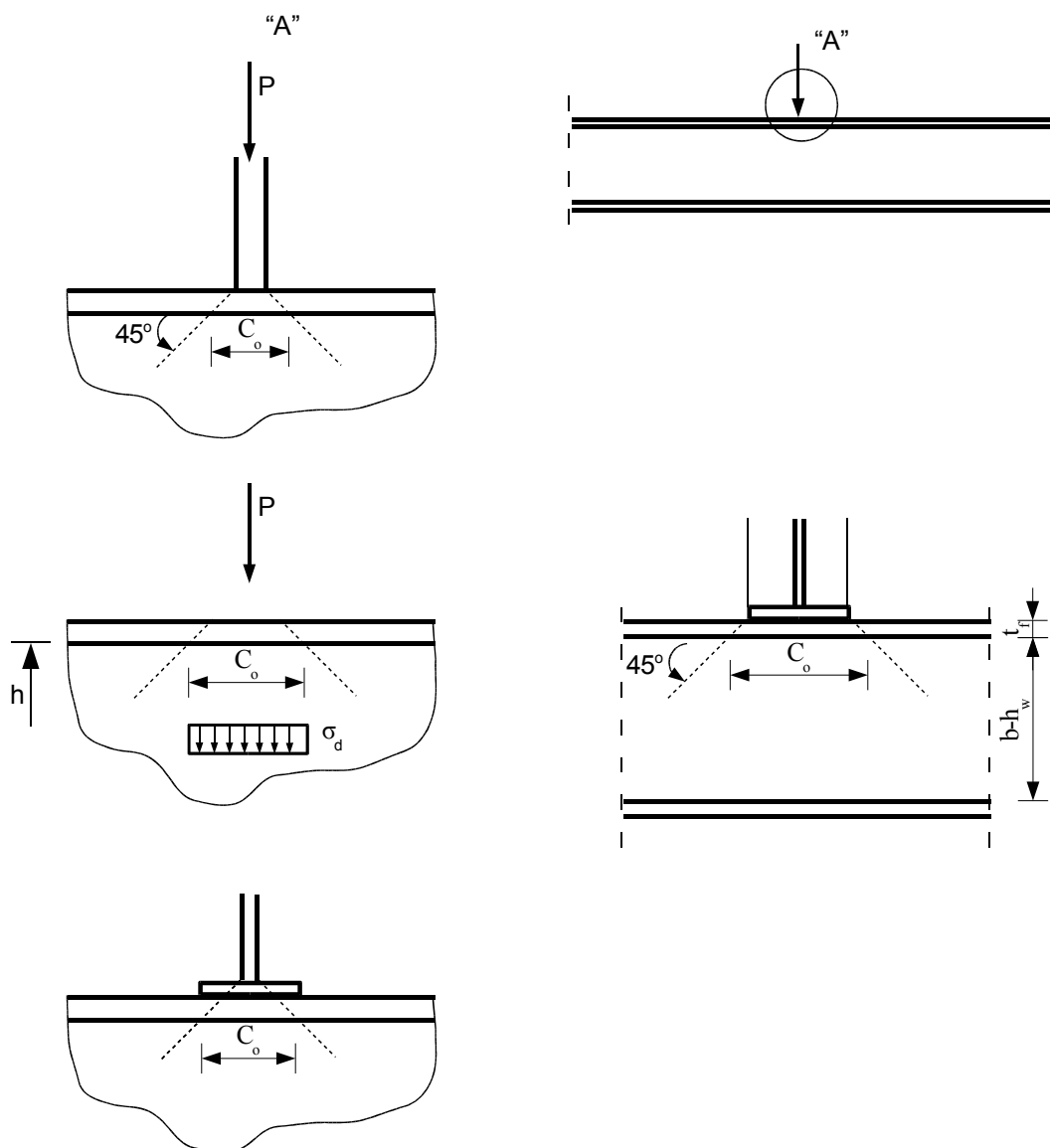




## 1.13. Środek w złożonym stanie obciążeń

### 1.13.1. Środek pod działaniem sił skupionych.

Gdy w miejscu przyłożenia sił skupionych do belki nie występują żebra środkowe to należy w tym miejscu dodatkowo sprawdzić nośność środka na lokalny docisk do pasa oraz złożony stan naprężeń w środku pod siłą skupioną wg niżej podanych zasad.



rys. 1.28.

- nośność środka na lokalny docisk:

$$P_{Re} = k_c \cdot t_w^2 \cdot f_d$$

gdzie :

- dla sił stacjonarnych:

$$k_c = \left( 15 + 25 \frac{c_0}{h_w} \right) \cdot \sqrt{\frac{t_f}{t_w} \cdot \frac{215}{f_d}} \text{ lecz } k_c \leq \frac{c_0}{t_w}$$

- dla sił ruchomych:

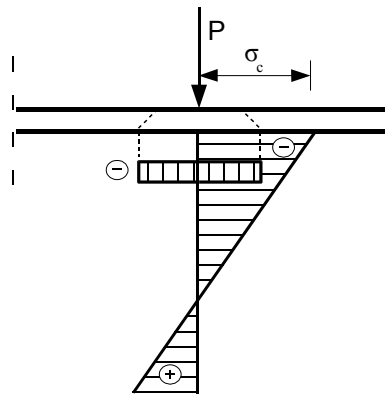
$$k_c = 20 \sqrt{\frac{215}{f_d}}$$

- a przy zastosowaniu krótkich żeber (np. w belkach podsuwnicowych) o rozstawie  $a_1 < 2c_0$ , i długości równej co najmniej  $2/3$  szerokości strefy ściskanej w środku:

$$k_c \leq \frac{c_0}{a_1} \cdot 40 \cdot \sqrt{\frac{215}{f_d}}$$

Gdy naprężenie w środku pod pasem jest ściskające i ponieważ naprężenia od docisku na odcinku  $a_0$  są również ściskające ( rys.1.29) i gdy :

$$\sigma_c \geq 0,5f_d$$



rys.1.29.

to należy obliczyć zredukowaną nośność na docisk do środka:

$$P_{Rc,red} = P_{Rc} \cdot \eta_c ;$$

gdzie:  $\eta_c = 1,25 - 0,5 \frac{\sigma_c}{f_d}$ .

Warunek nośności środka na docisk pod obciążeniem skupionym:

$$\frac{P}{P_{Rc}} \leq 1,0$$

### 1.13.2. Środek w złożonym stanie obciążeń.

W złożonym stanie obciążeń warunek nośności przy uwzględnieniu wszystkich składowych sił przekrojowych określa się ze wzoru:

$$\left( \frac{N_w}{N_{Rw}} + \frac{M_w}{M_{Rw}} + \frac{P}{P_{Rc}} \right)^2 - 3\varphi_p \left( \frac{N_w}{N_{Rw}} + \frac{M_w}{M_{Rw}} \right) \cdot \frac{P}{P_{Rc}} + \left( \frac{V}{V_R} \right)^2 \leq 1,0$$

w którym:

- $N_{Rw}, M_{Rw}, P_{Rc}, V_R$  - nośność obliczeniowa środnika przy ściskaniu, zginaniu, docisku do środnika i ścinaniu,
- $\varphi_p$  - współczynnik niestateczności ścianki środnika

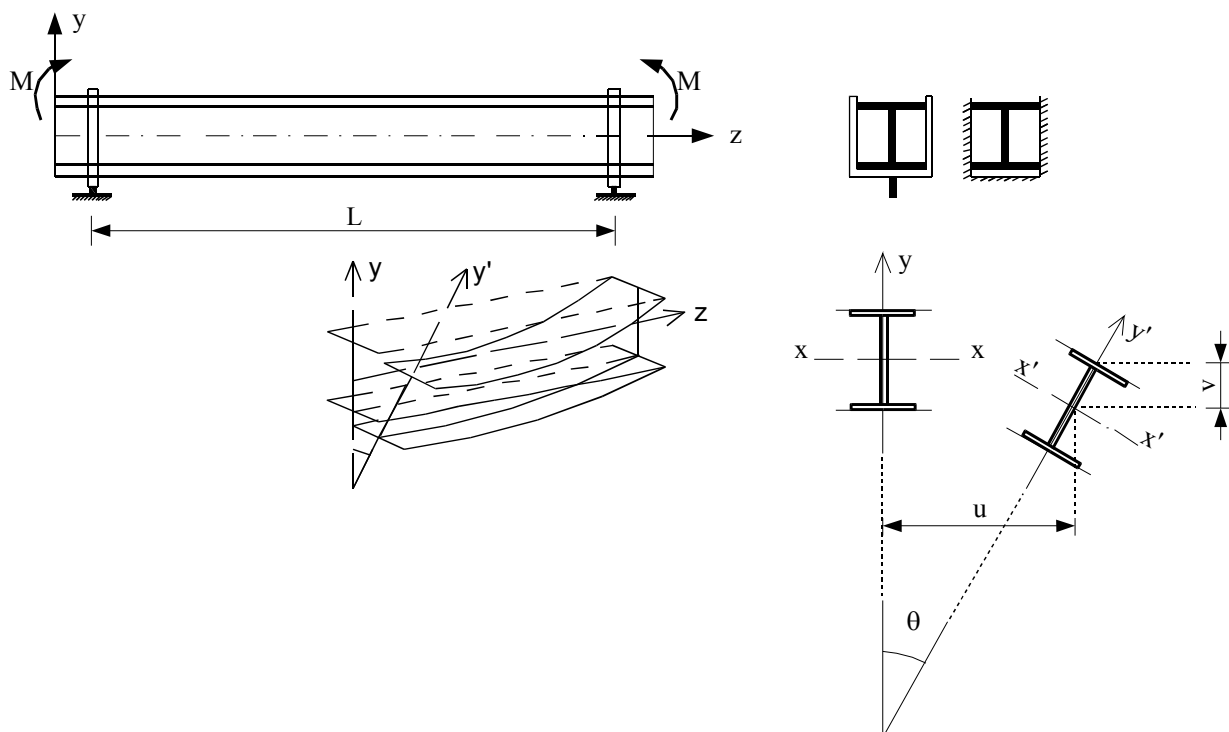
W przypadku obciążeń statycznych i braku siły skupionej ( $P=0$ ) można do powyższego wzoru przyjmować nośności składowe w stanie nadkrytycznym.

### 1.14 Zwichrzenie - utrata stateczności ogólnej przy zginaniu

Wyboczenie przy zginaniu (zwichrzenie) zachodzi w belkach wskutek dodatkowego skręcania, które wystąpi równocześnie ze zginaniem. Skręcanie to może być spowodowane imperfekcjami geometrycznymi belki (brak prostoliniowości, wstępne skręcenie, niedoskonałość kształtu przekroju poprzecznego) lub losowym mimośrodem obciążenia. Oznacza to, że im przekrój belki jest bardziej smukły tym bardziej narażona jest cała belka na zwichrzenie. Zabezpieczeniem przed takim zjawiskiem może być odpowiednie ukształtowanie belki lub zastosowanie usztywnień przytrzymujących strefę ściskaną.

Zjawisko zwichrzenia, jak łatwo można zauważyć ma wiele analogii ze zjawiskiem wyboczenia sprężystego pręta.

Na rysunku 1.30 pokazano zachowanie się belki pod obciążeniem momentami skupionymi na podporach. Przekrój w środku rozpiętości belki dozna największych przemieszczeń opisanych składowymi  $u, v, \theta$ .



rys. 1.30

Układając równania równowagi przekroju środkowego po obciążeniu otrzymuje się układ trzech

równań różniczkowych, sprzężonych. Dla rozpatrywanego przypadku czystego zginania i prostych warunków brzegowych można uzyskać rozwiązanie w postaci funkcji analitycznych, które po odpowiednim podstawieniu określają moment zginający przy którym nastąpi zwichrzenie  $M_{cr}$

Tak więc dla czystego zginania i widelkowego podparcia na podporze:

$$M_{cr} = \frac{\pi}{l} \cdot \sqrt{EI_y \cdot \left( GI_s + EI_w \cdot \frac{\pi^2}{l^2} \right)}$$

zakładając:

$$\sigma_{cr} = \frac{M_{cr}}{I_x} \cdot \frac{h}{2} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_L^2},$$

otrzymamy:

$$\lambda_L = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{\sigma_{cr}}},$$

oraz podstawiając dalej

$$\overline{\lambda}_L = \frac{\lambda_L}{\lambda_E},$$

gdzie:

$$\lambda_E = \frac{\pi}{1,15} \sqrt{\frac{E}{f_d}} \quad (\text{dla stali St3S: } E=205000\text{MPa; } f_d = 215\text{MPa; } \lambda_E = 84)$$

uzyskamy wyrażenie na parametr  $\varphi_L = f(\overline{\lambda}_L)$ , który określa obliczeniowy moment krytyczny w stosunku do nośności przekroju na zginanie przekroju:

$$M_{cr} = \varphi_L M_R$$

W normie smukłość względną przy zwichrzeniu zdefiniowano w postaci :

$$\overline{\lambda}_L = 1,15 \sqrt{\frac{M_R}{M_{cr}}}$$

a współczynnik  $\varphi_L$  określony jest zunifikowaną formułą niestateczności

$$\varphi_L = \varphi(\overline{\lambda}_L) = \left( 1 + \lambda_L^{-2n} \right)^{-\frac{1}{n}},$$

przy czym wartość  $n$  należy przyjmować następująco:

$n=2$  dla dwuteowników walcowanych i spawanych automatycznie

$n=2,5$  dla pozostałych przekrojów

Warunek nośności belki z uwzględnieniem stateczności ogólnej jest w postaci:

$$\frac{M}{\varphi_L \cdot M_R} \leq 1,0$$

gdzie:

$M$ - maksymalny moment w przęśle belki,

$M_R$ - nośność belki na zginanie.

W powyższym wzorze uwzględniona jest możliwość nie tylko utraty stateczności lokalnej ścianki, jeśli przekrój jest klasy 4 (co zawarte jest w wyrażeniu na  $M_R$ ) ale również utraty stateczności ogólnej. Stąd wniosek, że nie wystarczy sprawdzenie nośności maksymalnie obciążonego przekroju belki lecz również należy sprawdzić możliwość globalnej utraty stateczności (zwichrzenia). Takie postępowanie jest szczególnie istotne w przypadku belki o zmiennym przekroju.

W przypadku belki zginanej w dwóch płaszczyznach warunek nośności ma postać:

$$\frac{M_x}{\varphi_L \cdot M_{Rx}} + \frac{M_y}{M_{Ry}} \leq 1,0,$$

przy czym płaszczyzna x-x jest płaszczyzną większego momentu bezwładności.

Konstrukcja jest zabezpieczona przed zwichrzeniem ( tzn. można pominąć sprawdzenie warunku nośności ze zwichrzeniem), gdy jest spełniony w/w warunek nośności belki ze zwichrzeniem lub gdy pas ściskany belki podparty jest nieprzesuwnie w odległościach  $l_1$  spełniających zależności:

$$l_1 \leq \frac{35i_y}{\beta} \cdot \sqrt{\frac{215}{f_d}} \text{ - dla przekrojów dwuteowych}$$

$$l_1 \leq 100b_0 \cdot \sqrt{\frac{215}{f_d}} \text{ - dla przekrojów prostokątnych i podwójnie dwuteowych}$$

gdzie:

$i_y$  – promień bezwładności przekroju belki w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny zginania,

$\beta$ - współczynnik redukcyjny zależny od rozkładu momentów zginających belkę określany wg tabl. 12 normy.

W praktyce przy sprawdzeniu nośności z uwzględnieniem zwichrzenia największa trudność występuje przy określeniu  $M_{cr}$ . Ścisłe określenie tej wartości jest możliwe w ograniczonych, prostych przypadkach przy zastosowaniu zasad teorii stateczności sprężystej (Timoshenko). W zagadnieniach inżynierskich wystarczające przybliżenie uzyskamy określając  $M_{cr}$  z tablic normy.

W załączniku Z3 normy podano wzory do obliczenia  $M_{cr}$  - w przypadku belki jednoprzęsłowej – dowolnie obciążonej.

Rozwiązanie ogólne dla takiej belki:

$$M_{cr} = \pm A_0 \cdot N_y + \sqrt{(A_0 \cdot N_y)^2 + B^2 \cdot i_s^2 \cdot N_y \cdot N_z}$$

gdzie:

$$A_0 = A_1 \cdot b_y + A_2 \cdot a_s, \quad A_1, A_2, B \text{ z tabl. Z1-2}$$

Tablica Z1-2

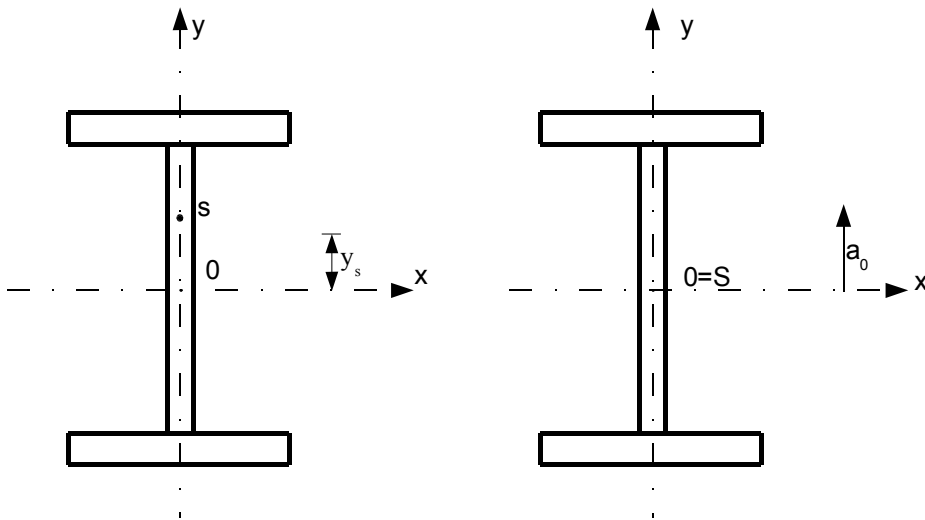
Obciążenie belki (w płaszczyźnie symetrii przekroju YZ)	Warunki podparcia <sup>1)</sup>				Współczynniki				
	w płaszczyźnie		$\mu_y$	$\mu_w$	$A_1$	$A_2$	$B$	$C_1$	$C_2$
	YZ	XZ							
Moment stały ( $\beta = 1$ ) lub zmienny liniowo <sup>2)</sup>	P	P	1	1	$1/\beta$	0	$1/\beta$	2	0
	P	P	1	0,5	$1,33/\beta$	0	$1,15/\beta$	—	—
	P	U	0,5	0,5	$1/\beta$	0	$1/\beta$	2	0
Obciążenie równomiernie rozłożone	P	P	1	1	0,61	0,53	1,14	0,93	0,81
	P	P	1	0,5	1,23	0,52	1,31	—	—
	P	U	0,5	0,5	0,68	0,29	0,97	1,43	0,61
	U	U	0,5	0,5	0,27	1,61	1,88	0,15	0,91
Siła skupiona w środku rozpiętości	P	P	1	1	0,55	0,76	1,37	0,60	0,81
	P	P	1	0,5	1,07	0,87	1,46	—	—
	P	U	0,5	0,5	0,62	0,50	1,12	1	0,81
	U	U	0,5	0,5	0	1,23	1,23	0	1,62

<sup>1)</sup> P — podparcie obustronnie przegubowe (swobodne); U — obustronnie utwierdzenie;  
 $\mu_y, \mu_w$  — współczynniki długości wyboyceniowej w płaszczyźnie XZ i przy skręcaniu.  
<sup>2)</sup> Współczynnik  $\beta$  należy przyjmować wg tabl. 12 — poz. a).

$b_y = y_s - \frac{1}{2}r_x$ ,  $b_y$ - parametr zginania ( $b_y \geq 0$ )

$r_x = \frac{1}{I_x} \int y(x^2 + y^2) dA$ ,  $r_x$ - ramię asymetrii ( $r_x \leq 0$ )

$y_s$ - współrzędna środka ścinania  $y_s \geq 0$



$$a_s = y_s - a_0$$

$a_0$  – współrzędna punktu przyłożenia obciążenia względem środka ciężkości

$i_s$  – biegunowy promień bezwładności względem środka ścinania

$$i_s = \sqrt{i_o^2 + i_s^2}$$

$i_o$  – biegunowy promień bezwładności względem środka ciężkości

$$i_o = \sqrt{i_x^2 + i_y^2}$$

Parametry:  $y_s, r_x$  – można obliczyć dla typowych przekrojów wg. tabl. Z1-1.

$N_y = N_{cr}$  – wyboczenie giętkie względem osi y (przypadek Eulera)

$$N_y = N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{(\mu_y \cdot l)^2}$$

$\mu_y$  – współczynnik długości wyboczeniowej przy wyboczeniu giętkim

$l$  – długość elementu

$N_z = N_{cr}$  – wyboczenie skrętne

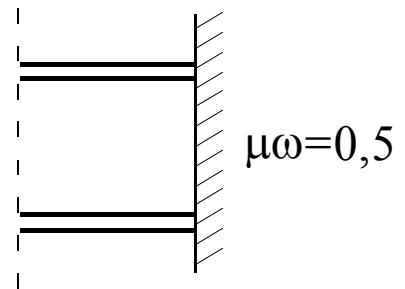
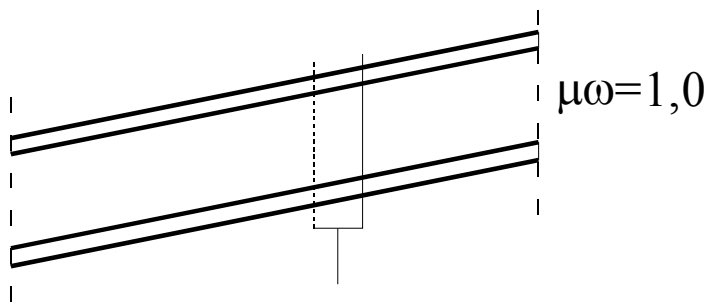
$$N_z = N_{cr} = \frac{I}{i_s^2} \left[ \frac{\pi^2 \cdot EI_\omega}{(\mu_\omega \cdot l)^2} + GI_T \right]$$

gdzie:

$\mu_\omega$  – współczynnik długości wyboczeniowej przy wyboczeniu skrętnym

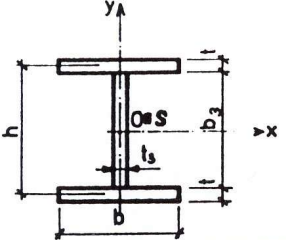
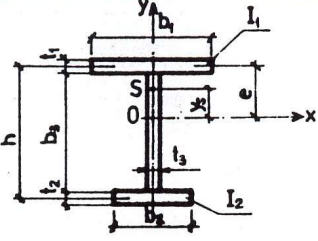
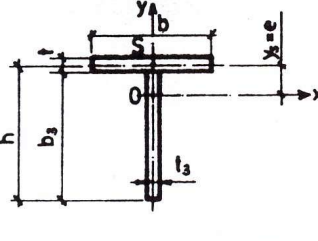
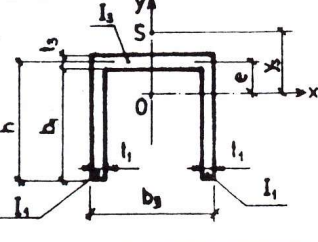
$\mu_\omega = \frac{l_\omega}{l}$ , gdzie  $l_\omega$  – odległość przekrojów o swobodnym spaceniu

– dla podparcia widelkowego i sztywnego:



$I_{\omega}$  - wycinkowy moment bezwładności  
 $I_T$  - moment bezwładności przy skręcaniu

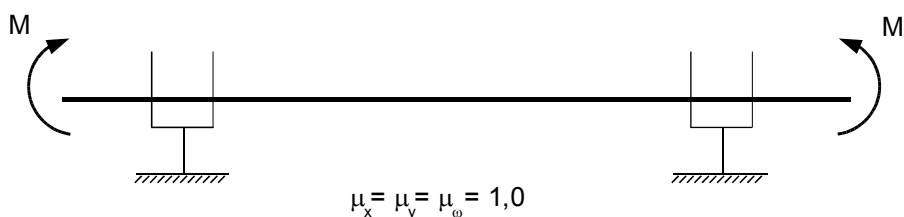
Tablica Z1-1

Przekrój	Cechy geometryczne
	$y_s = 0$ $I_w = \frac{I_y h^2}{4}$ $I_T = \frac{1}{3} (2bt^3 + b_3 t_3^3)$ $r_x = 0$
	$y_s = \frac{1}{I_y} [eI_1 - (h-e)I_2] = e - \frac{I_2 h}{I_y}$ $I_w = \frac{I_1 I_2 h^2}{I_1 + I_2}$ $I_T = \frac{1}{3} (b_1 t_1^3 + b_2 t_2^3 + b_3 t_3^3)$ $r_x = \frac{1}{I_x} \left\{ y_s I_y b_1 t_1 e^3 - b_2 t_2 (h-e)^3 + \frac{t_3}{4} [e^4 - (h-e)^4] \right\}$
	$y_s = e$ $I_w = 0$ $I_T = \frac{1}{3} (bt^3 + b_3 t_3^3)$ $r_x = \frac{1}{I_x} \left\{ e I_y + b t e^3 + \frac{t_3}{4} [e^4 - (h-e)^4] \right\}$
	$y_s = e + \frac{I_1 h}{I_y}$ $I_w = \frac{h^2}{3} \frac{I_1^2 + 2I_1 I_3}{I_y} \quad (I_y = 2I_1 + I_3)$ $I_T = \frac{1}{3} (2b_1 t_1^3 + b_3 t_3^3)$ $r_x = \frac{1}{I_x} \left\{ e (b_3 t_3 e^2 + I_3) + (2e-h) I_1 + \frac{t_1}{2} [e^4 - (h-e)^4] \right\}$
<p>Oznaczenia: O – środek ciężkości,  S – środek ścinania,  <math>I_1, I_2, I_3</math> – momenty bezwładności pól (średnika)  względem osi symetrii (y)</p>	



Przypadki szczególne:

- belka wspornikowa o przekroju bisymetrycznym:** ( $M_{cr}$ - ze wzoru j.w.) do obliczeń przyjmuje się  $\mu_y = \mu_w = 2,0$ ,  $A_1=0$ , a ponadto:
  - przy zginaniu stałym momentem  $A_2=0$ ;  $B=0$
  - przy obciążeniu równomiernie rozłożonym  $A_2=3,40$ ;  $B=0$
  - przy sile skupionej na końcu wspornika  $A_2=1,10$ ;  $B=2,5$
- belka jednoprzęsłowa podparta widelkowo, zginana stałym momentem (o dowolnym przekroju)**

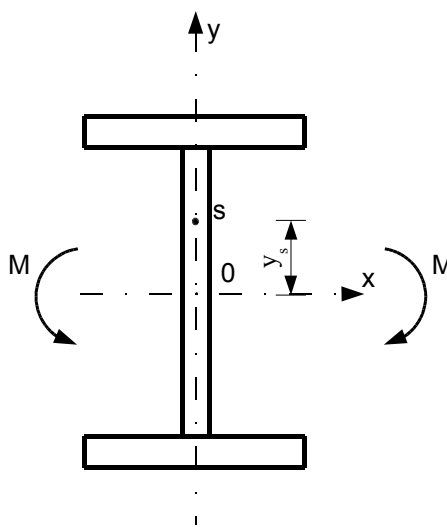


rys 1.31

$$M_{cr} = \pm b_y \cdot N_y + \sqrt{(b_y \cdot N_y)^2 + i_s^2 \cdot N_y \cdot N_z}$$

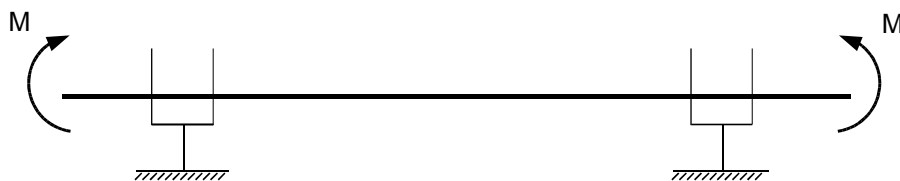
**UWAGA:**

We wzorach znak (-) przyjmujemy, gdy środek ścinania znajduje się w strefie rozciąganej przekroju; znak (+) przyjmujemy w pozostałych przypadkach.



rys.1.32

1. belka jednoprzęsłowa podparta widelkowo, obciążona stałym momentem na podporach o przekroju bisymetrycznym ( $\mu_y = 0$ )

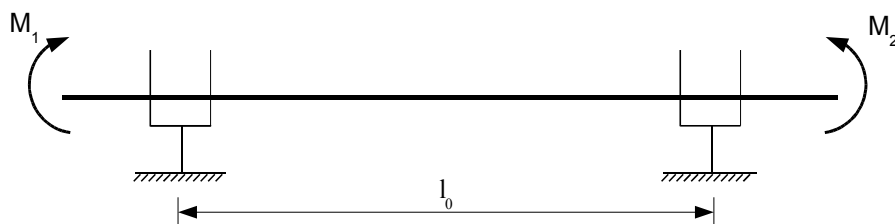


rys 1.33

$$M_{cr} = i_s \cdot \sqrt{N_y \cdot N_z}$$

Podane rozwiązania – dla obliczania  $M_{cr}$  – dotyczą tylko belki jednoprzęsłowej. Co z belką ciągłą? Można aproksymować  $M_{cr}$  – dla poszczególnych przęseł tej belki zastępując belkę ciągłą belkami swobodnie podpartymi przyjmując na podporach odpowiednie warunki brzegowe.

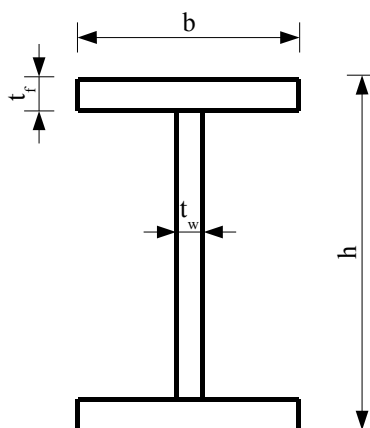
**PN-90 dla przekrojów bisymetrycznych, o przekroju dwuteowym, swobodnie podparych w sposób widelkowy i obciążonych momentami na podporach.**



rys.1.34

$\bar{\lambda}_L$  - można obliczyć ze wzoru:

$$\bar{\lambda}_L = 0,045 \sqrt{\frac{l_0 \cdot h}{b \cdot t_f} \cdot \beta \cdot \frac{f_d}{215}}$$



rys. 1.35

gdzie:

$l_0, h$  – rozpiętość i wysokość elementu

$b, t_f$  – wymiary półki

$\beta$  - współczynnik z tabl. 12 poz. a)

Dla przekrojów ceowych obliczoną wartość smukłości zastępczej należy zwiększyć o 25%:

$$\bar{\lambda}_L^c = 1,25\lambda_L^I$$

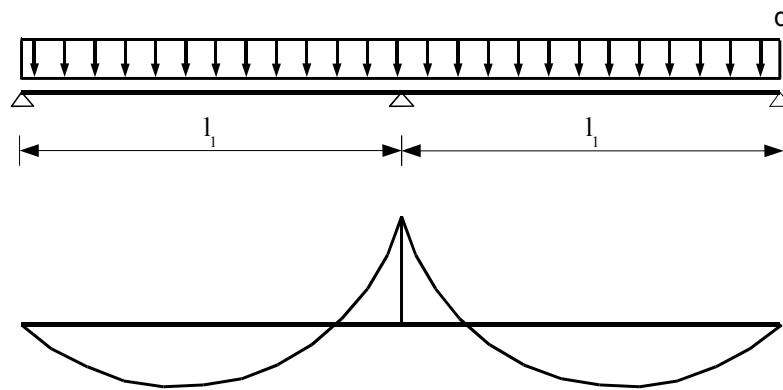
Wartości współczynników  $\beta$  :

Tablica 12

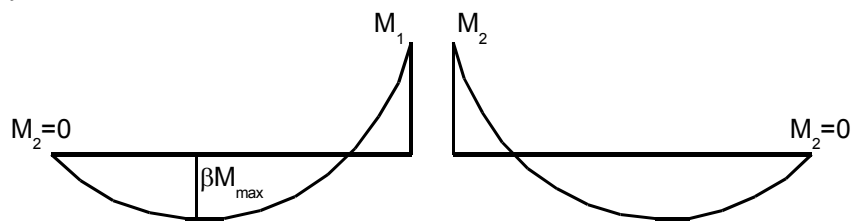
Warunki podparcia i sposoby obciążenia pręta		Wartość $\beta M_{\max}$
a)	Pręt o węzłach wzajemnie poprzecznie nieprzesuwnych ( $\mu \leq 1$ ), obciążony momentami w węzłach podporowych ( $M_0 = 0$ )	$\beta M_{\max} = 0,55M_1 + 0,45M_2$ lecz $\beta \geq 0,4$
b)	Pręt o węzłach wzajemnie poprzecznie przesuwnych ( $\mu > 1$ ), jednostronnie lub dwustronnie utwierdzony	$\beta M_{\max} = M_1 + 0,15M_2$ <sup>1)</sup> lecz $\beta \leq 1$
c)	Pręt podparty dwustronnie przegubowo ( $\mu = 1$ ), obciążony poprzecznie między węzłami i ewentualnie momentami w węzłach podporowych	$\beta M_{\max} = \max M (0,4l \leq z \leq 0,6l)$ <sup>2)</sup> lecz $\beta \geq 0,4$
d)	W pozostałych przypadkach, gdy nie przeprowadza się dokładnej analizy, należy przyjmować	$\beta M_{\max} = M_{\max}$
<sup>1)</sup> Jeśli $M_{\max}$ występuje między węzłami podporowymi, a także dla wspornika należy przyjmować $\beta = 1$ . <sup>2)</sup> Wartość $\beta M_{\max}$ przyjmuje się równą największej bezwzględnej wartości momentu w środkowym przedziale pręta o długości $0,2l$ .		

#### PRZYKŁAD.

Dana belka dwuprzęsłowa obciążona obciążeniem równomiernie rozłożonym. Belkę taką można zastąpić równoważnym układem belek swobodnie podpartych obciążonych momentami na podporach. Rozpatrując poszczególne przęsła belki możemy dla każdego z nich określić oddzielnie moment krytyczny i parametr  $\varphi_L$ .



Rozpatrujemy dwie belki:



$$\beta \cdot M_{\max} = 0,55M_1 + 0,45M_2$$

$$\beta \cdot M_{\max} = 0,55M_1$$

Wartość momentu krytycznego w ogólnym przypadku można obliczyć

$$M_{\text{cr}} = \pm A_0 \cdot N_y + \sqrt{(A_0 \cdot N_y)^2 + B^2 \cdot i_s^2 \cdot N_y \cdot N_z}$$

Stąd dalej warunek nośności belki na zginanie ze zwichrzeniem:

$$\frac{M_{\max}}{\phi_L M_R} \leq 1,0$$

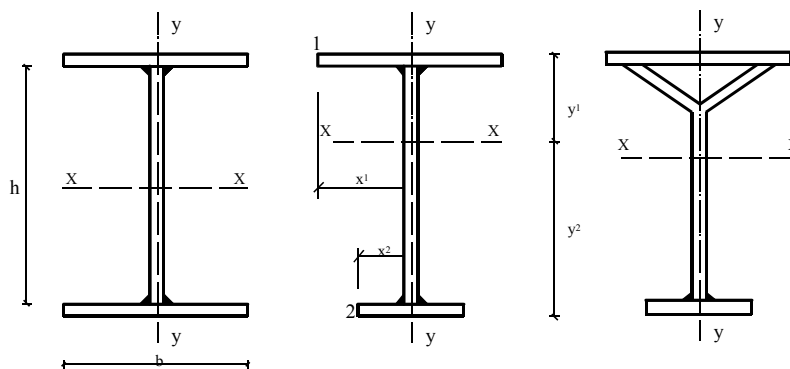
## 1.15. Blachownice

Blachownice są to belki wykonane z blach. Zwykle stosujemy je w przypadku, gdy nie można z różnych względów dobrać gotowych przekrojów walcowanych.

### 1.15.1 Przekroje blachownic

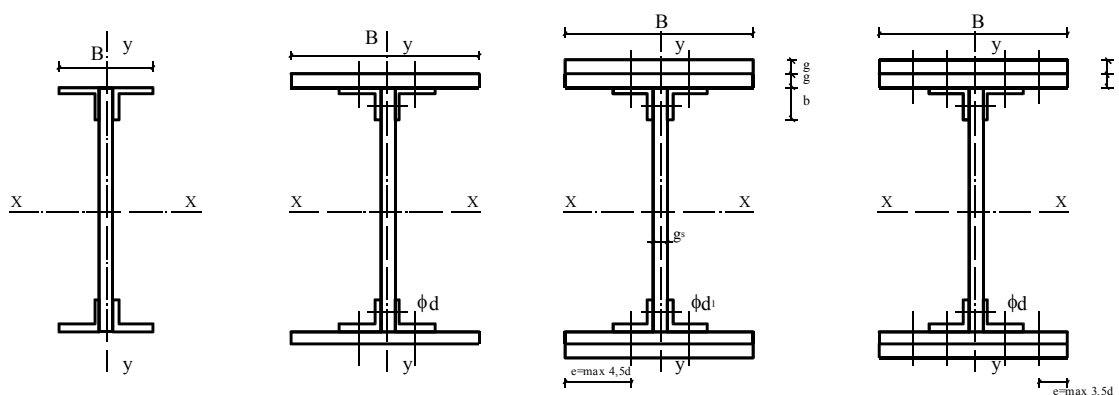
Przekroje najczęściej stosowanych blachownic dwuteowych.

-Blachownice dwukrotnie spawane:



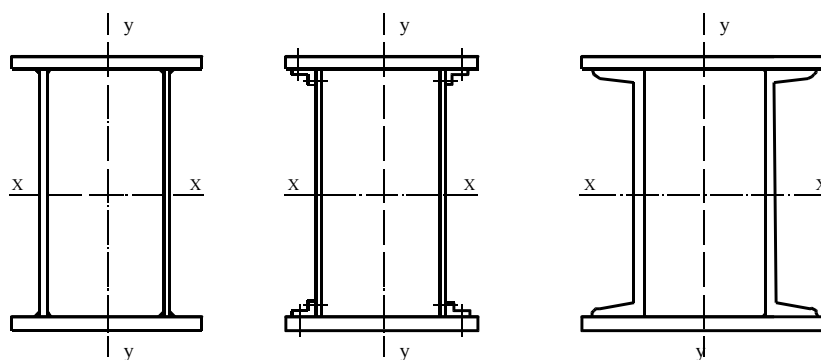
rys.1.36

-Blachownice dwukrotnie nitowane:



rys.1.37

-Blachownice skrzynkowe spawane i nitowane:



rys.1.38

Zalecenia dotyczące projektowania blachownic:

- ze względu na hipotezę płaskich przekrojów stosunek długości do wysokości konstrukcyjnej  $\frac{l}{h} > 5$ . Gdy warunek jest spełniony to różnica pomiędzy naprężeniami normalnymi, podłużnymi liczonymi dla płaskiego stanu naprężeń a naprężeniami liczonymi z uwzględnieniem hipotezy płaskich przekrojów przy zginaniu  $\Delta\sigma < 5\%$

- ze względu na stateczność lokalną  $\lambda = \frac{b}{h}$  smukłość pasów i średnika powinna być tak dobrana, aby nie

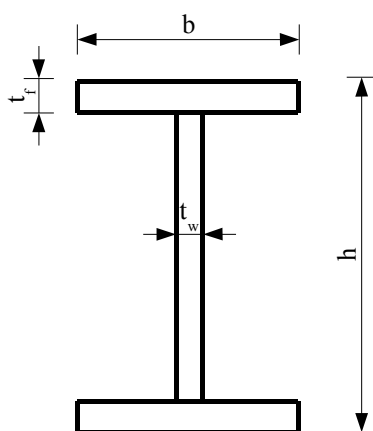
nastąpiła przedwczesna utrata stateczności lokalnej

Ponadto projektując blachownicę należy uwzględnić aby:

- sztywność giętno-skrętna była wystarczająca ze względu na ogólną utratę stateczności
- przekrój poprzeczny nie powinien zmieniać swojego kształtu po obciążeniu (z wyjątkiem przekrojów klasy 4 w liczonych w stanach nadkrytycznych).

### 1.15.2 Dobór przekrojów belki blachownicowej

Dany moment w przekroju belki i siła poprzeczna:  $M, V$ . Należy określić wymiary przekroju dwuteowej symetrycznej belki.



rys.1.39

Przed przystawieniem do obliczeń należy przyjąć:

- gatunek stali i stą wytrzymałość obliczeniową  $f_d$
- grubość środnika  $t_w$ , przy czym zaleca się aby  $t_{w\min} \geq 4\text{mm}$

Następnie oblicza się optymalną wysokość środnika:

$$h_{\text{opt}} = \alpha \sqrt{\frac{W_{\text{potrz}}}{t_w}}$$

gdzie:

$$W_{\text{potrz}} = \frac{M}{f_d},$$

$\alpha = 1,1 \div 1,3$  - parametr zależny od schematu statycznego belki.

$f_d$  – wytrzymałość obliczeniowa stali

Po obliczeniu  $h_{\text{opt}}$  zaokrągla się wymiary do wartości  $h_w$  wynikającej z zaleceń architektonicznych lub np. dopasowuje się do szerokości handlowych arkuszy blach.

W typowych przypadkach zaleca się aby:

$$\lambda_w = \frac{h_w}{t_w} \cong 100 \div 120$$

Dobór pasów. Zakłada się grubość pasów:  $t_f \cong 2 \cdot t_w$  i oblicza potrzebny moment bezwładności pasów:

$$I_{\text{potrz.pasa}} = I_{\text{całk}} - I_{\text{śr}}$$

$$I_{\text{całk.}} = W_{\text{potrz}} \cdot \left( \frac{h}{2} + t_f \right)$$

$$I_{\text{śr}} = \frac{h_w^3 \cdot t_w}{12}$$

Przyjmuje się następnie szerokość  $b$  i oblicza moment bezwładności pasa.  $I_{\text{pasa}}$ :

$$I_{\text{pasa}} \cong 2 \cdot \left[ \frac{b \cdot t_t^3}{12} + b \cdot t_f \cdot \left( \frac{h}{2} + \frac{t_f}{2} \right)^2 \right] \geq I_{\text{potrz.pasa}}$$

Dobierając przekrój pasa należy uwzględnić również szerokości handlowe blach. Pasy blachownic projektujemy z płaskowników lub blach uniwersalnych a środniki z blach uniwersalnych lub blach grubych.

Zaleca się dla prawidłowo dobranego przekroju dwuteowego aby:

$$\frac{b}{h} = \frac{1}{5} \div \frac{1}{3}$$

Po doborze przekroju należy dokonać sprawdzenia warunków normowych nośności:

- Stan Graniczny Nośności (SGN)
- nośność najbardziej wyjątkowego przekroju:
  1. zginanie
 
$$\frac{M_{\text{max}}}{M_R} \leq 1,0$$
  - ścinanie
 
$$\frac{V_{\text{max}}}{V_R} \leq 1,0$$
  - zginanie ze ścinaniem ( gdy dane  $M, V$  )
 
$$\frac{M}{M_{RV}} \leq 1,0$$
  - zwichrzenie
 
$$\frac{M}{\varphi_L \cdot M_R} \leq 1,0$$

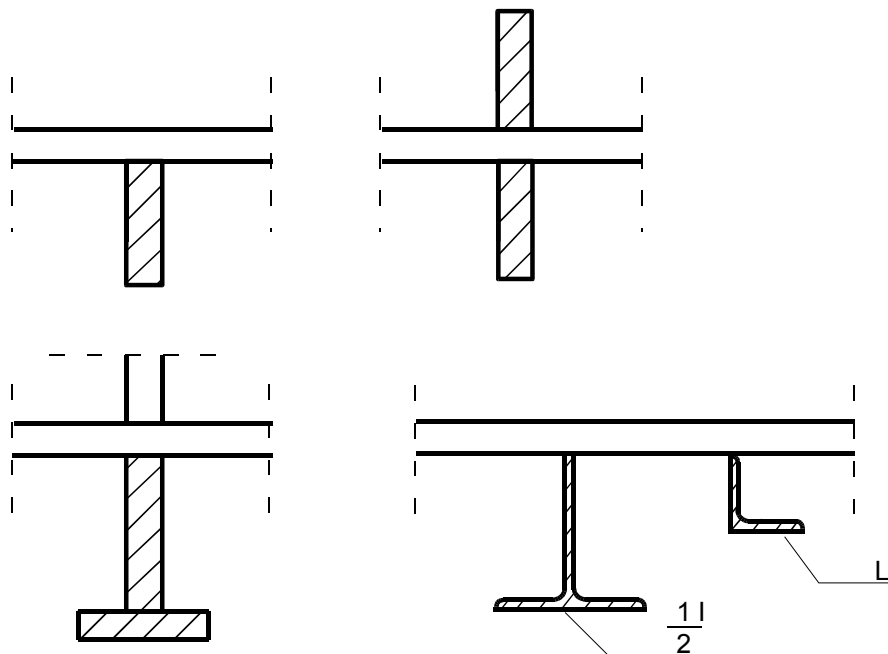
Stan Graniczny Użytkowania (SGU):

- ugięcie
 
$$f \leq f_{gr.}$$
- drgania ( amplituda i częstość drgań)

### 1.15.3 Żebra usztywniające środnik

Dla zwiększenia nośności przekroju belki, w sytuacjach kiedy jest to obliczeniowo lub konstrukcyjnie

uzasadnione stosuje się żebra usztywniające środnik. Na ogół nie stosuje się żebra usztywniających pas. Stateczność lokalna pasa zapewnia się poprzez dobór odpowiedniej grubości  $t_f$ . Wyjątkiem mogą być pasy przekrojów skrzynkowych, które wzmacnia się przeponami wewnątrz przekroju. Przekroje żebra usztywniającego środnik:



rys. 1.40.

Rozstaw żebra powinien być tak dobrany, aby spełnione były warunki nośności przekroju belki z uwzględnieniem stateczności lokalnej.

$$\frac{M}{M_R} \leq 1,0 \qquad \frac{V}{V_R} \leq 1,0$$

gdzie :

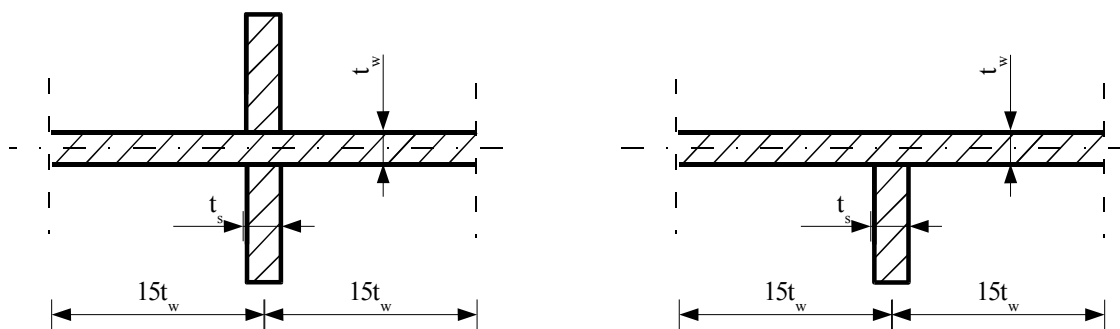
$$M_R = \psi \cdot W_c \cdot f_d ; V_R = 0,58 \cdot \varphi_{pv} \cdot A_v \cdot f_d$$

Odpowiednio dobrane żebra usztywniające środnik powodują zwiększanie współczynników niestateczności  $\psi$  ;  $\varphi_{pv}$  a tym samym zwiększenie nośności przekroju.

**W przypadku żebra usztywniającego środnik** belki rozróżnia się żebra poprzeczne i podłużne

**Przekrój żebra poprzecznego** dobieramy z warunku niezbędnej sztywności (nie ogranicza się klasy przekroju żebra poprzecznego):





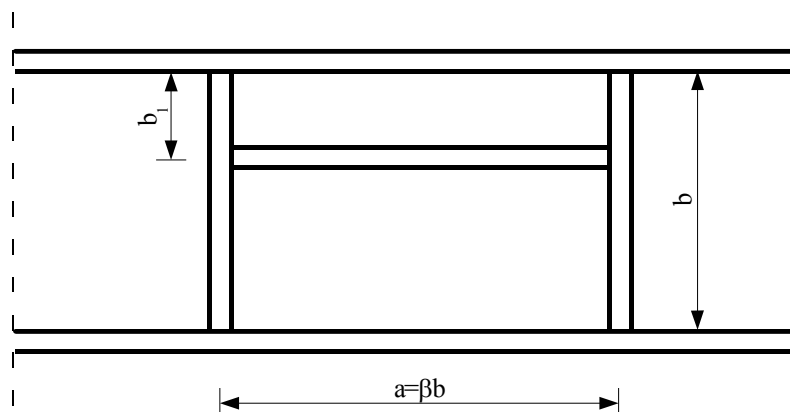
rys.1.41

Przy obliczaniu  $I_s$ - z uwzględnia się do współpracy środnik na odcinku  $30t_w$ :

$$I_s \geq k \cdot b \cdot t^3 \quad (t=t_w)$$

$$k = 1,5 \cdot \left(\frac{b}{a}\right)^2 ; k \geq 0,75$$

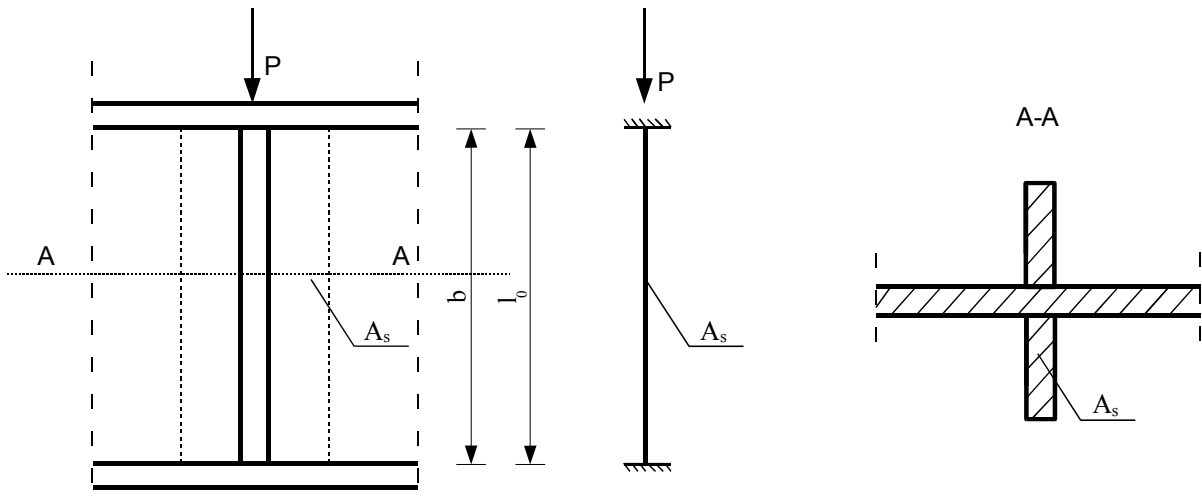
Żebra poprzeczne usztywniające środnik należy stosować po siłami skupionymi oraz na długości belki w rozstawach nie większych niż  $2b$  ( $a \leq 2b$ ) Ponadto w przekrojach kl.4 , należy zawsze stosować żebra usztywniające co max.  $2b$ .



rys. 1.42.

$$\beta \leq 2,0$$

Żeberka podporowe oraz żebra pod siłami skupionymi należy dodatkowo sprawdzić na ściskanie z wybozczeniem- jak słupy częściowo utwierdzone na podporach.



rys. 1.43

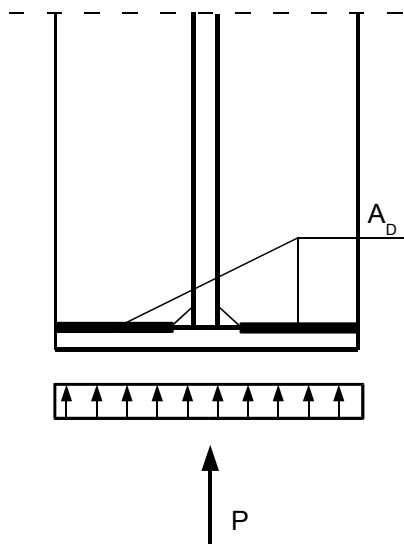
$$N_R = \varphi_x \cdot A_s \cdot f_d ; \quad \text{gdzie: } \lambda = \frac{l_0}{i} ; \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_p} ; \lambda_p = 84 \sqrt{\frac{215}{f_d}} ; i = \sqrt{\frac{I_s}{A_s}}$$

$$\varphi \leftarrow \bar{\lambda} - \text{norma tabl. 11 kol. C}$$

Warunek nośności:

$$\frac{P}{\varphi \cdot N_R} \leq 1,0$$

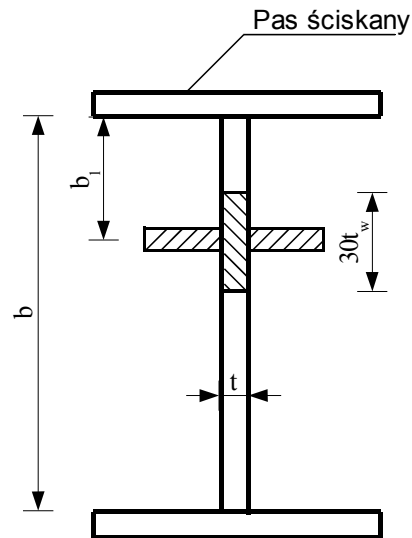
Od strony działania siły skupionej żebro należy sprawdzić dodatkowo na docisk.



rys. 1.44

$$\sigma_d = \frac{P}{A_d} \leq 1,25f_d$$

**Żebra podłużne** stosujemy w belkach wysokich, w strefach ściskanych tam, gdzie jest to obliczeniowo uzasadnione.



rys. 1.45

Żebro podłużne powinno mieć przekrój poprzeczny klasy nie wyższy niż 3. Dobieramy przekrój ze względu na sztywność:

$$I_s \geq k \cdot b \cdot t^3$$

gdzie:

- dla belek, gdy  $b_1 = (0,25 \div 0,33)b$

$$k = 4 \cdot \frac{a}{b} \sqrt{\frac{a}{b}} \cdot \delta \quad \text{lecz: } k \geq \frac{a}{b}$$

przy czym:

$$\frac{1}{2} \leq \frac{a}{b} \leq 2,0$$

- dla słupów, gdy  $b_1 = \frac{1}{2} \cdot b$

$$k = 3 \cdot \frac{a}{b} \sqrt{\frac{a}{b}} \cdot \delta \quad \text{lecz: } k \geq 0,7 \cdot \frac{a}{b} \sqrt{\frac{a}{b}}$$

gdzie:

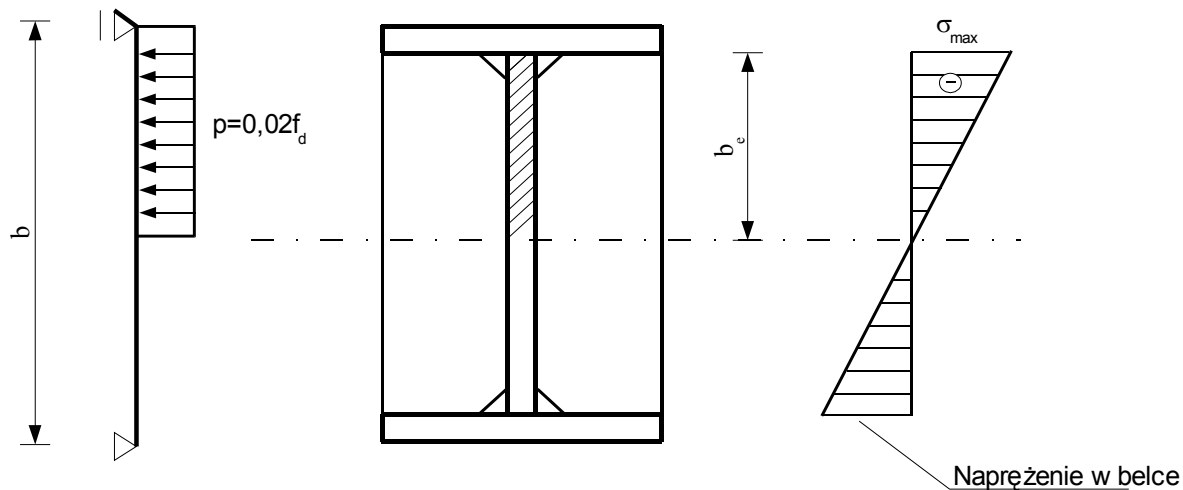
$$\delta = \frac{A_s}{A_w} = \frac{A_s}{b \cdot t_w} \quad (\text{stosunek pola powierzchni żebra do pola powierzchni usztywnianej ścianki} \\ \text{średnika})$$

przy czym  $0,05 \leq \delta \leq 0,20$

## UWAGA:

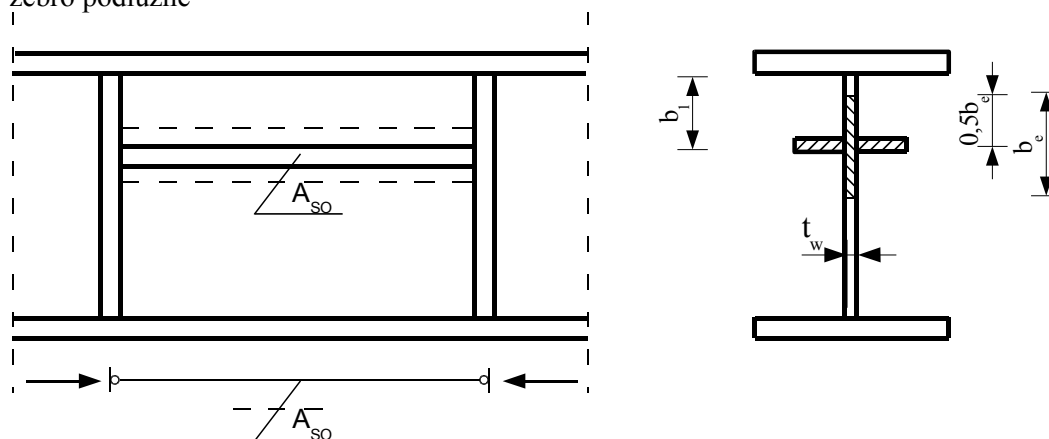
Dla środników belek klasy 4 w stanie nadkrytycznym żebra muszą być dodatkowo sprawdzone na obciążenia powstałe w chwili utraty stateczności środnika, tj.:

- żebro poprzeczne



rys. 1.46

- żebro podłużne



rys. 1.47

$$A_{so} = A_s + b_e \cdot t_w$$

$$N_o = 0,5 A_{so} \cdot f_d$$

gdzie:

$A_c$ -pole przekroju ściskanej części środnika

### 1.16. Styki belek pełnościennych

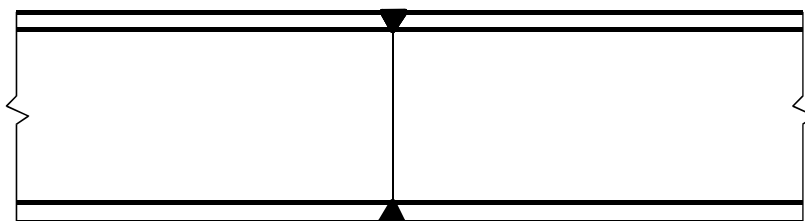
Rozróżnia się:

- styki warsztatowe- wynikają z długości handlowej belek i profili oraz z możliwości technologicznych warsztatu; muszą przenosić to samo obciążenie co przekrój „na przekrój”.

- styki montażowe- wynikają z możliwości montażowych i wymiarów transportowych elementów. Styki te wymiaruje się „na przekrój”(wartości sił określa pełna nośność przekroju lub „na siłę”(wartości obliczeniowych sił w styku określa się arbitralnie); W warunkach budowy trudno jest uzyskać ich dobrą jakość- stąd powinny być tak projektowane aby jak najłatwiej wykonać je z odpowiednią jakością. Najkorzystniej w tych połączeniach stosować śruby zwykłe i sprężające. Połączenia montażowe spawane stosuje się w tych przypadkach gdzie użycie śrub jest niemożliwe np. w przypadku powłok zbiorników, belek podsuwnicowych, rurociągów ciśnieniowych. W tych przypadkach dla zapewnienia właściwej jakości spoin należy poddać je badaniom ultradźwiękowym lub radiologicznym. W niektórych przypadkach stosuje się styki spawano-śrubowane. Nie zaleca się stosować styków montażowych w miejscach maksymalnych obciążeń (sił wewnętrznych). Przykładowo w belkach korzystne jest usytuowanie styku w miejscu zerowego momentu.

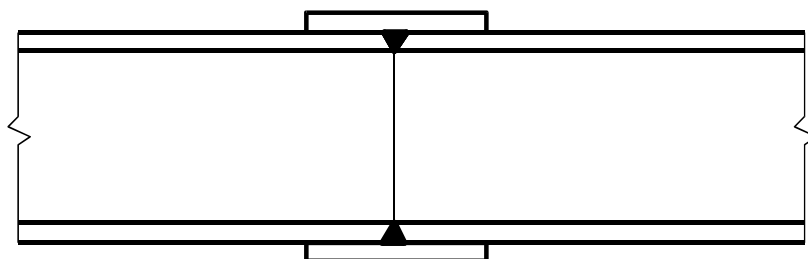
### 1.16.1.Styki spawane:

- belki walcowane o wysokości do 200mm



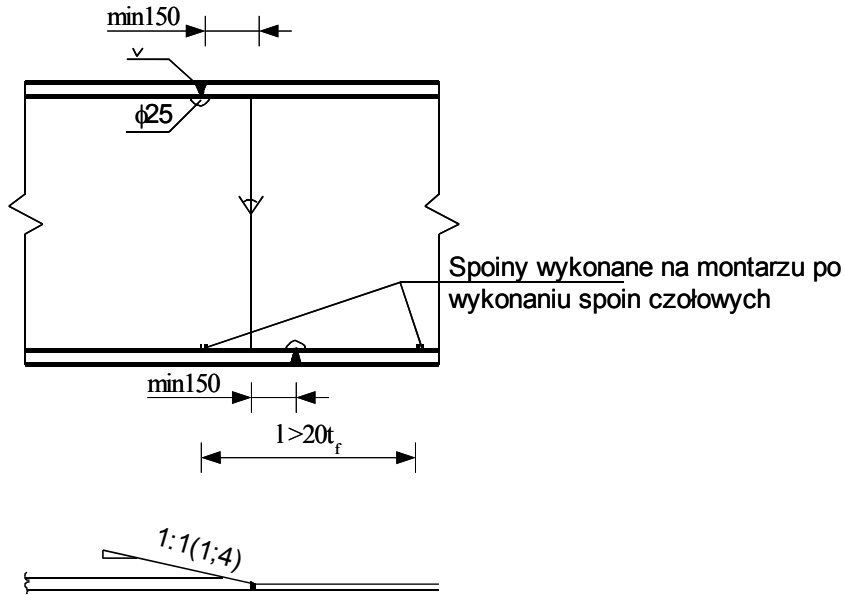
rys. 1.48

-belki walcowane powyżej  $h= 200\text{mm}$



rys. 1.49

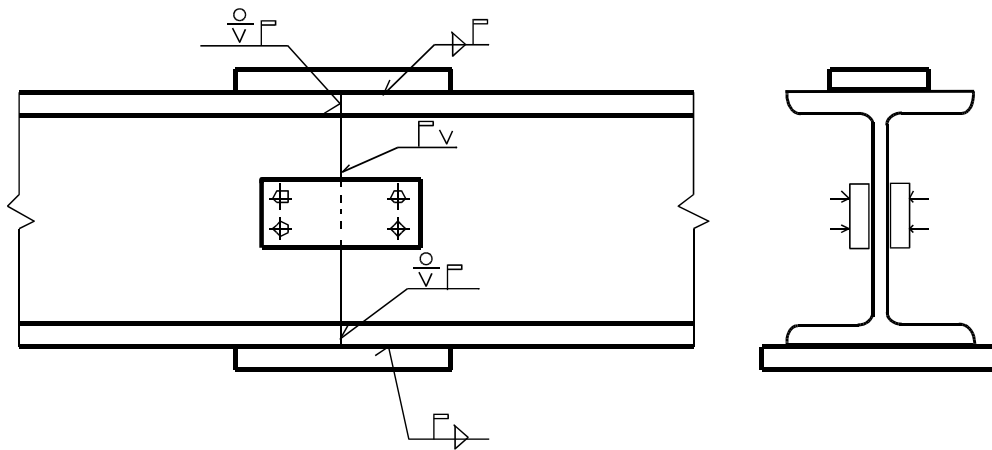
-belki blachownicowe



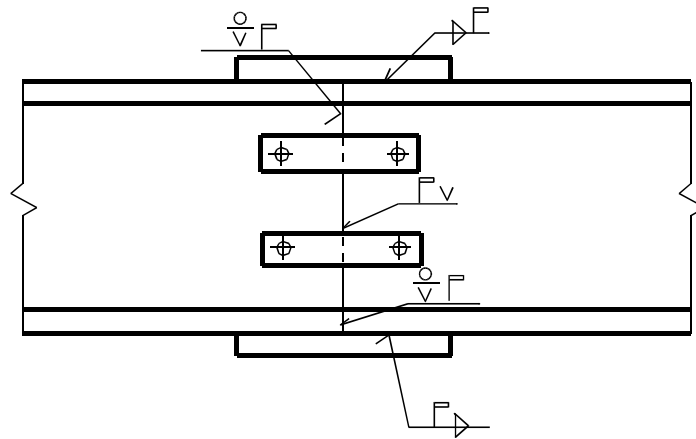
rys. 1.50

UWAGA:

Styki pasów powinny być usytuowane prostopadle do osi podłużnej belki.  
Inne rozwiązania konstrukcyjne styków średników:

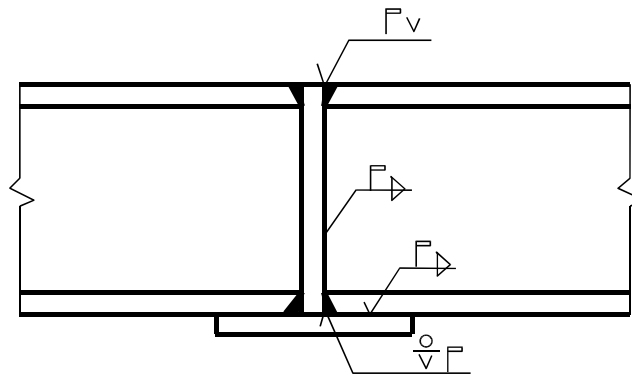


rys. 1.51



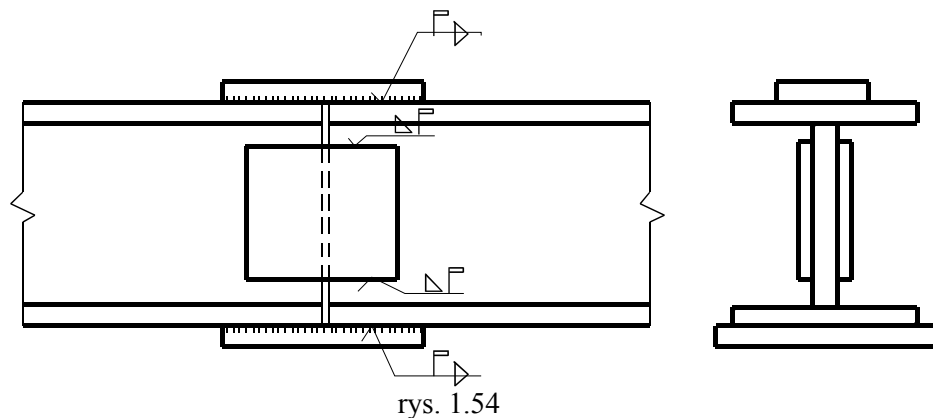
rys. 1.52

- styk przeponowy- warsztatowy- blacha przeponowa kontrolowana defektoskopowo



rys. 1.53

- styki nakładkowo- przykładowe



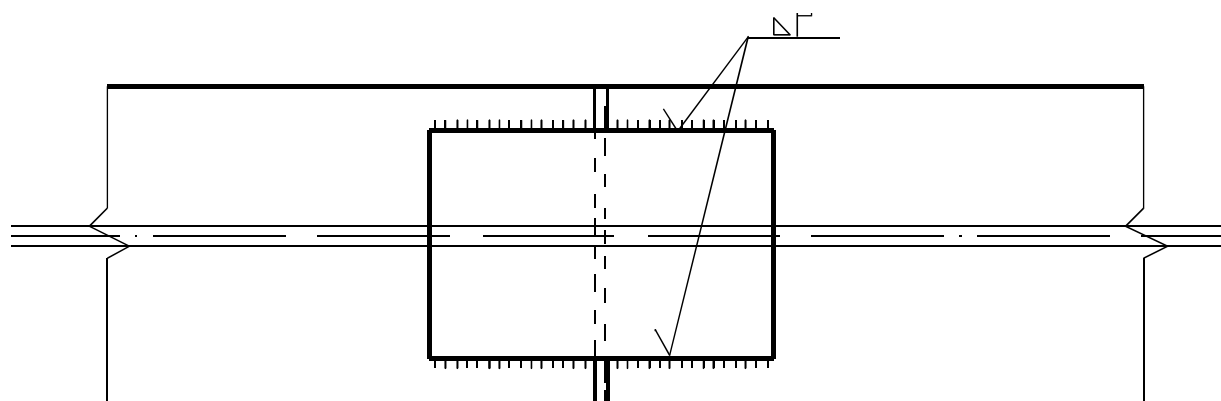
rys. 1.54

UWAGA:

Środek ciężkości elementów łączących powinien pokrywać się ze środkiem ciężkości blachownicy. Nakładki projektuje się na obciążenie przenoszone przez pasy, przykładowo- przez środnik.

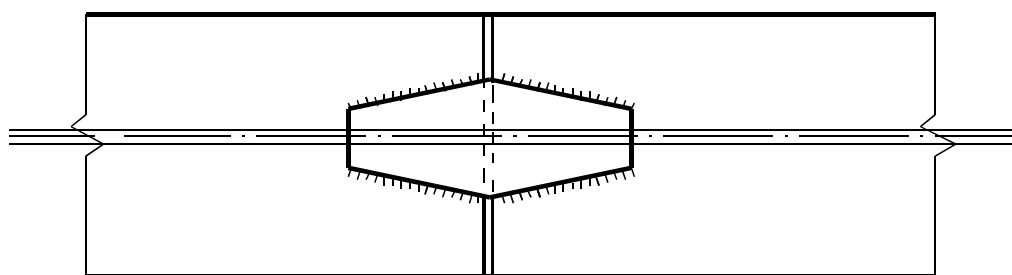
- nakładki pasowe

dla obciążeń statycznych i dla pasa ściskanego



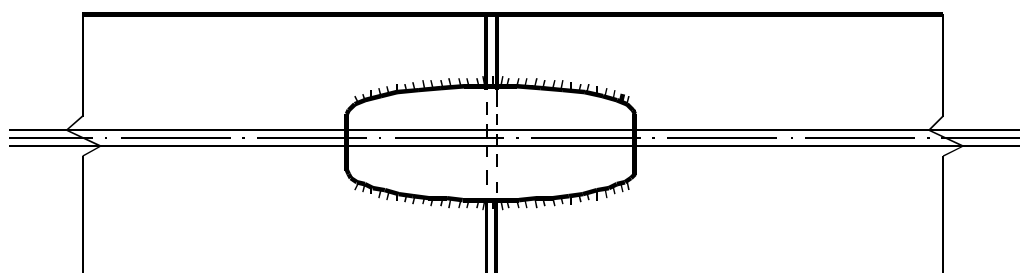
rys. 1.55

dla obciążeń dynamicznych i pasów rozciąganych



rys. 1.56

dla konstrukcji silnie obciążonych dynamicznie



rys. 1.57

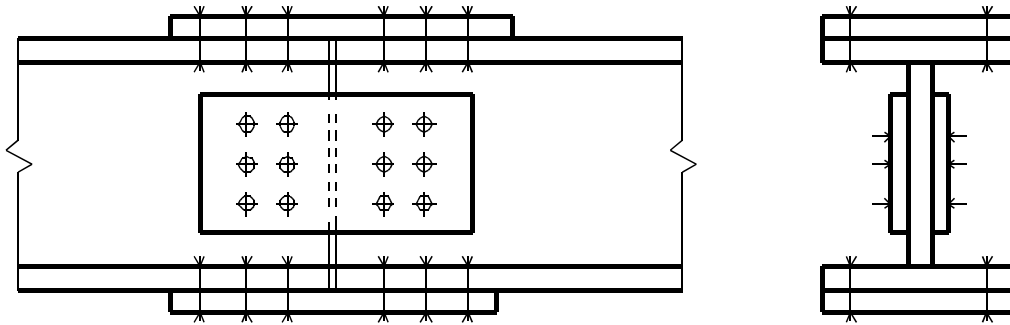
**UWAGA:**

W pasach rozciąganych obciążonych dynamicznie nie należy stosować spoin poprzecznych do osi belki.



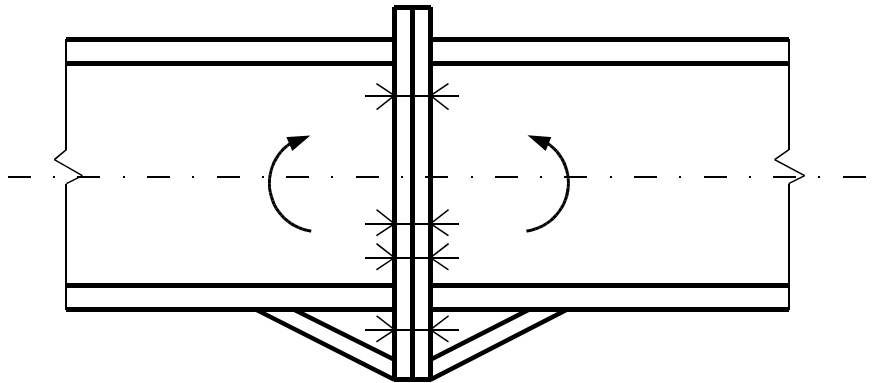
### 1.16.2 Styki na śruby

- styki nakładkowo - przykładowe



rys. 1.58

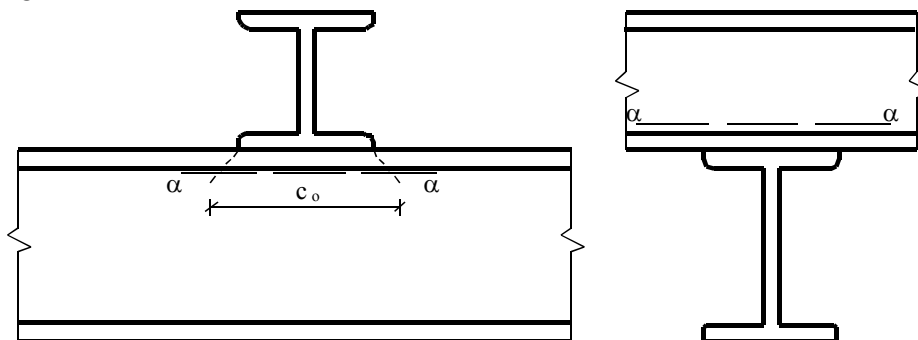
- styki doczołowe



rys. 1.59

### 1.17. Połączenia belek z podciągami.

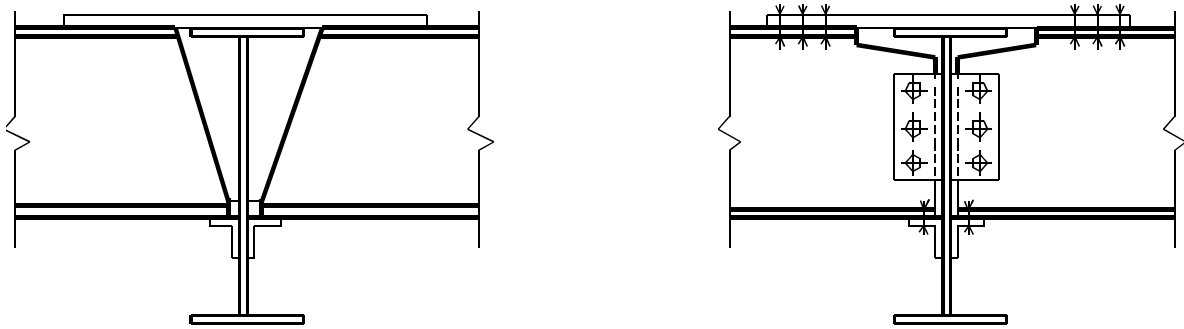
- połączenia ciągłe



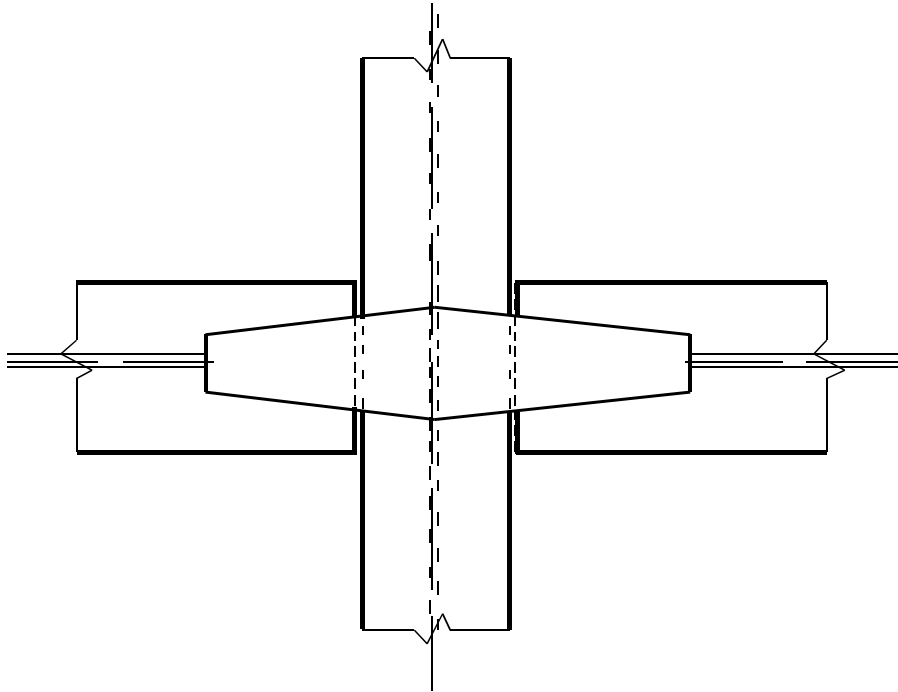
rys. 1.60

$$P_{RW} = c_0 \cdot t_w \cdot \eta_c \cdot f_d$$

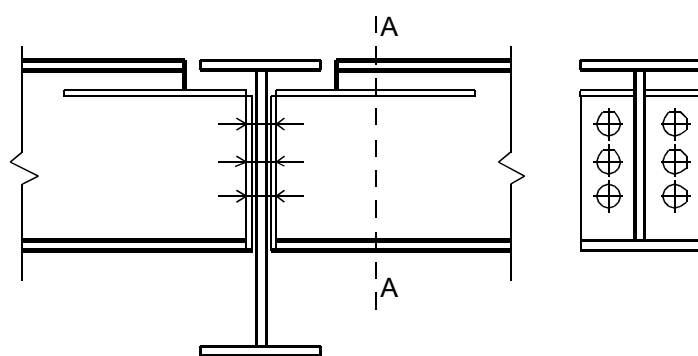
$$\eta_i = 1,25 - 0,5 \left( \frac{\sigma}{f_d} \right)$$



rys. 1.61

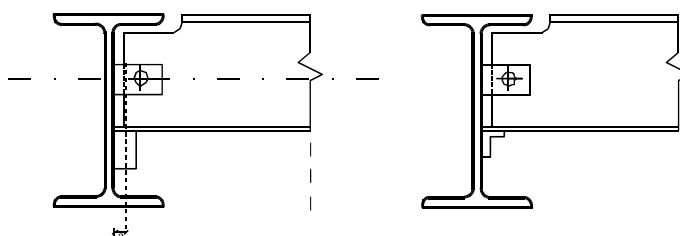


rys. 1.62

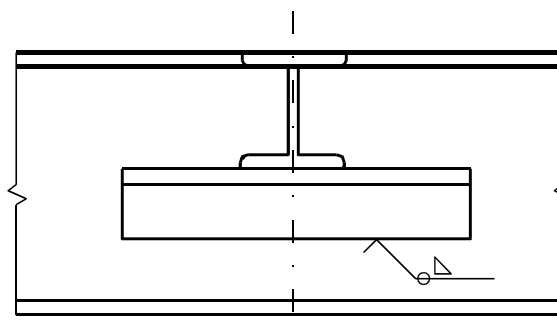


rys. 1.63

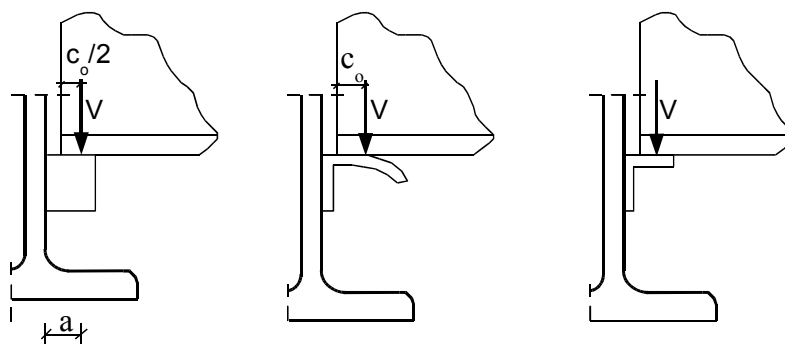
Połączenia przegubowe:



rys. 1.64



rys. 1.65

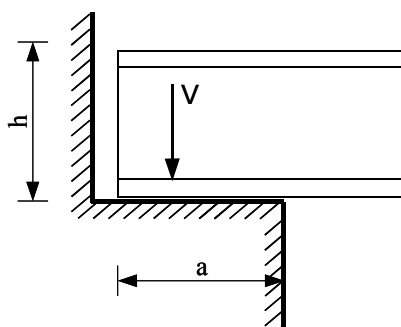


rys. 1.66

## 1.18. Oparcia belek

### 1.18.1. Oparcie bezpośrednie.

Oparcie bezpośrednie- na betonowej poduszce stosowane przy małych obciążeniach. Zaleca się aby grubość poduszki betonowej nie była mniejsza niż grubość dwóch warstw cegieł:



Rys. 1.67

$$a \leq 15 + \frac{h}{3} [\text{cm}]$$

$$\sigma_{bd} = \frac{V}{A_d} \leq f_j$$

$$A_d = a \cdot b ; f_j = R_b \cdot \omega$$

$$\omega = \sqrt{\frac{A_d}{A_p}} \leq 2,0$$

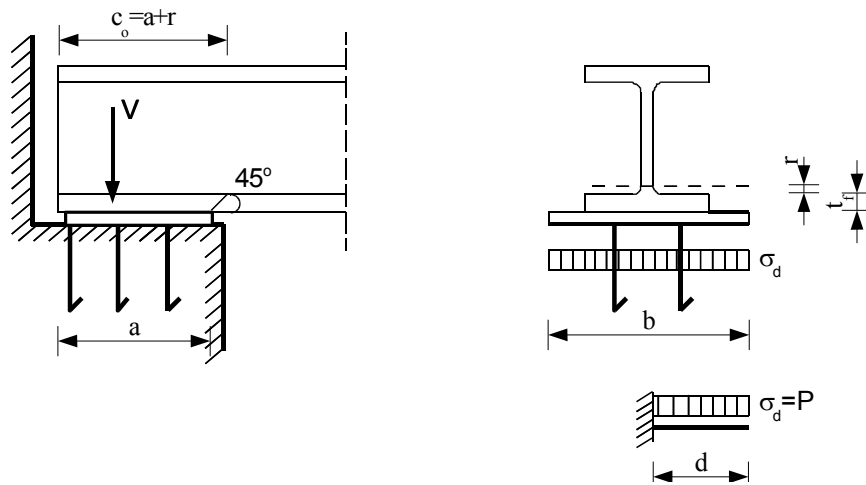
gdzie:

$A_d$  – powierzchnia docisku,  
 $A_p$  – powierzchnia rozdziału

W praktycznych przypadkach wystarczy przyjąć

$$f_j \approx 0,8R_b$$

### 1.18.2. Oparcie na płaskiej płytce stalowej:



rys. 1.68.

$$P \leq P_{Rw} = c_0 \cdot t_w \cdot \eta_c \cdot f_d$$

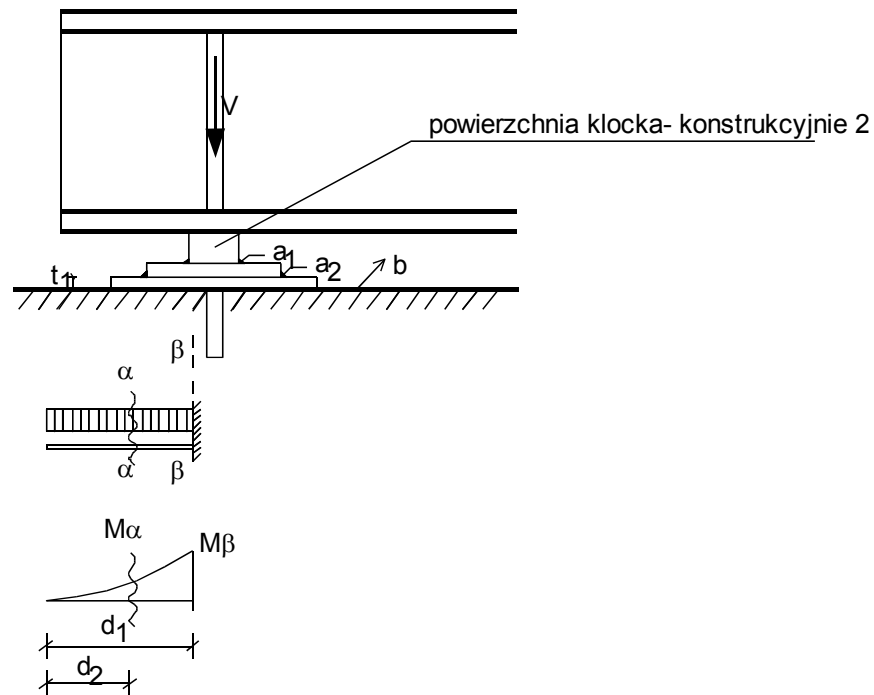
$$\eta_i = 1,25 - 0,5 \left( \frac{\sigma}{f_d} \right)$$

Grubość płytki stalowej określa się dla momentu zginającego i dla schematu belki wspornikowej o szerokości 1,0 cm

$$M = \sigma_d \cdot d^2 \cdot 0,5; \quad W = \frac{1,0 \cdot t_p^2}{6}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq f_d \Rightarrow t_p \geq \sqrt{\frac{3 \cdot \sigma_d \cdot d^2}{f_d}}$$

### 1.18.3. Oparcie na płytce centrującej (łożysko klockowe).



rys.1.69.

- powierzchnia blach na liczona na podstawie docisku do betonu :

$$\sigma_d = \frac{V}{A_d} \leq f_j$$

- grubość blach liczona podstawie momentów zginających wyciętych pasków blach o szerokości 1,0cm jak w rozdziale 1.18.2

$$M_\alpha \Rightarrow t_1$$

$$M_\beta \Rightarrow t_2$$

$$\sigma = \frac{M_{\alpha,\beta}}{W} \leq f_d$$

- spoiny

$$a_1 \geq \frac{V}{\alpha_\perp \cdot f_d \cdot z2i} \quad \text{- liczone na bezpośrednie ścinanie}$$

a2- liczone w złożonym stanie naprężeń

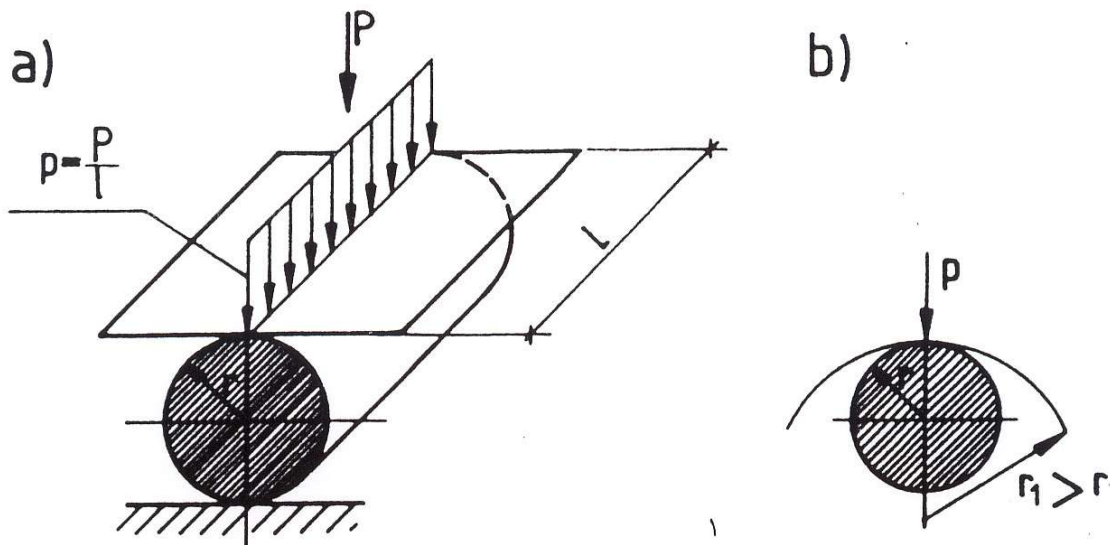
- siła rozwarstwiająca spoiny między blachami

$$\tau_{II} = \frac{T \cdot S}{a \cdot I_x} ; T = \frac{M_\beta - M_\alpha}{d_1 - d_2} ; \sigma_\perp = \frac{V}{a \cdot \Sigma l_i}$$

$$\chi \sqrt{\sigma_\perp + 3\tau_{II}^2} \leq f_d$$

#### 1.18.4. Łożyska rolkowe

Schemat obliczeniowy:



rys.1.70.

Naprężenia docisku  $\sigma_b$  w łożyskach podporowych należy sprawdzać wg. wzorów:

- przy docisku powierzchni płaskich

$$\sigma_b \leq f_{db}$$

- przy docisku powierzchni płaskiej do walcowanej

$$\sigma_{bH} = 0,42 \sqrt{\frac{p \cdot E}{r}} \leq f_{dbH}$$

- przy docisku powierzchni walcowych

$$\sigma_{bH} = 0,42 \sqrt{p \cdot E \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{r_1} \right)} \leq f_{dbH}$$

przy czym dodatkowo powinien być zawsze spełniony warunek

$$\sigma_b = \frac{p}{2r} \leq f_{db},$$

gdzie:

p- obciążenie liniowe na jednostkę długości wałka

$f_{db}$ ,  $f_{dbH}$ - wg. tablicy 3 PN -B3200