

Konstrukcje stalowe -Słupy. Przykład



Wieża Eiffla, Paris 1889



Freedom Tower NY (na miejscu WTC)



Muzeum Guggenhaima, Bilbao, 2005



Centre Pompidou, Paryż, 1971-77



Beijing Stadium Pekin 2008

Opracowano z wykorzystaniem materiałów:

- [2.1] Arup O & Partners, *Worked Example for the Design of Steel Structures, Based on EuroCode 3*, SCI Publication, 1994
- [2.2.] Trebilcock P, Lawson M., *Architectural Design in Steel*, Spon Press, 2004
- [2.3] Steel Designers' Manual - 6th Edition (2003), ed: Davison B., Owens G., W., Blackwell Publishing, 2003
- [2.4] Budownictwo ogólne, tom 3: konstrukcje budynków, praca zbiorowa red. Wiesław Buczkowski, Arkady, 2009
- [2.5] Kozłowski A. (red), *Konstrukcje stalowe, Przykłady obliczeń wg PN-EN 1993-1*, cz. Pierwsza Wybrane elementy i połączenia
- [2. 6] Biegus A. *Zgodnie z Eurokodem 3 – część 5- wymiarowanie elementów*, Builder, czerwiec 2009

Leszek CHODOR , dr inż. bud, inż.arch.

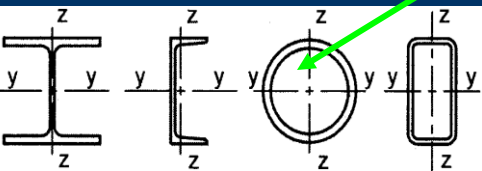
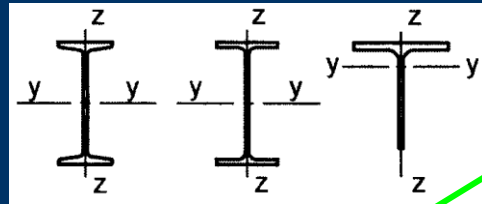
leszek@chodor.co ; lch@chodor-projekt.net

Słupy {1}:

Słup → element ściskany:

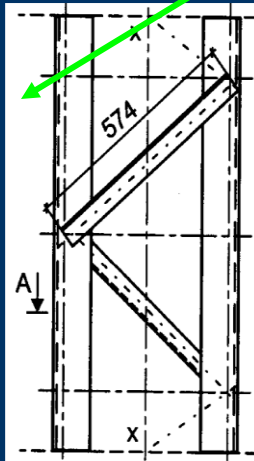
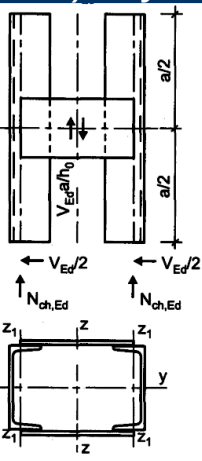
A Podział w zależności o sposobu wyężenia: 1) ściskany osiowo, 2) mimośrodowo (z udziałem zginania)

B Podział w zależności od konstrukcji: 2) jednogałęziowy, 2) wielogałęziowy

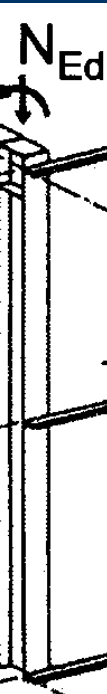
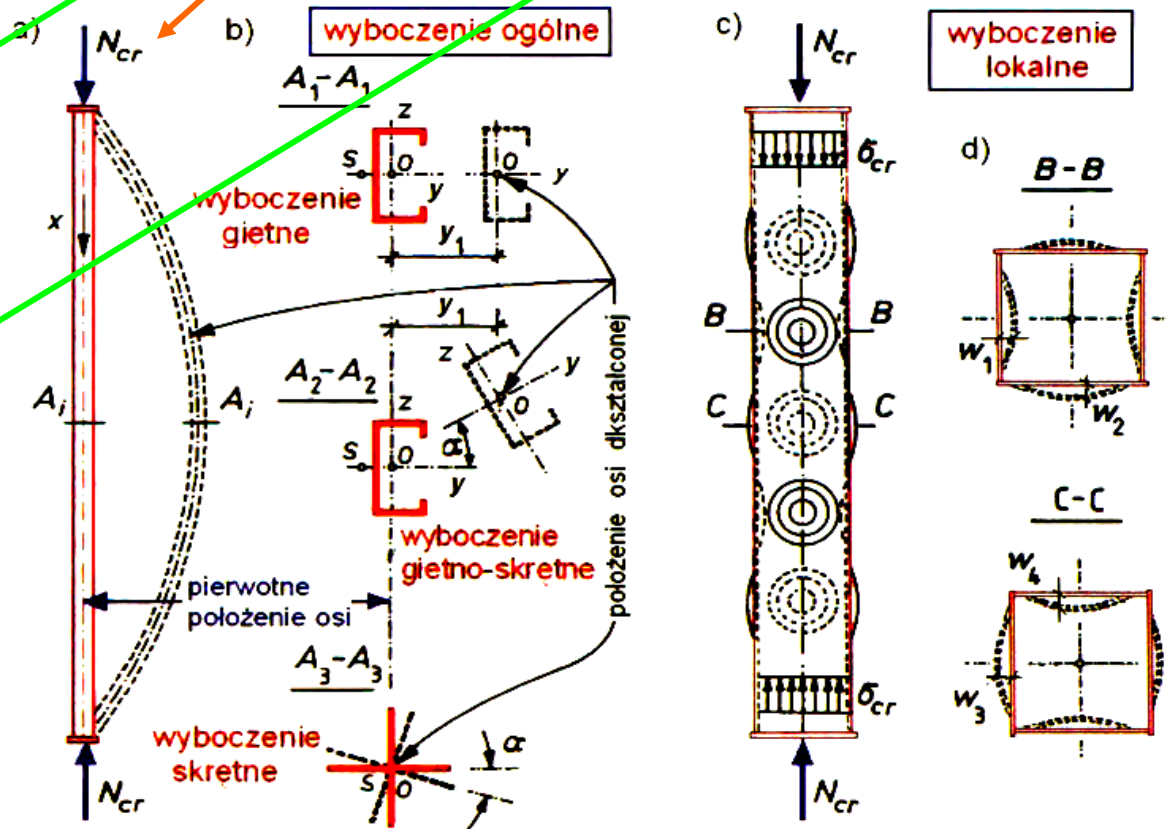


2.1) z przewiązkami

2.2) wykratowane



Rys. 1. Postacie utraty stateczności ogólnej (a, b) i lokalnej (c, d) prętów ściskanych



Słupy {2}: Nośność przekrojów i elementów ściskanych

Warunek nośności przekroju ściskanego obliczeniową siłą podłużną N_{Ed}

Obliczeniowa nośność przekroju ściskanego:

Klasa 1,2,3

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{klasy 4}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

Warunek nośności ze względu na wyboczenie elementu o stałym przekroju, osiowo ściskanego obliczeniową siłą podłużną N_{Ed}

klasa 1,2,3

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{klasa 4}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

gdzie χ -wsp. wyboczeniowy

Jeśli element jest zabezpieczony przed wyboczeniem, to $\chi=1,00$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{lecz } \chi \leq 1,0$$

$$\Phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

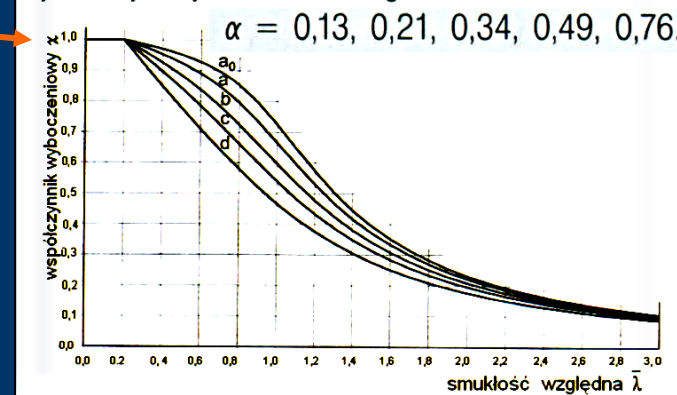
Smukłość pręta z przekrojem kl. 4: EC3:

Smukłość pręta z przekrojem kl. 1,2,3

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\lambda_1}$$

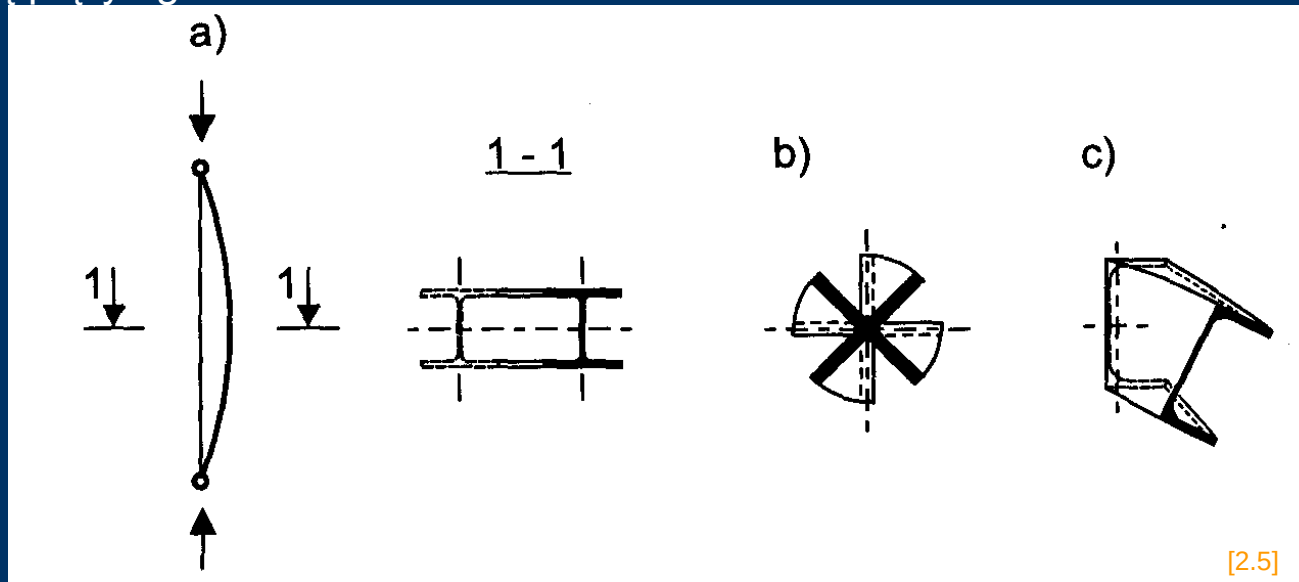
$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \sqrt{\frac{A_{eff}}{A}} \frac{1}{\lambda_1}$$

Rys. 4. Krzywe wyboczeniowe według PN-EN 1993-1-1

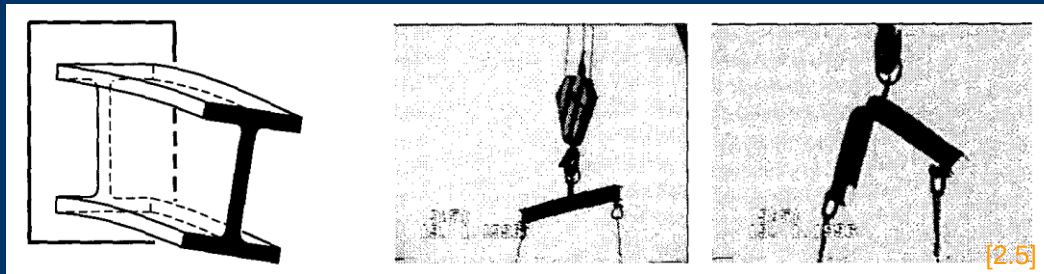


Niestateczność ogólna i sposoby przeciwdziałania {1}

Utrata stateczności ogólnej elementów jest równoznaczna z ich zniszczeniem. Narażone na nią są pręty zginane i ściskane



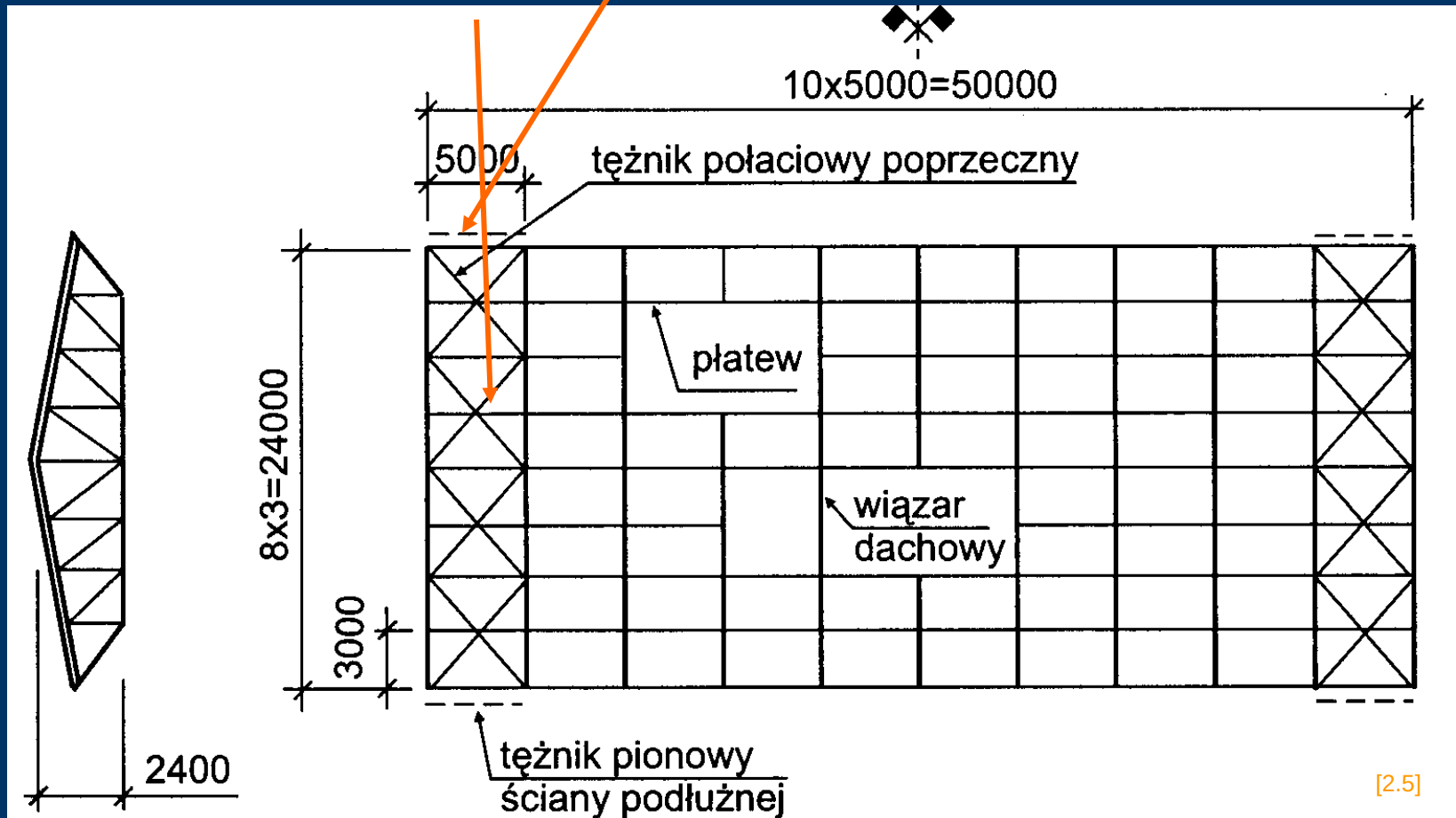
Wyboczenie pręta: a) giętne, b) skrętne, c) giętno-skrętne



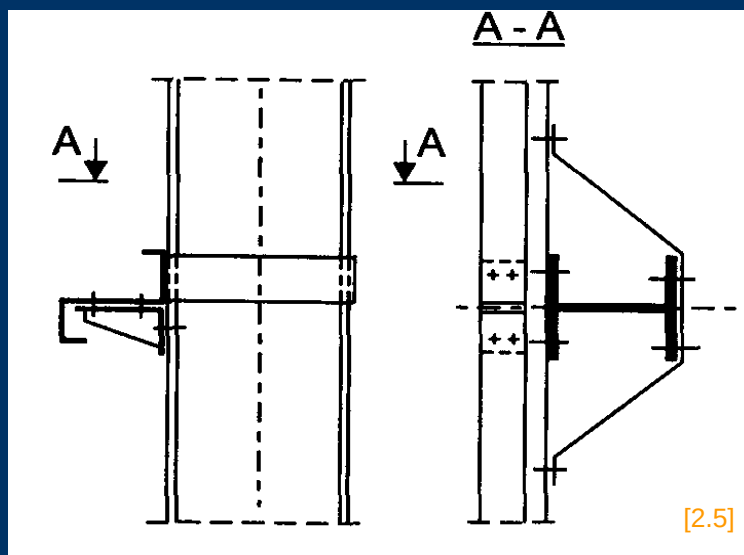
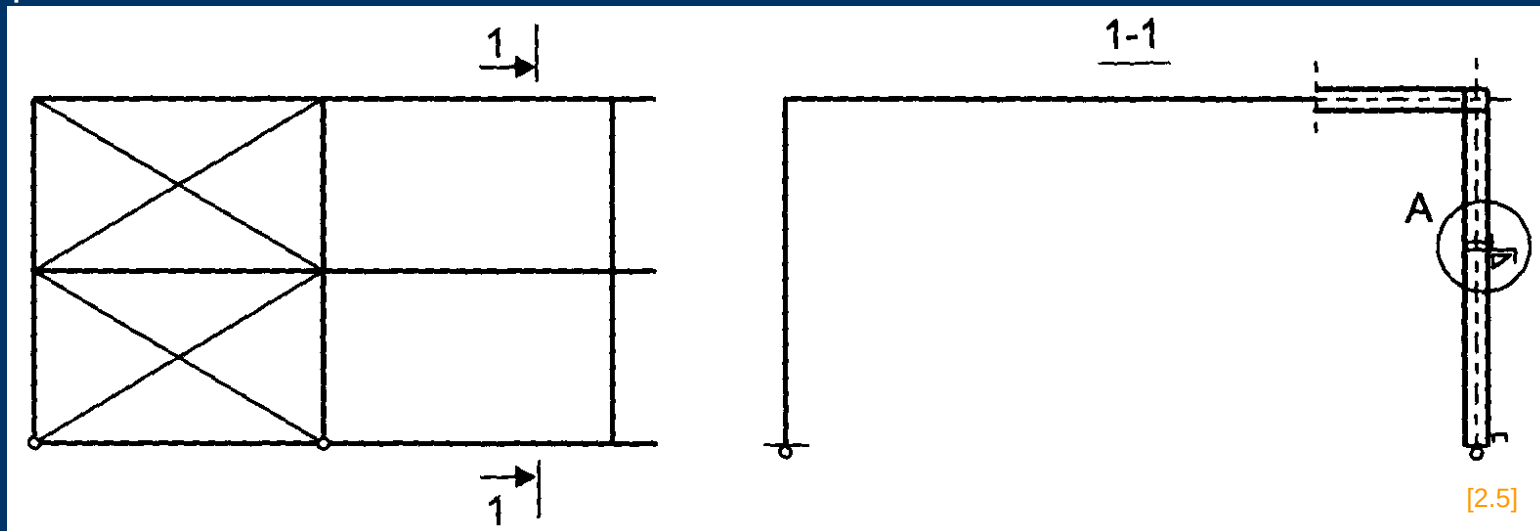
Zwichrzenie: a) wspornika, b) trawersy podczas montażu

Niestateczność ogólna i sposoby przeciwdziałania {2}

Zabezpieczenie stateczności elementów: 1) zapewnienie dobrej smukłości elementów poprzez dobór przekroju, 2) zaprojektowanie podparć przekrojów pręta (stężeń):
2.1) stężenia punktowe w dachach i ścianach, 2.2) stężenia tarczowe, 2.3) stężenia w miejscach przegubów plastycznych

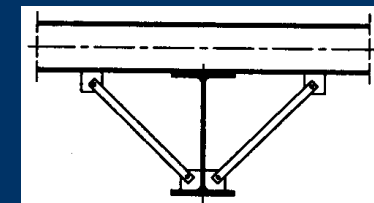
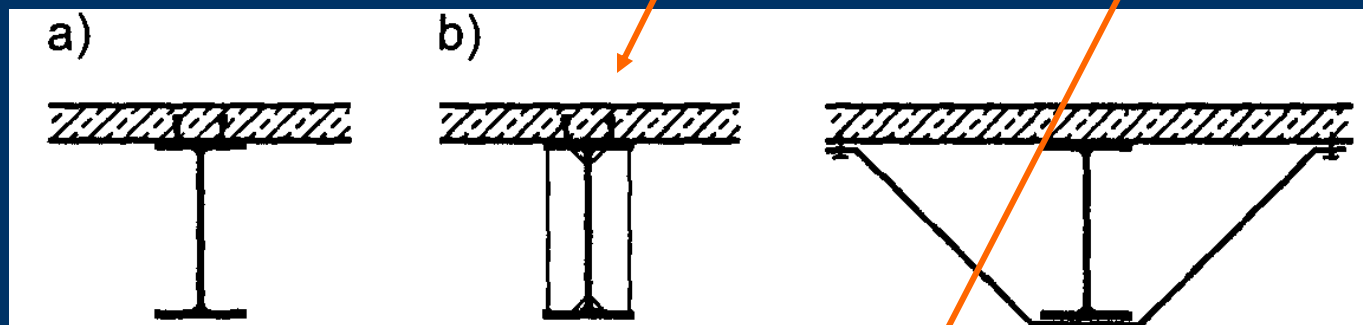


Stężenia punktowe w ścianach



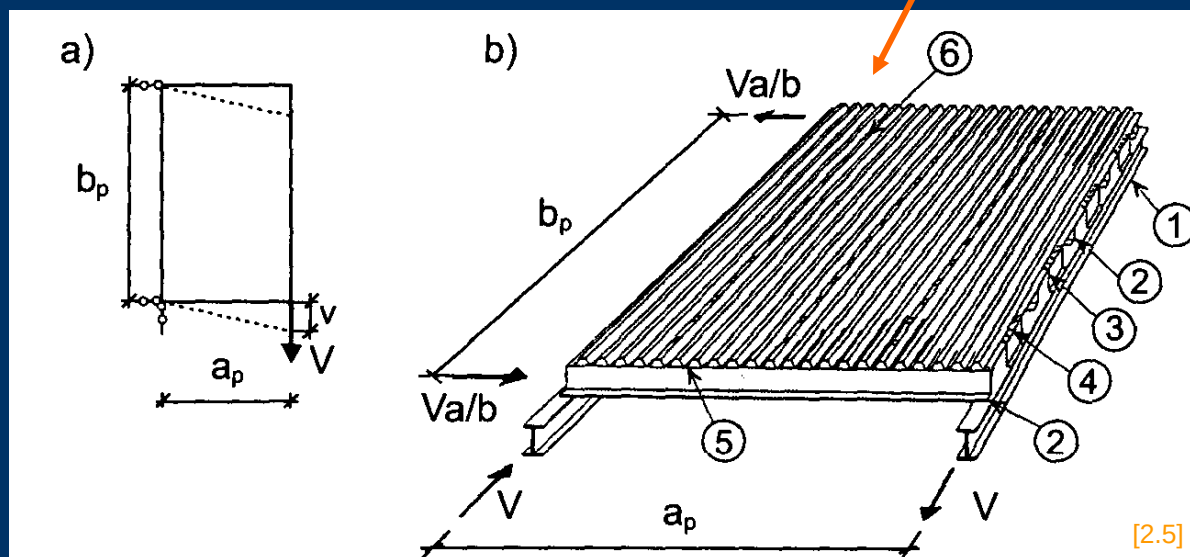
Niestateczność ogólna i sposoby przeciwdziałania {4}

Stężenia tarczowe : 1) stężenie płytą żelbetową, 2) współdziałanie blachy fałdowej z konstrukcją



Pas ściskany-płatew

[2.5] Stężenie boczne: a) pasa ściskanego górnego uzyskane przez zespolenie belki z płytą, b) pasa ściskanego dolnego za pośrednictwem żeber poprzecznych albo płaskownika

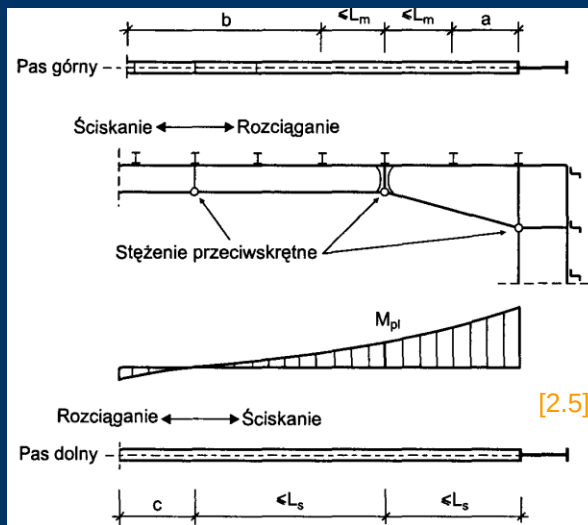


[2.5]

- 1 - dźwigar
- 2 - płatew
- 3 - element pośredni
- 4 - łączniki pośrednie
- 5 - łączniki główne
- 6 - łączniki uszczelniające

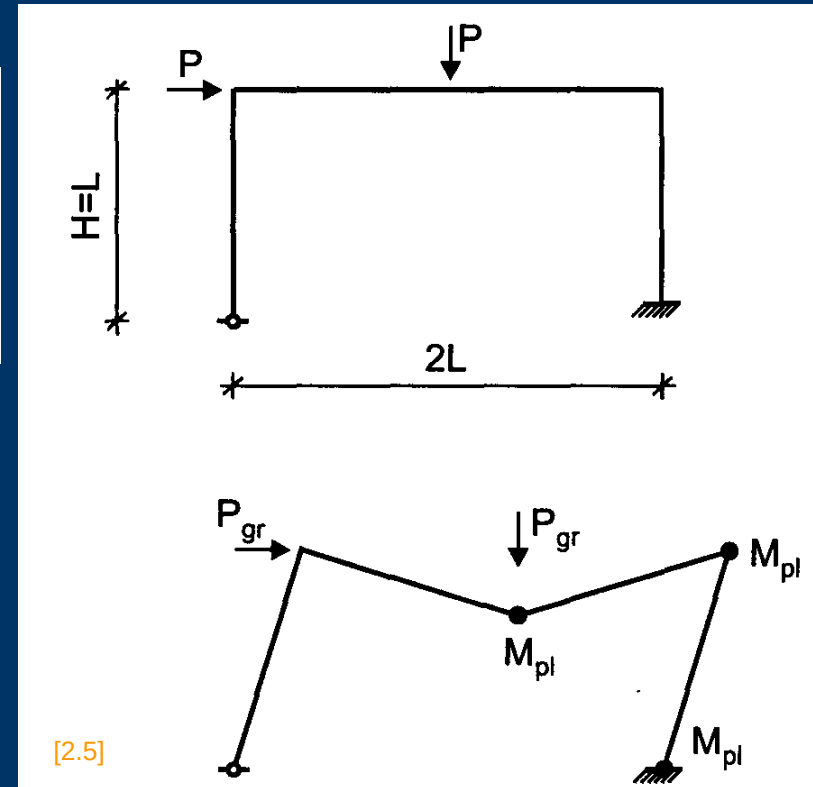
Przepona (panel) w dachu płatwiowym: a) budowa przepony, b) podatność

Wybranie rozwiązania konstrukcyjnego węzła narożnego i położenia przegubu plastycznego (rys. 8.17)

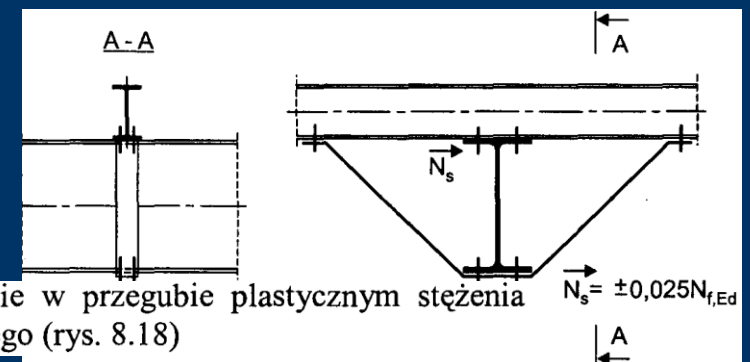


[2.5]

Ustalenie maksymalnych rozstawów stężeń



[2.5]



Zaprojektowanie w przegubie plastycznym stężenia przeciwskrętnego (rys. 8.18)

$$N_s = \pm 0,025 N_{f,Ed}$$

Powtarzalny
układ
poprzeczny
przykładowe
go budynku
=====➔

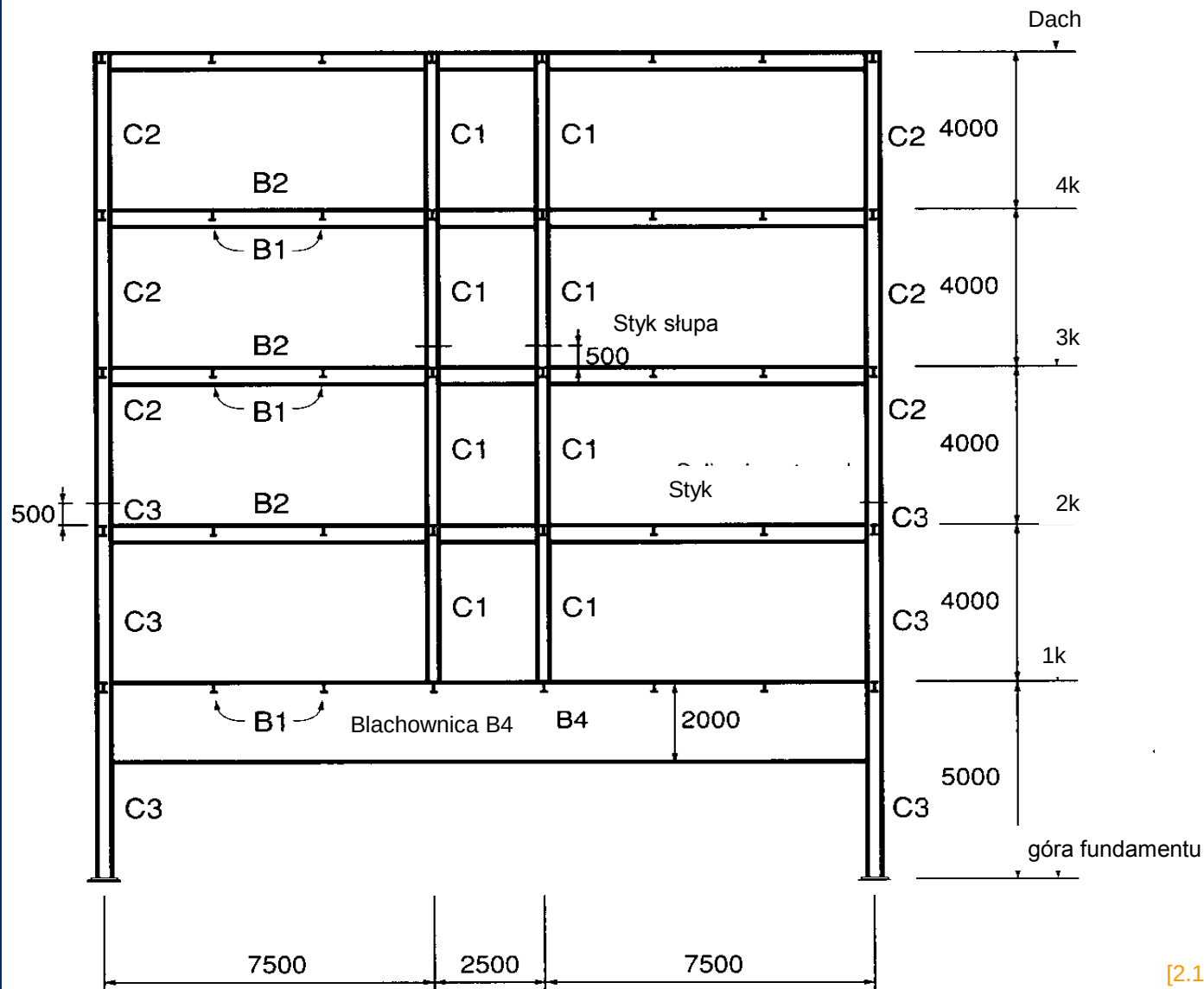
Rama z
elementami:

B1 – belki
stropowe,

B2,B3 – belki-
podciągi

B4 podciąg
blachownicowy

C1,C2,C3 –
słupy



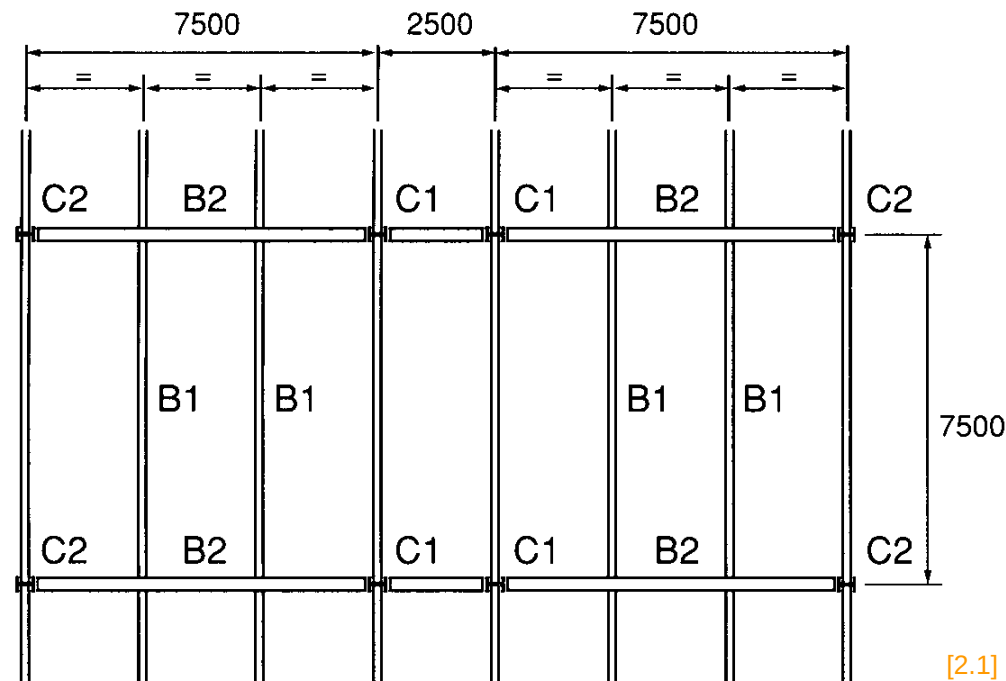
Powtarzalny układ belek stropu →

→ Warstwy przegród:

- (1) Pokrycie dachowe: izolacja – 30 mm lekki beton – blacha fałdowa
- (2) Podłogi (biura specjalistyczne): podłoga podniesiona – 130 mm lekki beton – blacha fałdowa stropowa
- (3) Ściany zewnętrzne: systemowe z okładzinami
 - Zabezpieczenie p-poż.: 4 godz na 1 k; 2 godz na pozostałych kondygnacjach
 - Stężenia: wg projektu – tarcze stropowe, ścienne oraz połaciowe

Poz. 1 Założenia:

1. Poziome obciążenia (wiatr) przejmują stężenia budynku. Główna konstrukcja nośna jest projektowana tylko na obciążenia grawitacyjne (pionowe)
2. Połączenia są projektowane do przeniesienia obciążeń pionowych i przekazania obciążeń poziomych na stosowne elementy
3. W związku z tym konstrukcja jest zaklasyfikowana jako „prosta”, więc siły przekrojowe można wyznaczyć w analizie globalnej przy założeniu przegubowego połączenia między elementami



[2.1]

Poz. 2 Obciążenia

Poz. 2.1. Obciążenia stałe charakterystyczne G_k :

Dach - warstwy	kN/m ²
pokrycie i izolacja	1,0
beton bitumiczny	0,5
130 mm lekki beton+ blacha fałdowa	2,5
Konstrukcja stalowa + zabezpieczenie p-poż	0,5
Instalacje podwieszone	0,3
Strop podwieszony	0,2
Razem $G_{k,1}$	5,0

Strop - warstwy	kN/m ²
Podłoga podniesiona (dane producenta)	0,2
130 mm beton lekki = Blacha profilowana	2,5
Konstrukcja stalowa + zabezp. p-poż	0,5
Instalacje	0,3
Sufit podwieszony	0,2
G_{k,2} =	3,7

Ściany zewnętrzne	kN/m ²
Panele systemowe (z podkonstrukcją)	0,8
G_{k,3} =	0,8

Poz. 2.3. Współczynniki obciążeń

$$\gamma_{G,sup} = 1.35 \quad \gamma_{Q,sup} = 1.5$$

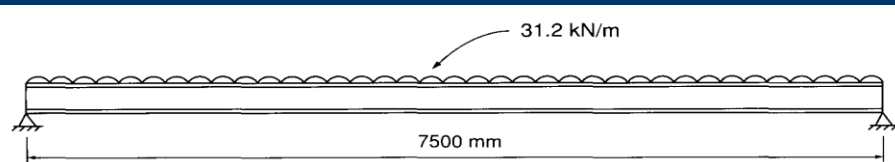
Poz.3. Belka B1

Poz.3.1 Obciążenia B1

$$Q_k = 5.0 \times 2.5 \text{ kN/m} = 12.5 \text{ kN/m}$$

$$G_k = 3.7 \times 2.5 \text{ kN/m} = 9.25 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} F_d &= \gamma_{G,sup} G_k + \gamma_{Q,sup} Q_k \\ &= 1.35 \times 9.25 + 1.5 \times 12.5 = 31.2 \text{ kN/m} \end{aligned}$$



Poz. 2.2. Obciążenia zmienne

charakterystyczne Obciążenie dachu	kN/m ²
Obciążenie użytkowe dla dachu z dostępem (jest znacznie większe od obciążenia śniegiem, więc przyjęto do wymiarowania)	1,5
Q_{k,1} =	1,5
Obciążenie stropu	kN/m ²
Obciążenie użytkowe (list klienta) - wg EC 1 dla pomieszczeń biurowych jest 2,5 kN/m ²	4,00
Dodatek do konstrukcji stalowej (różne poza projektem)	1,00
Q_{k,2} =	5,00

Obciążenie wiatrem	kN/m ²
Wg EC 1 dla Warszawy - przyjęto szacunkowo	0,7
Q_{k,3} =	0,7

Poz.3.2 Siły przekrojowe B1

$$M_{Sd} = \frac{F_d L^2}{8} = \frac{31.2 \times 7.52^2}{8} = 219 \text{ kNm}$$

$$V_{Sd} = \frac{F_d L}{2} = \frac{31.2 \times 7.52}{2} = 117 \text{ kN}$$

Poz. 3.3. Dobór profilu z warunku wytrzymałości B1 ← 2 klasa (nośność plastyczna)

1. W celu wyznaczenia przekroju belki, przyjmujemy, że grubość półki belki będzie mniejsza od 40 mm oraz przekrój będzie klasy 1 lub 2
2. Dla stali S275, mamy $f_y=275$ MPa (Uwaga – sprawdzić, czy profile z tej stali są produkowane i cena !)

3. Z warunku $M_{Sd} \leq M_{c.Rd}$ $M_{c.Rd} = M_{p\ell.y.Rd}$
 gdzie dla klasy 2 jest $= W_{p\ell} f_y / \gamma_{M0}$ → mamy $W_{p\ell.required} = M_{Sd} \gamma_{M0} / f_y$

$$= 219 \cdot 1,00 / 275 \cdot 10^3 = 796 \text{ cm}^3$$

Przyjęto HEA 260 wg tablic na następnej planszy : $W_{pl} = 919 \text{ cm}^3 > 796 \text{ cm}^3$

$h = 250 \text{ mm}$, $b_f = 260 \text{ mm}$, $t_w = 7,5 \text{ mm}$, $t_f = 13 \text{ mm}$, $d = h_1 = 177 \text{ mm}$, $W_{pl}(=W_x)$, $pl = 919 \text{ cm}^3$ $I_y(=I_x)$ 10454 cm^4 .

(Uwaga: Sprawdzić dla IPE – czyż nie są ekonomiczniejsze (wymagana mniejsza masa , ale co ze zwichrzeniem !)

Poz. 3.4. Sprawdzenie klasy przekroju B1 (sprawdzenie, że na pewno jest klasy 2)

Smukłość pasa

$$c/t_f = (h_f/2)/t_f = 260/2/13 = 10 \leq 11\varepsilon = 11\sqrt{235/f_y} = 11\sqrt{235/275} = 11 \cdot 0,924 = 10,2$$

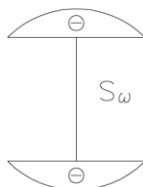
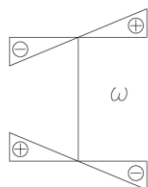
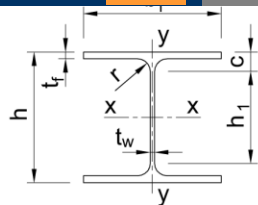
Smukłość środnika

$$d/t_w = (h_1/t_w = 177/7,5 = 23,6 \leq 83\varepsilon = 11\sqrt{235/f_y} = 83 \cdot 0,924 = 76,7$$

Przekrój nie jest klasy wyższej niż 2 .

Uwaga: Profile walcowane **zawsze** są klasy niższej niż 4 (dla HEA, HEB itd. nie wyższej niż 2)

Przykład projektu ramy wielopiętrowej {5} (tablice HEA {P5})



HE..A
http://TMsteel.w.interia.pl

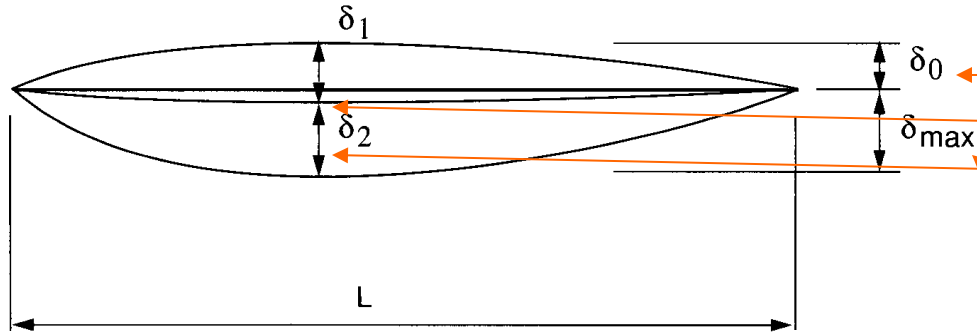
	Wymiary / Dimensions							Ciężar / mass	Parametry przekroju / Section properties													
	h	b _f	h ₁	t _w	t _f	r	c		A	I _x	I _y	W _x	W _y	i _x	i _y	I _T	ω _{max}	S _{ωmax}	I _ω x10 ⁻³	U _b	U/A	W _{x,pl}
	mm								kg/m	cm ²	cm ⁴		cm ³		cm		cm ⁴	cm ²	cm ⁴	cm ⁶	m ² /m	m ⁻¹
HE 100 A	96	100	56	5	8	12	20	16,7	21,2	349	133	72,7	26,7	4,05	2,51	5,22	22,00	44,00	2,58	0,561	264	83,0
HE 120 A	114	120	74	5	8	12	20	19,9	25,3	606	230	106	38,4	4,89	3,02	5,98	31,80	76,32	6,47	0,677	267	119
HE 140 A	133	140	92	5,5	8,5	12	20,5	24,7	31,4	1033	389	155	55,6	5,73	3,52	8,11	43,57	129,6	15,06	0,794	252	173
HE 160 A	152	160	104	6	9	15	24	30,4	38,8	1672	615	220	76,9	6,56	3,98	12,16	57,20	194,4	31,40	0,906	233	245
HE 180 A	171	180	122	6	9,5	15	24,5	35,5	45,3	2510	924	293	102	7,44	4,51	14,77	72,67	310,6	60,21	1,024	226	324
HE 200 A	190	200	134	6,5	10	18	28	42,3	53,8	3692	1335	388	133	8,28	4,98	20,94	90,00	450,0	108,0	1,136	211	429
HE 220 A	210	220	152	7	11	18	29	50,5	64,3	5409	1954	515	177	9,17	5,51	28,40	109,4	662,1	193,2	1,255	195	568
HE 240 A	230	240	164	7,5	12	21	33	60,3	76,8	7763	2768	675	230	10,05	6,00	41,48	130,8	941,7	328,4	1,368	178	744
HE 260 A	250	260	177	7,5	12,5	24	36,5	68,2	86,8	10454	3667	836	282	10,97	6,50	52,30	154,3	1254	516,3	1,483	170	919
HE 280 A	270	280	196	8	13	24	37	76,4	97,3	13673	4762	1012	340	11,85	6,99	62,01	179,9	1637	785,3	1,602	164	1112
HE 300 A	290	300	208	8,5	14	27	41	88,3	112,5	18263	6309	1259	420	12,74	7,48	85,06	207,0	2173	1199	1,716	152	1383
HE 320 A	310	300	225	9	15,5	27	42,5	97,6	124,4	22928	6985	1479	465	13,57	7,49	107,83	220,8	2567	1512	1,755	141	1628

opr. TMg e-mail: TMsteel@interia.pl

A - pole przekroju poprzecznego / area of section
 I_x, I_y - moment bezwładności / moment of inertia
 W_x, W_y - wskaźnik wytrzymałości / elastic section modulus
 i_x, i_y - promień bezwładności / radius of gyration
 I_T - moment bezwładności przy skręcaniu / torsion constant
 ω_{max} - pole wycinkowe / sectorial coordinate
 S_ω - wycinkowy moment statyczny / sectorial static moment

I_ω - wycinkowy moment bezwładności / sectorial moment of inertia (warping constant)
 U_b - powierzchnia malowania / painting surface per unit length
 U/A - wskaźnik masywności / ratio of perimeter length to cross sectional area
 W_{x,pl} - plastyczny wskaźnik wytrzymałości / plastic section modulus

Poz. 3.5. Sprawdzenie ugięcia



strzałka odwrotna
 ugięcie od obciążeń stałych
 ugięcie od obciążeń zmiennych $\leq L/250$
 maksymalne ugięcie w sytuacji kombinacyjnej $\leq L/250$ (wg EC3)

$$\delta = \frac{5}{384} [P_k] \times \frac{L^4}{EI_y}$$

gdzie E jest modułem Younga $E=210\,000\text{ N/mm}^2$,

Uwaga wg EC3 oś większej wytrzymałości oznacza się y-y, a nie x-x (stare oznaczenia, które jeszcze mogły pozostać w tablicach profili).

Belka B1 jest belką drugorzędną (nie jest główną)

$$\delta_{\max} = \frac{5}{384} (9,3 + 12,5) \times \frac{7,5^4}{2,1 \cdot 10454 \cdot 10^7} = \frac{5 \cdot 21,8 \cdot 7,5^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10454} 10^6 = 40,9 \text{ mm} > L / 250 = 7500 / 250 = 30 \text{ mm}$$

Należy zwiększyć profil. Dla HEA 280 $I_y = 13763$, więc

$$\delta_{\max} = 40,9 \cdot (10454 / 15600) = 27 \text{ mm} < \delta_{\text{dop}} = 30 \text{ mm}$$

Element konstrukcji	$w_{\max}, w_3^{*} \leq$
– Dźwigary dachowe (kratowe i pełnościennie)	$L/250$
– Płatwie	$L/200$
– Blacha profilowana	$L/150$
– Elementy stropów i stropodachów:	
– belki główne (podciąg)	$L/350$
– belki drugorzędne	$L/250$
– Nadproża okien i bram	$L/500$

*/ Gdy zastosowano strzałkę odwrotną.
 Oznaczenia: $w_{\max}$ – ugięcie całkowite netto (po odjęciu ewentualnej strzałki odwrotnej);
 w_3 – strzałka ugięcia od obciążeń zmiennych;
 L – rozpiętość elementu (lub podwójny wysięg wspornika).

Poz. 3.6. Sprawdzenie ścinania

Sprawdzenie środka na ścinanie (dla HEA IPE, HEB , ścinanych równoległe do środka $A_v = h \cdot t_w$

$$V_{Sd} = 117 \text{ kN} \leq V_{pl,Rd} = A_v \frac{f_y / \sqrt{3}}{\gamma_{M_0}} = 270 \cdot 8,0 \cdot 275 / \sqrt{3} / 1,0 \cdot 10^3 = 343 \text{ kN}$$

Inne sprawdzenia wymagane szczególnie przy dużych skupionych obciążeniach **są pomijane** w niniejszym przykładzie

Nośność przekroju mierzona momentem zginającym powinna być zredukowana wówczas, gdy $V_{Sd} > 50\% V_{pl,Rd}$, jednakże w tym przypadku zauważamy przede wszystkim, że **maksymalny moment zginający i maksymalna siła poprzeczna występują w dwóch różnych punktach belki:**

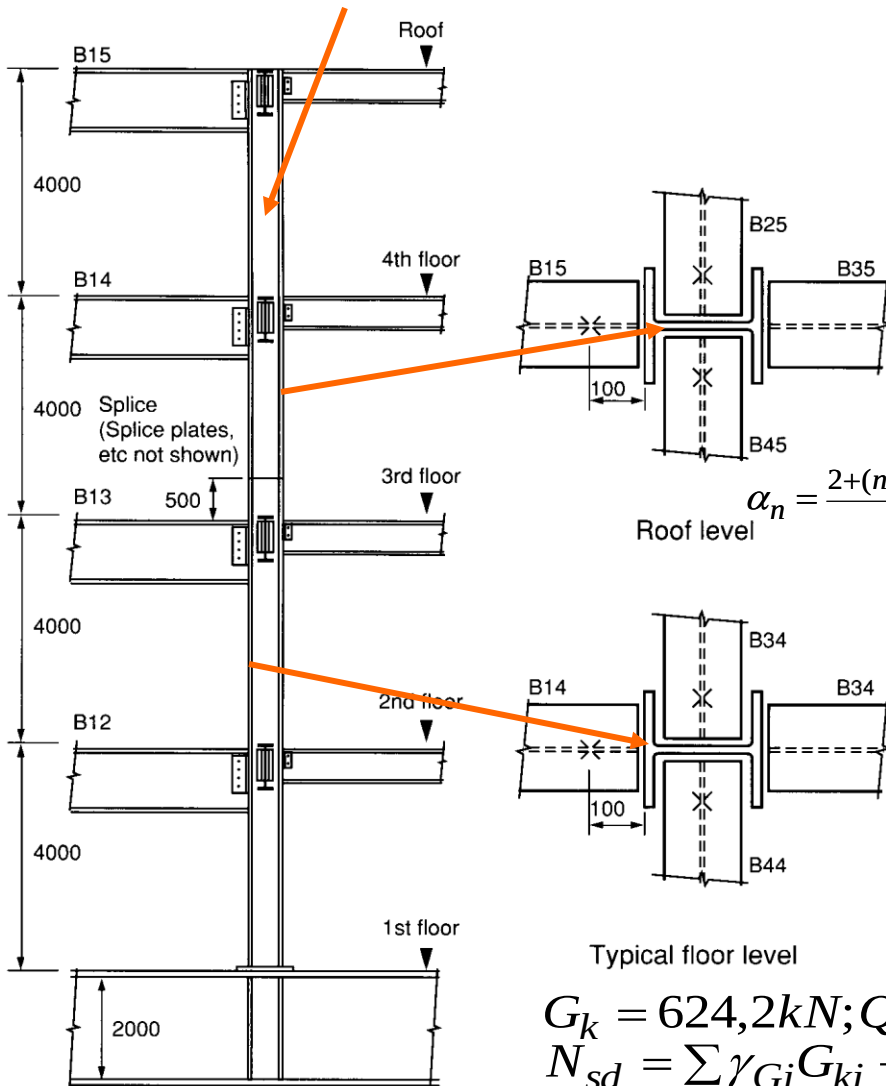
M_{max} – w środku przęsła, V_{max} nad podporą, więc

redukcja nośności „momentowej” -> nie jest wymagana (redukcja byłaby błędem z przyczyn fizycznych).

Pomija się również dalsze sprawdzenia przekroju: zginanie pasa , utwierdzonego w środku, a także wyboczenie pasa – ze względu na jego zabezpieczenie przez płytę stropową.

Dobór przekroju podciągu **B2, B3** przeprowadza się analogicznie.

Poz. 4. Słup C1



Poz.4.1 Obciążenia C1

	Beam	Variable actions	Sub-totals	Cumulative totals	Permanent actions	Sub-totals	Cumulative totals
Roof	1	28.1			93.8		
	2	14.1			47.1		
	3	14.1			47.1		
	4	0	56.3		0	188.0	
4th floor	1	94.0			76.0		
	2	46.9			34.7		
	3	46.9			34.7		
	4	0	187.8		0	145.4	
				244.1			333.4
3rd floor as 4th floor			187.8			145.4	
				431.9			478.8
2nd floor as 4th floor			187.8			145.4	
				619.7			624.2

Obciążenia użytkowe działają na słup z kilku kondygnacji. Całkowite obciążenie użytkowe wchodzące w skład maksymalnej siły osiowej, zostało zredukowane za pomocą współczynnika α_n , który zależy od liczby kondygnacji ponad obciążonymi elementami konstrukcyjnymi tej samej kategorii. Dla dolnej części słupa określono

EC1 –1 (6.2) współczynnik redukcji obciążenie użytkowego w budynku

$$\alpha_n = \frac{2+(n-2) \cdot \psi_0}{n} = \frac{2+(4-2) \cdot 0,7}{4} = 0,85$$

$$G_k = 624,2 \text{ kN}; Q_k = 0,85 \cdot 619,7 = 526,8 \text{ kN}$$

$$G_k = 624,2 \text{ kN}; Q_k = 0,85 \cdot 619,7 = 526,8 \text{ kN}$$

$$N_{sd} = \sum \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_{Qj} Q_{kj} = 1,35 \cdot 624,2 + 1,5 \cdot 526,8 = 1632,9 \text{ kN}$$

- Poz.4.1** Obciążenia C1 Mimośród działania obciążenia e:
- *niezamierzony $e_0=100$ mm
 - *konstrukcyjny $e_k=h/2$ (dla HEB 300)=300/2
 - *całkowity $e_c= e_0+e_k=300)=100+300/2=250$ mm

Biorąc reakcje sumaryczny moment działający na level 2:

$$M_{ysd} = (1,35 \cdot 94 + 1,5 \cdot 76) \cdot 250 / 10^3 = 60,3 kNm$$

Moment jest przydzielany proporcjonalnie do sztywności. Ponieważ sztywności dochodzących belek są takie same, więc jest przydzielony w połowie

$$M_{ysd} = 60,3 / 2 = 30,2 kNm$$

Poz.4.2 Wstępny dobór przekroju : wstępnie przyjęto HEB 300:

Poz.4.1 Obciążenia C1 Mimośród działania obciążenia e:

*niezamierzony $e_0=100$ mm

*konstrukcyjny $e_k=h/2$ (dla HEB 300)=300/2

*całkowity $e_c= e_0+e_k=300)=100+300/2=250$ mm

Biorąc reakcje sumaryczny moment działający na level 2:

$$M_{ysd} = (1,35 \cdot 94 + 1,5 \cdot 76) \cdot 250 / 10^3 = 60,3 \text{ kNm}$$

Moment jest przydzielany proporcjonalnie do sztywności. Ponieważ sztywności dochodzących belek są takie same, więc jest przydzielony w połowie

$$M_{ysd} = 60,3 / 2 = 30,2 \text{ kNm}$$

Poz.4.2 Wstępny dobór przekroju : wstępnie

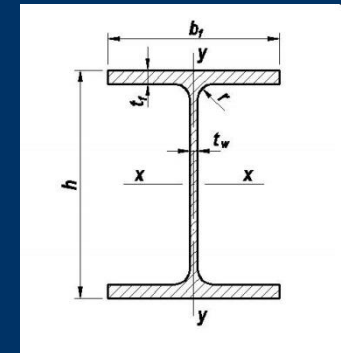
przyjęto HEB 300: o parametrach

$h=300$; $b_f=300$, $t_f=19,0$; $t_w=11,0$; $r=27$, $A=149$ cm²;

$W_{yel}=1680$ cm³; $W_{ypl}=2 \cdot 934=1868$ cm³;

$i_y=13,00$ cm; $i_z=7,58$ cm; $J_y=25170$ cm⁴; $m=117$ kg/m

$I_z=8560$ cm³; $I_w=1690$ cm⁴, $I_t=186$ cm⁴



$$W_{ypl} = 2 \cdot \bar{S}(1/2I)$$

Klasa przekroju 1 (bez sprawdzania z definicji profilu walcowanego) Stal S275

Poz.4.3 Nośność przekroju

Dla przekroju klasy 1 bez otworów na śruby, zredukowana nośność giętna na skutek działania siły osiowej

$$M_{Ny,Rd} = \frac{M_{pl,y,Rd}(1-n)}{1-0,5a},$$

$$\text{gdzie } n = \frac{N_{sd}}{N_{pl,Rd}} \quad a = (A - 2b_f) / A \leq 0,5$$

$$M_{pl,y,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0} = 1868 \cdot 275 / 1,0 = 513,7 \text{ kNm}$$

$$N_{pl,Rd} = A f_y / \gamma_{M0} = 149 \cdot 275 / 1,0 = 4097 \text{ kN}$$

$$n = N_{sd} / N_{pl,Rd} = 1632,9 / 4097 = 0,40$$

$$a = 1 - 2 \cdot 30 \cdot 1,9 / 149 = 0,23$$

$$M_{Ny,Rd} = \frac{513,7(1-0,40)}{1-0,5 \cdot 0,23} = 348,3 \text{ kNm} > M_{sd} = 30,2 \text{ kNm}$$

Poz.4.4 Nośność elementu

Wyboczenie 5.5.4(1) ; Zwichrzenie 5.5.4(2)

Poz.4.4.1 Nośność elementu na wyboczenie

Dla przekroju klasy 1 mamy

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} A f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y M_{y,Sd}}{W_{pl,y} f_y / \gamma_M} \leq 1,0$$

$$N_{Sd} = 1632,9 \text{ kN}$$

Współczynnik wyboczeniowy zależny od smukłości wokół osi y-y. Przyjmijmy, że połączenie pomiędzy słupem i głównymi belkami na poziomie 1 i 2 są przegubowe, wówczas smukłość wokół osi y-y, wynosi

$$\lambda_y = \frac{l}{i_y} = \frac{400}{13,0} = 30,8$$

$$\lambda_1 = \pi(E / f_y)^{0,5} = 93,9 \varepsilon = 86,8$$

$$\bar{\lambda}_z = \lambda_y / \lambda_1 \beta_A^{0,5} = 30,8 / 86,8 \cdot 1^{0,5} = 0,355 \rightarrow (\text{rys 6.4 - c}) \rightarrow \chi_y = 0,94$$

$$l = 400 \text{ cm}, \lambda_z = 400 / i_z = 400 / 7,58 = 52,8; \bar{\lambda}_z = \lambda_z / \lambda_1 \beta_A^{0,5} = 52,8 / 86,8 = 0,608 \rightarrow \chi = 0,74$$

$$\chi_{\min} = 0,74$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{Sd}}{\chi_y A f_y} \leq 0,5 \rightarrow k_y = 1 - \frac{(-0,63) 1632,9}{0,94 \cdot 149 \cdot 275} = 0,733 < 1,50$$

$$\frac{1632,9}{0,74 \cdot 149 \cdot 275 / 1,0} + \frac{0,733 \cdot 30,2}{1868 \cdot 275 / 1,0} = 0,542 \leq 1,0$$