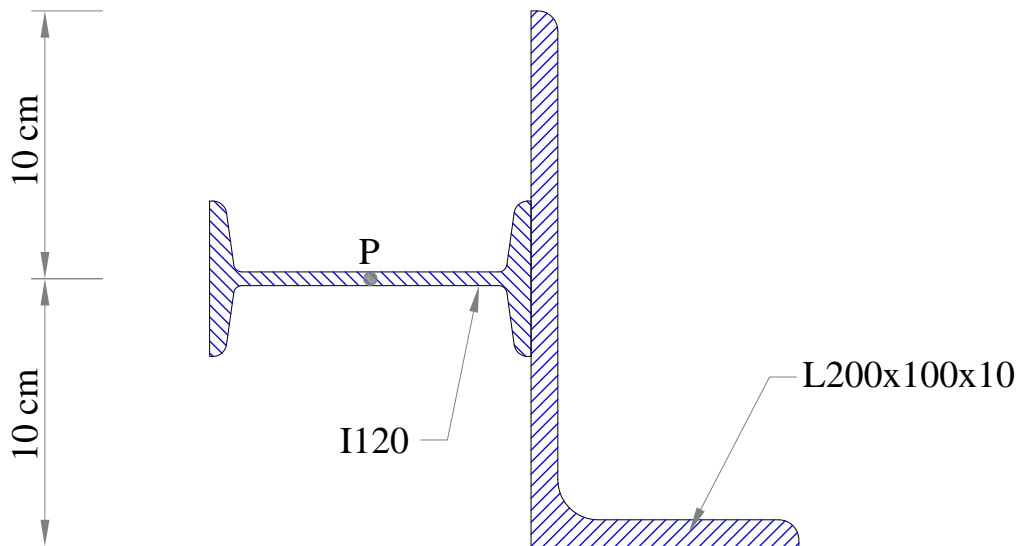


Przykład 4.1. Ściąg stalowy

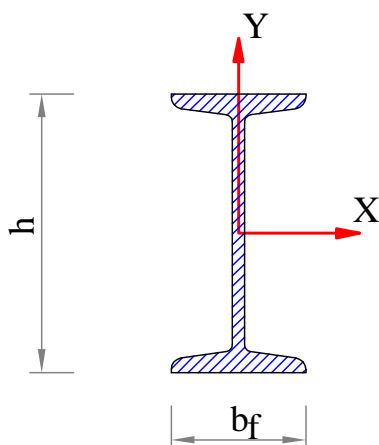
Obliczyć dopuszczalną siłę P rozciągającą ściąg stalowy o przekroju pokazanym na poniższym rysunku jeśli naprężenie dopuszczalne wynosi 215 MPa. Szukana siła P przyłożona jest w środku ciężkości dwuteownika.



Rozwiązanie

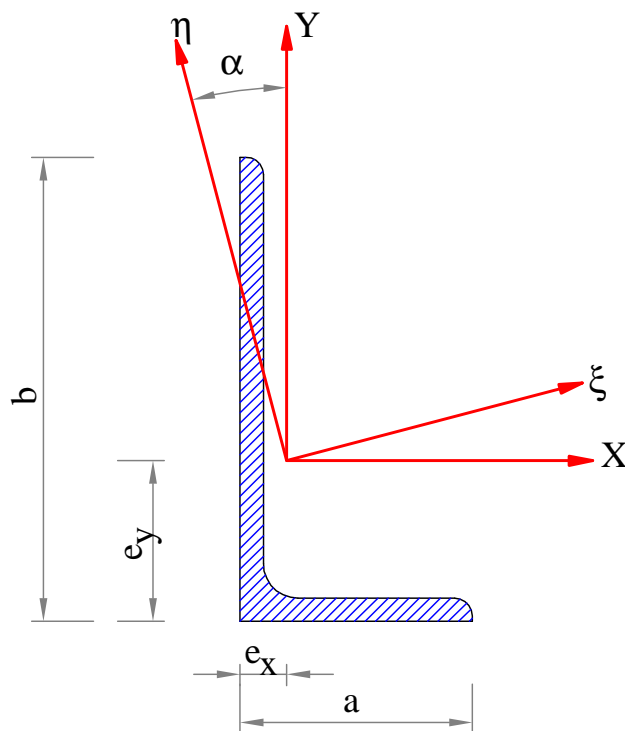
Rozpatrywany przekrój ściagu jest przekrojem złożonym z dwóch kształtowników: dwuteownika I120 i kątownika nierównoramiennego L200x100x10. Wartości charakterystyk geometrycznych użytych kształtowników zaczerpnięto z „Tablic do projektowania konstrukcji stalowych”, W. Bogucki i M. Żybertowicz, wyd. 6, Warszawa, 1995r. Poniżej, i na stronie następczej, zamieszczono potrzebne do rozwiązania rozpatrywanego zadania wielkości charakterystyczne w takim układzie współrzędnych, jaki przyjęty jest w „Tablicach”.

- dwuteownik I120:



$$\begin{aligned}h &= 120 \text{ mm} \\b_f &= 58 \text{ mm} \\A &= 14,2 \text{ cm}^2 \\I_x &= 328 \text{ cm}^4 \\I_y &= 21,5 \text{ cm}^4\end{aligned}$$

- kątownik nierównoramienny L200x100x10:



$$\begin{aligned} b &= 200 \text{ mm} \\ a &= 100 \text{ mm} \\ e_x &= 2,01 \text{ cm} \\ e_y &= 6,93 \text{ cm} \\ \operatorname{tg} \alpha &= 0,263 \\ A &= 29,2 \text{ cm}^2 \\ I_x &= 1219 \text{ cm}^4 \\ I_y &= 210 \text{ cm}^4 \\ I_\eta &= 135,2 \text{ cm}^4 = I_{\min} \end{aligned}$$

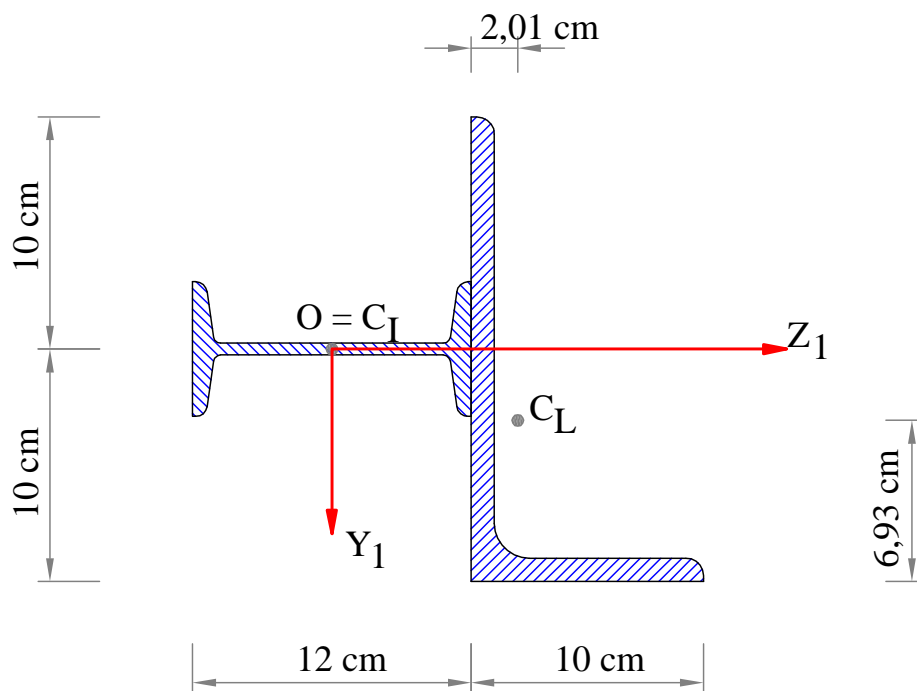
W celu obliczenia maksymalnej dopuszczalnej wartości siły P należy obliczyć ekstremalne naprężenia w ściąg, traktując wartość siły P jako znaną, a następnie tak obliczone naprężenie porównać z wartością dopuszczalną.

W poniższym przykładzie zaprezentowane są dwa sposoby obliczenia naprężeń normalnych. W pierwszym naprężenia określa się korzystając ze wzoru na naprężenia normalne względem osi głównych centralnych, w drugim z bardziej ogólnego wzoru na naprężenia normalne względem osi centralnych.

Niezależnie od przyjętego sposobu rozwiązanie zadania rozpocząć należy od określenia charakterystyk geometrycznych rozpatrywanego przekroju złożonego.

1. Wyznaczenie środka ciężkości

W celu wyznaczenia środka ciężkości przyjęto wstępny układ współrzędnych Y_1OZ_1 .



W tym układzie obliczone są momenty statyczne S_{y_1} i S_{z_1} :

$$S_{y_1} = 14,2 \cdot 0 + 29,2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 12 + 2,01 \right) = 0 + 29,2 \cdot 8,01 = 233,9 \text{ cm}^3$$

$$S_{z_1} = 14,2 \cdot 0 + 29,2 \cdot (10 - 6,93) = 0 + 29,2 \cdot 3,07 = 89,64 \text{ cm}^3$$

Pole przekroju A ma zaś wartość

$$A = 14,2 + 29,2 = 43,4 \text{ cm}^2$$

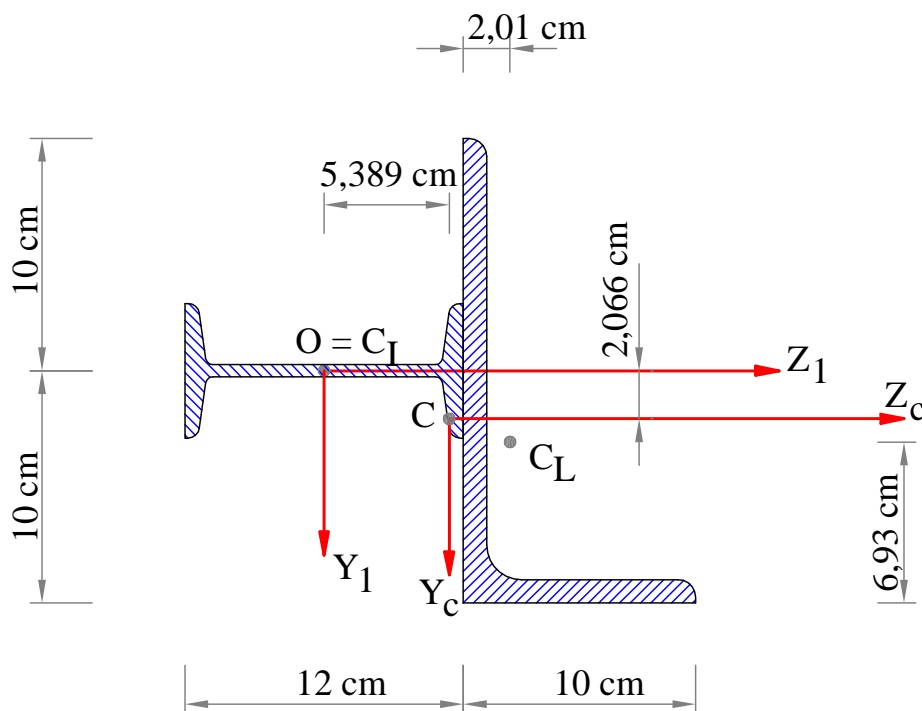
Tak więc, środek ciężkości C ma następujące współrzędne w układzie Y_1OZ_1 :

$$y_c = \frac{S_{z_1}}{A} = \frac{89,64}{43,4} = 2,066 \text{ cm}$$

$$z_c = \frac{S_{y_1}}{A} = \frac{233,9}{43,4} = 5,389 \text{ cm}$$

2. Wyznaczenie centralnych momentów bezładności

Przyjmijmy nowy centralny układ współrzędnych $Y_c C Z_c$.



Dla tak przyjętego układu współrzędnych obliczane są, przy pomocy wzorów Steiner'a, centralne momenty bezładności:

$$I_{y_c} = 328 + 14,2 \cdot (-5,389)^2 + 210 + 29,2 \cdot (-5,389 + 8,01)^2 = \\ = 328 + 412,4 + 210 + 29,2 \cdot 2,621^2 = 1151 \text{ cm}^4$$

$$I_{z_c} = 21,5 + 14,2 \cdot (-2,066)^2 + 12194 + 29,2 \cdot (-2,066 + 3,07)^2 = \\ = 21,5 + 60,58 + 1219 + 29,2 \cdot 1,004^2 = 1331 \text{ cm}^4$$

Aby obliczyć dewiacyjny moment bezładności $I_{y_c z_c}$ rozpatrywanego przekroju potrzebna jest znajomość dewiacyjnego momentu bezładności kątownika nierównoramiennego wchodzącego w skład przekroju złożonego (dla dwuteownika jest on oczywiście równy zero, gdyż dwuteownik jest figurą symetryczną). Nieznany moment kątownika można łatwo obliczyć wykorzystując inne wielkości charakterystyczne kątownika. W tym celu wystarczy przekształcić znany wzór na wartość kąta nachylenia osi głównych:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{-2I_{xy}}{I_x - I_y} \implies I_{xy} = -\frac{1}{2}(I_x - I_y) \cdot \operatorname{tg} 2\alpha$$

Wartości I_x i I_y są dane, zaś kąt α obliczamy następująco:

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,263 \implies \alpha = 14,74^\circ$$

Stąd wartość biegunowego momentu bezładności kątownika nierównoramiennego wchodzącego w skład przekroju złożonego jest równa:

$$I_{xy} = -\frac{1}{2}(1219 - 210) \cdot \operatorname{tg}(2 \cdot 14,74^\circ) = -285,1 \text{ cm}^4$$

Inna metoda obliczenia nieznannej wartości I_{xy} polega na wykorzystaniu zależności pomiędzy wartościami momentów bezwładności:

- wzoru na promień koła Mohra

$$\left(\frac{J_x - J_y}{2}\right)^2 + J_{xy}^2 = \left(\frac{J_1 - J_2}{2}\right)^2 \implies J_{xy}^2 = \left(\frac{J_1 - J_2}{2}\right)^2 - \left(\frac{J_x - J_y}{2}\right)^2$$

- niezmiennika sumy momentów bezwładności

$$J_x + J_y = J_1 + J_2 \implies J_1 = J_x + J_y - J_2$$

Po podstawieniu odpowiednich wartości otrzymujemy:

$$J_1 = 1219 + 210 - 135,2 = 1293,8 \text{ cm}^4$$

$$J_{xy}^2 = \left(\frac{1293,8 - 135,2}{2}\right)^2 - \left(\frac{1219 - 210}{2}\right)^2 = (-284,7 \text{ cm}^4)^2$$

Jak widać wyniki otrzymane dwoma metodami różnią się. Jest to spowodowane zaokrągleniami wartości $\text{tg } \alpha$ oraz J_{min} charakteryzujących przekrój kątownika L200x100x10, które zostały wykorzystane do obliczenia J_{xy} . Zakładając, że obie te wielkości charakterystyczne obciążone są identycznym błędem zasadne jest przyjęcie do dalszych obliczeń średnią arytmetyczną tych dwóch wartości.

$$J_{xy} = \frac{-285,1 - 284,7}{2} = -284,9 \text{ cm}^4$$

Tak więc, można już obliczyć wartość momentu dewiacyjnego $I_{y_{czc}}$ rozpatrywanego przekroju złożonego:

$$I_{y_{czc}} = 0 + 14,2 \cdot (-5,389) \cdot (-2,066) + 284,9 + 29,2 \cdot 1,004 \cdot 2,621 = 519,8 \text{ cm}^4$$

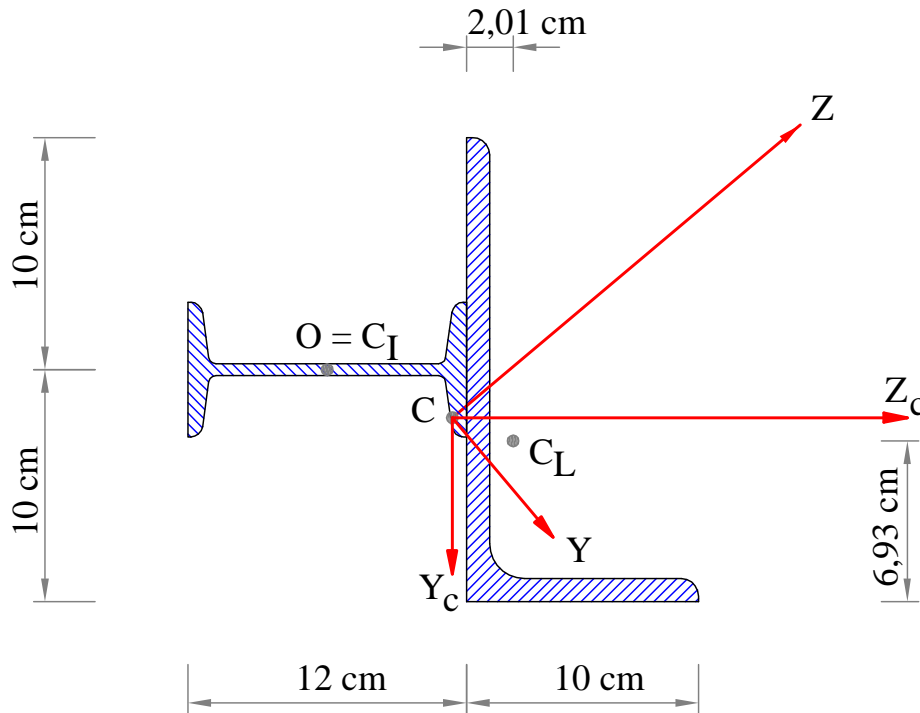
Dalszy algorytm postępowania uzależniony jest od przyjętego sposobu rozwiązywania. W przypadku obliczania naprężeń normalnych względem osi głównych centralnych należy w pierwszej kolejności wyznaczyć te osie.

SPOSÓB A - obliczenia przy użyciu wzorów określonych dla osi głównych centralnych

3.A. Wyznaczenie głównych centralnych osi i momentów bezładności

Kąt nachylenia osi głównych Y i Z obliczamy następująco:

$$\text{tg } 2\alpha = \frac{-2I_{y_{czc}}}{I_{y_c} - I_{z_c}} = \frac{-2 \cdot 519,8}{1151 - 1331} = 5,790 \implies 2\alpha = 80,20^\circ \implies \alpha = 40,10^\circ$$



Zaś w celu obliczenia momentów głównych centralnych korzystamy z poniższego wzoru:

$$I_{1,2} = \frac{1}{2} (I_{y_c} + I_{z_c}) \pm \frac{1}{2} \sqrt{(I_{y_c} - I_{z_c})^2 + 4I_{y_c z_c}^2}$$

W rozpatrywanym przypadku

$$\begin{aligned} I_{1,2} &= \frac{1}{2} (13314 + 1151) \pm \frac{1}{2} \sqrt{(1331 - 1151)^2 + 4(-519,8)^2} = \\ &= (1241 \pm 527,5) \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Tak więc, maksymalny główny centralny moment bezwładności I_1 odpowiadający momentowi I_z (gdyż $I_{z_c} > I_{y_c}$) oraz moment minimalny $I_2 = I_y$ mają wartości:

$$\begin{aligned} I_1 &= 1241 + 527,5 = 1768 \text{ cm}^4 &= I_z \\ I_2 &= 1241 - 527,5 = 713,2 \text{ cm}^4 &= I_y \end{aligned}$$

Sprawdzenie poprawności obliczeń można wykonać na dwa sposoby:

$$\begin{aligned} I_{y_c} + I_{z_c} &= I_1 + I_2 \\ 1331 \text{ cm}^4 + 1151 \text{ cm}^4 &= 1768 \text{ cm}^4 + 713,2 \text{ cm}^4 \\ 2482 \text{ cm}^4 &= 2482 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{y_c} I_{z_c} - (I_{y_c z_c})^2 &= I_1 I_2 \\ 1331 \text{ cm}^4 \cdot 1151 \text{ cm}^4 - (-519,8 \text{ cm}^4)^2 &= 1768 \text{ cm}^4 \cdot 713,2 \text{ cm}^4 \\ 1261194 \text{ cm}^8 &= 1261194 \text{ cm}^8 \end{aligned}$$

Równoznaczność otrzymanych wyników z lewej i prawej strony potwierdza poprawność obliczeń.

4.A. Obliczenie mimośrodków siły

Aby wyznaczyć współrzędne punktu przyłożenia siły we współrzędnych YCZ , które są jednocześnie mimośrodkami przyłożenia siły, konieczne jest wyprowadzenie wzoru transformującego znane współrzędne Y_cCZ_c na współrzędne szukane. W rozpatrywanym przypadku wzór ten ma postać:

$$\begin{aligned}y &= y_c \cos \alpha + z_c \sin \alpha = y_c \cos 40,10^\circ + z_c \sin 40,10^\circ = 0,7649y_c + 0,6441z_c \\z &= -y_c \sin \alpha + z_c \cos \alpha = -y_c \sin 40,10^\circ + z_c \cos 40,10^\circ = -0,6441y_c + 0,7649z_c\end{aligned}\quad (*)$$

Współrzędne punktu P przyłożenia obciążenia w układzie Y_cCZ_c mają wartość:

$$\begin{aligned}y_c^P &= -2,066 \text{ cm} \\z_c^P &= -5,389 \text{ cm}\end{aligned}$$

co oznacza, że mimośrodky siły są równe:

$$\begin{aligned}y^P &= 0,7649 \cdot (-2,066) + 0,6441 \cdot (-5,389) = -5,051 \text{ cm} = e_y \\z^P &= -0,6441 \cdot (-2,066) + 0,7649 \cdot (-5,389) = -2,792 \text{ cm} = e_z\end{aligned}$$

5.A. Obliczenie sił przekrojowych

Zakłada się, że składowe momentu zginającego mają znak dodatni, jeśli wektory, które je reprezentują mają kierunki zgodne z kierunkami osi. Siła normalna jest zaś dodatnia wtedy, gdy powoduje rozciąganie przekroju. Przy takich założeniach w dowolnym przekroju ściągu występują następujące siły wewnętrzne:

$$\begin{aligned}N &= P \\M_y &= N \cdot e_z = -2,792 \cdot P \\M_z &= -N \cdot e_y = 5,051 \cdot P\end{aligned}$$

6.A. Wyznaczenie wzoru na naprężenia normalne

Ponieważ mimośrodowe rozciąganie można traktować jako złożenie dwóch przypadków zginania prostego i rozciągania osiowego, naprężenia normalne można zapisać w następującej postaci:

$$\sigma_x = \sigma_x^N + \sigma_x^{M_z} + \sigma_x^{M_y} = \frac{N}{A} \pm \frac{M_z}{I_z}y \pm \frac{M_y}{I_y}z$$

Znak przed składnikami naprężenia zależnymi od momentów zginających ustala się przeprowadzając następującą analizę:

Założmy, że moment M_z jest dodatni. Reguła śruby prawoskrętnej mówi, że taki moment powoduje ściskanie włókien o dodatniej współrzędnej y . Oznacza to, że dla $M_z > 0$ i $y > 0$ naprężenie $\sigma_x^{M_z}$ jest ujemne. Ponieważ moment bezwładności I_z jest zawsze większy od zera naprężenie normalne zależne od momentu M_z musi być więc opisane wzorem:

$$\sigma_x^{M_z} = -\frac{M_z}{I_z}y$$

Analogicznie określamy znak we wzorze na naprężenie normalne zależne od momentu M_y :

Założmy, że moment M_y jest dodatni. Reguła śruby prawoskrętnej mówi, że taki moment powoduje rozciąganie włókien o dodatniej współrzędnej z . Oznacza to, że dla $M_y > 0$ i $z > 0$ naprężenie $\sigma_x^{M_y}$ jest dodatnie. Ponieważ moment bezwładności I_y jest zawsze większy od zera naprężenie normalne zależne od momentu M_z musi być opisane wzorem:

$$\sigma_x^{M_y} = +\frac{M_y}{I_y}z$$

Stąd ostatecznie:

$$\sigma_x = \sigma_x^N + \sigma_x^{M_z} + \sigma_x^{M_y} = \frac{N}{A} - \frac{M_z}{I_z}y + \frac{M_y}{I_y}z$$

7.A. Wyznaczenie osi obojętnej

Oś obojętną wyznaczamy wiedząc, że naprężenia na niej panujące są równe zero, stąd:

$$\begin{aligned} \sigma_x = 0 &\implies \frac{N}{A} - \frac{M_z}{I_z}y + \frac{M_y}{I_y}z = 0 \implies \\ &\implies \frac{P}{43,4} - \frac{5,051P}{1768}y + \frac{-2,792P}{713,2}z = 0 \implies \\ &\implies 2,304 \cdot 10^{-2}P - 2,857 \cdot 10^{-3}Py - 3,914 \cdot 10^{-3}Pz = 0 \end{aligned}$$

Aby obliczyć współrzędne przecięcia osi głównych centralnych Y i Z przez szukaną oś obojętną należy przekształcić powyższe równanie prostej na postać odcinkową.

$$\frac{y}{a_y} + \frac{z}{a_z} = 1$$

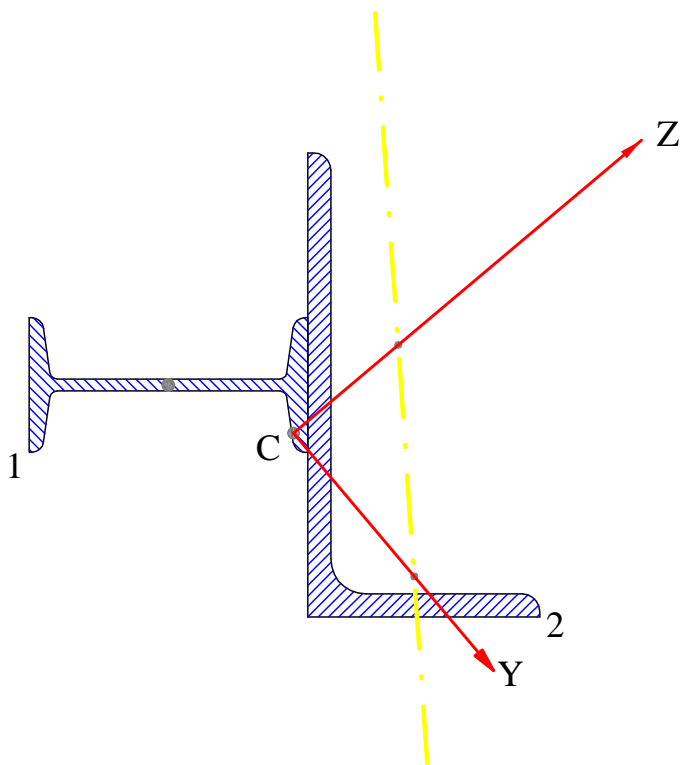
Przy czym

$$\begin{aligned} a_y &= -\frac{2,304 \cdot 10^{-2}}{-2,857 \cdot 10^{-3}} = 8,066 \text{ cm} \\ a_z &= -\frac{2,304 \cdot 10^{-2}}{-3,914 \cdot 10^{-3}} = 5,886 \text{ cm} \end{aligned}$$

Tak więc równanie osi obojętnej ma postać:

$$\sigma_x = 0 \implies \frac{y}{8,066} + \frac{z}{5,886} = 1$$

Z powyższych przekształceń wynika, że oś obojętna przechodzi przez punkty $(5,886 \text{ cm}; 0)$ i $(0; 8,066 \text{ cm})$.



8.A. Wyznaczenie naprężeń w punktach przekroju najbardziej oddalonych od osi obojętnej

Najbardziej oddalone od osi obojętnej punkty przekroju oznaczono jako 1 i 2. Współrzędne tych punktów w układzie $Y_c Z_c$ wynoszą odpowiednio:

$$y_c^1 = -2,066 + \frac{1}{2} \cdot 5,8 = 0,834 \text{ cm}$$

$$z_c^1 = -5,389 - \frac{1}{2} \cdot 12 = -11,389 \text{ cm}$$

$$y_c^2 = -2,066 + 10 = 7,934 \text{ cm}$$

$$z_c^2 = -5,389 + \frac{1}{2} \cdot 12 + 10 = -11,611 \text{ cm}$$

zaś ich współrzędne w układzie $Y C Z$ obliczam wykorzystując wzór (*) wyprowadzony w podrozdziale 4.A.:

$$y^1 = 0,7649 \cdot 0,834 + 0,6441 \cdot (-11,389) = -6,698 \text{ cm}$$

$$z^1 = -0,6441 \cdot 0,834 + 0,7649 \cdot (-11,389) = -9,904 \text{ cm}$$

$$y^2 = 0,7649 \cdot 7,934 + 0,6441 \cdot (-11,611) = -9,249 \text{ cm}$$

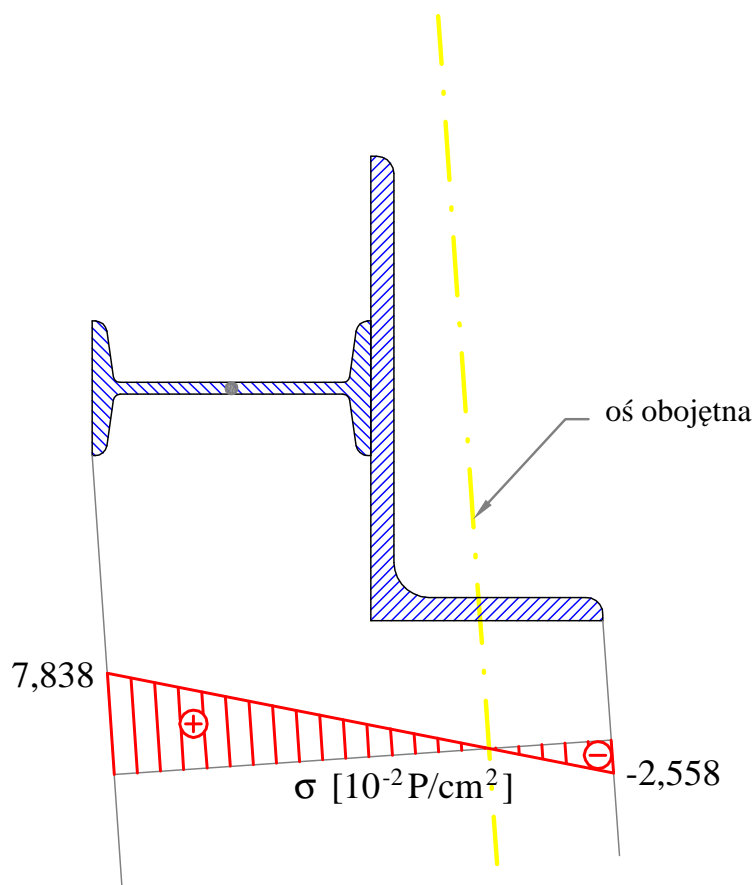
$$z^2 = -0,6441 \cdot 7,934 + 0,7649 \cdot (-11,611) = 3,006 \text{ cm}$$

Podstawiając otrzymane współrzędne do wzoru na naprężenia, otrzymujemy maksymalne i minimalne wartości naprężeń w przekroju złożonym.

$$\begin{aligned}\sigma_x^1 &= \sigma_x(-6,698 \text{ cm}; -9,904 \text{ cm}) = \\ &= 2,304 \cdot 10^{-2}P - 2,857 \cdot 10^{-3}P \cdot (-6,698) - 3,914 \cdot 10^{-3}P \cdot (-9,904) = \\ &= 7,838 \cdot 10^{-2}P = \sigma_{max}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_x^2 &= \sigma_x(-9,249 \text{ cm}; 3,006 \text{ cm}) = \\ &= 2,304 \cdot 10^{-2}P - 2,857 \cdot 10^{-3}P \cdot (-9,249) - 3,914 \cdot 10^{-3}P \cdot 3,006 = \\ &= -2,558 \cdot 10^{-2}P = \sigma_{min}\end{aligned}$$

W ten sposób obliczone zostały interesujące nas ekstremalne wartości naprężeń normalnych.



9.A. Obliczenie dopuszczalnej siły P

Dopuszczalną wartość siły P obliczymy porównując największe, niezależnie od znaku, naprężenie w przekroju z naprężeniem dopuszczalnym. Ponieważ obliczeń dokonywaliśmy w centymetrach musimy przekształcić wartość σ_{dop} .

$$\sigma_{dop} = 215 \text{ MPa} = 215 \cdot 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 215 \cdot 10^3 \frac{\text{kN}}{10^4 \text{cm}^2} = 21,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\begin{aligned} \max(\sigma_x^1; |\sigma_x^2|) = \sigma_x^1 = 7,838 \cdot 10^{-2} P \leq \sigma_{dop} = 21,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \implies \\ \implies P \leq \frac{21,5}{7,838 \cdot 10^{-2}} = 274,3 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tak więc ostatecznie

$$P_{dop} = 274,3 \text{ kN}$$

Te same wyniki otrzymać można stosując obliczenia względem osi centralnych, tj. w rozpatrywanym przypadku osi Y_c i Z_c .

SPOSÓB B - obliczenia przy użyciu wzorów określonych dla osi centralnych

3.B. Obliczenie mimośrodków siły

Współrzędne punktu P przyłożenia obciążenia w układzie $Y_c C Z_c$ mają wartość:

$$\begin{aligned} y_c^P &= -2,066 \text{ cm} \\ z_c^P &= -5,389 \text{ cm} \end{aligned}$$

4.B. Obliczenie sił przekrojowych

Niezmiennie opisywanych w punkcie 5.A. założeń dotyczących znaków sił wewnętrznych można zapisać wartości sił przekrojowych:

$$\begin{aligned} N &= P \\ M_{y_c} &= -5,389 \cdot P \\ M_{z_c} &= 2,066 \cdot P \end{aligned}$$

5.B. Wyznaczenie wzoru na naprężenia normalne

Wzór na naprężenia normalne w rozpatrywanym układzie współrzędnych ma postać:

$$\sigma_x = \frac{N}{A} + \frac{J_{y_c z_c} M_{y_c} + J_{y_c} M_{z_c}}{J_{y_c z_c}^2 - J_{y_c} J_{z_c}} y - \frac{J_{y_c z_c} M_{z_c} + J_{z_c} M_{y_c}}{J_{y_c z_c}^2 - J_{y_c} J_{z_c}} z$$

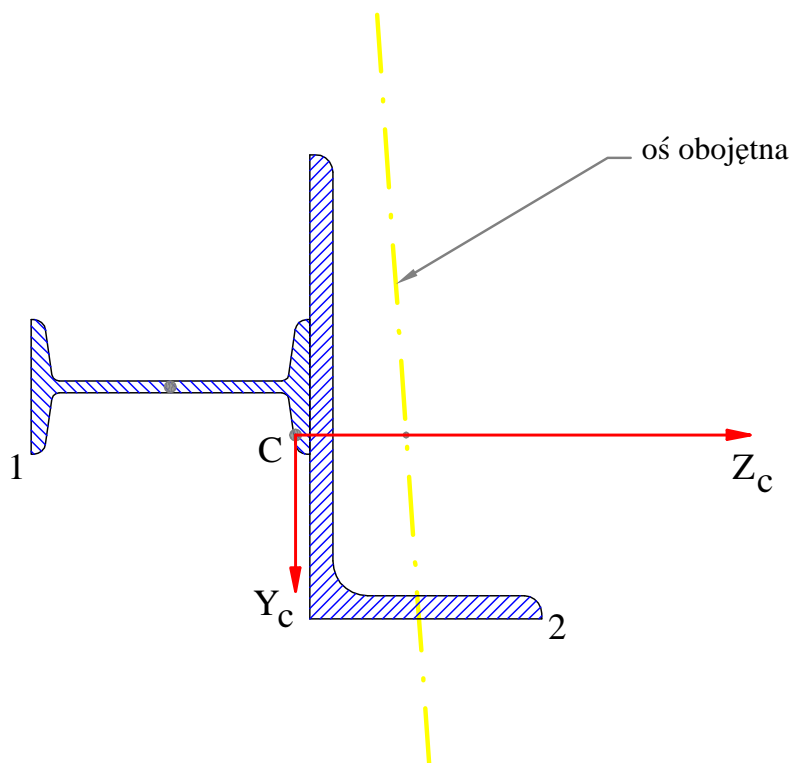
Podstawiając znane wartości sił i momentów bezwładności otrzymujemy:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \frac{P}{43,4} + \frac{519,8 \cdot (-P \cdot 5,389) + 1151 \cdot P \cdot 2,066}{519,8^2 - 1151 \cdot 1331}y + \\ &\quad - \frac{519,8 \cdot P \cdot 2,066 + 1331 \cdot (-P \cdot 5,389)}{519,8^2 - 1151 \cdot 1331}z = \\ &= \frac{P}{43,4} + \frac{-424,2 \cdot P}{-1261194}y - \frac{-6097}{-1261194}z = \\ &= 2,304 \cdot 10^{-2}P + 3,363 \cdot 10^{-4}Py - 4,834 \cdot 10^{-3}Pz\end{aligned}$$

6.B. Wyznaczenie osi obojętnej

W celu wyznaczenia równania osi obojętnej należy przyrównać wzór na naprężenia normalne do zera. Niezerowe współrzędne punktów przecięcia osi współrzędnych z osią obojętną mają wartości:

$$\begin{aligned}a_{y_c} &= -\frac{2,304 \cdot 10^{-2}}{3,363 \cdot 10^{-4}} = -68,51 \text{ cm} \\ a_{z_c} &= -\frac{2,304 \cdot 10^{-2}}{-4,834 \cdot 10^{-3}} = 4,766 \text{ cm}\end{aligned}$$



7.B. Wyznaczenie naprężeń w punktach przekroju najbardziej oddalonych od osi obojętnej

Z zamieszczonego na poprzedniej stronie rysunku widać, że najbardziej oddalonymi od osi obojętnej punktami są punkty 1 i 2, których współrzędne wynoszą:

$$y_1 = -2,066 \text{ cm} + 2,9 \text{ cm} = 0,8345 \text{ cm}$$

$$z_1 = -5,389 \text{ cm} - 6 \text{ cm} = -11,389 \text{ cm}$$

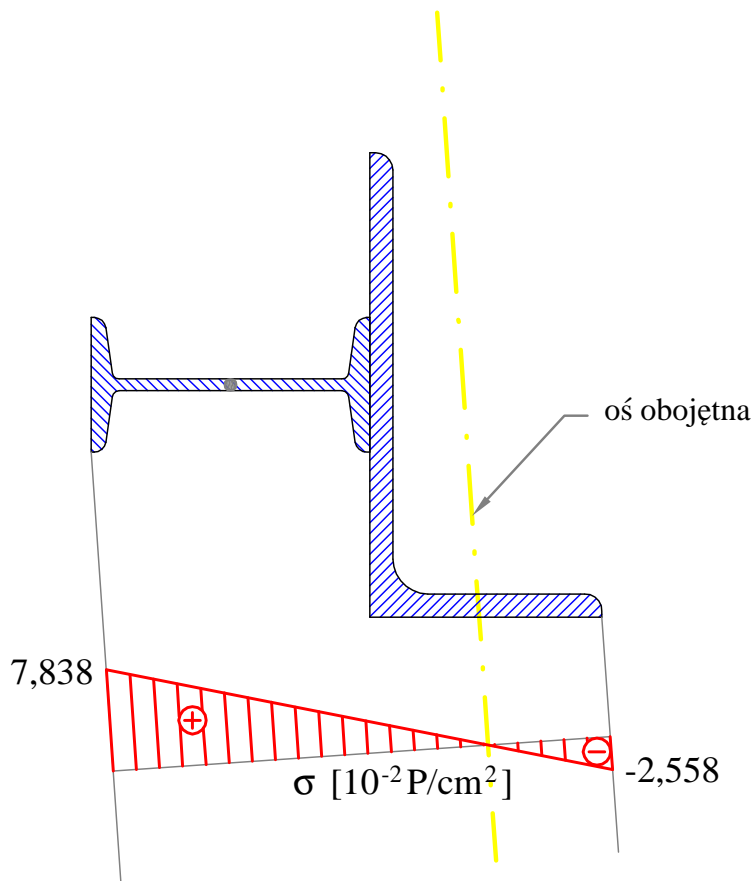
$$y_2 = -2,066 \text{ cm} + 10 \text{ cm} = 7,934 \text{ cm}$$

$$z_2 = -5,389 \text{ cm} + 6 \text{ cm} + 10 \text{ cm} = 10,61 \text{ cm}$$

Podstawiając obliczone współrzędne do wzoru na naprężenia otrzymujemy naprężenia ekstremalne.

$$\begin{aligned}\sigma_x^1 &= \sigma_x(0,8345 \text{ cm}; -11,389 \text{ cm}) = \\ &= 2,304 \cdot 10^{-2}P + 3,363 \cdot 10^{-4}P \cdot 0,8345 - 4,834 \cdot 10^{-3}P \cdot (-11,389) = \\ &= 7,838 \cdot 10^{-2}P = \sigma_{max}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_x^2 &= \sigma_x(7,934 \text{ cm}; 10,61 \text{ cm}) = \\ &= 2,304 \cdot 10^{-2}P + 3,363 \cdot 10^{-4}P \cdot 7,934 - 4,834 \cdot 10^{-3}P \cdot 10,61 = \\ &= -2,558 \cdot 10^{-2}P = \sigma_{min}\end{aligned}$$



8.B. Obliczenie dopuszczalnej siły P

Sprawdzenie warunku nośności przekroju ze względu na naprężenia normalne prowadzi do obliczenia dopuszczalnej wartości siły P .

$$\begin{aligned} \max(\sigma_{max}; |\sigma_{min}|) &\leq \sigma_{dop} \implies \\ \implies 7,838 \cdot 10^{-2} \frac{1}{\text{cm}^2} P &\leq 215 \text{ MPa} = 215 \cdot \frac{10^3 \text{ kN}}{10^4 \text{ cm}^2} = 21,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \implies \\ \implies P &\leq 274,3 \text{ kN} \implies P_{dop} = 274,3 \text{ kN} \end{aligned}$$

Jak łatwo zauważyć zastosowanie ogólniejszego wzoru (obowiązującego w układzie współrzędnych nie będących głównymi) nie wymaga wyznaczania współrzędnych punktu w obróconym układzie współrzędnych oraz obliczania charakterystyk przekroju w osiach głównych. Tak więc zastosowanie sposobu B w rozpatrywanym przypadku jest bardziej racjonalne ze względu na nakład obliczeń.