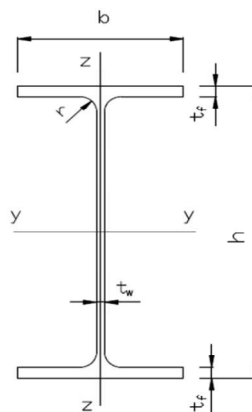


Charakterystyka przekroju IPE 300 (dane z Tablic asortymentu firmy Arcelor Mittal)

szerokość półki - bf	150,00	[mm]
grubość półki - tf	10,70	[mm]
grubość środnika - tw	7,10	[mm]
wysokość przekroju - h	300,00	[mm]
promień wyokrąglenia - r	15,00	[mm]
moment bezwładności względem osi y Jy	8360,00	[cm4]
moment bezwładności względem osi z Jz	604,00	[cm4]
wskaźnik wytrzymałości względem osi y Wy	557,00	[cm3]
wskaźnik wytrzymałości względem osi z Wz	80,50	[cm3]
wskaźnik oporu plastycznego Wy,pl	628,00	[cm3]
pole przekroju poprzecznego A	53,80	[cm2]
moment bezwładności przy skręcaniu JT	20,70	[cm4]
wycinkowy moment bezwładności Jw	125900,00	[cm6]
M - masa belki =	42,20	[kg/mb]
gk - Ciężar belki (42,2 x 10m/s2) =	0,42	[kN/m]
go - Obliczeniowy ciężar belki: gk x 1,35 =	0,57	[kN/m]



SPRAWDZENIE WARUNKÓW 1. i 2. STANU GRANICZNEGO DLA BELKI STROPOWEJ

2.6 STAN GRANICZNY ULS-STR (1. stan graniczny)

Obliczenia statyczne z uwzględnieniem ciężaru własnego belki

$$\max M_{y,Ed} = 0,125 \cdot (\text{stałe} + \text{zmienne} + c \cdot \text{własny}) \cdot L_{eff} \cdot L_{eff}$$

$$\max V_{z,Ed} = (\text{stałe} + \text{zmienne} + c \cdot \text{własny}) \cdot L_{eff} / 2$$

Obciążenia przypadające na najbardziej wyężoną belkę w [kN/m].

Wartości charakterystyczne		Wartości obliczeniowe (wz.6.10a)	
obc. stałe	obc. zmienne	obc. stałe	obc. zmienne
$\Sigma G_{ek} \cdot e_1 + g_k$	$\Sigma Q_{ek} \cdot e_1$	$\Sigma \gamma_G \cdot (G_{ek} \cdot e_1 + g_k)$	$\gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Q_{ek} \cdot e_1$
12,83	21,75	17,32	32,63

[kN/m]

Maksymalne siły wewnętrzne

	Wartości charakterystyczne (ek)			Wartości obliczeniowe (ed)		
	od obc. stałych	od obc. zmiennych	łącznie	od obc. stałych	od obc. zmiennych	łącznie
moment zginający My	35,66	60,44	96,10	48,13	90,66	138,80
siła tnąca Vz	30,25	51,28	81,52	40,84	76,91	117,75

Ze względu na to, że w przekroju występują naprężenia ściskające należy wyznaczyć klasę przekroju.

Ustalenie klasy przekroju przy zginaniu – pkt. 5.5. EN 1993-1-1

Dane materiałowe

$f_y =$	275,00	[N/mm2]
$\epsilon =$	0,92	- współczynnik ϵ - dla poszczególnych gatunków stali podano w tablicy 5.2. EN 1993-1-1
PAS ŚCISKANY (smukłości graniczne podane w tabl. 5.2. - arkusz 2 EN 1993-1-1)		
$c = (b - t_w - 2r) / 2 =$	56,45	[mm]
smukłość ścianki $= c/t_f =$	5,28	$< 9 \cdot \epsilon = 8,28$
Pas jest klasy 1.		

ŚRODNIK (smukłości graniczne podane w tabl. 5.2. - arkusz 1)		
$c = h - 2(t_f + r) =$	248,60	[mm]
smukłość ścianki $= c/t_w =$	35,01	$< 72 \cdot \epsilon = 66,24$
Środek jest klasy 1.		

Cały przekrój przy zginaniu jest klasy 1 - tzn. że możemy wykorzystać plastyczną nośność przekroju.

WARUNKI NOŚNOŚCI:

2.6.1 Warunek nośności przekroju zginanego jednokierunkowo - wzór 6.12 wg EN 1993-1-1

$$M_{y,Ed} / M_{c,Rd} \leq 1$$

Nośność przekroju klasy 1 i 2, można wyznaczyć ze wzoru 6.13 EN 1993-1-1

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$W_{pl,y}$	628,00	[cm3]
f_y	275,00	[N/mm2]
γ_{M0}	1,00	- załącznik krajowy NA. do EN 1993-1-1
$M_{c,Rd}$	172,70	[kNm]

$$M_{y,Ed} / M_{c,Rd} \leq 1$$

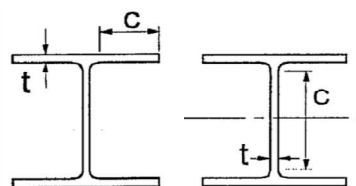
$\max M_{y,Ed} =$	138,80
$M_{c,Rd} =$	172,70

$$\text{Warunek nośności } M_{y,Ed} / M_{c,Rd} = 0,80 < 1$$

2.6.2 Warunek nośności elementu zginanego jednokierunkowo - wzór 6.54 wg EN 1993-1-1

$$M_{y,Ed} / M_{b,Rd} \leq 1$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y / \gamma_{M1}$$



W przypadku, kiedy pas ściskany belki na całej jej długości jest usztywniony płytą stropową, można przyjąć założenie, że belka jest zabezpieczona przed zwichrzeniem w sposób ciągły, a współczynnik zwichrzenia $\chi_{LT} = \chi_{LT, mod} = 1,0$.

$\chi_{LT} =$	1,00	
$W_y = W_{pl,y} =$	628,00	- dla przekrojów klasy 1 i 2
$f_y =$	275,00	[N/mm ²]
$\gamma_{M1} =$	1,00	- załącznik krajowy NA. do EN 1993-1-1
$M_{b,Rd} =$	172,70	[kNm]

Warunek nośności $M_y, Ed / M_{b,Rd} = 0,80 < 1$

W sytuacji, gdy elementowi nie grozi zjawisko zwichrzenia ($\chi_{LT} = 1$) to nośność elementu = nośności przekroju.

Element może ulec zniszczeniu w wyniku przekroczenia wytrzymałości materiału w przekroju.

2.6.3 Warunek nośności przekroju na ścinanie - wzór 6.17 wg EN 1993-1-1

$$V_{z,Ed} / V_{c,Rd} \leq 1$$

Przed przyjęciem właściwego wzoru na nośność $V_{c,Rd}$, należy sprawdzić środnik na niestateczność miejscową przy ścinaniu.

W związku z czym należy obliczyć smukłość środnika - wg EN 1993-1-5 (Konstrukcje blachownicowe)

smukłość graniczna środnika wg pkt 5.1.2 = $72 \cdot \epsilon / \eta =$	55,20	
$\eta =$	1,20	
$\epsilon =$	0,92	
$h_w / t_w = (h - 2 \cdot t_f) / t_w =$	39,24	< 55,2

Środnik jest niewrażliwy na niestateczność miejscową przy ścinaniu, w związku z czym nośność środnika można wyznaczyć ze wzoru 6.18 wg EN 1993-1-1:

$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_y / (\gamma_{M0} \cdot 3^{0,5})$		
gdzie: $A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$		
$\eta \cdot h_w \cdot t_w =$	23,74	[cm ²]
$\eta =$	1,20	
$h_w = (h - 2 \cdot t_f) =$	278,60	[mm]
$t_w =$	7,10	[mm]
$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f =$	25,67	[cm ²]
Przyjęto $A_v =$	25,67	[cm ²]
$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_y / (\gamma_{M0} \cdot 3^{0,5}) =$	407,56	[kN]
Warunek nośności $V_{z,Ed} / V_{c,Rd} =$	0,29	< 1

2.6.4 Warunek nośności przekroju przy jednoczesnym ścinaniu i zginaniu - wg pkt. 6.2.8

Można nie sprawdzać warunku interakcji ścinania ze zginaniem jeśli:

- przekrój jest niewrażliwy na wyboczenie przy ścinaniu: $h_w / t_w < 72 \cdot \epsilon \cdot \eta$
- siła poprzeczna nie przekracza 50% nośności plastycznej przekroju na ścinanie: $V_{z,Ed} < 0,5 V_{pl,Rd}$

OPARCIE BELKI NA ŚCIANIE

W zależności od wielkości reakcji podporowej oraz wytrzymałości muru, na którym oparta będzie belka stropowa, można stosować kilka rozwiązań:

- oparcie bezpośrednie na murze
- oparcie na tzw. poduszce betonowej lub warstwie zaprawy cementowej (rozwiązanie stosowane wtedy, gdy ściana ma małą wytrzymałość na docisk)
- oparcie belki na dodatkowej warstwie cegły pełnej ceramicznej
- zakotwienie w wieńcu (skutkiem może być utwierdzenie belki w podporze)
- dodatkowa blacha lub marka stalowa (zakotwiona w murze) na której oparta będzie belka

W strefie podpory, gdzie występuje duża siła tnąca spowodowana reakcją podporową należy sprawdzić nośność belki na ścinanie (co wykazano powyżej) oraz nośność środnika belki ze względu na docisk miejscowy. Oprócz warunku sprawdzającego belkę należy sprawdzić również nośność elementu przekazującego docisk na mur (czyli nośność cegły, blachy, podlewki itd.). W analizowanym przykładzie zdecydowano oprzeć belkę na ścianie z zastosowaniem dodatkowej warstwy zaprawy cementowej niskoskurczowej wysokiej wytrzymałości.

Warunki nośności, które trzeba spełnić:

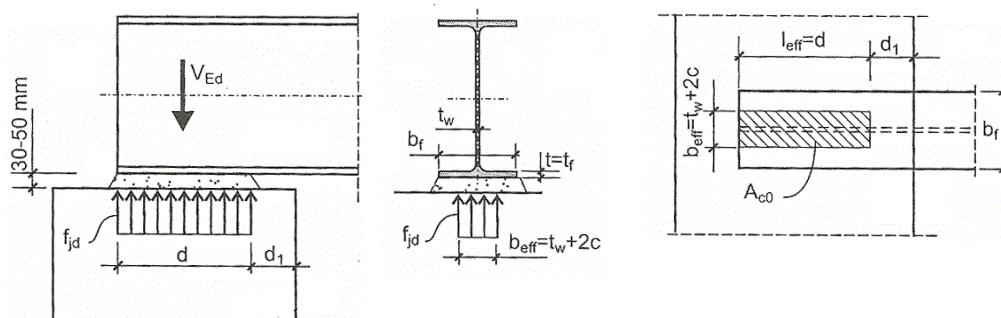
- 1) $V_{z,Ed} < F_{c,Rd}$ - ze względu na wytrzymałość podlewki na docisk (tzw. nośność króćca teowego)
- 2) $V_{z,Ed} < F_{rd}$ - ze względu na nośność środnika

2.6.5 Warunek $V_{z,Ed} < F_{c,Rd}$ - nośność elementu przekazującego docisk na mur.

Wykorzystano wzory zawarte w PN-EN 1993-1-5, 1993-1-8 oraz 1992-1-1. Wytyczne projektowania można znaleźć w EC 1993-1-8 w pkt. 6.2.6.9 (2), pkt. 6.2.8.1 (2) i przede wszystkim w pkt. 6.2.5 – nośność tzw. zastępczego króćca teowego.

a) głębokość oparcia belki na murze (zgodnie z rysunkiem):

przyjęto $d = 130,00$ [mm]
przyjęto $d_1 = 30,00$ - odsunięcie oparcia od krawędzi



b) Wytrzymałość podlewki f_{cd} można obliczyć ze wzoru 3.15 PN-EN 1992-1-1

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$$

Wytrzymałość charakterystyczną podlewki niskoskurczowej podaje jej producent w aprobatie technicznej. Można przyjąć wytrzymałość podlewki jak dla betonu C25, $f_{ck}=25$ [N/mm²].

$f_{ck} =$	25,00	[N/mm ²]
$\gamma_c =$	1,40	- wg załącznika krajowego
$\alpha_{cc} =$	1,00	- wartość zalecana przez EC
$f_{cd} =$	17,86	[N/mm ²]

c) model plastyczny rozkładu naprężeń wg tzw metody króćca teowego:

Nośność króćca teowego: $F_{c,rd} = f_{jd} \cdot b_{eff} \cdot l_{eff}$ (wzór 6.4 PN-EN 1993-1-8) gdzie:

f_{jd} - wytrzymałość połączenia na docisk (wzór 6.6 PN-EN 1993-1-8):

$$f_{jd} = \beta_j \cdot F_{rdu} / (b_{eff} \cdot l_{eff}), \text{ gdzie } \beta_j = 2/3$$

W pkt. 6.7 normy PN-EN 1992-1-1 określono zasady obliczania F_{rdu} , czyli nośności betonu (podlewki) na docisk miejscowy

$$F_{rdu} = A_{co} \cdot f_{cd} \cdot (A_{c1}/A_{co})^{0,5}, \text{ gdzie } A_{co} = b_{eff} \cdot l_{eff}$$

Aby wyznaczyć wartości: A_{co} , A_{c1} , b_{eff} , l_{eff} , f_{jd} należy przyjąć założenie odnośnie wartości $(A_{c1}/A_{co})^{0,5}$.

Przyjęto wstępnie, że $(A_{c1}/A_{co})^{0,5} =$	1,50
---	------

Podstawiając wzór 6.7 z PN-EN 1992-1-1 do wzoru 6.6 PN-EN 1993-1-8 po przekształceniach otrzymano:

$f_{jd} = f_{cd} =$	17,86	[N/mm ²]
---------------------	-------	----------------------

Mając określoną wartość f_{jd} , można zgodnie z EC 1993-1-8 pkt .6.2.5 obliczyć wymiary b_{eff} i l_{eff} :

$l_{eff} = d =$	130,00	[mm]
-----------------	--------	------

$b_{eff} = t_w + 2 \cdot c =$	55,59	[mm]
-------------------------------	-------	------

gdzie $c = t_f \cdot (f_y / (3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{mo}))^{0,5} =$	24,24	[mm]
--	-------	------

Mając określone wymiary b_{eff} i l_{eff} można obliczyć nośność króćca teowego $F_{c,rd} = f_{jd} \cdot b_{eff} \cdot l_{eff}$

$F_{c,rd} =$	129,04	[kN]
--------------	--------	------

$V_{z,ed} =$	117,75	[kN]
--------------	--------	------

Warunek nośności spełniony $V_{z,ed} < F_{c,rd}$ dla założenia, że $(A_{c1}/A_{co})^{0,5} = 1,5$.

Sprawdzenie czy przyjęte założenie jest poprawne:

Powierzchnia rozdziału obciążenia A_{c1} ograniczona jest konturem podpory tzn. muru. Przyjęto, że naprężenia w materiale rozchodzą się pod kątem 45°, wtedy:

$b_2 = b_{eff} + 2 \cdot d_1 =$	115,59	[mm]
---------------------------------	--------	------

$d_2 = l_{eff} + 2 \cdot d_1 =$	190,00	[mm]
---------------------------------	--------	------

Powierzchnia rozdziału obciążenia $A_{c1} = b_2 \cdot d_2 =$	21961,28	[mm ²]
--	----------	--------------------

Powierzchnia docisku $A_{co} = b_{eff} \cdot l_{eff} =$	7226,14	[mm ²]
---	---------	--------------------

$(A_{c1}/A_{co})^{0,5} =$	1,74
---------------------------	------

Wartość $(A_{c1}/A_{co})^{0,5} = 1,74$ jest większa niż przyjęte 1,5, dlatego założenie jest poprawne.

2.6.6 Warunek $V_{z,ed} < F_{rd}$ - nośność środka belki ze względu na docisk miejscowy.

F_{rd} = Nośność środka ze względu na docisk siłą skupioną (w tym przypadku reakcją podporową) sprawdza się wg EN 1993-1-5 punkt 6.

Głębokość oparcia $d = s_s$	130,00	[mm]
szerokość $b =$	150,00	[mm]
grubość podlewki $h' =$	30,00	[mm]
Warunek nośności: $\eta_2 = F_{Ed} / F_{Rd} \leq 1,0$	- wzór 6.14 wg EN 1993-1-5	
$F_{Ed} = V_{z,ed} =$	117,75	[kN]

W powyższej sytuacji obliczeniowej nośność środka na docisk skupiony oblicza wg następujących wzorów normowych:

Wzór 6.1
$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} L_{eff} t_w}{\gamma_{M1}}$$

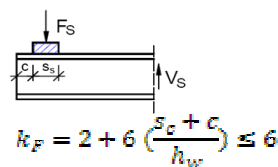
Wzór 6.2
$$L_{eff} = \chi_F \ell_y$$

Wzór 6.3
$$\chi_F = \frac{0,5}{\lambda_F} \leq 1,0$$

Wzór 6.4
$$\lambda_F = \sqrt{\frac{\ell_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}}$$

Wzór 6.5
$$F_{cr} = 0,9 k_F E \frac{t_w^3}{h_w}$$

Rys. 6.1 typ (c)



Tak więc:

$k_f =$	4,80	> 6, do dalszych obliczeń przyjęto $k_f = 4,8$
$s_s =$	130,00	[mm]
$c =$	0,00	[mm]
$h_w =$	278,60	[mm]
$F_{cr} =$	1165,39	[kN]
$k_f =$	4,80	
$E =$	210,00	[kN/mm ²]
$t_w =$	7,10	[mm]
$h_w =$	278,60	[mm]

λ_F wg wzoru 6.4 jest funkcją długości ℓ_y . Długość ℓ_y dla docisku typu (c) wyznacza się następująco:

gdzie ℓ_e , oblicza się ze wzoru:

$$\ell_y = \min \left\{ \begin{aligned} & l_e + t_f \sqrt{\frac{m_1}{2} + \left(\frac{l_e}{t_f}\right)^2} + m_2, \\ & l_e + t_f \sqrt{m_1 + m_2}, \end{aligned} \right.$$

$$l_e = \frac{k_F E t_w^2}{2 f_{yw} h_w} \leq s_s + c$$

Zatem $Le =$	331,59	[mm]
$f_{yw} = f_{yf} = f_y =$	275,00	[MPa]
Le nie może być większe niż $S_s + c$:		
$Le = S_s + c =$	130,00	[mm]

Do dalszych obliczeń przyjęto $Le = 130$ [mm]. Aby obliczyć L_y , trzeba jeszcze wyznaczyć parametry m_1 i m_2 wg następujących wzorów:

$$m_1 = \frac{f_{yf} b_f}{f_{yw} t_w},$$

$$m_2 = 0,02 \left(\frac{h_w}{t_f} \right)^2 \quad \text{dla} \quad \bar{\lambda}_F > 0,5,$$

$$m_2 = 0 \quad \text{dla} \quad \bar{\lambda}_F \leq 0,5.$$

$m_1 =$	21,13
$m_2 =$	13,56
lub $m_2 =$	0,00

Obliczam dwie sytuacje dla $m_2 = 13,56$ oraz $m_2 = 0$

Dla $m_2 = 13,56$		
$L_{y1} =$	270,22	
$L_{y2} =$	193,02	
$L_y = \min \{L_{y1}, L_{y2}\}$		
$L_y =$	193,02	
$\lambda_F =$	0,57	

Dla $m_2 = 0$		
$L_{y1} =$	264,57	
$L_{y2} =$	179,18	
$L_y = \min \{L_{y1}, L_{y2}\}$		
$L_y =$	179,18	
$\lambda_F =$	0,55	

λ_F jest większe od 0,5 więc miarodajne jest przyjęcie $m_2 = 13,56$ i $L_y = 193,02$

Zatem $\lambda_F =$	0,57	
$\chi_F =$	0,88	≤ 1 zatem do dalszych obliczeń przyjęto $\chi_F =$ 0,88
$L_y =$	193,02	[mm]
$L_{eff} = \chi_F \cdot L_y =$	169,71	[mm]

Nośność środka na docisk miejscowy:

$F_{Rd} =$	331359,16	[N]
$F_{Rd} =$	331,36	[kN]
$\gamma_{M1} =$	1,00	
$F_{Ed} =$	117,75	[kN]
Warunek końcowy $\eta_2 = F_{Ed} / F_{Rd} \leq 1,0$ jest spełniony		
$\eta_2 =$	0,36	

2.7 STAN GRANICZNY UŻYTKOWALNOŚCI:

Zgodnie z PN-EN 1990 dla stanu SLS zastosowano kombinację charakterystyczną wyrażoną wzorem 6.14b, wg której do obliczeń deformacji układu przyjmuje się wartości charakterystyczne obciążeń stałych i zmiennych.

Warunek stanu SLS można zapisać:

ugięcie max < ugięcie dopuszczalne

$$u_{max} = (5/384) \cdot (obc. \text{ charakt.} \cdot L_{eff}^4) / (E \cdot I_y) < u_{dop} = L_{eff}^2 / 250$$

łączne obc. charakt.	34,58	[kN/m]
moduł $E =$	210,00	[GPa=kN/mm ²]
$u_{max} =$	1,1484	[cm]
$u_{dop} = L_{eff}^2 / 250 =$	1,84	[cm]

$u_{max} < u_{dop}$

Ugięcie dopuszczalne nie zostało przekroczone

BELKA STROPOWA zaprojektowana poprawnie.