

OBLICZENIA STATYCZNE

1. ZAŁOŻENIA:

- konstrukcja stalowa – gatunek stali profilowej S235JR zgodnie z EN10025-2 (odpowiednik St3SX wg PN-88 H-84020): $f_y = 235\text{MPa}$, $f_u = 360\text{MPa}$;
- obciążenia wg norm PN-EN 1990, PN-EN 1991 oraz wg wytycznych producentów
- obliczenia dla konstrukcji stalowej wg normy PN-EN 1993

2. ZESTAWIENIE OBCIĄŻEŃ I KOMBINACJE:

OBCIĄŻENIA STAŁE:

NA BELKI I BLACHĘ TRAPEZOWĄ:	g_k
Nazwa:	[kN/m ²]
Wykładzina rulonowa winylowa na kleju Tarkett	0,10
Suchy jastrych Fermacell 2x12,5=25mm	0,30
Podsypka wyrównująca Fermacell (10mm+fałdy w blasze \approx 28mm)	0,11
Blacha trapezowa TR50x260 pozytyw, gr. 0,75mm	0,07
Konstrukcja nośna stalowa – ruszt	-
Warstwy sufitu EI60 – Fermacell 2S21:	
Płyty fermacell 3x12,5=37,5mm	0,45
Ruszt stalowy – wieszaki i profile stalowe (CD60x27gr.0,6mm)	0,03
Konstrukcja nośna stalowa – ruszt	-
Obciążenia od instalacji, oświetlenia – mocowanie wieszakami	0,05
Warstwy sufitu Cleanroom – Click-in 600x600:	0,10
Łącznie:	1,26
	[kN/m]
Łącznie na belkę – rozstaw ok. 1,55m:	1,88
Ciężar żebra Ż1 – IPE 140	0,13
Ścianki działowe, lokalnie tak jak przedstawiono w projekcie – lekkie ściany szkieletowe z przeszkleniem, (obciążenie bezp. na ruszt, nie obciąża blachy trapezowej) $0,35\text{kN/m}^2 \cdot 4,00\text{m} =$	1,40
Łącznie – bez ścianki	2,01
Łącznie – ze ścianką, wg rys. arch.	3,41

OBCIĄŻENIA ZMIENNE:

Obciążenia zmienne na strop antresoli i strop parteru:

Nazwa:	Kategoria	q_k
		[kN/m ²]
Sale dydaktyczne – powierzchnie ze stołami	C1	3,00
Korytarze, powierzchnia komunikacyjna	C3	3,00
Łącznie obciążenie zmienne na strop:		3,00
		[kN/m]
Łącznie na belkę – rozstaw ok. 1,55m:	3,00kN/m² · 1,55m =	4,65

- wsp. kombinacyjne – kategoria obciążeń C: $\psi_0 = 0,70$; $\psi_1 = 0,70$; $\psi_2 = 0,60$;

KOMBINACJA OBCIĄŻEŃ:

Sytuacja trwała:

Do obliczeń nośności ULS przyjmuję trwałą sytuację obliczeniową w celu wyznaczenia wyężenia konstrukcji nośnej: (EC0)

$$E_{d,1} = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \text{ lub}$$

$$E_{d,2} = \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}, \text{ gdzie: } \xi_j = 0,85$$

$$\gamma_{G,j} = 1,35 \text{ oraz } \gamma_{Q,i} = 1,50$$

Do obliczeń stanu użyteczności SLS przyjmuję charakterystyczną sytuację obliczeniową w celu wyznaczenia przemieszczeń elementów: (EC0)

$$E_{fi,d,t} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Sytuacja wyjątkowa - pożar:

Przyjmuję wyjątkową sytuację obliczeniową – w celu wyznaczenia temperatury krytycznej elementów konstrukcji nośnej: (EC0 i EC1-1-2 p.4.3 i NB)

$$E_{fi,d,t} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + R_k + A_d + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Pomijam obciążenia termiczne powstające w czasie pożaru, kombinacja obciążeń przyjmuje postać:

$$E_{fi,d,t} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Wymagana odporność ogniowa elementów konstrukcyjnych belek i słupów: R60, stropu z blachy trapezowej – REI60.**3. OBLICZENIA STATYCZNE ELEMENTÓW KONSURKCJI STALOWEJ W TRWAŁEJ SYTUACJI OBLICZENIOWEJ**Przyjęto stali konstrukcyjną S235JR, zgodnie z EN10025-2 (odpowiednik St3SX wg PN-88 H-84020):
 $f_y = 235\text{MPa}$, $f_u = 360\text{MPa}$;Wartość współczynnika ε : $\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = 1,00$ **BLACHA TRAPEZOWA – Z KATALOGU:**

Przyjęto blachę trapezową TR50/260 gr. 1,0mm „pozytyw” pracującą w układzie trójprzęsłowym

obc. charakt. $q_k = 1,26 + 3,00 = 4,26\text{kN/m}^2 < q_{dop} = 4,50\text{kN/m}^2$ dla rozstawu podparć $b = 2,0\text{m}$
proj. rozstaw $b = 1,55\text{m}$ **ŻEBRO STROPU - IPE140**Geometria: $h = 140$; $b = 73$; $t_w = 3,8$; $t_f = 6,9$; $r = 7,0$
 $A = 16,40\text{cm}^2$, $I_y = 541\text{cm}^4$, $I_z = 44,9\text{cm}^4$, $W_{el,y} = 77,3\text{cm}^3$, $W_{pl,y} = 88,3\text{cm}^3$, $I_t = 2,45\text{cm}^4$, $I_w = 1,98\text{cm}^6$,Wytrzymałość: $t_f = 6,9 < 40 \rightarrow f_y = 235\text{MPa}$; cz. wsp. bez. $\gamma_{M,0} = 1,0$ Stal: S235JR wg E10025 : $f_y = 235\text{MPa}$, $f_u = 360\text{MPa}$ Klasa przekroju w sytuacji czystego zginania (+ściananie)

- pas:

$$\frac{c}{t} = \frac{0,5(b - t_w - 2r)}{t_f} = \frac{0,5(73 - 3,8 - 2 \cdot 7,0)}{6,9} = 4,0 \leq 9\varepsilon = 9$$

Klasa 1

- środnik:

$$\frac{c}{t} = \frac{h - 2(t_f + r)}{t_w} = \frac{140 - 2 \cdot (6,9 + 7,0)}{3,8} = 29,53 \leq 72\varepsilon = 72$$

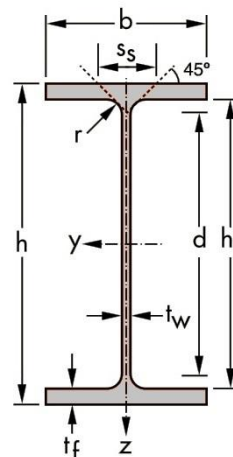
Klasa 1

Kształtownik spełnia warunki przekroju klasy 1.

Stateczność miejscowa przy ścinaniu:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{140 - 2 \cdot 6,9}{3,8} = 35,5 \leq \frac{72\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1,0}{1,2} = 60$$

Stateczność środnika belki poddanego ścinaniu jest zapewniona.



Przyjęto obciążenia liniowe – obciążenia stałe i użytkowe z blachy trapezowej i ciężar własny elementu oraz wariantowo obciążenie ścianką działową (do wykonania w drugim etapie przebudowy). Maksymalny rozstaw belek $d = 1,55\text{m}$ – z takiej szerokości zbierane obciążenie.

Obciążenia stałe g_k : (patrz tabela wyżej)

A) g_k (bez ścianki) = **2,01 kN/m**
 B) g_k (ze ścianką) = **3,41 kN/m**

Obciążenia zmienne – użytkowe q_k , wiodące: $\psi_0 = 0,70$; $\psi_1 = 0,70$; $\psi_2 = 0,60$;

$$q_k = \mathbf{4,65\text{ kN/m}}$$

Długość obliczeniowa belki $l_0 = 2,80\text{ m}$; rozstaw $b = 1,55\text{ m}$

A) „bez ścianki”:

$$p_k = 2,01 + 4,65 = \mathbf{6,66\text{ kN/m}}$$

$$p_d = \max(1,35 \cdot 2,01 + 1,50 \cdot 0,7 \cdot 4,65; 0,85 \cdot 1,35 \cdot 2,01 + 1,50 \cdot 4,65) = \max(7,59; 9,29)\text{ kN/m} = \mathbf{9,21\text{ kN/m}}$$

B) „ze ścianką”:

$$p_k = 3,41 + 4,65 = \mathbf{8,06\text{ kN/m}}$$

$$p_d = \max(1,35 \cdot 3,41 + 1,50 \cdot 0,7 \cdot 4,65; 0,85 \cdot 1,35 \cdot 3,41 + 1,50 \cdot 4,65) = \max(9,49; 10,89)\text{ kN/m} = \mathbf{10,89\text{ kN/m}}$$

Siły przekrojowe:

$$M_{\max,B} = 0,125 \cdot 10,89 \cdot 2,80^2 = \mathbf{10,67\text{ kNm}}$$

$$R_{\max,A} = 0,5 \cdot 9,21 \cdot 2,80 = \mathbf{12,89\text{ kN}}$$

$$R_{\max,B} = 0,5 \cdot 10,89 \cdot 2,80 = \mathbf{15,25\text{ kN}}$$

SPRAWDZENIA STANU GRANICZNEGO ULS i SLS:**1. Siły tnące $V_{\max} = 15,25\text{ kN}$:**

Obliczeniowa nośność na ścinanie:

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 16,4 - 2 \cdot 7,3 \cdot 0,69 + (0,38 + 2 \cdot 0,7) \cdot 0,69 = 7,55\text{ cm}^2$$

$$A_v = 7,55\text{ cm}^2 \leq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,2 \cdot 12,22 \cdot 0,38 = 5,57\text{ cm}^2 \rightarrow A_v = 5,57\text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \sqrt{3}} = \frac{5,57 \cdot 23,5}{1,0 \sqrt{3}} = 76,58\text{ kN}$$

$$V_{\max} = 15,25\text{ kN} \leq V_{pl,Rd} = 76,58\text{ kN} \text{ warunek spełniony}$$

oraz $V_{\max} = 15,25\text{ kN} \leq 0,5V_{pl,Rd} = 0,5 \cdot 76,56\text{ kN} = 38,29\text{ kN}$ – pomijam wpływ siły poprzecznej na zginanie.

2. Zginanie:

Obliczeniowa nośność na zginanie:

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{88,3 \cdot 23,5}{1,0} \cdot 10^{-2} = 20,75\text{ kNm}$$

Sprawdzenie warunku nośności w środku przęsła:

$$M_{\max} = 10,67\text{ kNm} \leq M_{pl,Rd} = 20,75\text{ kNm}$$

Obliczeniowa nośność na zginanie ze zwichrzeniem:

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

Wyznaczenie współczynnika zwichrzenia χ_{LT} :

Blacha trapezowa mocowana do belki najrzadziej co 3cią fałę – zabezpieczenie przekroju przed zwichrzeniem ($L=3 \cdot 0,0,26=0,78m$) Sprężysty moment krytyczny przy zwichrzeniu belki o przekroju bisymetrycznym, podparcie widelkowe na obu końcach, obciążenie momentem zmiennym na długości – wykres paraboliczny, belka swobodnie podparta.

Moment krytyczny M_{cr} :

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2} \cdot \left[\sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot y_g)^2} - C_2 \cdot y_g \right] =$$

$$= 1,132 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 44,9}{78^2} \cdot \left[\sqrt{\frac{1,98}{44,9} + \frac{78^2 \cdot 8100 \cdot 2,45}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 44,9} + (0,459 \cdot 7,0)^2} - 0,459 \cdot 7,0 \right] = 2802,10 kNcm =$$

$$= 28,02 kNm$$

$$y_g = 0,5h = 0,5 \cdot 14 = 7 cm$$

Współczynniki C_1 i C_2 - rozkład paraboliczny, belka swobodnie podparta, $k=1$: $C_1 = 1,132$ i $C_2 = 0,459$.

Smukłość względna:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{88,3 \cdot 23,5}{2802,10}} = 0,861$$

Krzywa zwichrzenia – parametr α . Parametr współczynnika zwichrzenia: $\alpha_{LT} = 0,21$

$$\phi_{LT} = 0,5 \left(1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right) = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (0,861 - 0,2) + 0,861^2) = 0,940$$

Współczynnik zwichrzenia:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,918 + \sqrt{1,918^2 - 0,861^2}} = 0,760 \leq 1,0$$

Zatem:

$$M_{b,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,760 \cdot 88,3 \cdot 23,5}{1,0} \cdot 10^{-2} = 15,76 kNm$$

$$M_{max} = 10,67 kNm \leq M_{pl,Rd} = 15,76 kNm \quad \text{warunek spełniony (68\%)}$$

3. Ugięcia:

$$u_{max} = \frac{5 \cdot 8,06 \cdot 280^4}{384 \cdot 100 \cdot 21000 \cdot 541} = 0,57 cm$$

$$u_{max} = 0,57 cm \leq u_{dop} = L/350 = 280 / 350 = 0,80 cm \quad \text{warunek spełniony}$$

Ze względu na stosowanie okładzin p.poż. w celu ograniczenia ugięć do minimum zastosowany zostanie IPE 140.

PODCIĄG STROPU – IPE270

$$l_0 = 6,67 m$$

Geometria: $h = 270$; $b = 135$; $t_w = 6,6$; $t_f = 10,2$; $r = 15,0$

$$A = 45,9 cm^2, I_y = 5790 cm^4, I_z = 420 cm^4, W_{el,y} = 429,0 cm^3, W_{pl,y} = 484,0 cm^3, I_t = 15,9 cm^4, I_w = 70,6 cm^6,$$

Wytrzymałość: $t_f = 6,9 < 40 \rightarrow f_y = 235 MPa$; cz. wsp. bez. $\gamma_{M,0} = 1,0$

Stal: S235JR wg E10025 : $f_y = 235 MPa$, $f_u = 360 MPa$

Klasa przekroju w sytuacji czystego zginania (+ściananie)

- pas:

$$\frac{c}{t} = \frac{0,5(b - t_w - 2r)}{t_f} = \frac{0,5(135 - 6,6 - 2 \cdot 15,0)}{10,2} = 4,82 \leq 9\varepsilon = 9$$

Klasa 1

- środnik:

$$\frac{c}{t} = \frac{h - 2(t_f + r)}{t_w} = \frac{270 - 2 \cdot (6,9 + 15,0)}{6,6} = 34,27 \leq 72\varepsilon = 72$$

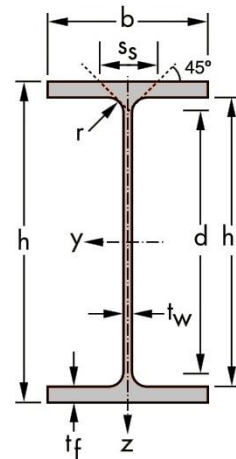
Klasa 1

Kształtownik spełnia warunki przekroju klasy 1.

Stateczność miejscowa przy ścinaniu:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{270 - 2 \cdot 10,2}{6,6} = 37,18 \leq \frac{72\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1,0}{1,2} = 60$$

Stateczność środnika belki poddanej ścinaniu jest zapewniona.



Przyjęto obciążenia skupione z belek drugorzędnych IPE140 – obciążenia stałe i użytkowe z blachy trapezowej i ciężar własny elementów belkowych oraz wariantowo obciążenie ścianką działową (do wykonania w drugim etapie przebudowy). Szerokości rozdziału obciążeń: rozstawy belek IPE140 różne – uśredniony $d = 1,40\text{m}$ oraz rozstawy podciągów IPE270 – średnio $c = 0,5 \cdot (2,6 + 2,84) = 2,70\text{m}$. Pole rozdziału $A = 1,40 \cdot 2,70 = 3,78\text{m}^2$.

Obciążenia stałe g_k : (patrz tabela wyżej)

A) g_k (bez ścianki) = $(1,26 \cdot 1,40 + 0,13) \cdot 2,70 = 5,11\text{kN}$
 B) g_k (ze ścianką) = $(1,26 \cdot 1,40 + 0,13 + 1,40) \cdot 2,70 = 8,89\text{kN}$

Obciążenia zmienne – użytkowe q_k , wiodące: $\psi_0 = 0,70$; $\psi_1 = 0,70$; $\psi_2 = 0,60$;

$q_k = (3,00 \cdot 1,40) \cdot 2,70 = 11,34\text{kN}$

Długość obliczeniowa belki $l_0 = 6,67\text{m}$; rozstaw $c = 2,70\text{m}$, rozstaw żeber $d = \sim 1,40\text{m}$.

Reakcje z belek drugorzędnych na podciąg:

A) „bez ścianki”:

$P_k = 5,11 + 11,34 = 16,45\text{kN}$
 $P_d = \max(1,35 \cdot 5,11 + 1,50 \cdot 0,7 \cdot 11,34; 0,85 \cdot 1,35 \cdot 5,11 + 1,50 \cdot 11,34) = \max(18,81; 22,87)\text{kN} = 22,87\text{kN}$

B) „ze ścianką”:

$P_k = 8,89 + 4,65 = 20,23\text{kN}$
 $P_d = \max(1,35 \cdot 8,89 + 1,50 \cdot 0,7 \cdot 11,34; 0,85 \cdot 1,35 \cdot 8,89 + 1,50 \cdot 11,34) = \max(23,91; 27,21)\text{kN} = 27,21\text{kN}$

Siły przekrojowe:

NAZWA: podciąg ipe270



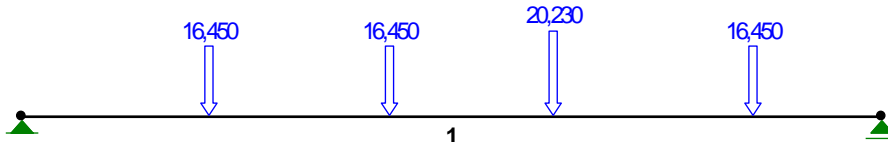
PRĘTY UKŁADU: Typy prętów: 00 - sztyw.-sztyw.; 01 - sztyw.-przegub;

Pręt: Typ: A: B: Lx[m]: Ly[m]: L[m]: Red.EJ: Przekrój:

Pręt	Typ	A	B	Lx[m]	Ly[m]	L[m]	Red.EJ	Przekrój
1	00	1	2	6,670	0,000	6,670	1,000	1 I 270 PE

WIELKOŚCI PRZEKROJOWE:

Nr.	A[cm ²]	Ix[cm ⁴]	Iy[cm ⁴]	Wg[cm ³]	Wd[cm ³]	h[cm]	Materiał:
1	45,9	5790	420	429	429	27,0	2 St3S (X,Y,V,W)



OBCIĄŻENIA: ([kN], [kNm], [kN/m])

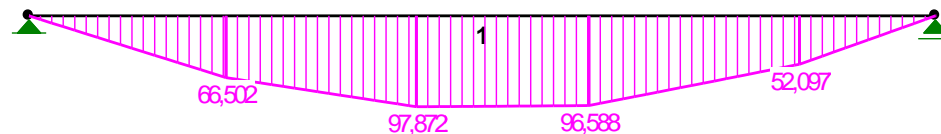
Pręt:	Rodzaj:	Kąt:	P1 (Tg):	P2 (Td):	a [m]:	b [m]:
Grupa:	A "bez scianki"			Zmienne	gf= 1,39	
1	Skupione	0,0	16,450		1,45	
1	Skupione	0,0	16,450		2,85	
1	Skupione	0,0	16,450		5,67	
Grupa:	B "ze scianka"			Zmienne	gf= 1,34	
1	Skupione	0,0	20,230		4,12	

W Y N I K I
Teoria I-go rzędu

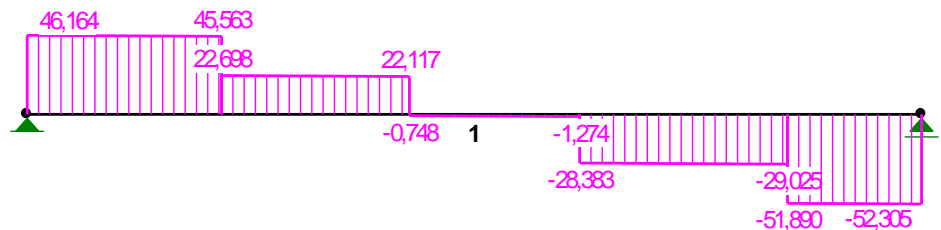
OBCIĄŻENIOWE WSPÓŁ. BEZPIECZ.:

Grupa:	Znaczenie:	yd:	gf:
Ciężar wł.			1,15
A -"bez scianki"	Zmienne	1	1,00
B -"ze scianka"	Zmienne	1	1,00

MOMENTY:



SIŁY:

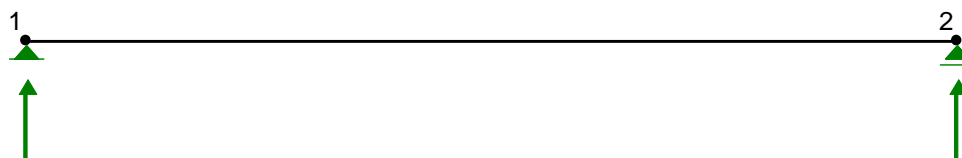


SIŁY PRZEKROJOWE: T.I rzędu

Obciążenia obl.: Ciężar wł.+AB

Pręt:	x/L:	x [m]:	M [kNm]:	Q [kN]:	N [kN]:
1	0,00	0,000	-0,000	46,164	0,000
	0,43	2,850	97,872*	22,117	0,000
	1,00	6,670	-0,000	-52,305	0,000

* = Wartości ekstremalne

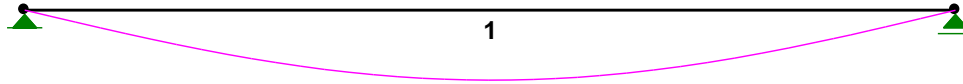


REAKCJE PODPOROWE: T.I rzędu

Obciążenia obl.: Ciężar wł.+AB

Węzeł:	H [kN]:	V [kN]:	Wypadkowa [kN]:	M [kNm]:
1	0,000	46,164	46,164	
2	0,000	52,305	52,305	

PRZEMIESZCZENIA:



DEFORMACJE: T.I rzędu
 Obciążenia char.: Ciężar wł.+AB

Pręt:	Wa [m]:	Wb [m]:	F1a [deg]:	F1b [deg]:	f [m]:	L/f:
1	-0,0000	-0,0000	-0,749	0,765	0,0278	240,0

Ekstremalne siły przekrojowe:**Z1: $M_{max} = 97,87kNm$ i $V_{max} = 22,12kN$** **Z2: $R_{max} = 52,31kN$** **SPRAWDZENIA STANU GRANICZNEGO ULS i SLS:****1. Siły tnące $V_{max} = 52,31kN$:**

Obliczeniowa nośność na ścinanie:

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 45,9 - 2 \cdot 13,5 \cdot 1,02 + (0,66 + 2 \cdot 1,5) \cdot 1,02 = 22,63cm^2$$

$$A_v = 22,63cm^2 \leq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,2 \cdot 22,62 \cdot 0,66 = 17,92cm^2 \rightarrow A_v = 17,92cm^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \sqrt{3}} = \frac{17,92 \cdot 23,5}{1,0 \sqrt{3}} = 243,42kN$$

$$V_{max} = 52,31kN \leq V_{pl,Rd} = 243,42kN \text{ warunek spełniony}$$

oraz $V_{max} = 52,31kN \leq 0,5V_{pl,Rd} = 0,5 \cdot 243,42kN = 121,71kN$ – pomijam wpływ siły poprzecznej na zginanie.

2. Zginanie:

Obliczeniowa nośność na zginanie:

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{484,0 \cdot 23,5}{1,0} \cdot 10^{-2} = 113,74kNm$$

Sprawdzenie warunku nośności w środku przęsła:

$$M_{max} = 97,87kNm \leq M_{pl,Rd} = 113,74kNm$$

Obliczeniowa nośność na zginanie ze zwichrzeniem: w środku rozpiętości belki

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

Wyznaczenie współczynnika zwichrzenia χ_{LT} :

Belki drugorzędne IPE140 zabezpieczając podciąg przed zwichrzeniem $L_{max}=1,55m$. Sprężysty moment krytyczny przy zwichrzeniu belki o przekroju bisymetrycznym, podparcie widełkowe na obu końcach, obciążenie momentem niemal stałym na długości (między belkami IPE140, na środku przęsła).

Moment krytyczny M_{cr} :

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2} \cdot \left[\sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot y_g)^2} - C_2 \cdot y_g \right] =$$

$$= 1,0 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 420}{155^2} \cdot \left[\sqrt{\frac{70,6}{420} + \frac{155^2 \cdot 8100 \cdot 15,9}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 420} + (0 \cdot 13,5)^2} - 0 \cdot 13,5 \right] = 21653,00kNcm =$$

$$= 216,53kNm$$

$$y_g = 0,5h = 0,5 \cdot 27 = 13,5 \text{ cm}$$

Współczynniki C_1 i C_2 - rozkład prostokątny, $\psi=1,0$ i $k=1$: $C_1 = 1,0$ i $C_2 = 0$.

Smukłość względna:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{484,0 \cdot 23,5}{21653,00}} = 0,725$$

Krzywa zwichrzenia – parametr α . Parametr współczynnika zwichrzenia: $\alpha_{LT} = 0,21$

$$\phi_{LT} = 0,5 \left(1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right) = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (0,725 - 0,2) + 0,725^2) = 0,818$$

Współczynnik zwichrzenia:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,818 + \sqrt{0,818^2 - 0,725^2}} = 0,836 \leq 1,0$$

Zatem:

$$M_{b,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,836 \cdot 484,0 \cdot 23,5}{1,0} \cdot 10^{-2} = 95,06 \text{ kNm}$$

$$M_{max} = 97,87 \text{ kNm} \leq M_{pl,Rd} = 95,06 \text{ kNm} \quad \text{warunek spełniony (1,03\%)}$$

3. Ugięcia $u_{max} = 2,78 \text{ cm}$:

$$u_{max} = 2,78 \text{ cm} \leq u_{dop} = L/350 = 667/250 = 2,67 \text{ cm} \quad \text{warunek spełniony (105\%)}$$

Przekrój pozostawia się ze względu na zmniejszenie się w rzeczywistości wielkości obciążeń co wynika z racji występowania powierzchni komunikacyjnych.

SŁUPY – RK100x6

Geometria: $h = 100$; $b = 100$; $t_w = t_f = 6,0$; $r = 12,0$
 $A = 21,6 \text{ cm}^2$, $I_y = I_z = 311,5 \text{ cm}^4$, $W_{el,y} = 62,3 \text{ cm}^3$, $W_{pl,y} = 75,1 \text{ cm}^3$,
 $m = 0,17 \text{ kN/m}$, $L = 3,40 \text{ m}$

Wytrzymałość: $t_f = 6,0 < 40 \rightarrow f_y = 235 \text{ MPa}$; cz. wsp. bez. $\gamma_{M,0} = 1,0$

Stal: S235JR wg E10025 : $f_y = 235 \text{ MPa}$, $f_u = 360 \text{ MPa}$

Klasa przekroju w sytuacji czystego ściskania

- pas i środknik:

$$\frac{c}{t} = \frac{h - 2t_f - 2r}{t_w} = \frac{100 - 2 \cdot 6,0 - 2 \cdot 12,0}{6,0} = 10,7 \leq 33\epsilon = 33$$

Kształtownik spełnia warunki przekroju klasy 1.

Na słup przyjęto obciążenia skupione reakcją pionową z belek IPE270 oraz

ciężar słupa	$3,40 \text{ m} \cdot 0,17 \text{ kN/m} = 0,58 \text{ kN}$,
ciężar oczepu [200	$2,70 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ kN/m} = 0,68 \text{ kN}$,
ciężar rygli RK80x4	$2,70 \text{ m} \cdot 0,10 \text{ kN/m} = 0,27 \text{ kN}$,
balustrady	$2,70 \text{ m} \cdot 0,10 \text{ kN/m} = 0,27 \text{ kN}$,
Razem:	1,80 kN

Obciążenia stałe g_k + Obciążenia zmienne użytkowe q_k :

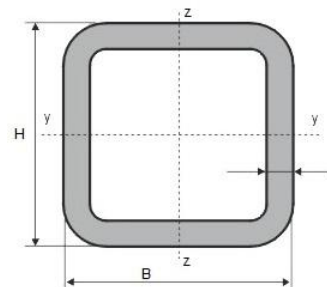
Założenie: słup osiowo ściskany.

$$P_k = 38,29 + 1,80 = \mathbf{40,09 \text{ kN}}$$

$$P_d = 52,31 + 1,80 \cdot 1,15 = \mathbf{54,38 \text{ kN}}$$

Ekstremalne siły przekrojowe: $N_{max} = 54,38 \text{ kN}$

SPRAWDZENIA STANU GRANICZNEGO ULS i SLS:



1. Osiowe ściskanie $N_{max}=52,98kN$:

Obliczeniowa nośność na ściskanie osiowe:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{21,6 \cdot 23,5}{1,0} = 507,6kN$$

Sprawdzenie nośności przekroju ściskanego osiowo:

$$N_{max} = 54,38kN \leq N_{c,Rd} = 507,60kN \quad \text{Warunek nośności spełniony.}$$

Obliczeniowa nośność na ściskanie z uwzględnieniem wyboczenia:

Długości wyboczeniowe słupa: $L_{cr,y} = \mu \cdot H_{słupa} = 1,0 \cdot 3,40m = 3,40m$ oraz $L_{cr,z} = \mu \cdot H_{stężenia} = 1,0 \cdot 2,30m = 2,30m$ Nośność słupa z uwzględnieniem wyboczenia w płaszczyźnie osi y-y ($L_{cr,y} = 3,40m$):

$$N_{cr,y} = \pi^2 \frac{E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \pi^2 \frac{21000 \cdot 311,5}{340^2} = 558,50kN$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{21,6 \cdot 23,5}{558,50}} = 0,953 > 0,2 - \text{zatem wpływ wyboczenia należy uwzględnić}$$

Krzywa wyboczeniowa – parametr α . Parametr współczynnika wyboczenia: $\alpha_y = 0,21$

$$\phi_y = 0,5 \left(1 + \alpha_y (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right) = 0,5 \cdot \left(1 + 0,21 \cdot (0,953 - 0,2) + 0,953^2 \right) = 1,033$$

Współczynnik wyboczenia giętnego:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,033 + \sqrt{1,033^2 - 0,953^2}} = 0,699 \leq 1,0$$

Zatem:

$$N_{b,Rd} = \chi_y \cdot f_y \cdot A / \gamma_{M1} = 0,699 \cdot 23,5 \cdot 21,6 / 1,0 = 354,81kN$$

Sprawdzenie nośności przekroju ściskanego osiowo z uwzgl. wyboczenia:

$$N_{max} = 54,38kN \leq N_{b,Rd} = 354,81kN \quad \text{Warunek nośności spełniony. (15\%)}$$

Przekrój słupa dobrany prawidłowo. Warunek nośności spełniony.

4. OBLICZENIA STATYCZNE ELEMENTÓW KONSUKCJI STALOWEJ W WYJĄTKOWJE SYTUACJI OBLICZENIOWEJ - POŻARPrzyjęto stali konstrukcyjną S235JR, zgodnie z EN10025-2 (odpowiednik St3SX wg PN-88 H-84020):
 $f_y = 235MPa$, $f_u = 360MPa$;Wartość zredukowanego współczynnika ε : $\varepsilon = 0,85 \cdot \sqrt{235/f_y} = 0,85$ (PN EN 1993-1-2)**BLACHA TRAPEZOWA – Z KATALOGU:**

Zabezpieczenie przeciwpożarowe na REI60 wg katalogów Fermacell, na podstawie aprobaty ITB. Bez dodatkowych obliczeń.

Zabezpieczenie stropu na działanie ognia od góry do klasy REI60 wg rozwiązania firmy Fermacell – podłoga typu 2E22:

2x12,5 mm płyta Fermacell + 1x płyta Fermacell 10mm lub 10mm podsypki z kruszywa.
Mocowanie zgodnie z rozwiązaniem systemowym.

Zabezpieczenie stropu na działanie ognia od dołu do klasy REI60 wg rozwiązania firmy PromatTOP 435.20:

2x płyty Promatect-H d=10,0mm mocowane za pomocą zszywek i blachowkrętów wpuszczanych wg rozwiązania systemowego.

Zabezpieczenie konstrukcji stalowej – płyty Promatect-H firmy PromatTOP wg katalogów na podstawie:

Aprobata Techniczna AT-15-3855/2013

Certyfikat Zgodności: nr ITB-1766/W

Deklaracja Zgodności: nr DZ-12

ŻEBRO STROPU - IPE140

Geometria: $h = 140$; $b = 73$; $t_w = 3,8$; $t_f = 6,9$; $r = 7,0$
 $A = 16,40 \text{ cm}^2$, $I_y = 541 \text{ cm}^4$, $I_z = 44,9 \text{ cm}^4$, $W_{el,y} = 77,3 \text{ cm}^3$, $W_{pl,y} = 88,3 \text{ cm}^3$, $I_t = 2,45 \text{ cm}^4$, $I_w = 1,98 \text{ cm}^6$,

Wytrzymałość: $t_f = 6,9 < 40 \rightarrow f_y = 235 \text{ MPa}$; cz. wsp. bez. $\gamma_{M,fi} = 1,0$
 Stal: S235JR wg E10025 : $f_y = 235 \text{ MPa}$, $f_u = 360 \text{ MPa}$

Klasa przekroju w sytuacji czystego zginania (+ściananie)

- pas:

$$\frac{c}{t} = \frac{0,5(b - t_w - 2r)}{t_f} = \frac{0,5(73 - 3,8 - 2 \cdot 7,0)}{6,9} = 4,0 \leq 9\varepsilon = 7,65$$

Klasa 1

- środnik:

$$\frac{c}{t} = \frac{h - 2(t_f + r)}{t_w} = \frac{140 - 2 \cdot (6,9 + 7,0)}{3,8} = 29,53 \leq 72\varepsilon = 61,2$$

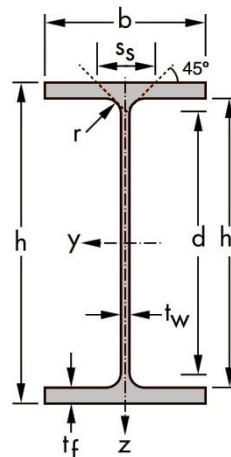
Klasa 1

Kształtownik spełnia warunki przekroju klasy 1.

Stateczność miejscowa przy ścinaniu:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{140 - 2 \cdot 6,9}{3,8} = 35,5 \leq \frac{72\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,85}{1,2} = 51$$

Stateczność środnika belki poddanego ścinaniu jest zapewniona.



Przyjęto obciążenia liniowe – obciążenia stałe i użytkowe z blachy trapezowej i ciężar własny elementu oraz wariantowo obciążenie ścianką działową (do wykonania w drugim etapie przebudowy). Maksymalny rozstaw belek $d = 1,55 \text{ m}$ – z takiej szerokości zbierane obciążenie.

Obciążenia stałe g_k : (patrz tabela wyżej)A) g_k (bez ścianki) = **2,01 kN/m**B) g_k (ze ścianką) = **3,41 kN/m**Obciążenia zmienne – użytkowe q_k , widące: $\psi_0 = 0,70$; $\psi_1 = 0,70$; $\psi_2 = 0,60$; $q_k =$ **4,65 kN/m**Długość obliczeniowa belki $l_0 = 2,80 \text{ m}$; rozstaw $b = 1,55 \text{ m}$

A) „bez ścianki”:

$p_{d,fi} = 2,01 + 0,70 \cdot 4,65 =$

5,27 kN/m

B) „ze ścianką”:

$p_{d,fi} = 3,41 + 0,70 \cdot 4,65 =$

6,67 kN/mSiły przekrojowe:

$M_{\max} = 0,125 \cdot 6,67 \cdot 2,80^2 =$ **6,54 kNm**

$R_{\max} = 0,5 \cdot 6,67 \cdot 2,80 =$ **9,34 kN**

SPRAWDZENIA STANU GRANICZNEGO ULS i SLS:Analiza belki – wyznaczenie temperatury krytycznej $\theta_{a,com}$.

$\gamma_{M0} = 1,0$; $\gamma_{M,fi} = 1,0$

Przeprowadzono sprawdzenie w dziedzinie efektów oddziaływań w chwili $t_{fi,d} = t_{fi,d,req} = 60 \text{ min}$
 i $\theta_{a,cr} \geq \theta_a$ lub chwili $t_{fi,d} \geq t_{fi,d,req} = 60 \text{ min}$ i $\theta_{a,cr} = \theta_a$.

SPRAWDZENIA W DZIEDZINIE EFEKTÓW ODDZIAŁYWAŃ:1. Siły tnące $V_{\max} = V_{fi,t,Ed} = V_{fi,t,Rd} =$ **9,34 kN**:

Obliczeniowa nośność na ścinanie:

$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 16,4 - 2 \cdot 7,3 \cdot 0,69 + (0,38 + 2 \cdot 0,7) \cdot 0,69 = 7,55 \text{ cm}^2$

$$A_v = 7,55 \text{ cm}^2 \leq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,2 \cdot 12,22 \cdot 0,38 = 5,57 \text{ cm}^2 \rightarrow A_v = 5,57 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \sqrt{3}} = \frac{5,57 \cdot 23,5}{1,0 \sqrt{3}} = 76,58 \text{ kN}$$

W warunkach pożaru z warunku osiągnięcia nośności na ścinanie:

$$V_{fi,t,Ed} = 9,34 \text{ kN} = k_{y,\theta_{web}} V_{pl,Rd} (\gamma_{M0} / \gamma_{M,fi}) = k_{y,\theta_{web}} \cdot 76,58 \text{ kN} \cdot \left(\frac{1,0}{1,0}\right) = k_{y,\theta_{web}} \cdot 76,58 \text{ kN}$$

Temperatura krytyczna:

$$k_{y,\theta_{web}} = 9,34 / 76,58 = 0,122 \rightarrow \theta_{web} = 790^\circ\text{C}$$

Siły tnące są znikomej wartości w stosunku do nośności przekroju, pomijam je w dalszych obliczeniach. (Pomijam wpływ ścinania na nośność na zginanie.)

2. Zginanie – przęsło z M_{max} (siły V pominięte): $M_{b,fi,t,Ed} = 6,54 \text{ kNm}$

Obliczeniowa nośność na zginanie ze zwichrzeniem: „w środku rozpiętości przęsła”

$$M_{b,fi,t,Rd} = \frac{\chi_{LT,fi} \cdot W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta,com} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} = M_{b,fi,t,Ed} \rightarrow k_{y,\theta,com} = \frac{M_{b,fi,t,Ed} \cdot \gamma_{M,fi}}{\chi_{LT,fi} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}$$

Wyznaczenie współczynnika zwichrzenia w pożarowej sytuacji projektowej $\chi_{LT,fi}$:

- smukłość względna przy zwichrzeniu oraz moment krytyczny M_{cr} : jak w obl. w sytuacji trwałej:

$$M_{cr} = 28,02 \text{ kNm}$$

Smukłość względna w rozpoczęciu pożaru $t = 0$:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{88,3 \cdot 23,5}{2802,10}} = 0,861$$

Iteracyjne wyznaczenie parametrów w sytuacji pożarowej:

Pierwsza iteracja:

$$\bar{\lambda}_{LT,\theta,com} = \frac{\bar{\lambda}_{LT}}{0,85} = \frac{0,861}{0,85} = 1,013$$

Wskaźnik imperfekcji:

$$\alpha = 0,65 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,65$$

Parametr współczynnika zwichrzenia:

$$\phi_{LT,\theta,com} = 0,5 \left(1 + \alpha \bar{\lambda}_{LT,\theta,com} + \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2 \right) = 0,5 (1 + 0,65 \cdot 1,013 + 1,013^2) = 1,342$$

Współczynnik zwichrzenia w pożarowej sytuacji projektowej:

$$\chi_{LT,fi} = \frac{1}{\phi_{LT,\theta,com} + \sqrt{\phi_{LT,\theta,com}^2 - \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2}} = \frac{1}{1,342 + \sqrt{1,342^2 - 1,013^2}} = 0,450$$

Zatem:

$$k_{y,\theta,com} = \frac{M_{b,fi,t,Rd} \cdot \gamma_{M,fi}}{\chi_{LT,fi} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y} = \frac{654 \cdot 1,0}{0,450 \cdot 88,3 \cdot 23,5} = 0,700$$

Z tablic - interpolacja: $\theta_{a,com} = 526^\circ\text{C}$ oraz $k_{E,\theta,com} = 0,525$.

Druuga iteracja:

$$\bar{\lambda}_{LT,\theta,com} = \bar{\lambda}_{LT} \sqrt{\frac{k_{y,\theta,com}}{k_{E,\theta,com}}} = 0,861 \sqrt{\frac{0,700}{0,525}} = 0,994$$

$$\alpha = 0,65 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,65$$

$$\phi_{LT,\theta,com} = 0,5 \left(1 + \alpha \bar{\lambda}_{LT,\theta,com} + \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2 \right) = 0,5 (1 + 0,65 \cdot 0,994 + 0,994^2) = 1,317$$

$$\chi_{LT,fi} = \frac{1}{\phi_{LT,\theta,com} + \sqrt{\phi_{LT,\theta,com}^2 - \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2}} = \frac{1}{1,317 + \sqrt{1,317^2 - 0,994^2}} = 0,459$$

Zatem:

$$k_{y,\theta,com} = \frac{M_{b,fi,t,Rd} \cdot \gamma_{M,fi}}{\chi_{LT,fi} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y} = \frac{654 \cdot 1,0}{0,459 \cdot 88,3 \cdot 23,5} = 0,687$$

Z tablic - interpolacja: $\theta_{a,com} = 530^\circ\text{C}$ oraz $k_{E,\theta,com} = 0,513$.

Trzecia iteracja:

$$\bar{\lambda}_{LT,\theta,com} = \bar{\lambda}_{LT} \sqrt{\frac{k_{y,\theta,com}}{k_{E,\theta,com}}} = 0,861 \sqrt{\frac{0,687}{0,513}} = 0,996$$

$$\phi_{LT,\theta,com} = 0,5 \left(1 + \alpha \bar{\lambda}_{LT,\theta,com} + \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2 \right) = 0,5 (1 + 0,65 \cdot 0,996 + 0,996^2) = 1,320$$

$$\chi_{LT,fi} = \frac{1}{\phi_{LT,\theta,com} + \sqrt{\phi_{LT,\theta,com}^2 - \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2}} = \frac{1}{1,320 + \sqrt{1,320^2 - 0,996^2}} = 0,458$$

Zatem:

$$k_{y,\theta,com} = \frac{M_{b,fi,t,Rd} \cdot \gamma_{M,fi}}{\chi_{LT,fi} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y} = \frac{654 \cdot 1,0}{0,458 \cdot 88,3 \cdot 23,5} = 0,689$$

Z tablic - interpolacja: $\theta_{a,com} = 529^\circ\text{C}$ oraz $k_{E,\theta,com} = 0,515$.

Ostatecznie temperatura krytyczna wynosi: $\theta_{a,cr} = \theta_{a,com} = 529^\circ\text{C}$.

Biorąc pod uwagę punkty 1 i 2 przyjmuję temperaturę krytyczną dla belki IPE140 rzędu $\theta_{a,cr} = 529^\circ\text{C}$.

Sprawdzenie czasu odporności ogniowej przekroju w odniesieniu do wymaganego czasu R60:

Przekrój otwarty bez izolacji ogniochronnej z ekspozycją na działanie temperatur pożarowych z 3 stron. Pomijam efekt zacienienia $k_{sh} = 1$. (EC3-1-2 tabl.4.2)

$$\frac{A_m}{V} = \frac{\text{obw. pow. ogarniętej pożarem}}{\text{pole przekr. poprzecznego}} = \frac{55 - 7,3}{16,4} = 2,91 \frac{1}{\text{cm}} = 291 \frac{1}{\text{m}} \rightarrow \theta_{a,cr} = 529^\circ\text{C} \rightarrow t_{fi,d} = 8,5 \text{ min}$$

$$t_{fi,d} = 8,5 \text{ min} < t_{fi,d,req} = 60 \text{ min}$$

Ze względu na przedwczesną utratę nośności przez przekrój należy zaprojektować izolację ogniochronną, która zabezpieczy przekrój na wymagane R60 przy $\theta_{a,cr} = 529^\circ\text{C}$.

PODCIĄG STROPU – IPE270

$l_0 = 6,67 \text{ m}$

Geometria: $h = 270$; $b = 135$; $t_w = 6,6$; $t_f = 10,2$; $r = 15,0$

$A = 45,9 \text{ cm}^2$, $I_y = 5790 \text{ cm}^4$, $I_z = 420 \text{ cm}^4$, $W_{el,y} = 429,0 \text{ cm}^3$, $W_{pl,y} = 484,0 \text{ cm}^3$, $I_t = 15,9 \text{ cm}^4$, $I_w = 70,6 \text{ cm}^6$,

Wytrzymałość: $t_f = 6,9 < 40 \rightarrow f_y = 235 \text{ MPa}$; cz. wsp. bez. $\gamma_{M,fi} = 1,0$

Stal: S235JR wg E10025 : $f_y = 235 \text{ MPa}$, $f_u = 360 \text{ MPa}$

Klasa przekroju w sytuacji czystego zginania (+ściananie)

- pas:

$$\frac{c}{t} = \frac{0,5(b - t_w - 2r)}{t_f} = \frac{0,5(135 - 6,6 - 2 \cdot 15,0)}{10,2} = 4,82 \leq 9\varepsilon = 7,65$$

Klasa 1

- środnik:

$$\frac{c}{t} = \frac{h - 2(t_f + r)}{t_w} = \frac{270 - 2 \cdot (6,9 + 15,0)}{6,6} = 34,27 \leq 72\varepsilon = 61,2$$

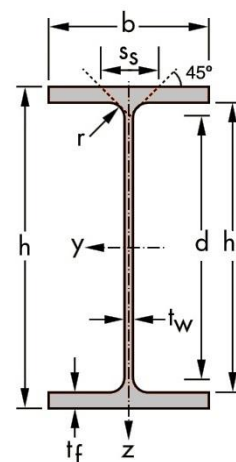
Klasa 1

Kształtownik spełnia warunki przekroju klasy 1.

Stateczność miejscowa przy ścinaniu:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{270 - 2 \cdot 10,2}{6,6} = 37,18 \leq \frac{72\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1,0}{1,2} = 51$$

Stateczność środnika belki poddanego ścinaniu jest zapewniona.



Przyjęto obciążenia skupione z belek drugorzędnych IPE140 – obciążenia stałe i użytkowe z blachy trapezowej i ciężar własny elementów belkowych oraz wariantowo obciążenie ścianką działową (do wykonania w drugim etapie przebudowy). Szerokości rozdziału obciążeń: rozstawy belek IPE140 różne – uśredniony $d = 1,40 \text{ m}$ oraz rozstawy podciągów IPE270 – średnio $c = 0,5 \cdot (2,6 + 2,84) = 2,70 \text{ m}$. Pole rozdziału $A = 1,40 \cdot 2,70 = 3,78 \text{ m}^2$.

Obciążenia stałe g_k : (patrz tabela wyżej)

A) g_k (bez ścianki) = $(1,26 \cdot 1,40 + 0,13) \cdot 2,70 =$ **5,11kN**

B) g_k (ze ścianką) = $(1,26 \cdot 1,40 + 0,13 + 1,40) \cdot 2,70 =$ **8,89kN**

Obciążenia zmienne – użytkowe q_k , wiodące: $\psi_0 = 0,70$; $\psi_1 = 0,70$; $\psi_2 = 0,60$;

$q_k = (3,00 \cdot 1,40) \cdot 2,70 =$ **11,34kN**

Długość obliczeniowa belki $l_0 = 6,67$ m; rozstaw $c = 2,70$ m, rozstaw żeber $d = \sim 1,40$ m.

Reakcje z belek drugorzędnych na podciąg:

A) „bez ścianki”:

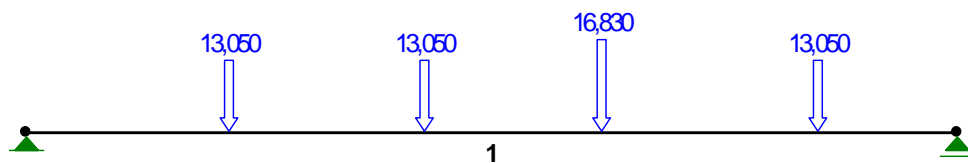
$P_{d,fi} = 5,11 + 0,70 \cdot 11,34 =$ **13,05kN**

B) „ze ścianką”:

$P_{d,fi} = 8,89 + 0,70 \cdot 11,34 =$ **16,83kN**

Sily przekrojowe:

NAZWA: podciąg ipe270_pozar



OBCIĄŻENIA: ([kN], [kNm], [kN/m])

Pręt:	Rodzaj:	Kąt:	P1 (Tg):	P2 (Td):	a [m]:	b [m]:

Grupa:	A "bez scianki"			Zmienne	$g_f = 1,00$	
1	Skupione	0,0	13,050		1,45	
1	Skupione	0,0	13,050		2,85	
1	Skupione	0,0	13,050		5,67	

Grupa:	B "ze scianka"			Zmienne	$g_f = 1,00$	
1	Skupione	0,0	16,830		4,12	

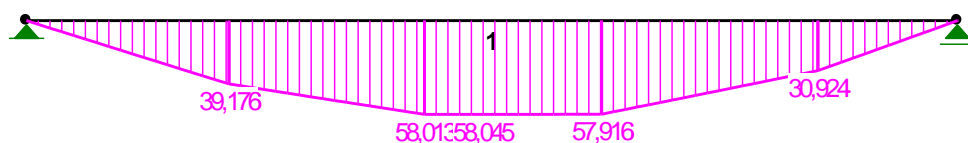
W Y N I K I Teoria I-go rzędu

OBCIĄŻENIOWE WSPÓŁ. BEZPIECZ.:

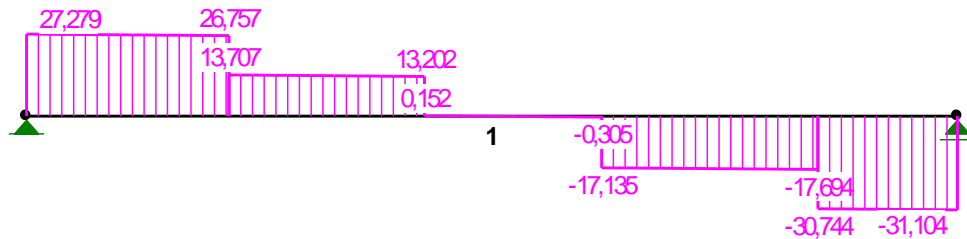
Grupa:	Znaczenie:	yd:	g_f :

Ciężar wł.			1,00
A -"bez scianki"	Zmienne	1	1,00
B -"ze scianka"	Zmienne	1	1,00

MOMENTY:



TNACE:

**SIŁY PRZEKROJOWE:** T.I rzędu

Obciążenia obl.: Ciężar wł.+AB

Pręt:	x/L:	x [m]:	M [kNm]:	Q [kN]:	N [kN]:
1	0,00	0,000	0,000	27,279	0,000
	0,49	3,267	58,045*	0,002	0,000
	1,00	6,670	-0,000	-31,104	0,000

* = Wartości ekstremalne

Ekstremalne siły przekrojowe:**Z1: $M_{\max} = 58,05 \text{ kNm}$ i $V_{\max} = 13,21 \text{ kN}$** **Z2: $R_{\max} = 31,11 \text{ kN}$** **SPRAWDZENIA STANU GRANICZNEGO ULS i SLS:****Analiza belki – wyznaczenie temperatury krytycznej $\theta_{a,com}$.** $\gamma_{M0} = 1,0; \gamma_{M,fi} = 1,0$

Przeprowadzono sprawdzenie w dziedzinie efektów oddziaływań w chwili $t_{fi,d} = t_{fi,d,req} = 60 \text{ min}$ i $\theta_{a,cr} \geq \theta_a$ lub chwili $t_{fi,d} \geq t_{fi,d,req} = 60 \text{ min}$ i $\theta_{a,cr} = \theta_a$.

SPRAWDZENIA W DZIEDZINIE EFEKTÓW ODDZIAŁYWAŃ:**1. Siły tnące $V_{\max} = V_{fi,t,Rd} = 31,11 \text{ kN}$:**

Obliczeniowa nośność na ścinanie:

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 45,9 - 2 \cdot 13,5 \cdot 1,02 + (0,66 + 2 \cdot 1,5) \cdot 1,02 = 22,63 \text{ cm}^2$$

$$A_v = 22,63 \text{ cm}^2 \leq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,2 \cdot 22,62 \cdot 0,66 = 17,92 \text{ cm}^2 \rightarrow A_v = 17,92 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M,fi} \sqrt{3}} = \frac{17,92 \cdot 23,5}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 243,42 \text{ kN}$$

W warunkach pożaru z warunku osiągnięcia nośności na ścinanie:

$$V_{fi,t,Rd} = 31,11 \text{ kN} = k_{y,\theta_{web}} V_{pl,Rd} (\gamma_{M0} / \gamma_{M,fi}) = k_{y,\theta_{web}} \cdot 243,42 \text{ kN} \cdot \left(\frac{1,0}{1,0}\right) = k_{y,\theta_{web}} \cdot 243,42 \text{ kN}$$

Temperatura krytyczna:

$$k_{y,\theta_{web}} = 31,11 / 243,42 = 0,128 \rightarrow \theta_{web} = 785^\circ \text{C}$$

Siły tnące są znikomej wartości w stosunku do nośności przekroju, pomijam je w dalszych obliczeniach. (Pomijam wpływ ścinania na nośność na zginanie.)

2. Zginanie – przeszło z M_{\max} (siły V pominięte): $M_{b,fi,t,Rd} = 58,05 \text{ kNm}$

Obliczeniowa nośność na zginanie ze zwichrzeniem: „w środku rozpiętości przęsła”

$$M_{b,fi,t,Rd} = \frac{\chi_{LT,fi} \cdot W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta_{com}} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} \rightarrow k_{y,\theta_{com}} = \frac{M_{b,fi,t,Rd} \cdot \gamma_{M,fi}}{\chi_{LT,fi} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}$$

Wyznaczenie współczynnika zwichrzenia w pożarowej sytuacji projektowej $\chi_{LT,fi}$:- smukłość względna przy zwichrzeniu oraz moment krytyczny M_{cr} : jak w obl. w sytuacji trwałej:

$$M_{cr} = 216,53 \text{ kNm}$$

Smukłość względna w rozpoczęciu pożaru $t = 0$:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{484,0 \cdot 23,5}{21653,00}} = 0,725$$

Iteracyjne wyznaczenie parametrów w sytuacji pożarowej:

Pierwsza iteracja:

$$\bar{\lambda}_{LT,\theta,com} = \frac{\lambda_{LT}}{0,85} = \frac{0,725}{0,85} = 0,853$$

Wskaźnik imperfekcji:

$$\alpha = 0,65 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,65$$

Parametr współczynnika zwiczenia:

$$\phi_{LT,\theta,com} = 0,5 \left(1 + \alpha \bar{\lambda}_{LT,\theta,com} + \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2 \right) = 0,5(1 + 0,65 \cdot 0,853 + 0,853^2) = 1,141$$

Współczynnik zwiczenia w pożarowej sytuacji projektowej:

$$\chi_{LT,fi} = \frac{1}{\phi_{LT,\theta,com} + \sqrt{\phi_{LT,\theta,com}^2 - \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2}} = \frac{1}{1,141 + \sqrt{1,141^2 - 0,853^2}} = 0,527$$

Zatem:

$$k_{y,\theta,com} = \frac{M_{b,fi,t,Rd} \cdot \gamma_{M,fi}}{\chi_{LT,fi} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y} = \frac{5805 \cdot 1,0}{0,527 \cdot 484 \cdot 23,5} = 0,969$$

Z tablic - interpolacja: $\theta_{a,com} = 406^\circ\text{C}$ oraz $k_{E,\theta,com} = 0,686$.

Druga iteracja:

$$\bar{\lambda}_{LT,\theta,com} = \bar{\lambda}_{LT} \sqrt{\frac{k_{y,\theta,com}}{k_{E,\theta,com}}} = 0,853 \sqrt{\frac{0,969}{0,686}} = 0,861$$

$$\alpha = 0,65 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,65$$

$$\phi_{LT,\theta,com} = 0,5 \left(1 + \alpha \bar{\lambda}_{LT,\theta,com} + \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2 \right) = 0,5(1 + 0,65 \cdot 0,861 + 0,861^2) = 1,151$$

$$\chi_{LT,fi} = \frac{1}{\phi_{LT,\theta,com} + \sqrt{\phi_{LT,\theta,com}^2 - \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2}} = \frac{1}{1,151 + \sqrt{1,151^2 - 0,861^2}} = 0,522$$

Zatem:

$$k_{y,\theta,com} = \frac{M_{b,fi,t,Rd} \cdot \gamma_{M,fi}}{\chi_{LT,fi} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y} = \frac{5805 \cdot 1,0}{0,522 \cdot 484 \cdot 23,5} = 0,977$$

Z tablic - interpolacja: $\theta_{a,com} = 410^\circ\text{C}$ oraz $k_{E,\theta,com} = 0,690$.

Trzecia iteracja:

$$\bar{\lambda}_{LT,\theta,com} = \bar{\lambda}_{LT} \sqrt{\frac{k_{y,\theta,com}}{k_{E,\theta,com}}} = 0,861 \sqrt{\frac{0,977}{0,690}} = 0,862$$

$$\phi_{LT,\theta,com} = 0,5 \left(1 + \alpha \bar{\lambda}_{LT,\theta,com} + \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2 \right) = 0,5(1 + 0,65 \cdot 0,862 + 0,862^2) = 1,152$$

$$\chi_{LT,fi} = \frac{1}{\phi_{LT,\theta,com} + \sqrt{\phi_{LT,\theta,com}^2 - \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2}} = \frac{1}{1,152 + \sqrt{1,152^2 - 0,862^2}} = 0,522$$

Zatem:

$$k_{y,\theta,com} = \frac{M_{b,fi,t,Rd} \cdot \gamma_{M,fi}}{\chi_{LT,fi} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y} = \frac{5805 \cdot 1,0}{0,522 \cdot 484 \cdot 23,5} = 0,978$$

Z tablic - interpolacja: $\theta_{a,com} = 410^\circ\text{C}$ oraz $k_{E,\theta,com} = 0,690$.

Ostatecznie temperatura krytyczna wynosi: $\theta_{a,cr} = \theta_{a,com} = 410^\circ\text{C}$.

Biorąc pod uwagę punkty 1 i 2 przyjmuję temperaturę krytyczną dla belki IPE270 rzędu $\theta_{a,cr} = 410^\circ\text{C}$.

Sprawdzenie czasu odporności ogniowej przekroju w odniesieniu do wymaganego czasu R60:

Przekrój otwarty bez izolacji ogniochronnej z ekspozycją na działanie temperatur pożarowych z 3 stron. Pomijam efekt zacienienia $k_{sh} = 1$. (EC3-1-2 tabl.4.2)

$$\frac{A_m}{V} = \frac{\text{obw. pow. ogarniętej pożarem}}{\text{pole przekr. poprzecznego}} = \frac{104,1 - 13,5}{50,6} = 1,79 \frac{1}{\text{cm}} = 179 \frac{1}{\text{m}} \rightarrow \theta_{a,cr} = 410^\circ\text{C} \rightarrow t_{fi,d}$$

$$t_{fi,d} = 8,3 \text{min} < t_{fi,d,req} = 60 \text{min}$$

Ze względu na przedwczesną utratę nośności przez przekrój należy zaprojektować izolację ogniochronną, która zabezpieczy przekrój na wymagane R60 przy $\theta_{a,cr} = 410^\circ\text{C}$.

SŁUPY – RK100x6

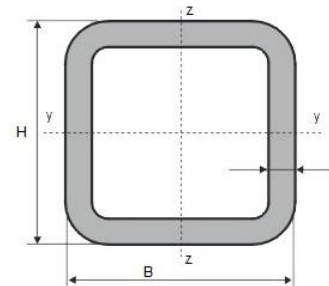
Geometria: $h = 100$; $b = 100$; $t_w = t_f = 6,0$; $r = 12,0$
 $A = 21,6 \text{cm}^2$, $I_y = I_z = 311,5 \text{cm}^4$, $W_{el,y} = 62,3 \text{cm}^3$, $W_{pl,y} = 75,1 \text{cm}^3$,
 $m = 0,17 \text{kN/m}$, $L = 3,40 \text{m}$
 Wytrzymałość: $t_f = 6,0 < 40 \rightarrow f_y = 235 \text{MPa}$;
 cz. wsp. bez. $\gamma_{M,fi} = 1,0$
 Stal: S235JR wg E10025 : $f_y = 235 \text{MPa}$, $f_u = 360 \text{MPa}$

Klasa przekroju w sytuacji czystego ściskania

- pas i środnik:

$$\frac{c}{t} = \frac{h - 2t_f - 2r}{t_w} = \frac{100 - 2 \cdot 6,0 - 2 \cdot 12,0}{6,0} = 10,7 \leq 33\epsilon = 28,1$$

Kształtownik spełnia warunki przekroju klasy 1.



Obciążenia stałe g_k + Obciążenia zmienne użytkowe q_k (w uproszczeniu jak w EC2-1-2 2.4.2):
Założenie: słup osiowo ściskany. (Patrz na zestawienie obciążeń w trwałej sytuacji obliczeniowej)

$$P_d = 52,31 + 1,80 \cdot 1,15 = 54,38 \text{kN}$$

$$P_{kfi,d,t} = \eta_{fi} \cdot P_d = 0,65 \cdot 54,38 = 35,35 \text{kN}$$

Ekstremalne siły przekrojowe: $N_{k,fi,d,t} = 35,35 \text{kN}$

SPRAWDZENIA W DZIEDZINIE EFEKTÓW ODDZIAŁYWAŃ:

1. Osiowe ściskanie $N_{max} = 35,35 \text{kN}$:

Długości wyboczeniowe słupa: $L_{cr,y} = \mu \cdot H_{słupa} = 1,0 \cdot 3,40 \text{m} = 3,40 \text{m}$ oraz $L_{cr,z} = \mu \cdot H_{stężenia} = 1,0 \cdot 2,30 \text{m} = 2,30 \text{m}$

$$\text{Smukłość w temperaturze pokojowej: } \lambda_y = L_{cr,y} / i_y = 340 / 3,79 = 89,71$$

$$\text{Smukłość porównawcza: } \lambda_E = \pi \sqrt{E / f_y} = \pi \sqrt{21000 / 235} = 93,91$$

$$\text{Smukłość względna w temp. pokojowej: } \bar{\lambda}_y = \lambda_y / \lambda_E = 89,71 / 93,91 = 0,955$$

Określenie temperatury kryicznej słupa w warunkach pożaru – metoda iteracyjna:

$$\text{Smukłość względna w temp. } \theta: \bar{\lambda}_\theta = \bar{\lambda}_y \sqrt{k_{y,\theta} / k_{E,\theta}}$$

$$\text{Pierwsza iteracja: } \kappa = \sqrt{k_{E,\theta} / k_{y,\theta}} = 0,85,$$

$$\text{zatem: } \bar{\lambda}_\theta = \bar{\lambda}_y \sqrt{k_{y,\theta} / k_{E,\theta}} = \bar{\lambda}_y / 0,85 = 0,955 / 0,85 = 1,124$$

$$\text{Wskaźnik imperfekcji: } \alpha = 0,65 \sqrt{235 / f_y} = 0,65$$

Parametr współczynnika zwichrzenia:

$$\phi_\theta = 0,5 \left(1 + \alpha \bar{\lambda}_\theta + \bar{\lambda}_\theta^2 \right) = 0,5 \left(1 + 0,65 \cdot 1,124 + 1,124^2 \right) = 1,497$$

Współczynnik wyboczenia giętnego w pożarowej sytuacji obliczeniowej:

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\phi_\theta + \sqrt{\phi_\theta^2 - \bar{\lambda}_\theta^2}} = \frac{1}{1,497 + \sqrt{1,497^2 - 1,124^2}} = 0,402 \leq 1,0$$

$$N_{b,fi,t,Ed} = \frac{\chi_{fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} = N_{b,fi,t,Ed} \rightarrow k_{y,\theta} = \frac{N_{b,fi,t,Ed} \cdot \gamma_{M,fi}}{\chi_{fi} \cdot A \cdot f_y} = \frac{35,35 \cdot 1,0}{0,402 \cdot 21,6 \cdot 235} = 0,173$$

Z tablic - interpolacja: $\theta_{a,cr} = 748^\circ\text{C}$ oraz $k_{E,\theta} = 0,111$.

Druga iteracja:

$$\bar{\lambda}_\theta = \bar{\lambda}_y \sqrt{k_{y,\theta} / k_{E,\theta}} = 0,955 \sqrt{0,173 / 0,111} = 1,193$$

Wskaźnik imperfekcji:

$$\alpha = 0,65 \sqrt{235 / f_y} = 0,65$$

Parametr współczynnika zwężenia:

$$\phi_\theta = 0,5 (1 + \alpha \bar{\lambda}_\theta + \bar{\lambda}_\theta^2) = 0,5 (1 + 0,65 \cdot 1,193 + 1,193^2) = 1,599$$

Współczynnik wyboczenia giętnego w pożarowej sytuacji obliczeniowej:

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\phi_\theta + \sqrt{\phi_\theta^2 - \bar{\lambda}_\theta^2}} = \frac{1}{1,599 + \sqrt{1,599^2 - 1,193^2}} = 0,375 \leq 1,0$$

$$N_{b,fi,t.Ed} = \frac{\chi_{fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} = N_{b,fi,t.Ed} \rightarrow k_{y,\theta} = \frac{N_{b,fi,t.Ed} \cdot \gamma_{M,fi}}{\chi_{fi} \cdot A \cdot f_y} = \frac{35,35 \cdot 1,0}{0,375 \cdot 21,6 \cdot 23,5} = 0,186$$

Z tablic - interpolacja: $\theta_{a,cr} = 739^\circ\text{C}$ oraz $k_{E,\theta} = 0,114$.

Trzecia iteracja:

$$\bar{\lambda}_\theta = \bar{\lambda}_y \sqrt{k_{y,\theta} / k_{E,\theta}} = 0,955 \sqrt{0,186 / 0,144} = 1,217$$

Wskaźnik imperfekcji:

$$\alpha = 0,65 \sqrt{235 / f_y} = 0,65$$

Parametr współczynnika zwężenia:

$$\phi_\theta = 0,5 (1 + \alpha \bar{\lambda}_\theta + \bar{\lambda}_\theta^2) = 0,5 (1 + 0,65 \cdot 1,217 + 1,217^2) = 1,636$$

Współczynnik wyboczenia giętnego w pożarowej sytuacji obliczeniowej:

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\phi_\theta + \sqrt{\phi_\theta^2 - \bar{\lambda}_\theta^2}} = \frac{1}{1,636 + \sqrt{1,636^2 - 1,217^2}} = 0,366 \leq 1,0$$

$$N_{b,fi,t.Ed} = \frac{\chi_{fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} = N_{b,fi,t.Ed} \rightarrow k_{y,\theta} = \frac{N_{b,fi,t.Ed} \cdot \gamma_{M,fi}}{\chi_{fi} \cdot A \cdot f_y} = \frac{35,35 \cdot 1,0}{0,366 \cdot 21,6 \cdot 23,5} = 0,190$$

Z tablic - interpolacja: $\theta_{a,cr} = 733^\circ\text{C}$ oraz $k_{E,\theta} = 0,117$.

Czwarta iteracja:

$$\bar{\lambda}_\theta = \bar{\lambda}_y \sqrt{k_{y,\theta} / k_{E,\theta}} = 0,955 \sqrt{0,190 / 0,123} = 1,219$$

Wskaźnik imperfekcji:

$$\alpha = 0,65 \sqrt{235 / f_y} = 0,65$$

Parametr współczynnika zwężenia:

$$\phi_\theta = 0,5 (1 + \alpha \bar{\lambda}_\theta + \bar{\lambda}_\theta^2) = 0,5 (1 + 0,65 \cdot 1,219 + 1,219^2) = 1,639$$

Współczynnik wyboczenia giętnego w pożarowej sytuacji obliczeniowej:

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\phi_\theta + \sqrt{\phi_\theta^2 - \bar{\lambda}_\theta^2}} = \frac{1}{1,639 + \sqrt{1,639^2 - 1,219^2}} = 0,366 \leq 1,0$$

$$N_{b,fi,t.Ed} = \frac{\chi_{fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} = N_{b,fi,t.Ed} \rightarrow k_{y,\theta} = \frac{N_{b,fi,t.Ed} \cdot \gamma_{M,fi}}{\chi_{fi} \cdot A \cdot f_y} = \frac{35,35 \cdot 1,0}{0,366 \cdot 21,6 \cdot 23,5} = 0,190$$

Z tablic - interpolacja: $\theta_{a,cr} = 733^\circ\text{C}$ oraz $k_{E,\theta} = 0,117$.

Ostatecznie temperatura krytyczna słupa RK100x6 wynosi: $\theta_{a,cr} = 733^\circ\text{C}$.

Sprawdzenie czasu odporności ogniowej przekroju w odniesieniu do wymaganego czasu R60:

Przekrój otwarty bez izolacji ogniochronnej z ekspozycją na działanie temperatur pożarowych z 3 stron. Pomijam efekt zacienienia $k_{sh} = 1$. (EC3-1-2 tabl.4.2)

$$\frac{A_m}{V} = \frac{\text{obw. pow. ogarniętej pożarem}}{\text{pole przekr. poprzecznego}} = \frac{2(b+h)}{A} = \frac{2 \cdot (10+10)}{21,6} = 1,85 \frac{1}{\text{cm}} = 185 \frac{1}{\text{m}} \rightarrow \theta_{a,cr} = 410^\circ\text{C}$$

$$\rightarrow t_{fi,d} = 18,8 \text{ min}$$

$$t_{fi,d} = 20,8 \text{ min} < t_{fi,d,req} = 60 \text{ min}$$

Ze względu na przedwczesną utratę nośności przez przekrój należy zaprojektować izolację ogniochronną, która zabezpieczy przekrój na wymagane R60 przy $\theta_{a,cr} = 733^\circ\text{C}$.

Projektował:	Sprawdzał:
mgr inż. Joanna Szubert	mgr inż. Andrzej Szubert
upr. bud. MAZ/0268/POOK/12	upr. bud. St - 374/78