-34,793	**-0,000***	AB
	1,250	-51,701	-37,763	**-0,000***	AB
	0,000	-6,353	-34,793	**-0,000***	AB
4	2,390	**41,463***	-18,485	-2,923	AB
	2,390	**41,463***	14,793	-2,923	AB
	4,810	**-63,091***	-85,563	-2,923	AB
	4,810	-63,091	**-85,563***	-2,923	AB
	4,810	-38,835	-52,895	**-1,800***	a
	2,390	25,494	9,014	**-1,800***	a
	4,810	-63,091	-85,563	**-2,923***	AB
	2,390	41,463	14,793	**-2,923***	AB
5	1,990	**24,261***	28,647	-1,399	AB
	0,000	**-58,208***	61,425	-1,399	AB
	0,000	-58,208	**61,425***	-1,399	AB
	0,000	-35,939	38,013	**-0,896***	a
	1,990	15,313	17,533	**-0,896***	a
	0,000	-58,208	61,425	**-1,399***	AB
	1,990	24,261	28,647	**-1,399***	AB
6	1,320	**8,953***	-23,759	0,000	AB
	1,320	**8,953***	9,520	0,000	AB
	0,000	**-25,141***	73,984	0,000	AB
	0,000	-25,141	**73,984***	0,000	AB
	0,000	-25,141	73,984	**0,000***	AB
	1,320	8,953	9,520	**0,000***	AB
	0,000	-25,141	73,984	**0,000***	AB
	1,320	8,953	9,520	**0,000***	AB
7	4,800	**0,971***	0,608	-77,723	AB
	0,000	**-1,945***	0,608	-68,219	AB
	4,800	0,971	**0,608***	-77,723	AB
	0,000	-1,945	**0,608***	-68,219	AB
	0,000	-0,632	0,197	**-29,813***	a
	4,800	0,971	0,608	**-77,723***	AB
8	4,800	**2,430***	1,523	-156,492	AB
	0,000	**-4,883***	1,523	-146,988	AB
	4,800	2,430	**1,523***	-156,492	AB
	0,000	-4,883	**1,523***	-146,988	AB
	0,000	-2,896	0,903	**-90,908***	a
	4,800	2,430	1,523	**-156,492***	AB
9	4,800	**2,228***	1,399	-122,133	AB
	0,000	**-4,490***	1,399	-112,629	AB
	4,800	2,228	**1,399***	-122,133	AB
	0,000	-4,490	**1,399***	-112,629	AB
	0,000	-2,876	0,896	**-69,477***	a
	4,800	2,228	1,399	**-122,133***	AB

NAPĘŻENIA-OBWIEDNIE:



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

Pręt:	x[m]:	SigmaG: (Ro)	SigmaD: (Ro)	Sigma: [MPa]	Kombinacja obciążeń:
1	4,360	**0,494***		5,237	AB
	1,620	**-0,335***		-3,553	AB
	1,620		**0,335***	3,553	AB
	4,360		**-0,494***	-5,237	AB
2	0,000	**0,461***		4,884	AB
	2,440	**-0,219***		-2,325	AB
	2,440		**0,221***	2,339	AB
	0,000		**-0,459***	-4,870	AB
3	1,250	**0,903***		9,574	AB
	0,000	**0,038***		0,398	a
	0,000		**-0,038***	-0,398	a
	1,250		**-0,903***	-9,574	AB
4	4,810	**1,099***		11,651	AB
	2,390	**-0,727***		-7,711	AB
	2,390		**0,721***	7,646	AB
	4,810		**-1,105***	-11,716	AB
5	0,000	**1,015***		10,764	AB
	1,990	**-0,425***		-4,508	AB
	1,990		**0,422***	4,477	AB
	0,000		**-1,018***	-10,795	AB
6	0,000	**0,439***		4,656	AB
	1,320	**-0,156***		-1,658	AB
	1,320		**0,156***	1,658	AB
	0,000		**-0,439***	-4,656	AB
7	0,000	**-0,017***		-0,229	a
	4,800	**-0,097***		-1,295	AB
	4,800		**-0,033***	-0,440	a
	0,000		**-0,107***	-1,428	AB
8	0,000	**-0,033***		-0,440	a
	4,800	**-0,206***		-2,734	AB
	4,800		**-0,072***	-0,955	a
	0,000		**-0,245***	-3,262	AB
9	0,000	**-0,012***		-0,160	a
	4,800	**-0,167***		-2,223	AB
	4,800		**-0,051***	-0,673	a
	0,000		**-0,203***	-2,699	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	**0,000***	21,170	21,170		AB
	0,000*	9,177	9,177		a
	0,000*	10,960	10,960		A
	0,000	**21,170***	21,170		AB
	0,000	**9,177***	9,177		a
	0,000	21,170	**21,170***		AB
2	**0,608***	-4,142	4,186		AB
	0,197*	-6,673	6,676		a
	0,594	**-0,461***	0,752		aB
	0,211	**-10,354***	10,356		A
	0,211	-10,354	**10,356***		A
3	**2,923***	119,563	119,598		AB
	1,800*	76,052	76,074		a
	2,923	**119,563***	119,598		AB
	1,800	**76,052***	76,074		a
	2,923	119,563	**119,598***		AB
4	**0,000***	24,638	24,638		AB
	0,000*	15,082	15,082		a
	0,000*	20,123	20,123		A
	0,000	**24,638***	24,638		AB
	0,000	**15,082***	15,082		a
	0,000	24,638	**24,638***		AB
7	**-0,197***	39,317	39,317	0,315	a
	-0,608*	77,723	77,725	0,971	AB
	-0,608	**77,723***	77,725	0,971	AB
	-0,197	**39,317***	39,317	0,315	a
	-0,608	77,723	**77,725***	0,971	AB
	-0,608	77,723	77,725	**0,971***	AB
	-0,197	39,317	39,317	**0,315***	a
8	**-0,903***	100,412	100,416	1,441	a
	-1,523*	156,492	156,500	2,430	AB
	-1,523	**156,492***	156,500	2,430	AB
	-0,903	**100,412***	100,416	1,441	a
	-1,523	156,492	**156,500***	2,430	AB
	-1,523	156,492	156,500	**2,430***	AB
	-0,903	100,412	100,416	**1,441***	a
10	**-0,896***	78,981	78,986	1,427	a
	-1,399*	122,133	122,141	2,228	AB
	-1,399	**122,133***	122,141	2,228	AB
	-0,896	**78,981***	78,986	1,427	a
	-1,399	122,133	**122,141***	2,228	AB
	-1,399	122,133	122,141	**2,228***	AB
	-0,896	78,981	78,986	**1,427***	a

* = Wartości ekstremalne

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

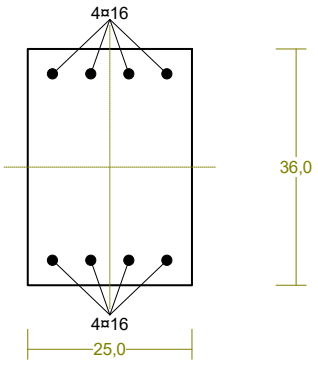
Węzeł:	Ux[m]:	Uy[m]:	Wypadkowe[m]:	Kombinacja obciążeń:
1	0,00000			AB
		0,00000		AB
			0,00000	AB
2	0,00000			AB
		0,00000		A
			0,00000	A
3	0,00000			AB
		0,00000		AB
			0,00000	AB
4	0,00001			AB
		0,00000		AB
			0,00001	AB
5	0,00000			AB
		0,00016		AB
			0,00016	AB
6	0,00001			AB
		0,00032		AB
			0,00032	AB
7	0,00000			AB
		0,00000		AB
			0,00000	AB
8	0,00000			AB
		0,00000		AB
			0,00000	AB
9	0,00001			AB
		0,00025		AB
			0,00025	AB
10	0,00000			AB
		0,00000		AB
			0,00000	AB

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

Pręt:	L/f:	Kombinacja obciążeń:
1	4138,3	AB
2	8166,6	AB
3	6194,3	AB
4	2087,4	AB
5	4429,0	AB
6	50678,6	AB
7	48875,0	AB
8	19438,6	AB
9	21102,6	AB

Cechy przekroju (Skrócony)) – przęsło 1:

Belka kalenicowa, pręt nr 1, przekrój: x_a=2,18 m, x_b=2,18 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,

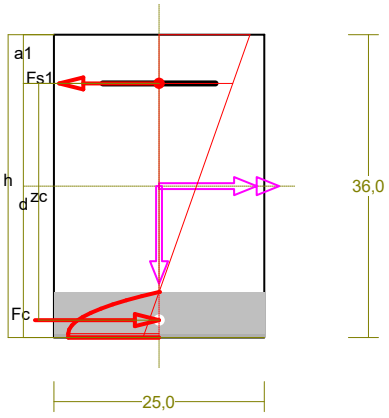
Siły przekrojowe:

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **AB**

Momenty zginające:	M_x = -17,450 kNm,	M_y = 0,000 kNm,
Siły poprzeczne:	V_y = -6,854 kN,	V_x = 0,000 kN,
Siła osiowa:	N = 0,000 kN = N_{Sd}, .	

Zbrojenie wymagane:

(pręt nr 1, przekrój: x_a=4,36 m, x_b=0,00 m)



Wielkości obliczeniowe:

N_{Sd}=0,000 kN,

$M_{Sd}=\sqrt{(M_{Sdx}^2+M_{Sdy}^2)}=\sqrt{(28{,}282^2+0{,}000^2)}$ =28,282 kNm

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

Zbrojenie rozciągane (ε_{s1}=10,00 ‰):
A_{s1}=**3,24** cm^2 ⇒ (2¤16 = 4,02 cm^2),
Dodatkowe zbrojenie ściskane nie jest obliczeniowo wymagane.
$A_s=A_{s1}+A_{s2}$=3,24 cm^2, $\rho=100\times A_s/A_c$= 100×3,24/900=0,36 %

Wielkości geometryczne [cm]:

h=36,0, d=30,2, x=5,4 (ξ=0,179),
a_1=5,8, a_c=2,1, z_c=28,1, A_{cc}=135 cm^2,
ε_c=-2,18 ‰, ε_{s1}=10,00 ‰,

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

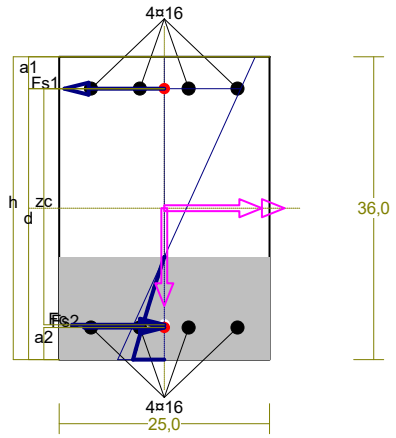
F_c= -100,507, F_{s1} = 100,506,
M_c= 16,020, M_{s1} = 12,262,

Warunki równowagi wewnętrznej:

F_c+F_{s1}=-100,507+(100,506)=-0,001 kN (N_{Sd}=0,000 kN)
M_c+M_{s1}=16,020+(12,262)=28,282 kNm (M_{Sd}=28,282 kNm)

Nośność przekroju prostopadłego:

pręt nr 1, przekrój: x_a=4,36 m, x_b=0,00 m



Wielkości obliczeniowe:
N_{Sd}=0,000 kN,
$M_{Sd}=\sqrt{(M_{Sdx}^2+ M_{Sdy}^2)}$ = √(28,282^2+0,000^2) =28,282 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 %

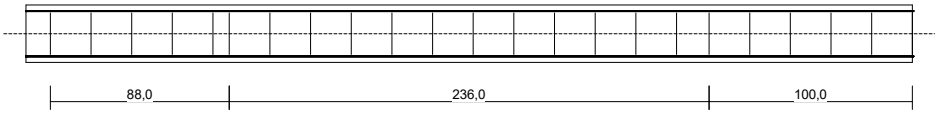
Wielkości geometryczne [cm]:
h=36,0, d=32,2, x=12,2 (ξ=0,379),
a_1=3,8, a_2=3,8, a_c=4,1, z_c=28,1, A_{cc}=305 cm^2,
ε_c=-0,38 ‰, ε_{s2}=-0,26 ‰, ε_{s1}=0,62 ‰,

Wielkości statyczne [kN, kNm]:
F_c= -58,143, F_{s1} = 100,273, F_{s2} = -42,130,
M_c= 8,061, M_{s1} = 14,239, M_{s2} = 5,982,
Warunek stanu granicznego nośności:
M_{Rd} = **72,505 kNm** > $M_{Sd}=M_c+M_{s1}+M_{s2}$=8,061+(14,239)+(5,982)=**28,282** 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:

$s_{max} = 0,75\ d = 0,75 \times 322 = 242$ $s_{max} \le 400$ 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 2

Początek i koniec strefy: $x_a = 100,0$ $x_b = 336,0$ 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: $x_a = 336,0$ $x_b = 436,0$ 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.

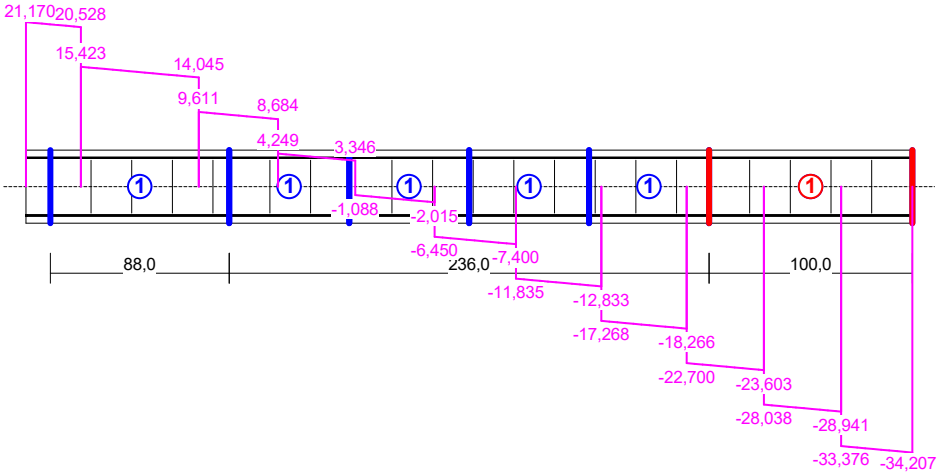
Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **20,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

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

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

Ścinanie

Przyjęto podparcie lub obciążenie pośrednie.



Odcinek nr 6

Początek i koniec odcinka: $x_a = 336,0$ $x_b = 436,0$ cm

Siły przekrojowe: $N_{Sd} = 0,000$;

$V_{Sd\ max} = -34,207$ 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

$V_{Sd} = 34,207 < 51,920 = V_{Rd1}$

Nośność odcinka I-go rodzaju:

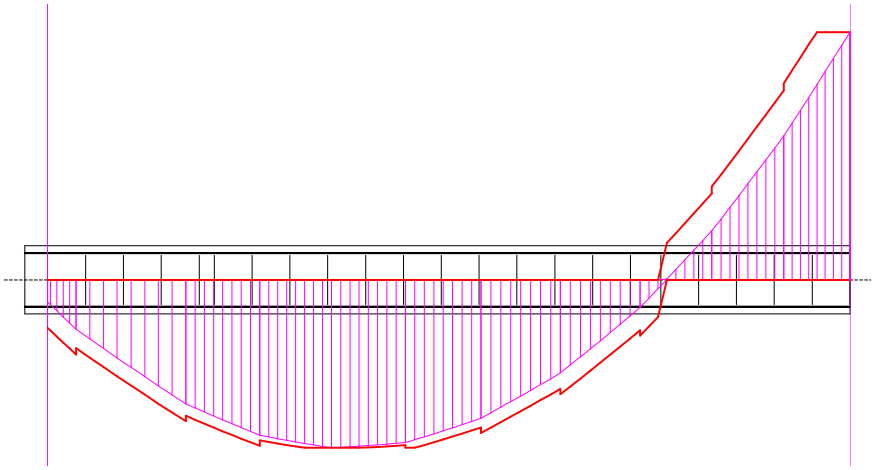
$V_{Sd} =$ **$34,207 < 51,920$** $= V_{Rd1}$

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

$V_{Rd2} = 0,5\ \nu\ f_{cd}\ b_w\ z = 0,5 \times 0,562 \times 10,7 \times 25,0 \times 28,1 \times 10^{-1} = 210,798$ kN

$V_{Sd} =$ **$34,207 < 210,798$** $= V_{Rd2}$

Nośność zbrojenia podłużnego



Sprawdzenie siły przenoszonej przez zbrojenie rozciągane dla x = 4,185 m:

$\Delta F_{td} = 0,5 \, |V_{Sd}| \, (\cot\theta - V_{Rd32}/ V_{Rd3} \cot\alpha) = 0,5 \times -33,791 \times (1,276) = 21,564$ kN

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciąganym:

$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 79,132 + 21,564 = 100,695$ kN;

$F_{td} \le F_{td,max} = 100,273$ kN

Przyjęto $F_{td} = 100,273$ kN

$F_{td} =$ **100,273 < 249,317** $= 8,04 \times 310 \times 10^{-1} = A_s \, f_{yd}$

Zarysowanie

Położenie przekroju:	x = 4,360 m
Siły przekrojowe:	M_{Sd} = -20,776 kNm
	N_{Sd} = 0,000 kN
	V_{Sd} = -25,190 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

$M_{Sd} = 20,776 > 10,260 = M_{cr}$

Przekrój zarysowany.

Szerokość rozwarcia rysy prostopadłej do osi pręta:

Przyjęto $k_2 = 0,5$.

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

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

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

$= 91,52/200000 \times [1 - 1,0 \times 0,5 \times (10,260/20,776)^2] = 0,00040$

$w_k = \beta \, s_{rm} \, \varepsilon_{sm} = 1,7 \times 89,28 \times 0,00040 = 0,06$ mm

$w_k =$ **0,06 < 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:

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

Całkowity moment zginający M_{Sd} = -20,776 kN powoduje zarysowanie przekroju.

Sztywność dla długotrwałego działania obciążeń długotrwałych:

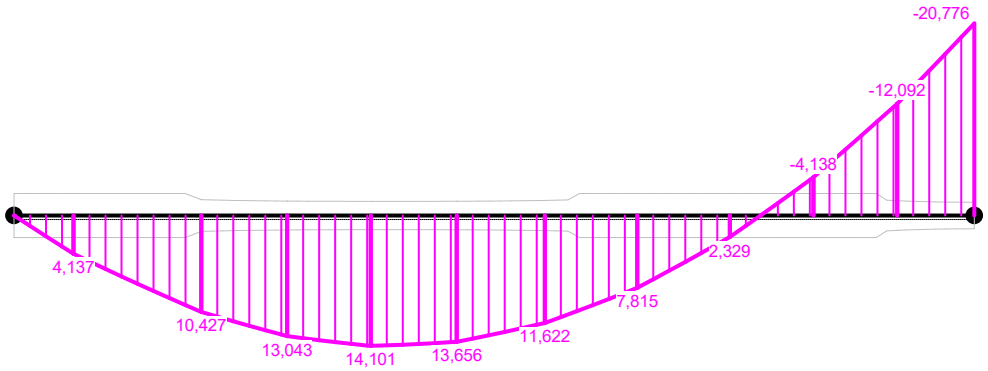
Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu M_{Sd} = -20,776 kNm.

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

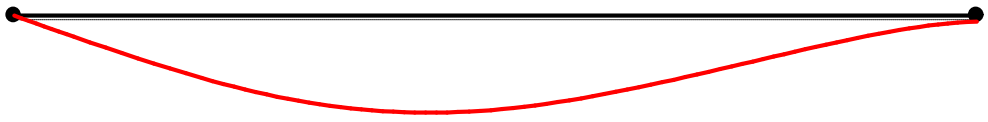
x_{II} = 12,3 cm I_{II} = 93424 cm^4

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

$$= \frac{9667 \times 93424}{1 - 1{,}0 \times 0{,}5 \times (10{,}260/20{,}776)^2 \times (1 - 93424/164304)} \times 10^{-5} = 9532 \text{ kNm}^2$$



Wykres sztywności i momentów dla obciążeń długotrwałych.



Ugięcia.

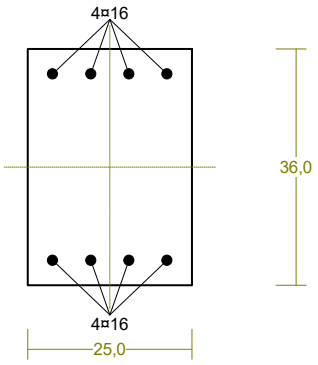
Ugięcie w punkcie o współrzędnej x = 1,864 m, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta (1/ρ) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

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

$a = \mathbf{1{,}9 < 21{,}8} = a_{lim}$

Cechy przekroju (Skrócony) – przęsło 2:

Belka kalenicowa, pręt nr 2, przekrój: x_a=1,95 m, x_b=1,94 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:

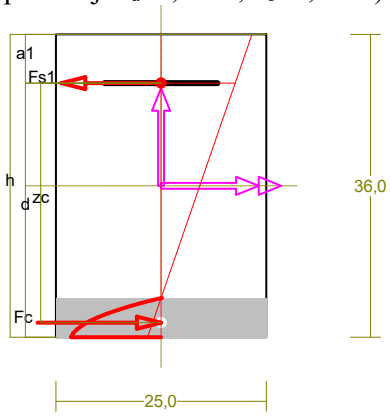
pręt nr 2, przekrój: x_a=1,95 m, x_b=1,94 m

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **AB**

Momenty zginające:	M_x = -10,952 kNm,	M_y = 0,000 kNm,
Siły poprzeczne:	V_y = 7,216 kN,	V_x = 0,000 kN,
Siła osiowa:	N = 0,608 kN = N_{Sd}, .	

Zbrojenie wymagane:

(pręt nr 2, przekrój: x_a=0,12 m, x_b=3,77 m)



Wielkości obliczeniowe:
N_{Sd}=0,608 kN,
$M_{Sd}=\sqrt{(M_{Sdx}^2+M_{Sdy}^2)}=\sqrt{(22{,}538^2+0{,}000^2)}$ =22,538 kNm
f_{cd}=10,7 MPa, f_{yd}=310 MPa =f_{td},

Zbrojenie rozciągane (ε_{s1}=10,00 ‰):
A_{s1}=**2,56** cm^2 $\Rightarrow$ (2¤16 = 4,02 cm^2),
Dodatkowe zbrojenie ściskane nie jest obliczeniowo wymagane.
$A_s=A_{s1}+A_{s2}$=2,56 cm^2, $\rho=100\times A_s/A_c$= 100×2,56/900=0,28 %

Wielkości geometryczne [cm]:

h=36,0, d=30,2, x=4,7 (ξ=0,154),
a_1=5,8, a_c=1,7, z_c=28,5, A_{cc}=116 cm^2,
ε_c=-1,82 ‰, ε_{s1}=10,00 ‰,

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

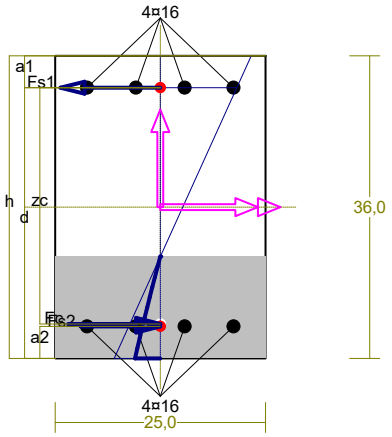
F_c= -78,875, F_{s1} = 79,482,
M_c= 12,842, M_{s1} = 9,697,

Warunki równowagi wewnętrznej:

F_c+F_{s1}=-78,875+(79,482)=0,608 kN (N_{Sd}=0,608 kN)
M_c+M_{s1}=12,842+(9,697)=22,538 kNm (M_{Sd}=22,538 kNm)

Nośność przekroju prostopadłego:

pręt nr 2, przekrój: x_a=0,12 m, x_b=3,77 m

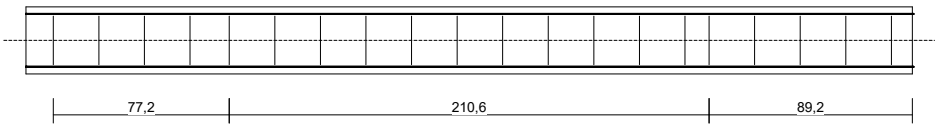


Wielkości obliczeniowe:
N_{Sd}=0,608 kN,
$M_{Sd}=\sqrt{(M_{Sdx}^2+ M_{Sdy}^2)} = \sqrt{(22,538^2+0,000^2)}$ =22,538 kNm
f_{cd}=10,7 MPa, f_{yd}=310 MPa =f_{td},
Zbrojenie rozciągane: A_{s1}=**8,04** cm^2,
Zbrojenie ściskane: A_{s2}=**8,04** cm^2,
$A_s=A_{s1}+A_{s2}$=16,08 cm^2, $\rho=100\times A_s/A_c$= 100×16,08/900=1,79 %
Wielkości geometryczne [cm]:
h=36,0, d=32,2, x=12,1 (ξ=0,376),
a_1=3,8, a_2=3,8, a_c=4,1, z_c=28,1, A_{cc}=303 cm^2,
ε_c=-0,30 ‰, ε_{s2}=-0,21 ‰, ε_{s1}=0,50 ‰,
Wielkości statyczne [kN, kNm]:
F_c= -46,321, F_{s1} = 80,144, F_{s2} = -33,215,
M_c= 6,442, M_{s1} = 11,380, M_{s2} = 4,717,
Warunek stanu granicznego nośności:
M_{Rd} = **72,231 kNm** > $M_{Sd}=M_c+M_{s1}+M_{s2}$=6,442+(11,380)+(4,717)=**22,538** 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: $x_a = 12,0$ $x_b = 89,2$ 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 2

Początek i koniec strefy: $x_a = 89,2$ $x_b = 299,8$ 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: $x_a = 299,8$ $x_b = 389,0$ 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.

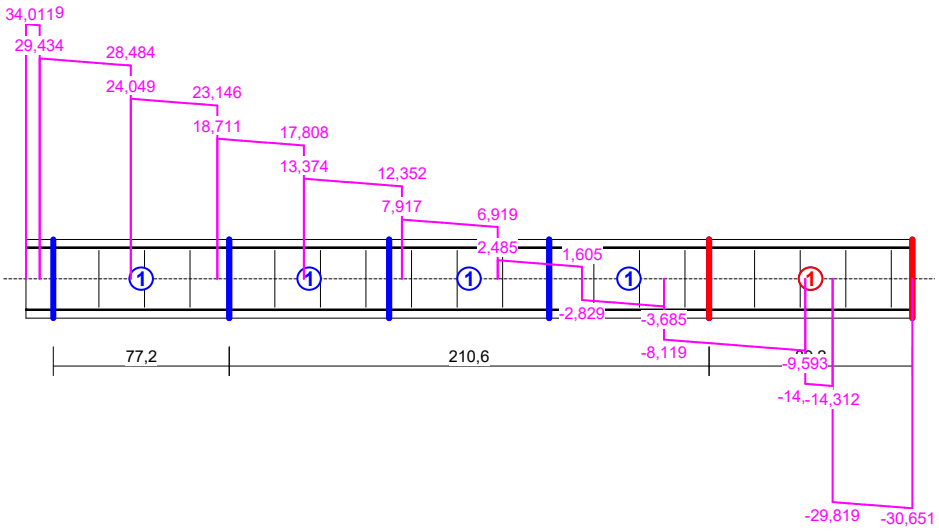
Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **20,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

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

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

Ścinanie

Przyjęto podparcie lub obciążenie pośrednie.



Odcinek nr 5

Początek i koniec odcinka: $x_a = 299,8$ $x_b = 389,0$ cm

Siły przekrojowe: $N_{Sd} = 0,608$;

$V_{Sd\ max} = -30,651$ 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 $\rho_L = 0,00999$.

$\sigma_{cp} = N_{Sd} / A_C = -0,608 / 1010,93 \times 10 = -0,01$ 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

$V_{Sd} = 30,651 < 51,920 = V_{Rd1}$

Nośność odcinka I-go rodzaju:

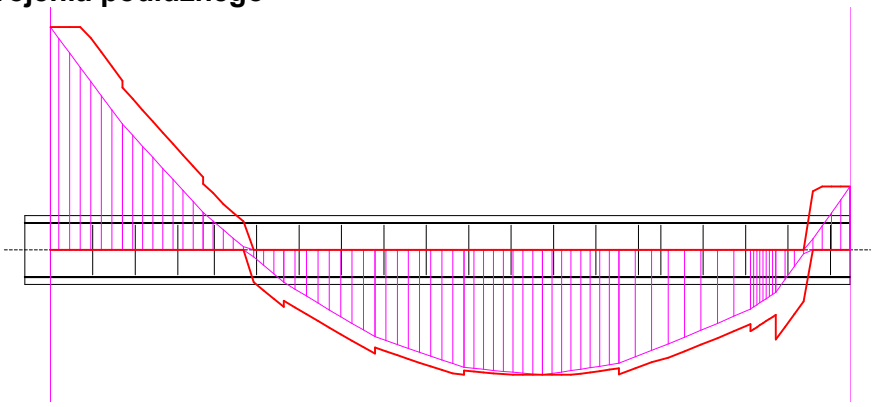
$V_{Sd} = \mathbf{30,651 < 51,920} = V_{Rd1}$

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

$V_{Rd2} = 0,5\ \nu\ f_{cd}\ b_w\ z = 0,5 \times 0,562 \times 10,7 \times 25,0 \times 28,2 \times 10^{-1} = 211,719$ kN

$V_{Sd} = \mathbf{30,651 < 211,719} = V_{Rd2}$

Nośność zbrojenia podłużnego



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

$\Delta F_{td} = 0,5\ |V_{Sd}|\ (\cot\theta - V_{Rd32}/\ V_{Rd3}\ \cot\alpha) = 0,5\times29,292\times(1,091) = 15,982$ kN

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciąganym:

$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 80,144 + 15,982 = 96,126$ kN;

$F_{td} \le F_{td,max} = 80,144$ kN

Przyjęto $F_{td} = 80,144$ kN

$F_{td} =$ **80,144 < 249,317** $= 8,04\times310\times10^{-1} = A_s\ f_{yd}$

Zarysowanie

Położenie przekroju:	x = 0,120 m
Siły przekrojowe:	M_{Sd} = -16,554 kNm
	N_{Sd} = 0,447 kN e = 3700,6 cm
	V_{Sd} = 21,570 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:

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

$$N_{cr} = \frac{f_{ctm}}{e / W_c + 1/ A_c} = \frac{1,9}{3700,6/5400,00 + 1/900,00}\times10^{-1} = 0,277 \text{ kN}$$

$N_{Sd} = 0,447 > 0,277 = N_{cr}$

Przekrój zarysowany.

Szerokość rozwarcia rysy prostopadłej do osi pręta:

Przyjęto $k_2 = 0,5$.

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

$s_{rm} = 50 + 0,25\ k_1\ k_2\ \phi / \rho_r = 50 + 0,25\times0,8\times0,50\times16/0,04074 = 89,28$

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

$= 73,18/200000\times[1 - 1,0\times0,5\times(0,277/0,447)^2] = 0,00030$

$w_k = \beta\ s_{rm}\ \varepsilon_{sm} = 1,7\times89,28\times0,00030 = 0,04$ mm

$w_k =$ **0,04 < 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:

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

Całkowity moment zginający $M_{Sd} = -19,343$ kN powoduje zarysowanie przekroju.

Sztywność dla długotrwałego działania obciążeń długotrwałych:

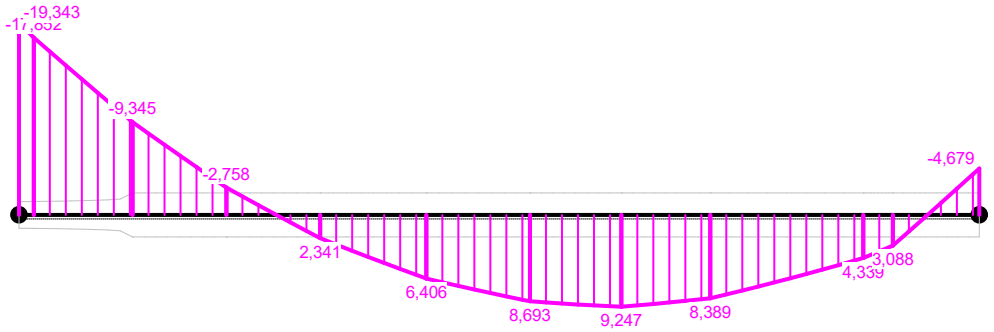
Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M_{Sd} = -19,343$ kNm.

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

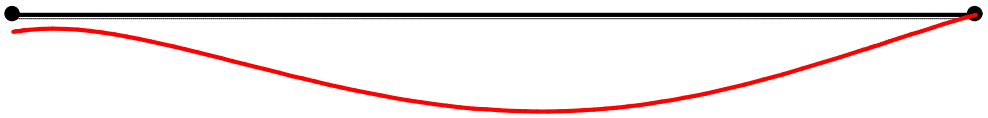
$x_{II} = 12,3$ cm $I_{II} = 93424$ cm^4

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

$$= \frac{9667 \times 93424}{1 - 1,0 \times 0,5 \times (10,260/19,343)^2 \times (1 - 93424/164304)} \times 10^{-5} = 9614 \text{ kNm}^2$$



Wykres sztywności i momentów dla obciążeń długotrwałych.



Ugięcia.

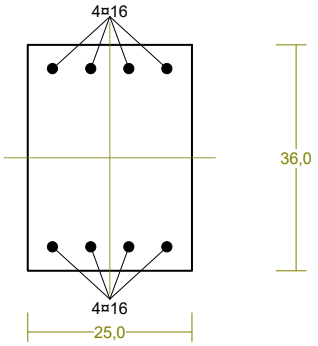
Ugięcie w punkcie o współrzędnej x = 2,116 m, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta (1/ρ) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

$a = a_{\infty,d} = 0,6$ mm

$a = \mathbf{0,6 < 19,4} = a_{lim}$

Cechy przekroju (Skrócony) – przęsło 2:

Belka kalenicowa, pręt nr 4, przekrój: x_a=2,40 m, x_b=2,41 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:

pręt nr 4, przekrój: x_a=2,40 m, x_b=2,41 m

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **AB**

Momenty zginające:	M_x = -41,185 kNm,	M_y = 0,000 kNm,
Siły poprzeczne:	V_y = -18,521 kN,	V_x = 0,000 kN,
Siła osiowa:	N = -2,923 kN = N_{Sd},	

Uwzględnienie smukłości pręta:

- w płaszczyźnie ustroju:

$e_{ey} = M_x/N = (-41{,}185)/(-2{,}923)=14{,}090$ m,

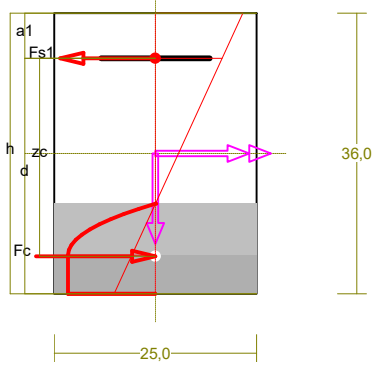
$M_{Sdx} = \eta_x\ (e_{ay} + e_{ey})\ N = 1{,}001\times(0{,}020 +14{,}090)\times(-2{,}923) = -41{,}266$ kNm,.

Zbrojenie wymagane:

(pręt nr 4, przekrój: x_a=4,81 m, x_b=0,00 m)

Obliczenia wykonano:

- przy założeniu maksymalnego wykorzystania nośności strefy ściskanej betonu (ξ_{lim}=0,693).



Wielkości obliczeniowe:
N_{Sd}=-2,923 kN,
$M_{Sd}=\sqrt{(M_{Sdx}^2+ M_{Sdy}^2)} = \sqrt{(63,149^2+0,000^2)}$ =63,149 kNm
f_{cd}=10,7 MPa, f_{yd}=310 MPa =f_{td},
Zbrojenie rozciągane (ε_{s1}=5,65 ‰):
A_{s1}=**7,97** cm^2 ⇒ (4¤16 = 8,04 cm^2),
Dodatkowe zbrojenie ściskane nie jest obliczeniowo wymagane.
$A_s=A_{s1}+A_{s2}$=7,97 cm^2, $\rho=100\times A_s/A_c= 100\times7,97/900$=0,89 %
Wielkości geometryczne [cm]:
h=36,0, d=30,2, x=11,5 (ξ=0,382),
a_1=5,8, a_c=4,8, z_c=25,4, A_{cc}=289 cm^2,
ε_c=-3,50 ‰, ε_{s1}=5,65 ‰,
Wielkości statyczne [kN, kNm]:
F_c= -250,054, F_{s1} = 247,132,
M_c= 32,999, M_{s1} = 30,150,
Warunki równowagi wewnętrznej:
F_c+F_{s1}=-250,054+(247,132)=-2,922 kN (N_{Sd}=-2,923 kN)
M_c+M_{s1}=32,999+(30,150)=63,149 kNm (M_{Sd}=63,149 kNm)

Długości wyboczeniowe pręta:

zadanie Belka kalenicowa_wzmocniona_v2, pręt nr 4

- **przy wyboczeniu w płaszczyźnie układu:**

  podatności węzłów ustalone według załącznika C normy, współczynnik β obliczono jak dla pręta dwustronnie zamocowanego w układzie nieprzesuwnym

  ze wzoru (C.1) $l_o = \beta\, l_{col}$, l_{col}=4,810 m,

  podatności węzłów: κ_a =0,206 ⇒ k_A =(1/κ_a-1)=3,848, ε_b =0,775 ⇒ k_B =(1/κ_b-1)=0,290,

  $\beta = 0,5 + 0,25/(k_A+1) + 0,25/(k_B+1) = 0,5 + 0,25/(3,848+1) + 0,25/(0,290+1) = 0,745$ ⇒ l_o= 0,745×4,810 = 3,585 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} = 4,810, $l_o=\mu\, l_{col}$ = 1,000×4,810 = 4,810 m

Uwzględnienie wpływu smukłości pręta:

zadanie Belka kalenicowa_wzmocniona_v2, pręt nr 4

- **w płaszczyźnie ustroju:**

  mimośród niezamierzony: (l_{col}=4,810 m, h=0,360 m) $e_a = \max\left\langle \frac{l_{col}}{600}, \frac{h}{30}, 0,01 \right\rangle$ = max⟨0,008, 0,012, 0,010⟩ =0,012 m, przyjęto: e_a=0,020 m,

  mimośród statyczny: $M_{max}=M_{3Sd}$ =41,230 kNm, N_{Sd}=-2,923 kN ⇒ $e_e=|M_{max}/N|=|41,230/(-2,923)|$ = 14,105 m,

  mimośród początkowy: $e_o=e_a+e_e$=0,020+14,105=14,125 m,

  obliczenie siły krytycznej:
  - długość wyboczeniowa: l_o=3,585 m (obliczona wg PN),
  - moduł sprężystości betonu: $E_{cm}=29,0\cdot10^6$ kPa,
  - momenty bezwładności: $I_c=9,7200\cdot10^{-4}$ m^4,
    $I_s=0,3243\cdot10^{-4}$ m^4 (dla zbrojenia rzeczywistego)
  - $e_o/h=\max\langle(e_a+e_e)/h, 0,05, 0,5-0,01(l_o/h+f_{cd})\rangle = \max\langle39,237, 0,05, 0,293\rangle$ = 39,237,

- k_{lt}=1+0,5 ($N_{Sd,lt}/N_{Sd}$) $\phi_{(t,to)}$ =1 + 0,5×1,000×2,00 = 2,000,

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

$$\frac{9}{3{,}585^2}\left[\frac{2{,}900\cdot10^{7}\times9{,}720\cdot10^{-4}}{2\times2{,}000}\left(\frac{0{,}11}{0{,}1+39{,}237}+0{,}1\right)+2{,}0\cdot10^{8}\times3{,}243\cdot10^{-5}\right] = 5049{,}069 \text{ kN}$$

współczynnik zwiększający mimośród początkowy:

$$\eta = \frac{1}{1-N_{Sd}/N_{crit}} = \frac{1}{1 - (2{,}923 / 5049{,}069)} = 1{,}001$$

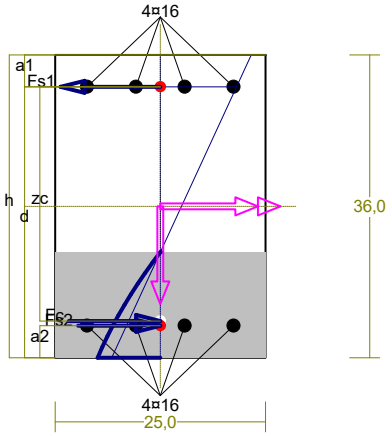
,

- **<u>w płaszczyźnie prostopadłej do ustroju:</u>**

uwzględnienie wpływu smukłości zaniechano

Nośność przekroju prostopadłego:

pręt nr 4, przekrój: x_a=4,81 m, x_b=0,00 m



Wielkości obliczeniowe:

N_{Sd}=-2,923 kN,

$M_{Sd}=\sqrt{(M_{Sdx}^2+ M_{Sdy}^2)} = \sqrt{(63{,}149^2+0{,}000^2)}$ =63,149 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=12,5 (ξ=0,390),

a_1=3,8, a_2=3,8, a_c=4,4, z_c=27,8, A_{cc}=314 cm^2,

ε_c=-0,89 ‰, ε_{s2}=-0,62 ‰, ε_{s1}=1,39 ‰,

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

F_c= -126,868, F_{s1} = 223,416, F_{s2} = -99,470,

M_c= 17,299, M_{s1} = 31,725, M_{s2} = 14,125,

Warunek stanu granicznego nośności:

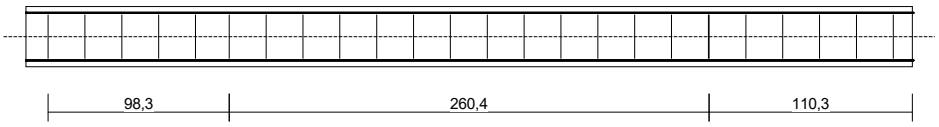
M_{Rd} = **72,980 kNm** > $M_{Sd}=M_c+M_{s1}+M_{s2}$=17,299+(31,725)+(14,125)=**63,149** kNm

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: $x_a = 12,0$ $x_b = 110,3$ 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 2

Początek i koniec strefy: $x_a = 110,3$ $x_b = 370,7$ 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: $x_a = 370,7$ $x_b = 481,0$ 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.

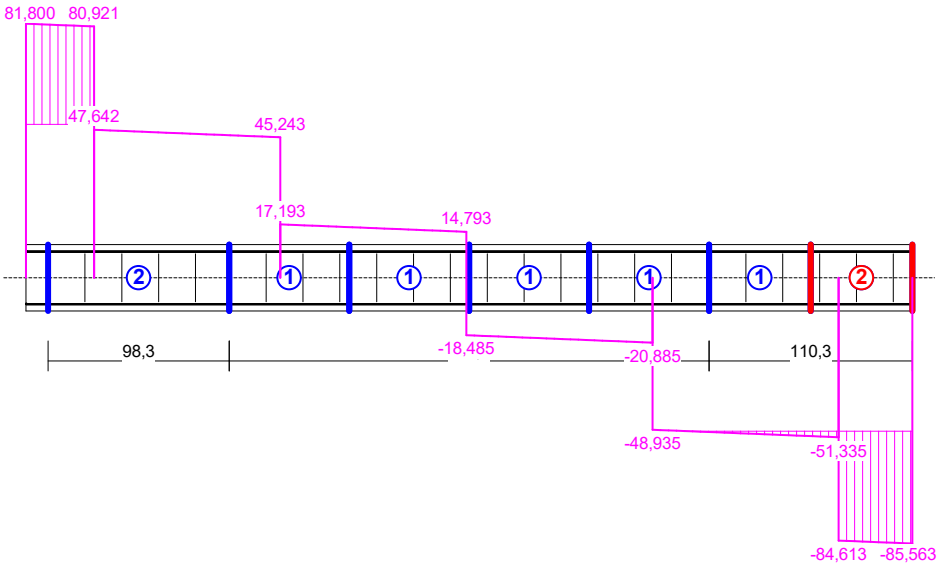
Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **20,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

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

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

Ścinanie

Przyjęto podparcie lub obciążenie pośrednie.



Odcinek nr 7

Początek i koniec odcinka: $x_a = 425,8$ $x_b = 481,0$ cm

Siły przekrojowe: $N_{Sd} = -2,923$;

$V_{Sd\ max} = -85,563$ 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 $\rho_L = 0,00999$.

$\sigma_{cp} = N_{Sd} / A_C = 2,923 / 1010,93 \times 10 = 0,03$ MPa $\qquad \sigma_{cp} \le 0,2\ f_{cd}$

Przyjęto $\sigma_{cp} = 0,03$ MPa.

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

$= [0,35 \times 1,28 \times 0,90 \times (1,2+40 \times 0,00999) + 0,15 \times 0,03] \times 25,0 \times 32,2 \times 10^{-1} = 52,269$ kN

$V_{Sd} = 85,563 > 52,269 = V_{Rd1}$

Nośność odcinka II-go rodzaju:

Przyjęto kąt $\theta = 26,6°$

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

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

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

Przyjęto $\Delta V_{Rd} = 0,000$ kN.

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

$$= 0,562 \times 10,7 \times 25,0 \times 27,8 \frac{2,000}{1 + 2,000^2} \times 10^{-1} + 0,000 = 167,267 \text{ kN}$$

$\alpha_c = 1 + \sigma_{cp}/f_{cd} = 1 + 0,03/10,7 = 1,003$

$V_{Rd2,red} = \alpha_c \, VRd2 = 1,003 \times 167,267 = 167,719$ kN

Przyjęto $V_{Rd2,red} = 167,267$ kN

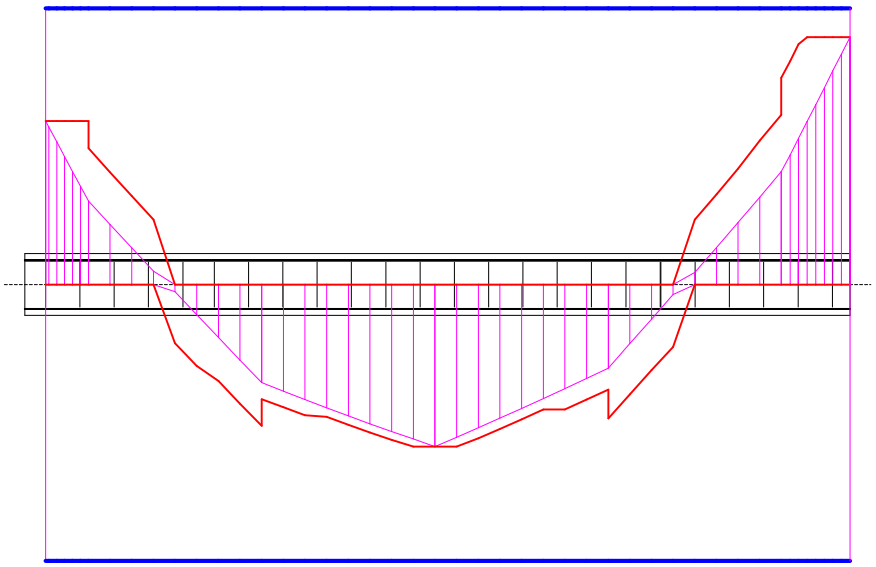
$V_{Sd} = \mathbf{85,563 < 167,267} = V_{Rd2,red}$

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

$$= \frac{1,01 \times 190}{20,0} 27,8 \times 2,000 \times 10^{-1} = 53,168 \text{ kN}$$

$V_{Sd} = \mathbf{85,563 > 53,168} = V_{Rd3}$

Nośność zbrojenia podłużnego



Sprawdzenie siły przenoszonej przez zbrojenie rozciągane dla x = 4,560 m:

$\Delta F_{td} = 0,5 \, |V_{Sd}| \, (\cot\theta - V_{Rd32}/ V_{Rd3} \cot\alpha) = 0,5 \times -84,969 \times (2,000 - 0,000/53,168 \times -0,000) =$ 84,969 kN

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciąganym:

$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 147,272 + 84,969 = 232,242$ kN;

$F_{td} \le F_{td,max} = 223,416$ kN

Przyjęto $F_{td} = 223,416$ kN

$F_{td} = \mathbf{223,416 < 249,317} = 8,04 \times 310 \times 10^{-1} = A_s \, f_{yd}$

Zarysowanie

Położenie przekroju: x = 4,810 m

Siły przekrojowe: $M_{Sd} = -46,630$ kNm

$N_{Sd} = -2,161$ kN e = 2159,8 cm

$V_{Sd} = -63,182$ 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:

$$A_s = k_c\, k\, f_{ct,eff}\, A_{ct} / \sigma_{s,lim} =$$
$$= 0{,}4 \times 1{,}0 \times 1{,}9 \times 450 / 240 = 1{,}42\ cm^2$$

$$A_{s1} = \mathbf{8{,}04 > 1{,}42} = A_s$$

Zarysowanie:

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

$$N_{cr} = \frac{f_{ctm}}{e / W_c - 1 / A_c} = \frac{1{,}9}{2159{,}8/5400{,}00 - 1/900{,}00} \times 10^{-1} = -0{,}476\ kN$$

$$N_{Sd} = 2{,}161 > 0{,}476 = N_{cr}$$

Przekrój zarysowany.

Szerokość rozwarcia rysy prostopadłej do osi pręta:

Przyjęto $k_2 = 0{,}5$.

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

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

$$\varepsilon_{sm} = \sigma_s / E_s\, [1 - \beta_1 \beta_2\, (\sigma sr / \sigma s)^2] =$$
$$= 204{,}36/200000 \times [1 - 1{,}0 \times 0{,}5 \times (-0{,}476/2{,}161)^2] = 0{,}00100$$

$$w_k = \beta\, s_{rm}\, \varepsilon_{sm} = 1{,}7 \times 89{,}28 \times 0{,}00100 = 0{,}15\ mm$$

$$w_k = \mathbf{0{,}15 < 0{,}3} = w_{lim}$$

Szerokość rozwarcia rysy ukośnej:

$$\rho_{w1} = \frac{A_{sw1}}{s_1 b_w} = \frac{1{,}01}{20{,}0 \times 25{,}0} = 0{,}00201$$

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

$$\rho_w = \rho_{w1} + \rho_{w2} = 0{,}00201 + 0{,}00000 = 0{,}00201$$

$$\lambda = \frac{1}{3\left[\frac{\rho_{w1}}{\eta_1 \phi_1} + \frac{\rho_{w2}}{\eta_2 \phi_2}\right]} = \frac{1}{3 \times [0{,}00201/(1{,}0 \times 8{,}0)]} = 1326{,}29$$

$$\tau = \frac{V_{Sd}}{b_w d} = \frac{-63{,}182}{25{,}0 \times 32{,}2} \times 10 = 0{,}785\ MPa$$

$$w_k = \frac{4\, \tau^2\, \lambda}{\rho_w E_s f_{ck}} = \frac{4 \times 0{,}785^2 \times 1326{,}29}{0{,}00201 \times 200000 \times 16} = 0{,}51\ mm$$

$$w_k = \mathbf{0{,}51 > 0{,}3} = w_{lim}$$

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} = -46,630 kN powoduje zarysowanie przekroju.

Sztywność dla długotrwałego działania obciążeń długotrwałych:

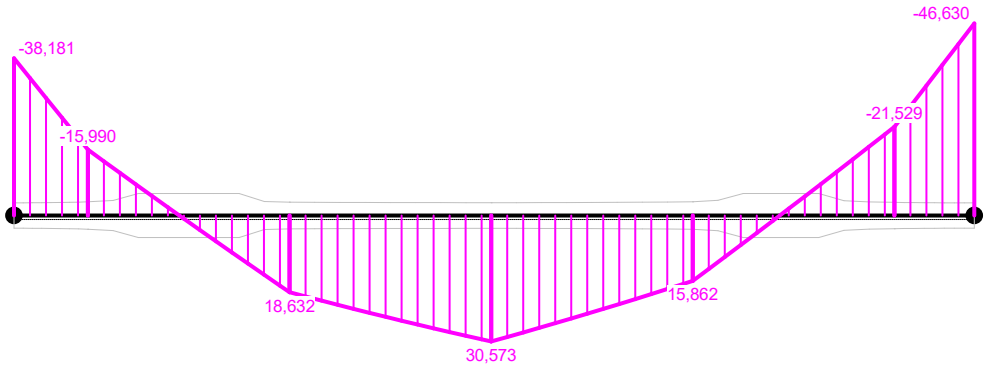
Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu M_{Sd} = -46,630 kNm.

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

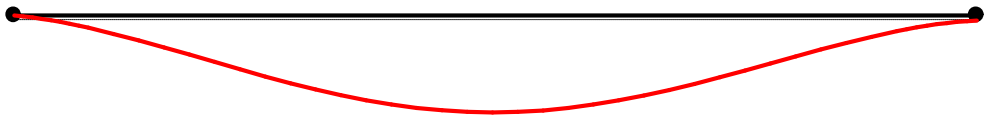
x_{II} = 12,3 cm I_{II} = 93424 cm^4

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

$$= \frac{9667 \times 93424}{1 - 1{,}0 \times 0{,}5 \times (10{,}260/46{,}630)^2 \times (1 - 93424/164304)} \times 10^{-5} = 9126 \text{ kNm}^2$$



Wykres sztywności i momentów dla obciążeń długotrwałych.



Ugięcia.

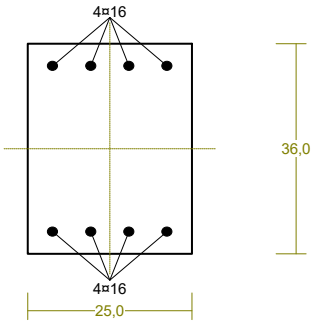
Ugięcie w punkcie o współrzędnej x = 2,390 m, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta (1/ρ) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

$a = a_{\infty,d}$ = 4,3 mm

a = **4,3 < 24,1** = a_{lim}

Cechy przekroju (Skrócony) – przęsło 4:

Belka kalenicowa, pręt nr 5, przekrój: x_a=2,25 m, x_b=2,25 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:

pręt nr 5, przekrój: x_a=2,25 m, x_b=2,25 m

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **AB**

Momenty zginające:	M_x = -22,976 kNm,	M_y = 0,000 kNm,
Siły poprzeczne:	V_y = -5,249 kN,	V_x = 0,000 kN,
Siła osiowa:	N = -1,399 kN = N_{Sd},	

Uwzględnienie smukłości pręta:

- w płaszczyźnie ustroju:

$e_{ey} = M_x/N = (-22{,}976)/(-1{,}399)=16{,}423$ m,

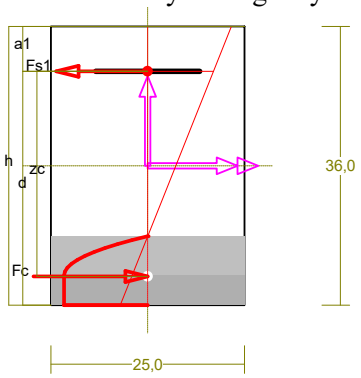
$M_{Sdx} = \eta_x\ (e_{ay} + e_{ey})\ N = 1{,}000\times(0{,}020 +16{,}423)\times(-1{,}399) = -23{,}020$ kNm,.

Zbrojenie wymagane:

(pręt nr 5, przekrój: x_a=0,12 m, x_b=4,38 m)

Obliczenia wykonano:

- przy założeniu maksymalnego wykorzystania nośności strefy ściskanej betonu (ξ_{lim}=0,693).



Wielkości obliczeniowe:
N_{Sd}=-1,399 kN,
$M_{Sd}=\sqrt{(M_{Sdx}^2+ M_{Sdy}^2)} = \sqrt{(50,900^2+0,000^2)}$ =50,900 kNm
f_{cd}=10,7 MPa, f_{yd}=310 MPa =f_{td},
Zbrojenie rozciągane (ε_{s1}=8,38 ‰):
A_{s1}=**6,17** cm^2 ⇒ (4¤16 = 8,04 cm^2),
Dodatkowe zbrojenie ściskane nie jest obliczeniowo wymagane.
$A_s=A_{s1}+A_{s2}$=6,17 cm^2, $\rho=100\times A_s/A_c= 100\times6,17/900$=0,69 %

Wielkości geometryczne [cm]:

h=36,0, d=30,2, x=8,9 (ξ=0,295),
a_1=5,8, a_c=3,7, z_c=26,5, A_{cc}=223 cm^2,
ε_c=-3,50 ‰, ε_{s1}=8,38 ‰,

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

F_c= -192,738, F_{s1} = 191,339,
M_c= 27,557, M_{s1} = 23,343,

Warunki równowagi wewnętrznej:

F_c+F_{s1}=-192,738+(191,339)=-1,399 kN (N_{Sd}=-1,399 kN)
M_c+M_{s1}=27,557+(23,343)=50,900 kNm (M_{Sd}=50,900 kNm)

Długości wyboczeniowe pręta:

- **przy wyboczeniu w płaszczyźnie układu:**

podatności węzłów ustalone według załącznika C normy, współczynnik β obliczono jak dla pręta dwustronnie zamocowanego w układzie nieprzesuwnym

ze wzoru (C.1) $l_o = \beta\, l_{col}$, l_{col}=4,500 m,

podatności węzłów: κ_a =0,775 ⇒ k_A =(1/κ_a-1)=0,290, κ_b =0,867 ⇒ k_B =(1/κ_b-1)=0,153,

$\beta = 0,5 + 0,25/(k_A+1) + 0,25/(k_B+1) = 0,5 + 0,25/(0,290+1) + 0,25/(0,153+1) = 0,911 \Rightarrow l_o= 0,911\times4,500 = 4,098$ 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} = 4,500, $l_o= \mu\, l_{col} = 1,000\times4,500 = 4,500$ m

Uwzględnienie wpływu smukłości pręta:

- **w płaszczyźnie ustroju:**

mimośród niezamierzony: (l_{col}=4,500 m, h=0,360 m) $e_a = \max\left\langle \frac{l_{col}}{600}, \frac{h}{30}, 0,01 \right\rangle$ = max⟨0,008, 0,012, 0,010⟩ =0,012 m, przyjęto: e_a=0,020 m,

mimośród statyczny: $M_{max}=M_{3Sd}$ =23,747 kNm, N_{Sd}=-1,399 kN ⇒ $e_e= |M_{max}/N| = |23,747/(-1,399)| = 16,974$ m,

mimośród początkowy: $e_o=e_a+e_e$=0,020+16,974=16,994 m,

obliczenie siły krytycznej:
- długość wyboczeniowa: l_o=4,098 m (obliczona wg PN),
- moduł sprężystości betonu: $E_{cm}=29,0\cdot10^6$ kPa,
- momenty bezwładności: $I_c=9,7200\cdot10^{-4}$ m^4,
  $I_s=0,3243\cdot10^{-4}$ m^4 (dla zbrojenia rzeczywistego)
- $e_o/h=\max\langle(e_a+e_e)/h, 0,05, 0,5\text{-}0,01(l_o/h+f_{cd})\rangle = \max\langle47,206, 0,05, 0,279\rangle = 47,206$,
- $k_{lt}=1+0,5\,(N_{Sd,lt}/N_{Sd})\,\phi_{(t,to)} =1 + 0,5\times1,000\times2,00 = 2,000$,

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

$$\frac{9}{4{,}098^2}\left[\frac{2{,}900\cdot10^{7}\times9{,}720\cdot10^{-4}}{2\times2{,}000}\left(\frac{0{,}11}{0{,}1+47{,}206}+0{,}1\right)+2{,}0\cdot10^{8}\times3{,}243\cdot10^{-5}\right] = 3863{,}492 \text{ kN}$$

współczynnik zwiększający mimośród początkowy:

$$\eta = \frac{1}{1-N_{Sd}/N_{crit}} = \frac{1}{1-(1{,}399/3863{,}492)} = 1{,}000$$

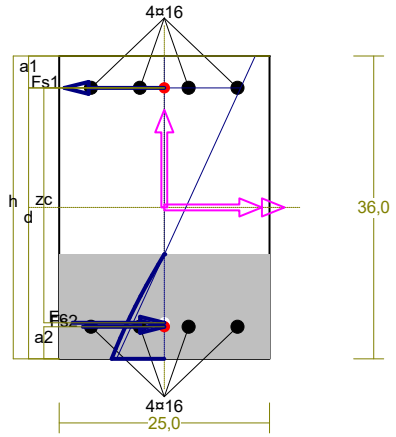
,

- **w płaszczyźnie prostopadłej do ustroju:**

uwzględnienie wpływu smukłości zaniechano

Nośność przekroju prostopadłego:

pręt nr 5, przekrój: x_a=0,12 m, x_b=4,38 m



Wielkości obliczeniowe:

N_{Sd}=-1,399 kN,

$M_{Sd}=\sqrt{(M_{Sdx}^2+M_{Sdy}^2)}=\sqrt{(50{,}900^2+0{,}000^2)}$ =50,900 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=0,386),

a_1=3,8, a_2=3,8, a_c=4,3, z_c=27,9, A_{cc}=310 cm^2,

ε_c=-0,70 ‰, ε_{s2}=-0,49 ‰, ε_{s1}=1,12 ‰,

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

F_c= -103,134, F_{s1} = 180,258, F_{s2} = -78,523,

M_c= 14,154, M_{s1} = 25,597, M_{s2} = 11,150,

Warunek stanu granicznego nośności:

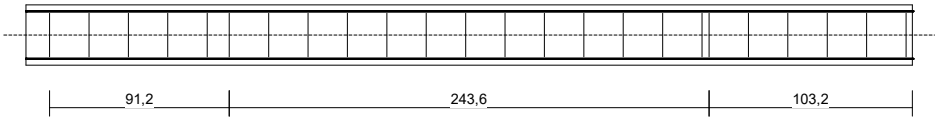
M_{Rd} = **72,787 kNm** > $M_{Sd}=M_c+M_{s1}+M_{s2}$=14,154+(25,597)+(11,150)=**50,900** kNm

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: $x_a = 12,0$ $x_b = 103,2$ 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 2

Początek i koniec strefy: $x_a = 103,2$ $x_b = 346,8$ 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: $x_a = 346,8$ $x_b = 450,0$ 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.

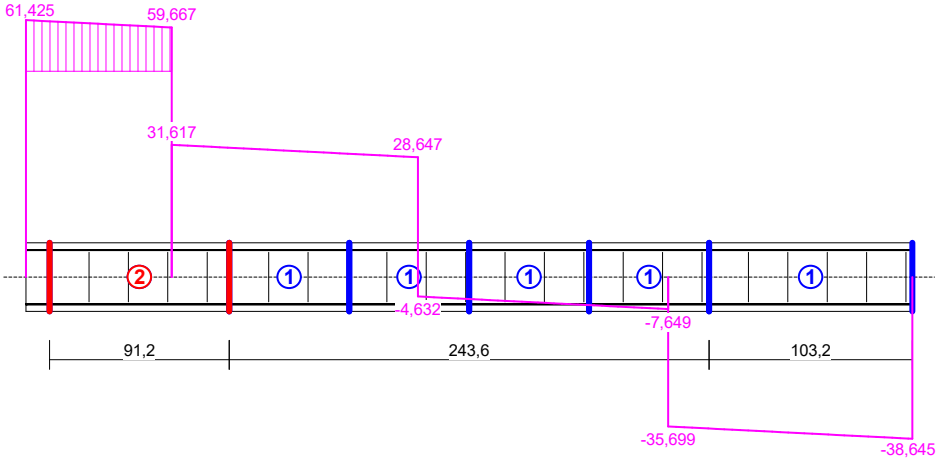
Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **20,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

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

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

Ścinanie

Przyjęto podparcie lub obciążenie pośrednie.



Odcinek nr 1

Początek i koniec odcinka: $x_a = 12,0$ $x_b = 103,2$ cm

Siły przekrojowe: $N_{Sd} = -1,399$;

$V_{Sd\ max} = 61,140$ 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 $\rho_L = 0,00999$.

$\sigma_{cp} = N_{Sd} / A_C = 1,399 / 1010,93 \times 10 = 0,01$ MPa $\qquad \sigma_{cp} \le 0,2\ f_{cd}$

Przyjęto $\sigma_{cp} = 0,01$ MPa.

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

$= [0,35 \times 1,28 \times 0,90 \times (1,2+40 \times 0,00999) + 0,15 \times 0,01] \times 25,0 \times 32,2 \times 10^{-1} = 52,087$ kN

$V_{Sd} = 61,140 > 52,087 = V_{Rd1}$

Nośność odcinka II-go rodzaju:

Przyjęto kąt $\theta = 26,6°$

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

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

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

Przyjęto $\Delta V_{Rd} = 0,000$ kN.

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

$$= 0,562 \times 10,7 \times 25,0 \times 27,9 \frac{2,000}{1 + 2,000^2} \times 10^{-1} + 0,000 = 167,795 \text{ kN}$$

$\alpha_c = 1 + \sigma_{cp}/f_{cd} = 1 + 0,01/10,7 = 1,001$

$V_{Rd2,red} = \alpha_c\ VRd2 = 1,001 \times 167,795 = 168,012$ kN

Przyjęto $V_{Rd2,red} = 167,795$ kN

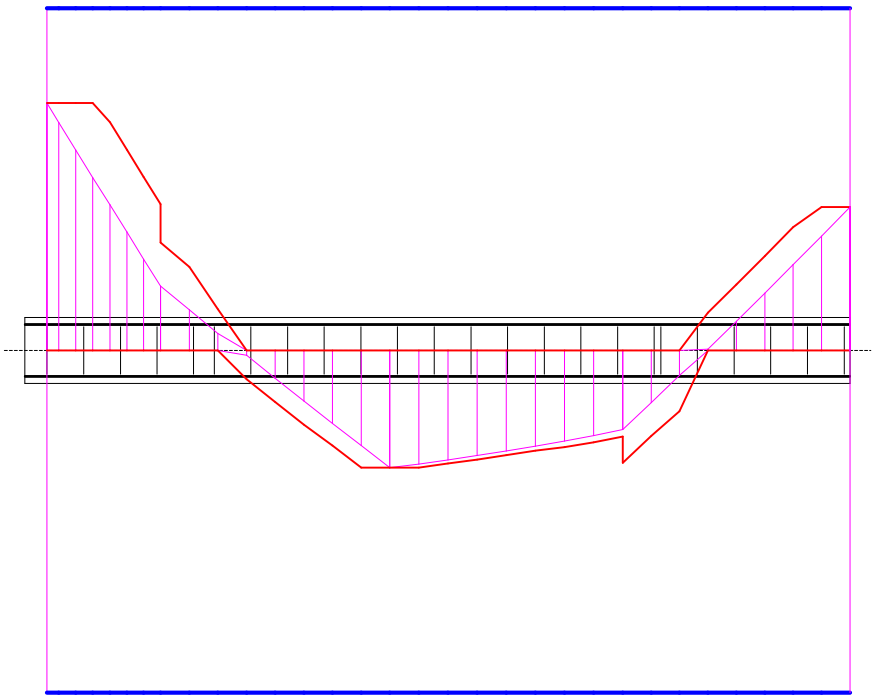
$V_{Sd} =$ **61,140 < 167,795** $= V_{Rd2,red}$

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

$$= \frac{1,01 \times 190}{20,0} 27,9 \times 2,000 \times 10^{-1} = 53,336 \text{ kN}$$

V_{Sd} = **61,140 > 53,336** = V_{Rd3}

Nośność zbrojenia podłużnego



Sprawdzenie siły przenoszonej przez zbrojenie rozciągane dla x = 0,370 m:

$\Delta F_{td} = 0,5\ |V_{Sd}|\ (\cot\theta - V_{Rd32}/\ V_{Rd3}\ \cot\alpha) = 0,5 \times 60,546 \times (2,000 - 0,000/53,336 \times -0,000) =$ 60,546 kN

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciąganym:

$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 125,971 + 60,546 = 186,517$ kN;

$F_{td} \le F_{td,max} = 180,258$ kN

Przyjęto $F_{td} = 180,258$ kN

F_{td} = **180,258 < 249,317** = $8,04 \times 310 \times 10^{-1} = A_s\ f_{yd}$

Zarysowanie

Położenie przekroju: x = 0,120 m

Siły przekrojowe: M_{Sd} = -37,616 kNm

N_{Sd} = -1,050 kN e = 3584,0 cm

V_{Sd} = 45,312 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:

$$A_s = k_c\, k\, f_{ct,eff}\, A_{ct} / \sigma_{s,lim} =$$
$$= 0{,}4\times1{,}0\times1{,}9\times450 / 240 = 1{,}42\ cm^2$$

$$A_{s1} = \mathbf{8{,}04 > 1{,}42} = A_s$$

Zarysowanie:

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

$$N_{cr} = \frac{f_{ctm}}{e / W_c - 1/A_c} = \frac{1{,}9}{3584{,}0/5400{,}00 - 1/900{,}00}\times10^{-1} = -0{,}287\ kN$$

$$N_{Sd} = 1{,}050 > 0{,}287 = N_{cr}$$

Przekrój zarysowany.

Szerokość rozwarcia rysy prostopadłej do osi pręta:

Przyjęto $k_2 = 0{,}5$.

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

$$s_{rm} = 50 + 0{,}25\, k_1\, k_2\, \phi / \rho_r = 50 + 0{,}25\times0{,}8\times0{,}50\times16/0{,}04074 = 89{,}28$$

$$\varepsilon_{sm} = \sigma_s / E_s\, [1 - \beta_1\beta_2\, (\sigma sr / \sigma s)^2] =$$
$$= 165{,}25/200000\times[1 - 1{,}0\times0{,}5\times(-0{,}287/1{,}050)^2] = 0{,}00080$$

$$w_k = \beta\, s_{rm}\, \varepsilon_{sm} = 1{,}7\times89{,}28\times0{,}00080 = 0{,}12\ mm$$

$$w_k = \mathbf{0{,}12 < 0{,}3} = w_{lim}$$

Szerokość rozwarcia rysy ukośnej:

$$\rho_{w1} = \frac{A_{sw1}}{s_1 b_w} = \frac{1{,}01}{20{,}0\times25{,}0} = 0{,}00201$$

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

$$\rho_w = \rho_{w1} + \rho_{w2} = 0{,}00201 + 0{,}00000 = 0{,}00201$$

$$\lambda = \frac{1}{3\left[\frac{\rho_{w1}}{\eta_1\phi_1} + \frac{\rho_{w2}}{\eta_2\phi_2}\right]} = \frac{1}{3\times[0{,}00201/(1{,}0\times8{,}0)]} = 1326{,}29$$

$$\tau = \frac{V_{Sd}}{b_w d} = \frac{45{,}312}{25{,}0\times32{,}2}\times10 = 0{,}563\ MPa$$

$$w_k = \frac{4\,\tau^2\,\lambda}{\rho_w E_s f_{ck}} = \frac{4\times0{,}563^2\times1326{,}29}{0{,}00201\times200000\times16} = 0{,}26\ mm$$

$$w_k = \mathbf{0{,}26 < 0{,}3} = w_{lim}$$

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} = -43,069 kN powoduje zarysowanie przekroju.

Sztywność dla długotrwałego działania obciążeń długotrwałych:

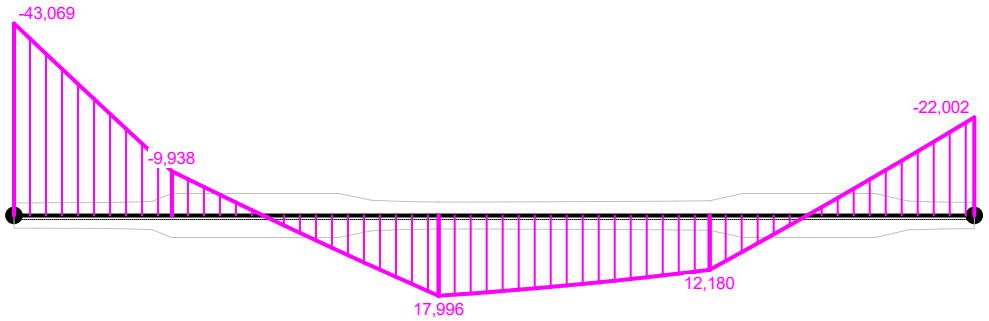
Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu M_{Sd} = -43,069 kNm.

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

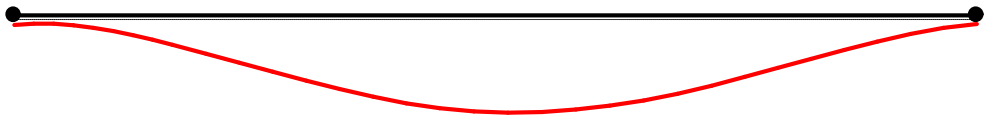
x_{II} = 12,3 cm I_{II} = 93424 cm^4

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

$$= \frac{9667 \times 93424}{1 - 1{,}0 \times 0{,}5 \times (10{,}260/43{,}069)^2 \times (1 - 93424/164304)} \times 10^{-5} = 9143 \text{ kNm}^2$$



Wykres sztywności i momentów dla obciążeń długotrwałych.



Ugięcia.

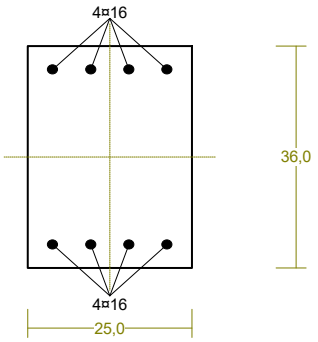
Ugięcie w punkcie o współrzędnej x = 2,308 m, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta (1/ρ) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

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

a = **2,3 < 22,5** = a_{lim}

Cechy przekroju (Skrócony) – przęsło 5:

Belka kalenicowa, pręt nr 6, przekrój: x_a=0,84 m, x_b=0,85 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:

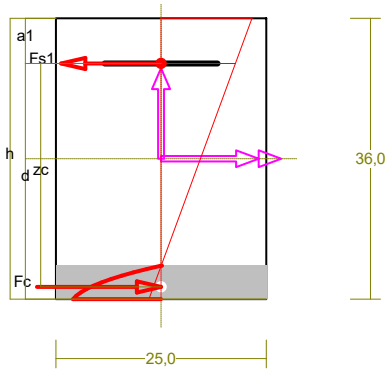
Belka kalenicowa, pręt nr 6, przekrój: x_a=0,84 m, x_b=0,85 m

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **AB**

Momenty zginające:	M_x = -4,164 kNm,	M_y = 0,000 kNm,
Siły poprzeczne:	V_y = 10,648 kN,	V_x = 0,000 kN,
Siła osiowa:	N = 0,000 kN = N_{Sd}, .	

Zbrojenie wymagane:

(pręt nr 6, przekrój: x_a=0,12 m, x_b=1,57 m)



Wielkości obliczeniowe:

N_{Sd}=0,000 kN,

$M_{Sd}=\sqrt{(M_{Sdx}^2+M_{Sdy}^2)}=\sqrt{(19{,}608^2+0{,}000^2)}$ =19,608 kNm

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

Zbrojenie rozciągane (ε_{s1}=10,00 ‰):

A_{s1}=**2,21** cm^2 ⇒ (2¤16 = 4,02 cm^2),

Dodatkowe zbrojenie ściskane nie jest obliczeniowo wymagane.

$A_s=A_{s1}+A_{s2}=2,21$ cm^2, $\rho=100\times A_s/A_c= 100\times 2,21/900=0,25$ %

Wielkości geometryczne [cm]:

h=36,0, d=30,2, x=4,3 (ξ=0,142),
a_1=5,8, a_c=1,6, z_c=28,6, A_{cc}=107 cm^2,
ε_c=-1,65 ‰, ε_{s1}=10,00 ‰,

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

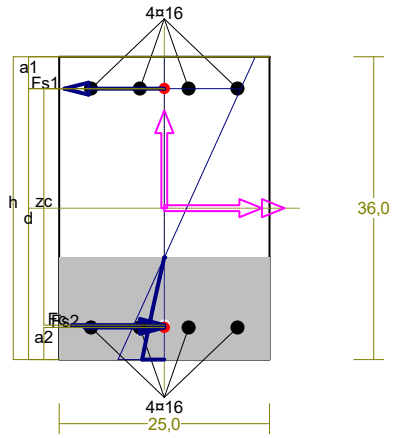
F_c= -68,468, F_{s1} = 68,468,
M_c= 11,255, M_{s1} = 8,353,

Warunki równowagi wewnętrznej:

F_c+F_{s1}=-68,468+(68,468)=-0,000 kN (N_{Sd}=0,000 kN)
M_c+M_{s1}=11,255+(8,353)=19,608 kNm (M_{Sd}=19,608 kNm)

Nośność przekroju prostopadłego:

pręt nr 6, przekrój: x_a=0,12 m, x_b=1,57 m



Wielkości obliczeniowe:
N_{Sd}=0,000 kN,
$M_{Sd}=\sqrt{(M_{Sdx}^2+ M_{Sdy}^2)} = \sqrt{(19,608^2+0,000^2)} =19,608$ 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, $\rho=100\times A_s/A_c= 100\times 16,08/900=1,79$ %
Wielkości geometryczne [cm]:
h=36,0, d=32,2, x=12,1 (ξ=0,377),
a_1=3,8, a_2=3,8, a_c=4,1, z_c=28,1, A_{cc}=303 cm^2,
ε_c=-0,26 ‰, ε_{s2}=-0,18 ‰, ε_{s1}=0,43 ‰,
Wielkości statyczne [kN, kNm]:
F_c= -40,584, F_{s1} = 69,461, F_{s2} = -28,877,
M_c= 5,644, M_{s1} = 9,863, M_{s2} = 4,101,
Warunek stanu granicznego nośności:
M_{Rd} = **72,505 kNm** > $M_{Sd}=M_c+M_{s1}+M_{s2}=5,644+(9,863)+(4,101)=$**19,608** kNm

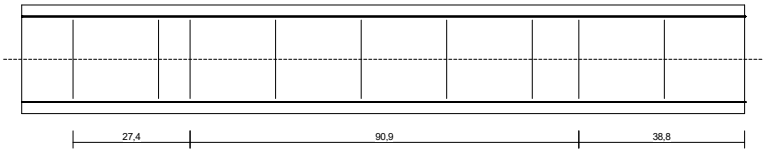
Zbrojenie poprzeczne (strzemiona)

zadanie Belka kalenicowa_wzmocniona_v2, pręt nr 6

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: $x_a = 12,0$ $x_b = 39,4$ 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:

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

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

Strefa nr 2

Początek i koniec strefy: $x_a = 39,4$ $x_b = 130,2$ 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:

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

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

Strefa nr 3

Początek i koniec strefy: $x_a = 130,2$ $x_b = 169,0$ 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.

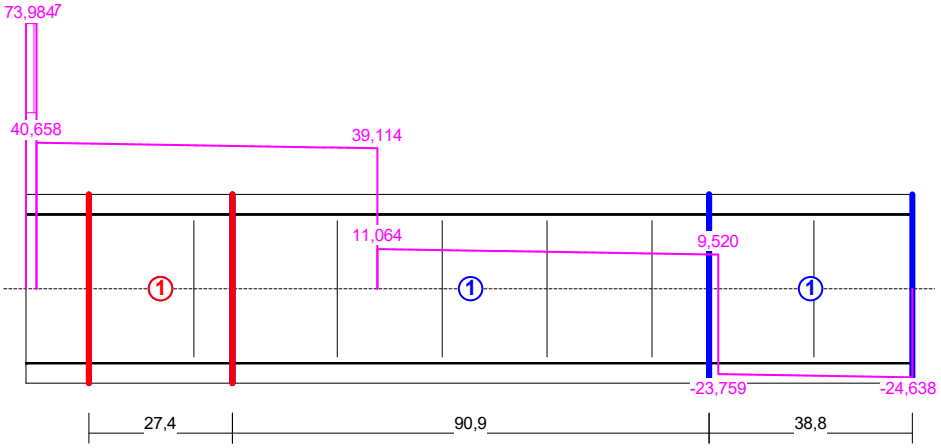
Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **20,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

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

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

Ścinanie

Przyjęto podparcie lub obciążenie pośrednie.



Odcinek nr 1

Początek i koniec odcinka: $x_a = 12,0 \quad x_b = 39,4$ cm

Siły przekrojowe: $N_{Sd} = 0,000$;

$V_{Sd\ max} = 40,421$ 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

$V_{Sd} = 40,421 < 51,920 = V_{Rd1}$

Nośność odcinka I-go rodzaju:

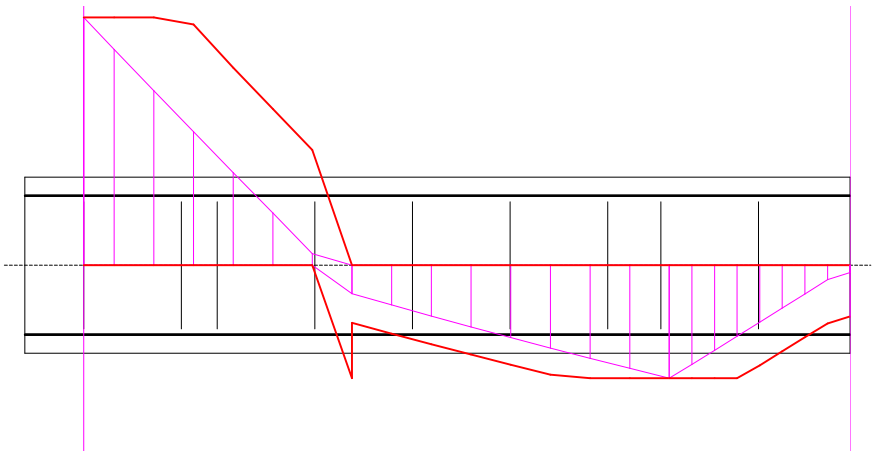
$V_{Sd} = \mathbf{40,421 < 51,920} = V_{Rd1}$

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

$V_{Rd2} = 0,5\ \nu\ f_{cd}\ b_w\ z = 0,5 \times 0,562 \times 10,7 \times 25,0 \times 28,1 \times 10^{-1} = 211,126$ kN

$V_{Sd} = \mathbf{40,421 < 211,126} = V_{Rd2}$

Nośność zbrojenia podłużnego



Sprawdzenie siły przenoszonej przez zbrojenie rozciągane dla x = 0,264 m:

$\Delta F_{td} = 0,5\ |V_{Sd}|\ (\cot\theta - V_{Rd32}/\ V_{Rd3}\ \cot\alpha) = 0,5\times40,079\times(1,506) = 30,175$ kN

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciąganym:

$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 48,938 + 30,175 = 79,113$ kN;

$F_{td} \le F_{td,max} = 69,461$ kN

Przyjęto $F_{td} = 69,461$ kN

$F_{td} =$ **69,461 < 249,317** $= 8,04\times310\times10^{-1} = A_s\ f_{yd}$

Zarysowanie

Położenie przekroju:	x = 0,120 m
Siły przekrojowe:	M_{Sd} = -14,552 kNm
	N_{Sd} = 0,000 kN
	V_{Sd} = 29,842 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:

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

$M_{Sd} = 14,552 > 10,260 = M_{cr}$

Przekrój zarysowany.

Szerokość rozwarcia rysy prostopadłej do osi pręta:

Przyjęto $k_2 = 0,5$.

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

$s_{rm} = 50 + 0,25\ k_1\ k_2\ \phi / \rho_r = 50 + 0,25\times0,8\times0,50\times16/0,04074 = 89,28$

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

$= 64,10/200000\times[1 - 1,0\times0,5\times(10,260/14,552)^2] = 0,00024$

$w_k = \beta\ s_{rm}\ \varepsilon_{sm} = 1,7\times89,28\times0,00024 = 0,04$ mm

$w_k =$ **0,04 < 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:

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

Całkowity moment zginający M_{Sd} = -18,633 kN powoduje zarysowanie przekroju.

Sztywność dla długotrwałego działania obciążeń długotrwałych:

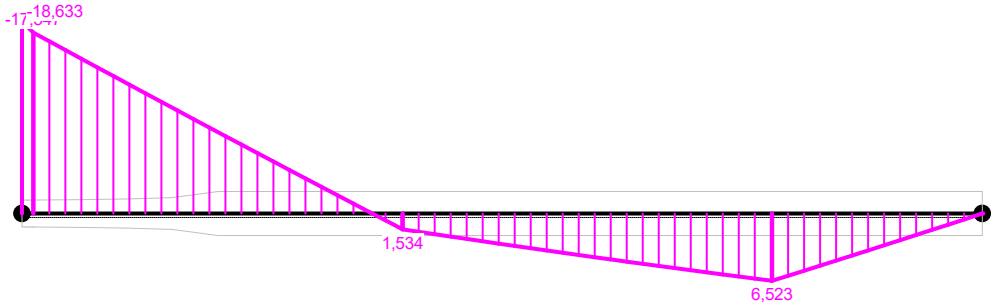
Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu M_{Sd} = -18,633 kNm.

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

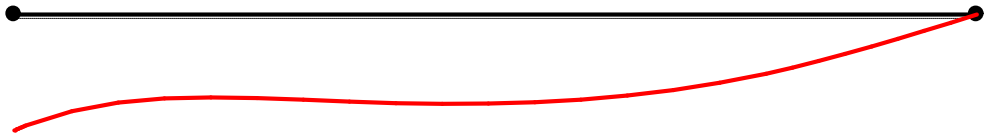
x_{II} = 12,3 cm I_{II} = 93424 cm^4

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

$$= \frac{9667 \times 93424}{1 - 1,0 \times 0,5 \times (10,260/18,633)^2 \times (1 - 93424/164304)} \times 10^{-5} = 9663 \text{ kNm}^2$$



Wykres sztywności i momentów dla obciążeń długotrwałych.



Ugięcia.

Ugięcie w punkcie o współrzędnej x = 0,120 m, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta (1/ρ) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

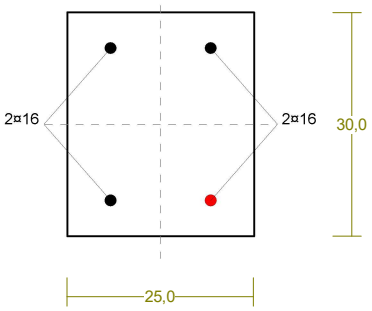
$a = a_{\infty,d}$ = 0,1 mm

a = **0,1 < 8,5** = a_{lim}

3.4. Słup żelbetowy

Cechy przekroju (Skrócony):

pręt nr 8, przekrój: x_a=1,57 m, x_b=3,22 m



Wymiary przekroju [cm]:
h=30,0, b=25,0,
Cechy materiałowe dla sytuacji stałej lub przejściowej

BETON: **B25**

f_{ck}= **20,0** MPa, $f_{cd}=\alpha \cdot f_{ck}/\gamma_c$=1,00×20,0/1,50=**13,3** MPa

Cechy geometryczne przekroju betonowego:

A_c=**750** cm^2, J_{cx}=**56250** cm^4, J_{cy}=**39063** 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:

$A_{s1}+A_{s2}$=**8,04** cm^2, $\rho=100\ (A_{s1}+A_{s2})/A_c$ =100×8,04/750=**1,07** %,

J_{sx}=**837** cm^4, J_{sy}=**361** cm^4,

Siły przekrojowe:

pręt nr 8, przekrój: x_a=1,57 m, x_b=3,22 m

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **AB**

Momenty zginające:	M_x = 2,483 kNm,	M_y = 0,000 kNm,
Siły poprzeczne:	V_y = 1,523 kN,	V_x = 0,000 kN,
Siła osiowa:	N = -150,107 kN = N_{Sd},	

Uwzględnienie smukłości pręta:
- w płaszczyźnie ustroju:

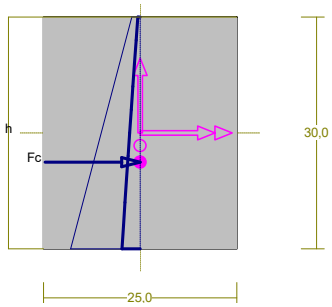
$e_{ey} = M_x/N = (2{,}483)/(-150{,}107)=-0{,}017$ m,

$M_{Sdx} = \eta_x\ (e_{ay} + e_{ey})\ N = 1{,}036\times(-0{,}020\ -0{,}017)\times(-150{,}107) = 5{,}684$ kNm,.

Zbrojenie wymagane:

(pręt nr 8, przekrój: x_a=1,57 m, x_b=3,22 m)

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



Wielkości obliczeniowe:
N_{Sd}=-150,107 kN,
$M_{Sd}=\sqrt{(M_{Sdx}^2+ M_{Sdy}^2)} = \sqrt{(5,685^2+0,000^2)}$ =5,685 kNm
f_{cd}=13,3 MPa, f_{yd}=310 MPa =f_{td},
Dodatkowe zbrojenie mniej ściskane nie jest obliczeniowo wymagane.
Dodatkowe zbrojenie ściskane nie jest obliczeniowo wymagane.

Wielkości geometryczne [cm]:

h=30,0, d=30,0, x=42,3 (ξ=1,411), a_c=11,2, A_{cc}=750 cm^2,
ε_c=-0,28 ‰,

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

F_c= -150,101,
M_c= 5,684,

Warunki równowagi wewnętrznej:

F_c=-150,101=-150,101 kN (N_{Sd}=-150,107 kN)
M_c=5,684=5,684 kNm (M_{Sd}=5,685 kNm)

Długości wyboczeniowe pręta:

- **przy wyboczeniu w płaszczyźnie układu:**

podatności węzłów ustalone według załącznika C normy, współczynnik β obliczono jak dla pręta dwustronnie zamocowanego w układzie nieprzesuwnym

ze wzoru (C.1) $l_o = \beta\, l_{col}$, l_{col}=4,800 m,

podatności węzłów: κ_a =0,225 $\Rightarrow$ k_A =(1/κ_a-1)=3,449, ε_b =0,000 $\Rightarrow$ k_B =(1/κ_b-1)=∞,

$\beta = 0,5 + 0,25/(k_A+1) + 0,25/(k_B+1) = 0,5 + 0,25/(3,449+1) + 0,25/(\infty+1) = 0,556 \Rightarrow l_o = 0,556\times4,800 = 2,670$ 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, $\Rightarrow$ μ = 1,000, dla l_{col} = 4,800, $l_o = \mu\, l_{col}$ = 1,000×4,800 = 4,800 m

Uwzględnienie wpływu smukłości pręta:

- **w płaszczyźnie ustroju:**

mimośród niezamierzony: (l_{col}=4,800 m, h=0,300 m) $e_a = \max\left\langle \frac{l_{col}}{600}, \frac{h}{30}, 0,01 \right\rangle$ = max⟨0,008, 0,010, 0,010⟩ =0,010 m, przyjęto: e_a=0,020 m,

mimośród statyczny: $M_{max}=0,6\cdot M_{1Sd}+0,4\cdot M_{2Sd}=0,6\cdot(4,883)+0,4\cdot(-2,430)$ =1,958 kNm, N_{Sd}=-146,988 kN $\Rightarrow$ $e_e = |M_{max}/N| = |1,958/(-146,988)| = 0,013$ m,

mimośród początkowy: $e_o=e_a+e_e=0,020+0,013=0,033$ m,

obliczenie siły krytycznej:
- długość wyboczeniowa: l_o=2,670 m (obliczona wg PN),
- moduł sprężystości betonu: $E_{cm}=30,0\cdot10^6$ kPa,
- momenty bezwładności: $I_c=5,6250\cdot10^{-4}$ m^4,
  $I_s=0,0837\cdot10^{-4}$ m^4 (dla zbrojenia rzeczywistego)
- $e_o/h=\max\langle(e_a+e_e)/h, 0,05, 0,5-0,01(l_o/h+f_{cd})\rangle = \max\langle0,111, 0,05, 0,278\rangle = 0,278$,
- $k_{lt}=1+0,5\,(N_{Sd,lt}/N_{Sd})\,\phi_{(t,to)} =1 + 0,5\times1,000\times2,00 = 2,000$,

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

$$\frac{9}{2{,}670^2}\left[\frac{3{,}000\cdot10^7\times5{,}625\cdot10^{-4}}{2\times2{,}000}\left(\frac{0{,}11}{0{,}1+0{,}278}+0{,}1\right)+2{,}0\cdot10^8\times8{,}367\cdot10^{-6}\right] = 4195{,}992 \text{ kN}$$

współczynnik zwiększający mimośród początkowy:

$$\eta = \frac{1}{1-N_{Sd}/N_{crit}} = \frac{1}{1-(146{,}988/4195{,}992)} = 1{,}036$$

,

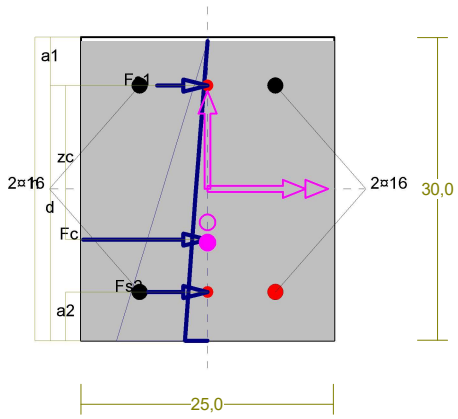
- **<u>w płaszczyźnie prostopadłej do ustroju:</u>**

uwzględnienie wpływu smukłości zaniechano

Nośność przekroju prostopadłego:

pręt nr 8, przekrój: x_a=0,00 m, x_b=4,80 m

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



Wielkości obliczeniowe:

N_{Sd}=-146,988 kN,

$M_{Sd}=\sqrt{(M_{Sdx}^2+M_{Sdy}^2)}=\sqrt{(7{,}823^2+0{,}000^2)}$ =7,823 kNm

f_{cd}=13,3 MPa, f_{yd}=310 MPa =f_{td},

Zbrojenie mniej ściskane: A_{s1}=**4,02** cm^2,

Zbrojenie ściskane: A_{s2}=**4,02** cm^2,

$A_s=A_{s1}+A_{s2}$=8,04 cm^2, $\rho=100\times A_s/A_c$= 100×8,04/750=1,07 %

Wielkości geometryczne [cm]:

h=30,0, d=25,2, x=29,6 (ξ=1,175),

a_1=4,8, a_2=4,8, a_c=10,0, z_c=15,2, A_{cc}=740 cm^2,

ε_c=-0,27 ‰, ε_{s2}=-0,22 ‰, ε_{s1}=-0,04 ‰,

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

F_c= -125,766, F_{s1} = -3,199, F_{s2} = -18,024,

M_c= 6,310, M_{s1} = -0,326, M_{s2} = 1,838,

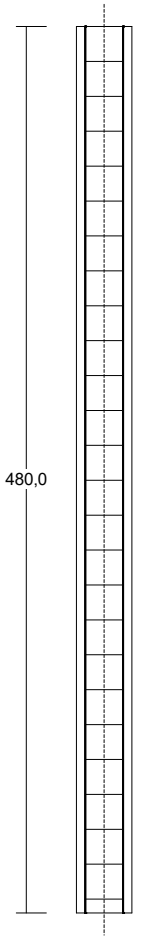
Warunek stanu granicznego nośności:

N_{Rd} = **|-807,942| kN** > $N_{Sd}=F_c+F_{s1}+F_{s2}$=-125,766+(-3,199)+(-18,024)=**-146,988** kN

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:

$$\rho_{w,min} = 0{,}08\ \sqrt{f_{ck}}\ / f_{yk} = 0{,}08\times \sqrt{20}\ / 355 = 0{,}00101$$



Rozstaw strzemion:

Strefa nr 1

Początek i koniec strefy: $x_a = 0{,}0$ $x_b = 480{,}0$ cm
Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla belek:

$s_{max} = 0{,}75\ d = 0{,}75\times 252 = 189$ $s_{max} \le 400$ mm
przyjęto s_{max} = 189 mm.

Maksymalny rozstawy strzemion - wymagania dla słupów:

$s_{max} = \min\{h; b\} = \min\{250{,}0; 300{,}0\}=250{,}0$ $s_{max} \le 400$ mm
przyjęto s_{max} = 250,0 mm.

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

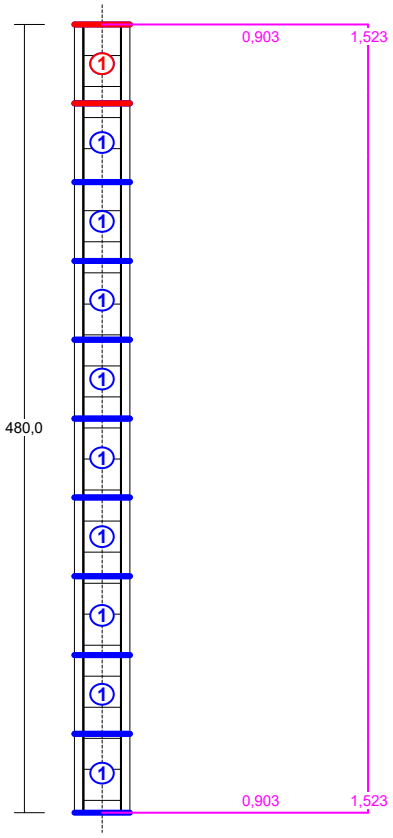
Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **18,9** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} /(s\ b_w \sin\alpha) = 1{,}01 / (18{,}9\times 25{,}0\times 1{,}000) = 0{,}00213$$

$$\rho_w = \mathbf{0{,}00213 > 0{,}00101} = \rho_{w\,min}$$

Ścinanie

Przyjęto podparcie lub obciążenie pośrednie.



Odcinek nr 1

Początek i koniec odcinka: $x_a = 0,0 \quad x_b = 48,0$ cm

Siły przekrojowe: $N_{Sd} = -146,988;$

$V_{Sd\ max} = 1,523$ kN

Rodzaj odcinka:

$$\rho_L = \frac{A_{sL}}{b_w d} = \frac{4,02}{25,0 \times 25,2} = 0,00638; \qquad \rho_L \le 0,01$$

Przyjęto $\rho_L = 0,00638$.

$\sigma_{cp} = N_{Sd} / A_C = 146,988 / 803,62 \times 10 = 1,83$ MPa $\qquad \sigma_{cp} \le 0,2\ f_{cd}$

Przyjęto $\sigma_{cp} = 1,83$ MPa.

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

$= [0,35 \times 1,35 \times 1,00 \times (1,2+40 \times 0,00638) + 0,15 \times 1,83] \times 25,0 \times 25,2 \times 10^{-1} = 60,606$ kN

$V_{Sd} = 1,523 < 60,606 = V_{Rd1}$

Nośność odcinka I-go rodzaju:

$V_{Sd} =$ **$1,523 < 60,606$** $= V_{Rd1}$

$\nu = 0,6\ (1 - f_{ck} / 250) = 0,6 \times (1 - 20 / 250) = 0,552$

$V_{Rd2} = 0,5\ \nu\ f_{cd}\ b_w\ z = 0,5 \times 0,552 \times 13,3 \times 25,0 \times 15,2 \times 10^{-1} = 139,652$ kN

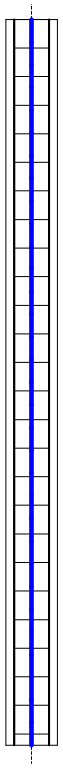
$\alpha_c = 1 + \sigma_{cp}/f_{cd} = 1 + 1,83/13,3 = 1,138$

$V_{Rd2,red} = \alpha_c\ VRd2 = 1,138 \times 139,652 = 158,857$ kN

Przyjęto $V_{Rd2,red} = 139,652$ kN

$V_{Sd} =$ **$1,523 < 139,652$** $= V_{Rd2,red}$

Nośność zbrojenia podłużnego



Sprawdzenie siły przenoszonej przez zbrojenie rozciągane dla x = 0,240 m:

$\Delta F_{td} = 0,5\ |V_{Sd}|\ (\cot\theta - V_{Rd32}/\ V_{Rd3}\ \cot\alpha) = 0,5\times1,523\times(1,000) = 0,762$ kN

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciąganym:

$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 0,000 + 0,762 = 0,762$ kN;

$F_{td} \le F_{td,max} = 0,000$ kN

Przyjęto $F_{td} = 0,000$ kN

$F_{td} =$ **0,000 < 124,658** $= 4,02\times310\times10^{-1} = A_s\ f_{yd}$

Zarysowanie

Położenie przekroju:	x = 0,240 m
Siły przekrojowe:	M_{Sd} = -3,294 kNm
	N_{Sd} = -109,185 kN e = 5,0 cm
	V_{Sd} = 1,111 kN
Wymiary przekroju:	b_w = 25,0 cm
	d = h - a_1 = 30,0 - 4,8 = 25,2 cm
	A_c = 750 cm^2
	W_c = 3750 cm^3

Minimalne zbrojenie:

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

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

$= 0,4\times1,0\times2,2\times375 / 240 = 1,37$ cm^2

$A_{s1} =$ **4,02 > 1,37** $= A_s$

Zarysowanie:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 2{,}2 \times 3750 \times 10^{-3} = 8{,}250 \text{ kNm}$$

$$N_{cr} = \frac{f_{ctm}}{e / W_c - 1 / A_c} = \frac{2{,}2}{5{,}0/3750{,}00 - 1/750{,}00} \times 10^{-1} = -49061{,}957 \text{ kN}$$

$$N_{Sd} = 109{,}185 < 49061{,}957 = N_{cr}$$

Przekrój niezarysowany.

Szerokość rozwarcia rysy ukośnej:

Rysy ukośne nie występują.

Ugięcia

Ugięcia wyznaczono dla charakterystycznych obciążeń długotrwałych.

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

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(t, t_o)} = \frac{30000}{1 + 2{,}00} = 10000 \text{ MPa}$$

Moment rysujący:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 2{,}2 \times 3750 \times 10^{-3} = 8{,}250 \text{ kNm}$$

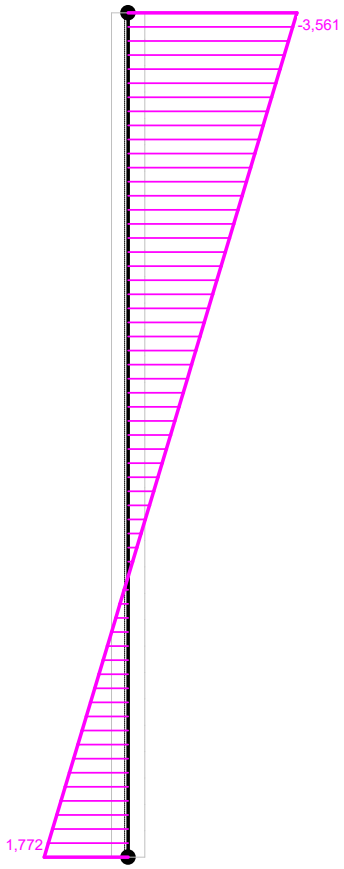
Całkowity moment zginający $M_{Sd} = -3{,}561$ kN nie powoduje zarysowania przekroju.

Sztywność dla długotrwałego działania obciążeń długotrwałych:

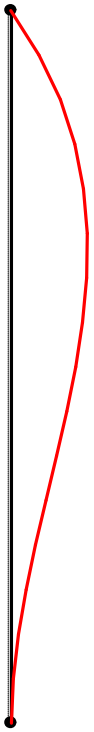
Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M_{Sd} = -3{,}561$ kNm.

Wielkości geometryczne przekroju: $x_I = 15{,}0$ cm $I_I = 72985$ cm^4

$$B = E_{c,eff} I_I = 10000 \times 72985 \times 10^{-5} = 7298 \text{ kNm}^2$$



Wykres sztywności i momentów dla obciążeń długotrwałych.



Ugięcia.

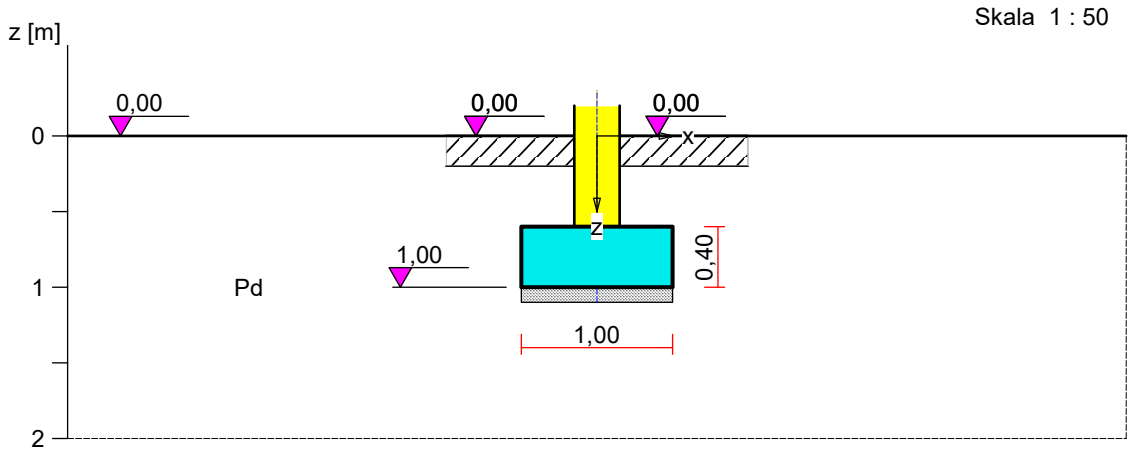
Ugięcie w punkcie o współrzędnej x = 1,575 m, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta (1/ρ) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

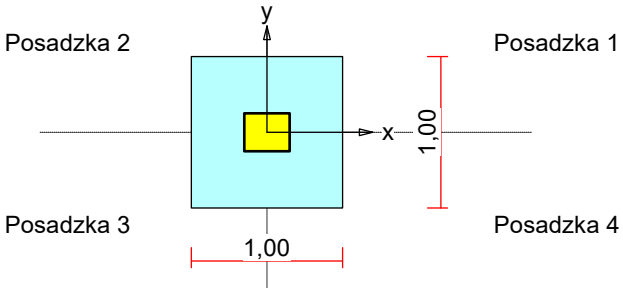
$a = a_{\infty,d} = 0{,}2$ mm

$a = \mathbf{0{,}2 < 19{,}2} = a_{lim}$

3.5. Stopa fundamentowa

Widok stopy fund.:





1. Podłoże gruntowe

1.1. Teren

Istniejący względny poziom terenu: $z_t = 0,00$ m,
Projektowany względny poziom terenu: $z_{tp} = 0,00$ m.

1.2. Warstwy gruntu

Lp.	Poziom stropu	Grubość warstwy	Nazwa gruntu	Poz. wody grunt.
	[m]	[m]		[m]
1	0,00	nieokreśl.	Piasek drobny	brak wody

2. Konstrukcja na fundamencie

Typ konstrukcji: **słup prostokątny**
Wymiary słupa: b = 0,30 m, l = 0,25 m,
Współrzędne osi słupa: $x_0 = 0,00$ m, $y_0 = 0,00$ m,
Kąt obrotu układu lokalnego względem globalnego: $\phi = 0,00^0$.

3. Posadzki

3.1. Posadzka 1

Względny poziom posadzki: $p_{p1} = 0,00$ m, grubość: h = 0,20 m,
Charakterystyczny ciężar objętościowy: $\gamma_{p1\ char} = 22,00$ kN/m^3,
Obciążenie posadzki: $q_{p1} = 2,50$ kN/m^2, współcz. obciążenia: $\gamma_{qf} = 1,20$,
Wymiary posadzki: $d_x = 2,00$ m, $d_y = 2,00$ m.

3.2. Posadzka 2

Względny poziom posadzki: $p_{p2} = 0,00$ m, grubość: h = 0,20 m,
Charakterystyczny ciężar objętościowy: $\gamma_{p2\ char} = 22,00$ kN/m^3,
Obciążenie posadzki: $q_{p2} = 2,50$ kN/m^2, współcz. obciążenia: $\gamma_{qf} = 1,20$,
Wymiary posadzki: $d_x = 2,00$ m, $d_y = 2,00$ m.

3.3. Posadzka 3

Względny poziom posadzki: $p_{p3} = 0,00$ m, grubość: h = 0,20 m,
Charakterystyczny ciężar objętościowy: $\gamma_{p3\ char} = 22,00$ kN/m^3,
Obciążenie posadzki: $q_{p3} = 2,50$ kN/m^2, współcz. obciążenia: $\gamma_{qf} = 1,20$,
Wymiary posadzki: $d_x = 2,00$ m, $d_y = 2,00$ m.

3.4. Posadzka 4

Względny poziom posadzki: $p_{p4} = 0,00$ m, grubość: h = 0,20 m,
Charakterystyczny ciężar objętościowy: $\gamma_{p4\ char} = 22,00$ kN/m^3,
Obciążenie posadzki: $q_{p4} = 2,50$ kN/m^2, współcz. obciążenia: $\gamma_{qf} = 1,20$,
Wymiary posadzki: $d_x = 2,00$ m, $d_y = 2,00$ m.

4. Obciążenie od konstrukcji

Względny poziom przyłożenia obciążenia: z_{obc} = 0,60 m.

Lista obciążeń:

Lp	Rodzaj obciążenia*	N [kN]	H_x [kN]	H_y [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	γ [–]
1	D+K	156,5	1,5	0,0	2,40	0,00	1,20

* D - obciążenia stałe, zmienne długotrwałe,
D+K - obciążenia stałe, zmienne długotrwałe i krótkotrwałe.

5. Materiał

Rodzaj materiału: **żelbet**
Klasa betonu: B25, nazwa stali: RB 500 W,
Średnica prętów zbrojeniowych:
na kierunku x: d_x = 12,0 mm, na kierunku y: d_y = 12,0 mm,
Kierunek zbrojenia głównego: x,
Grubość otuliny: 5,0 cm.
W warunku na przebicie nie uwzględniać strzemion.

6. Wymiary fundamentu

Względny poziom posadowienia: z_f = 1,00 m
Kształt fundamentu: **prosty**
Wymiary podstawy: B_x = 1,00 m, B_y = 1,00 m,
Wysokość: H = 0,40 m,
Mimośrody: E_x = 0,00 m, E_y = 0,00 m.

7. Stan graniczny I

7.1. Zestawienie wyników analizy nośności i mimośrodów

Nr obc.	Rodzaj obciążenia	Poziom [m]	Wsp. nośności	Wsp. mimośr.
* 1	D+K	1,00	0,42	0,07

7.2. Analiza stanu granicznego I dla obciążenia nr 1

Wymiary podstawy fundamentu rzeczywistego: B_x = 1,00 m, B_y = 1,00 m.
Względny poziom posadowienia: H = 1,00 m.
Rodzaj obciążenia: D+K,

Zestawienie obciążeń:

Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji:
siła pionowa: N = 156,50 kN, mimośrody wzgl. podst. fund. E_x = 0,00 m, E_y = 0,00 m,
siła pozioma: H_x = 1,50 kN, mimośród względem podstawy fund. E_z = 0,40 m,
siła pozioma: H_y = 0,00 kN, mimośród względem podstawy fund. E_z = 0,40 m,
moment: M_x = 2,40 kNm, moment: M_y = 0,00 kNm.
Ciężar własny fundamentu, gruntu, posadzek, obciążenia posadzek:
siła pionowa: G = 26,04 kN/m, momenty: M_{Gx} = 0,00 kNm/m, M_{Gy} = 0,00 kNm/m.
Uwaga: Przy sprawdzaniu położenia wypadkowej alternatywnie brano pod uwagę obciążenia obliczeniowe wyznaczone przy zastosowaniu dolnych współczynników obciążenia.

Sprawdzenie położenia wypadkowej obciążenia względem podstawy fundamentu
Obciążenie pionowe:

$N_r = N + G = 156,50 + 26,04 \mid 16,88 = 182,54 \mid 173,38$ kN.

Momenty względem środka podstawy:

$M_{rx} = N \cdot E_y - H_y \cdot E_z + M_x + M_{Gx} = 156,50 \cdot 0,00 - 0,00 \cdot 0,40 + 2,40 + (0,00) \mid (0,00) = 2,40 \mid 2,40$ kNm.

$M_{ry} = -N \cdot E_x + H_x \cdot E_z + M_y + M_{Gy} = -156,50 \cdot 0,00 + 1,50 \cdot 0,40 + 0,00 + 0,00 \mid (0,00) = 0,60 \mid 0,60$ kNm.

Mimośrody sił względem środka podstawy:

$e_{rx} = |M_{ry}/N_r| = 0,60/173,38 = 0,00$ m,

$e_{ry} = |M_{rx}/N_r| = 2,40/173,38 = 0,01$ m.

$e_{rx}/B_x + e_{ry}/B_y = 0,003 + 0,014 = 0,017 < 0,250$ m.

Wniosek: **Warunek położenia wypadkowej jest spełniony.**

Sprawdzenie warunku granicznej nośności fundamentu rzeczywistego

Zredukowane wymiary podstawy fundamentu:

$B_x' = B_x - 2 \cdot e_{rx} = 1,00 - 2 \cdot 0,00 = 0,99$ m, $B_y' = B_y - 2 \cdot e_{ry} = 1,00 - 2 \cdot 0,01 = 0,97$ m.

Obciążenie podłoża obok ławy (min. średnia gęstość dla pola 1):

średnia gęstość obliczeniowa: $\rho_{D(r)} = 1,55$ t/m^3,

minimalna wysokość: $D_{min} = 1,00$ m,

obciążenie: $\rho_{D(r)} \cdot g \cdot D_{min} = 1,55 \cdot 9,81 \cdot 1,00 = 15,17$ kPa.

Współczynniki nośności podłoża:

obliczeniowy kąt tarcia wewnętrznego: $\Phi_{u(r)} = \Phi_{u(n)} \cdot \gamma_m = 30,40 \cdot 0,90 = 27,36^0$,

spójność: $c_{u(r)} = c_{u(n)} \cdot \gamma_m = 0,00$ kPa,

$N_B = 4,94$ $N_C = 24,59$, $N_D = 13,73$.

Wpływ odchylenia wypadkowej obciążenia od pionu:

$\operatorname{tg} \delta_x = |H_x|/N_r = 1,50/182,54 = 0,01$, $\operatorname{tg} \delta_x / \operatorname{tg} \Phi_{u(r)} = 0,0082/0,5175 = 0,016$,

$i_{Bx} = 0,98$, $i_{Cx} = 0,99$, $i_{Dx} = 0,99$.

$\operatorname{tg} \delta_y = |H_y|/N_r = 0,00/182,54 = 0,00$, $\operatorname{tg} \delta_y / \operatorname{tg} \Phi_{u(r)} = 0,0000/0,5175 = 0,000$,

$i_{By} = 1,00$, $i_{Cy} = 1,00$, $i_{Dy} = 1,00$.

Ciężar objętościowy gruntu pod ławą fundamentową:

$\rho_{B(n)} \cdot \gamma_m \cdot g = 1,65 \cdot 0,90 \cdot 9,81 = 14,57$ kN/m^3.

Współczynniki kształtu:

$m_B = 1 - 0,25 \cdot B_y'/B_x' = 0,75$, $m_C = 1 + 0,3 \cdot B_y'/B_x' = 1,29$, $m_D = 1 + 1,5 \cdot B_y'/B_x' = 2,47$

Odpór graniczny podłoża:

$Q_{fNBx} = B_x' B_y' (m_C \cdot N_C \cdot c_{u(r)} \cdot i_{Cx} + m_D \cdot N_D \cdot \rho_{D(r)} \cdot g \cdot D_{min} \cdot i_{Dx} + m_B \cdot N_B \cdot \rho_{B(r)} \cdot g \cdot B_x' \cdot i_{Bx}) = 541,86$ kN.

$Q_{fNBy} = B_x' B_y' (m_C \cdot N_C \cdot c_{u(r)} \cdot i_{Cy} + m_D \cdot N_D \cdot \rho_{D(r)} \cdot g \cdot D_{min} \cdot i_{Dy} + m_B \cdot N_B \cdot \rho_{B(r)} \cdot g \cdot B_y' \cdot i_{By}) = 548,80$ kN.

Sprawdzenie warunku obliczeniowego:

$N_r = 182,54$ kN $< m \cdot \min(Q_{fNBx}, Q_{fNBy}) = 0,81 \cdot 541,86 = 438,90$ kN.

Wniosek: warunek nośności jest spełniony.

8. Stan graniczny II

8.1. Osiadanie fundamentu

Osiadanie całkowite:

Osiadanie pierwotne: $s' = 0,00$ cm.

Osiadanie wtórne: $s'' = 0,00$ cm.

Współczynnik stopnia odprężenia podłoża: $\lambda = 0$.

Osiadanie: $s = s' + \lambda \cdot s'' = 0,00 + 0 \cdot 0,00 = 0,00$ cm,

Sprawdzenie warunku osiadania:

Warunek nie jest określony.

9. Wymiarowanie fundamentu

9.1. Zestawienie wyników sprawdzenia stopy na przebicie

Nr obc.	Przekrój	Siła tnąca	Nośność betonu	Nośność strzemion
		V [kN]	V_r [kN]	V_s [kN]
* 1	1	7	210	-

9.2. Sprawdzenie stopy na przebicie dla obciążenia nr 1

Zestawienie obciążeń:

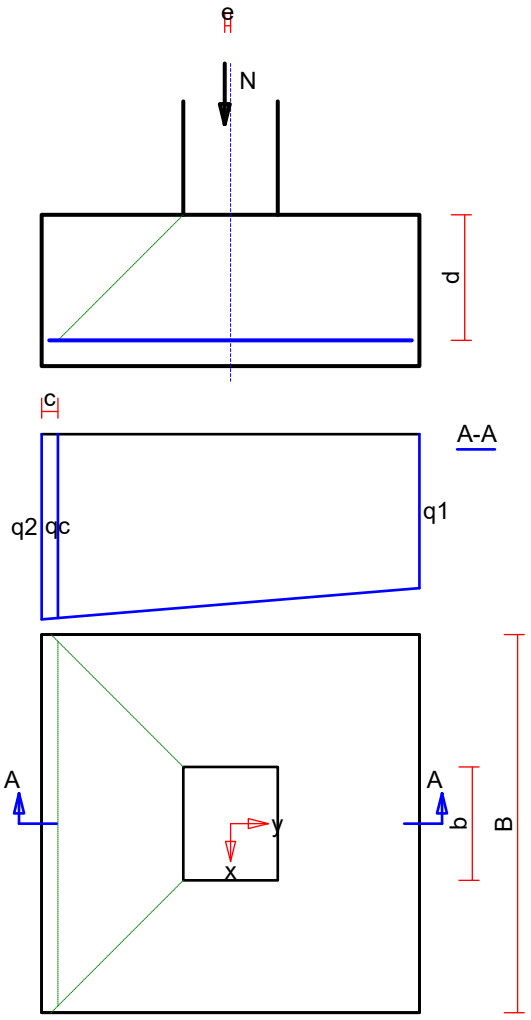
Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji zredukowane do środka podstawy stopy:

siła pionowa: $N_r = 157$ kN,

momenty: $M_{xr} = 2{,}40$ kNm, $M_{yr} = 0{,}60$ kNm.

Mimośrody siły względem środka podstawy:

$e_{xr} = |M_{yr}/N_r| = 0{,}00$ m, $e_{yr} = |M_{xr}/N_r| = 0{,}02$ m.



Przebicie stopy w przekroju 1:

Siła ścinająca: $V_{Sd} = \int_{Ac} q \cdot dA = 7$ kN.

Nośność betonu na ścinanie: $V_{Rd} = (b+d) \cdot d \cdot f_{ctd} = (0{,}30+0{,}33) \cdot 0{,}33 \cdot 1000 = 210$ kN.

$V_{Sd} = 7$ kN $< V_{Rd} = 210$ kN.

Wniosek: warunek na przebicie jest spełniony.

9.3. Zestawienie wyników sprawdzenia stopy na zginanie

Nr obc.	Kierunek	Przekrój	Moment zginający	Nośność przekroju
			M [kNm]	M_r [kNm]
* 1	x	1	12	74
	y	1	14	71

Uwaga: Momenty zginające wyznaczono metodą wsporników prostokątnych.

9.4. Sprawdzenie stopy na zginanie dla obciążenia nr 1 na kierunku x

Zestawienie obciążeń:

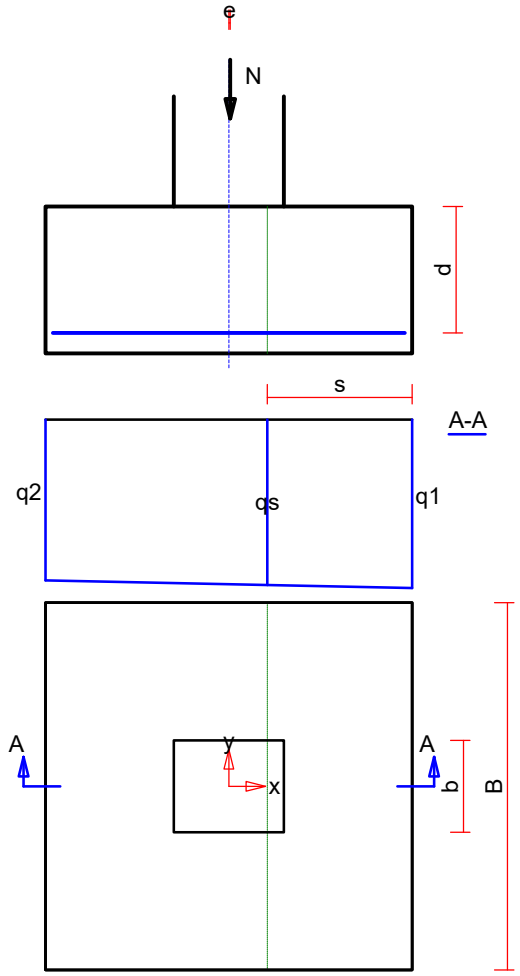
Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji zredukowane do środka podstawy stopy:

siła pionowa: $N_r = 157$ kN,

momenty: $M_{xr} = 2{,}40$ kNm, $M_{yr} = 0{,}60$ kNm.

Mimośrody siły względem środka podstawy:

$e_{xr} = |M_{yr}/N_r| = 0{,}00$ m, $e_{yr} = |M_{xr}/N_r| = 0{,}02$ m.



Zginanie stopy w przekroju 1:

Moment zginający:

$M_{Sd} = (2 \cdot q_1 + q_s) \cdot B \cdot s^2/6 = (2 \cdot 160 + 157) \cdot 1{,}00 \cdot 0{,}16/6 = 12$ kNm.

Konieczna powierzchnia przekroju zbrojenia: $A_s = 1{,}0$ cm^2.

Przyjęta powierzchnia przekroju zbrojenia: $A_{Rs} = 5{,}7$ cm^2.

$A_s = 1{,}0$ cm^2 < $A_{Rs} = 5{,}7$ cm^2.

Wniosek: warunek na zginanie jest spełniony.

9.5. Sprawdzenie stopy na zginanie dla obciążenia nr 1 na kierunku y

Zestawienie obciążeń:

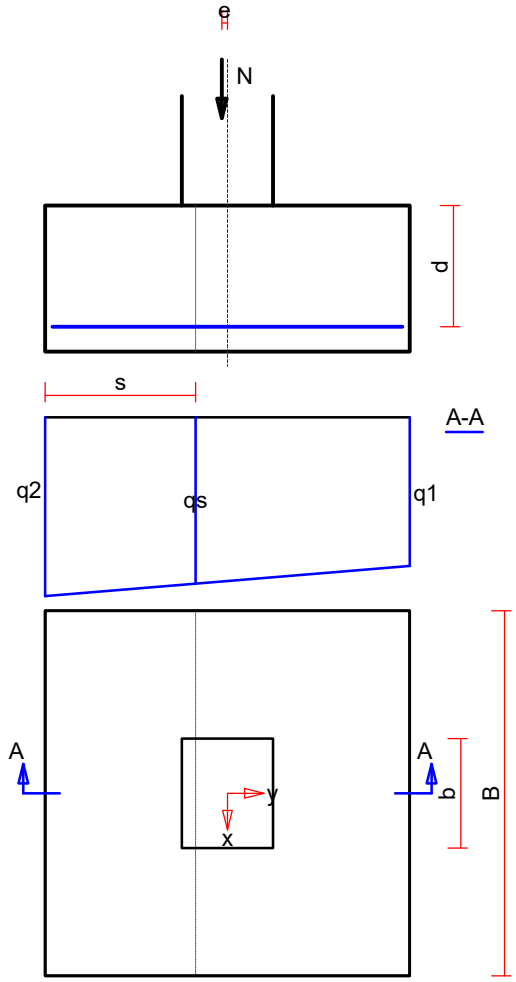
Obciążenia zewnętrzne od konstrukcji zredukowane do środka podstawy stopy:

siła pionowa: $N_r = 157$ kN,

momenty: $M_{xr} = 2{,}40$ kNm, $M_{yr} = 0{,}60$ kNm.

Mimośrody siły względem środka podstawy:

$e_{xr} = |M_{yr}/N_r| = 0{,}00$ m, $e_{yr} = |M_{xr}/N_r| = 0{,}02$ m.



Zginanie stopy w przekroju 1:

Moment zginający:

$M_{Sd} = (2 \cdot q_2 + q_s) \cdot B \cdot s^2/6 = (2 \cdot 171 + 159) \cdot 1{,}00 \cdot 0{,}17/6 = 14$ kNm.

Konieczna powierzchnia przekroju zbrojenia: $A_s = 1{,}1$ cm^2.

Przyjęta powierzchnia przekroju zbrojenia: $A_{Rs} = 5{,}7$ cm^2.

$A_s = 1{,}1$ cm^2 < $A_{Rs} = 5{,}7$ cm^2.

Wniosek: warunek na zginanie jest spełniony.