

4. WYMIAROWANIE ŻEBER:

Norma PN-EN 1993-1-5 w pkt. 5.3 i 9.3. klasyfikuje żebra poprzeczne (pionowe) ze względu na usytuowanie wyróżniając żebra podporowe oraz pośrednie (między podporami), natomiast ze względu na geometrie oraz sposób wykonstruowania dzieli żebra na tzw. żebra sztywne oraz podatne. Reasumując wyróżnić można żebra podporowe podatne lub sztywne oraz żebra pośrednie podatne lub sztywne. Różnica w wymiarowaniu polega na tym, że żebra pośrednie są obciążone dodatkowym obciążeniem wynikającym z imperfekcji środnika, natomiast żebra podporowe nie są obciążone imperfekcją środnika. Zastosowano podatne żebra podporowe oraz sztywne żebra pośrednie.

4.1. ŻEBRO PODPOROWE PODATNE (podpora A, B, C i D):**Geometria żebra:**

długość żebra h_w =	1100,00	[mm]
szerokość $bs = (bf - tw)/2$ =	111,00	[mm]
grubość ts =	25,00	[mm]
podcięcie żebra Cs =	30,00	[mm]
Szerokość współpracująca środnika $bws = 15 \cdot \epsilon \cdot tw$ (wg pkt. 9.1 PN-EN)		
ϵ =	0,92	
tw =	8,00	[mm]
bws =	110,40	[mm]

Powierzchnia współpracująca $A_{st} = 2 \cdot bs \cdot ts + tw \cdot (2 \cdot bws + ts)$:

A_{st} =	7516,40	[mm ²]
------------	---------	--------------------

Moment bezwładności $J_{st} = 2 \cdot (ts \cdot bs^3/12 + ts \cdot bs \cdot (0,5 \cdot bs + 0,5 \cdot tw)^2) + (2 \cdot bws + ts) \cdot tw^3/12$:

J_{st} =	25357337,47	[mm ⁴]
------------	-------------	--------------------

Promień bezwład. żebra i_{st} =	58,08	[mm]
-----------------------------------	-------	------

4.1.1. Klasa przekroju żebra:

smukł. ścianki $c/t = bs/ts$ =	4,44	$< 9 \cdot \epsilon = 8,28$
smukłość graniczna $- 9 \cdot \epsilon$ =	8,28	

Żebro jest klasy pierwszej.

4.1.2. Skracanie żebra:Skracanie pojedynczego żebra nie wystąpi jeśli spełniony będzie warunek $(J_t/J_p) \geq 5,3 \cdot (f_y/E)$

mom. bezwład. przy skręcaniu swobodnym $J_t = 1/3 \cdot bs \cdot ts^3$	578125,00	[cm ⁴]
biegunowy moment bezwład. $J_p = ts \cdot bs^3/3 + bs \cdot ts/12$	11397156,25	[cm ⁴]
f_y =	275,00	[N/mm ²]
E =	210000,00	[N/mm ²]
(J_t/J_p) =	0,0507254	
$5,3 \cdot (f_y/E)$ =	0,0069	

Skracanie żebra nie wystąpi: $0,051 > 0,0069$ **4.1.3. Wyboczenie żebra:**Warunek nośności ma postać $N_{ed}/N_{b,rd} < 1,0$, gdzie $N_{b,rd} = \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{m1}$. Współczynnik niestateczności χ jest funkcją smukłości λ .Smukłość żebra przy wyboczeniu giętnym wg PN-EN 1993-1-1: $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ Pasy podcięcia usztywniają żebro na krawędziach, dlatego długość wyboczeniową żebra, można przyjąć $= 0,75 \cdot h_w$

$L_{cr} = 0,75 \cdot h_w$ =	825,00	[mm]
i_{st} =	58,08	[mm]
$\lambda_1 = 93,9 \cdot \epsilon$ =	86,39	
$\bar{\lambda}$ =	0,16	$< \bar{\lambda} = 0,2$

Zgodnie z PN-EN 1993-1-5 pkt. 9.4. (2) dla żebra prostokątnego przypisano krzywą wyboczeniową "c" wg PN-EN 1993-1-1. Z wykresu 6.4. w 1993-1-1 odczytano, że dla $\bar{\lambda} < 0,2$ współczynnik wyboczeniowy $\chi = 1,0$ więc nośność żebra na wyboczenie równa się nośności przekroju żebra na ściskanie.Warunek nośności ma wtedy postać $N_{ed}/N_{c,rd} < 1,0$ Siła N_{ed} obciążająca żebro podporowe równa jest różnicy między reakcją podporową podcięcia ($R_{b,max}$) a siłami przekazywanymi przez belki stropowe $R(G)$, $R(Q)$. Wymiarowane jest żebro podporowe najbardziej obciążone (tzn. siły odczytane dla podpory pośredniej B).

Reakcja z podcięcia $R_{b,max}$ =	1287,45	[kN]
Reakcja z belki stropowej od obc. stałych $R(G)$ =	55,66	[kN]
Reakcja z belki stropowej od obc. zmiennych $R(Q)$ =	94,35	[kN]
$N_{ed} = R_{b,max} - R(G) \cdot \gamma_g - R(Q) \cdot \gamma_q$ =	1070,79	[kN]
nośność $N_{c,rd} = A_{st} \cdot f_y$ =	2067,01	[kN]
A_{st} =	75,16	[cm ²]
f_y =	27,50	[kN/cm ²]
$N_{ed}/N_{c,rd}$ =	0,52	

Warunek stateczności żebra jest spełniony.

4.1.4. Docisk żebra do pasa podcięcia:Warunek ma postać: $N_{ed}/A_d < f_y$

N_{ed} =	1070,79	[kN]
$A_d = 2 \cdot (bs - Cs) \cdot ts$ =	40,50	[cm ²]
N_{ed}/A_d =	26,44	[kN/cm ²]
f_y =	27,50	[kN/cm ²]

Warunek jest spełniony $N_{ed}/A_d < f_y$ **4.1.5. Spoiny łączące żebra z podciągami.**

Przyjęcie wymiarów spoiny:

$0,2 \cdot ts$ =	5,00		grubość żebra ts =	25,00
$0,7 \cdot tw$ =	5,60		gr. środnika podcięcia tw =	8,00
$0,2 \cdot tf$ =	4,00		gr. pasa podcięcia tf =	20,00
Przyjęto grubość spoin żebra z podciągami a, s =	5,00	[mm]		

Spoiny pionowe łączące żebra ze środkami muszą przenieść siłę ścinającą $V_{s,ed}$ występującą w analizowanym przekroju (tzn. w miejscu gdzie jest żebro). Siła ścinająca spoiny w przekroju podporowym ($V_{s,ed} = Ned$) powoduje wystąpienie naprężeń stycznych równoległych do spoiny. Warunek nośności wg metody kierunkowej (wzór 4.1 normy) w rozważanej sytuacji przyjmuje postać: $(3 \cdot \tau''^2)^{0,5} < f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{m2})$. Ze względu na znaczną długość spoiny łączącej żebro ze środkiem, zgodnie z punktem 4.11 normy, nośność spoiny należy zredukować o współczynnik β_{lw} jeśli długość spoiny jest znaczna. Warunek nośności ma ostatecznie postać: $(3 \cdot \tau''^2)^{0,5} < f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{m2}) \cdot \beta_{lw}$

Naprężenie styczne $\tau'' = V_{s,ed} / A_{v,s}$

siła ścinająca spoine $V_{s,ed} = Ned$	1070,79	[kN]
długość spoiny $l_s = h_w - 2 \cdot c_s$	1040,00	[mm]
Pole spoiny czynne przy ścinaniu $A_{v,s} = 4 \cdot a_s \cdot l_s$	20800,00	[mm ²]
naprężenie styczne τ''	51,48	[N/mm ²]

Współczynnik korekcyjny ze względu na długość połączenia (pkt. 4.11 (4) normy)

długość graniczna spoiny łączącej żebra	1700,00	[mm] - przyjęta na podstawie normy pkt.
długość spoiny łączącej żebro ze środkiem l_s	1040,00	[mm]
$\beta_{lw} = l_s / l_{gr}$	1,00	

Warunek nośności ma postać $(3 \cdot \tau''^2)^{0,5} \leq [f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{m2})] \cdot \beta_{lw}$

f_u	430,00	
β_w	0,85	- dla stali S275 wg tablicy 4.1 normy
γ_{m2}	1,10	
$(3 \cdot \tau''^2)^{0,5}$	89,17	$< f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{m2}) \cdot \beta_{lw} = 459,89$ [N/mm ²]

Warunek spełniony.

4.2. ŻEBRO POŚREDNIE SZTYWNE:

Geometria żebra:

długość żebra h_w	1100,00	[mm]
szerokość b_s	111,00	[mm]
grubość t_s	12,00	[mm]
podcięcie żebra C_s	30,00	[mm]

Szerokość współpracująca środka $b_{ws} = 15 \cdot \epsilon \cdot t_w$ (wg pkt. 9.1 PN-EN)

ϵ	0,92	
t_w	8,00	[mm]
b_{ws}	110,40	[mm]

Powierzchnia współpracująca $A_{st} = 2 \cdot b_s \cdot t_s + t_w \cdot (2 \cdot b_{ws} + t_s)$:

A_{st}	4526,40	[mm ²]
----------	---------	--------------------

Moment bezwładności $J_{st} = 2 \cdot (t_s \cdot b_s^3 / 12 + t_s \cdot b_s \cdot (0,5 \cdot b_s + 0,5 \cdot t_w)^2) + (2 \cdot b_{ws} + t_s) \cdot t_w^3 / 12$:

J_{st}	12176420,80	[mm ⁴]
----------	-------------	--------------------

Promień bezwład. żebra i_{st}	51,87	[mm]
---------------------------------	-------	------

Zgodnie z PN-EN 1993-1-5 pkt. 9.3.3. (3) w zależności od wymiaru a/h_w , warunek klasyfikujący żebro pośrednie jako podatne lub sztywne ma postać:

$$\frac{a}{h_w} < \sqrt{2}; I_{st} \geq \frac{1,5 \cdot h_w^3 \cdot t^3}{a^2} \quad \frac{a}{h_w} \geq \sqrt{2}; I_{st} \geq 0,75 \cdot h_w \cdot t^3$$

rozstaw żeber a	2500,00	[mm]
h_w	1100,00	[mm]
a/h_w	2,27	$> 2^{0,5} = 1,41$ 1,41
$J_{st, min} = 0,75 \cdot h_w \cdot t^3$	422400,00	[mm ⁴]
$t = t_w$	8,00	[mm]

$J_{st} > J_{st, min}$ - dlatego żebro pośrednie klasyfikujemy jako sztywne.

3.2.1. Klasa przekroju żebra:

wukłość ścianki $c/t = b_s/t_s$	9,25	$< 14 \cdot \epsilon = 12,88$
wukłość graniczna $- 14 \cdot \epsilon$	12,88	

Żebro jest klasy 3.

4.2.2. Skręcania żebra:

Skręcanie pojedynczego żebra nie wystąpi jeśli spełniony będzie warunek $(J_t/J_p) \geq 5,3 \cdot (f_y/E)$

bezwład. przy skręcaniu swobodnym $J_t = 1/3 \cdot b_s \cdot t_s^3$	63936,00	[cm ⁴]
biegunowy moment bezwład. $J_p = t_s \cdot b_s^3 / 3 + b_s \cdot t_s^3 / 4$	5470635,00	[cm ⁴]
f_y	275,00	[N/mm ²]
E	210000,00	[N/mm ²]
(J_t/J_p)	0,0116871	
$5,3 \cdot (f_y/E)$	0,00694	

Skręcanie żebra nie wystąpi: $0,012 > 0,0069$

4.2.3. Wyboczenie żebra:

Nośność żebra pośredniego można obliczyć na drodze analizy I lub II rzędu. Zasadniczo analiza I-rzędu opiera się na wyznaczaniu sił wewnętrznych przy założeniu zasady zeszywnienia, tzn. w równaniach równowagi rozpatruje się nieodkształconą, pierwotną geometrię konstrukcji. W analizie II-rzędu odchodzi się od założenia zeszywnienia i rozpatruje się postać odkształconą konstrukcji i wpływ tej deformacji na siły wewnętrzne. Ponadto można zauważyć, że w analizie I-rzędu warunki nośności zawierają współczynniki niestateczności (np. $\chi_x, \chi_w, \chi_{LT}$), natomiast w analizie II rzędu bardzo często warunki nośności mają postać warunków naprężeniowych, w których pomija się współczynniki niestateczności. W przykładzie zastosowano analizę I rzędu. Przykład analizy II rzędu można znaleźć w czasopiśmie "Inżynieria i budownictwo" nr 3/2012.

Zgodnie z pkt. 9.2.1 (3) i (7) PN-EN 1993-1-5 żebro pośrednie obciążone jest siłą $Ned = F + Ned_s$ oraz obciążeniem "q" gdzie:

F = obciążenie zewnętrzne żebra $= R(G) \cdot \gamma_G + R(Q) \cdot \gamma_Q$	235,50	[kN]
---	--------	------

$$Ned_s = \text{siła pochodząca od niestateczności środka} = \frac{V_{Ed} \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\lambda_{yw}^2 \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

Zgodnie z pkt. 9.3.3 (3) normy PN-EN 1993-1-5 siłę V_{Ed} , należy odczytać w przekroju odległym o $0,5h_w$ od brzegu panelu o największej sile poprzecznej. U nas jest to odległość $0,5 \cdot h_w$ od przekroju w podporze B. Natomiast λ_{yw} jest to smukłość płytowa środka podciągu obliczona wg wzoru 5.6 normy.

$$\bar{\lambda}_{yw} = \frac{h_w}{37,4 \cdot t \cdot \epsilon \cdot \sqrt{f_{yc}}} \quad k_{cr} = 5,34 + 4,00 \cdot \left(\frac{\bar{\lambda}_{yw}}{a} \right)^2 + k_{cr1} \quad gdy \frac{a}{h_w} \geq 1$$

Smukłość względna płytowa środnika.

a/hw =	2,27	
prak żeber podłużnych ktsl =	0,00	
kt =	6,11	
Sila Ved (x=0,5*hw) =	593,28	[kN]
fyw =	27,50	[kN/cm2]
Ned,s =	58,32	[kN]

ε =	0,92	
t = tw =	8,00	[mm]
hw =	1100,00	[mm]
λw =	1,62	

Zgodnie z pkt. 9.2.1 (7) stosując analizę I rzędu, należy uwzględnić dodatkowe obc. "q", które powoduje zginanie żebra. Obc. "q" to poprzeczne obciążenie zastępcze żebra wynikające z imperfekcji środnika: $q = \frac{\pi}{4} \sigma_m (w_o + w_{el})$

Przyjęto założenie, że obciążenie "q" od imperfekcji środnika jest wartością niedużą dlatego ją pominięto, w związku z czym nie uwzględnia się efektu zginania.

Smukłość żebra przy wyboczeniu giętnym wg PN-EN 1993-1-1: $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yr}}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$

Pasy podciągu usztywniają żebro na krawędziach, dlatego długość wyboczeniową żebra, można przyjąć = 0,75*hw

Lcr = 0,75*hw =	825,00	[mm]
i st =	51,87	[mm]
λ1 = 93,9*ε =	86,39	
λ =	0,18	< λ = 0,2

Zgodnie z PN-EN 1993-1-5 pkt. 9.4. (2) dla żebra prostokątnego przypisano krzywą wyboczeniową "c" wg PN-EN 1993-1-1. Z wykresu 6.4. w 1993-1-1 odczytano, że dla λ<0,2 współczynnik wyboczeniowy χ=1,0 więc nośność żebra na wyboczenie równa się nośności przekroju żebra na ściskanie.

Warunek nośności ma postać Ned/Nc,rd < 1,0

Ned = F + Ned,s =	293,82	[kN]
Nc,rd = Ast*fy =	1244,76	[kN]
Ast =	45,26	[cm2]
fy =	27,50	[kN/cm2]
Ned/Nc,rd =	0,24	

Warunek stateczności żebra jest spełniony.

4.2.4. Docisk żebra do pasa podciągu:

Warunek ma postać: Ned/Ad < fy

Ned = F + Ned,s =	293,82	
Ad = 2*(bs-Cs)*ts =	19,44	[cm2]
Ned/Ad =	15,11	[kN/cm2]
fy =	27,50	[kN/cm2]

Warunek jest spełniony Ned/Ad < fy

4.2.5. Spoiny łączące żebra z podciągami.

Przyjęcie wymiarów spoiny:

0,7*ts =	8,40		grubość żebra ts =	12,00
0,7*tw =	5,60		gr. środnika podciągu tw =	8,00
0,2*tf =	4,00		gr. pasa podciągu tf =	20,00
Przyjęto grubość spoin żebra z podciągami a,s =	5,00	[mm]		

Przyjęto grubość spoin łączących żebra z podciągami taką samą jak w przypadku żeber podporowych, czyli a,s = 5 mm. Ponieważ w przypadku żeber pośrednich występują mniejsze siły niż dla żeber podporowych, nie ma potrzeby sprawdzania warunku wyłączenia spoiny.