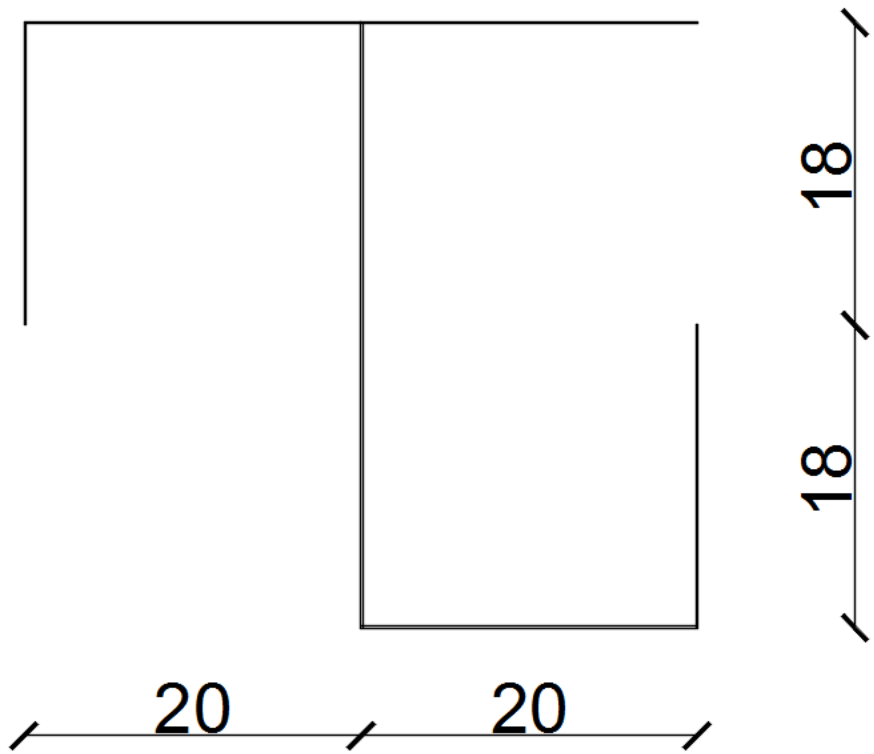
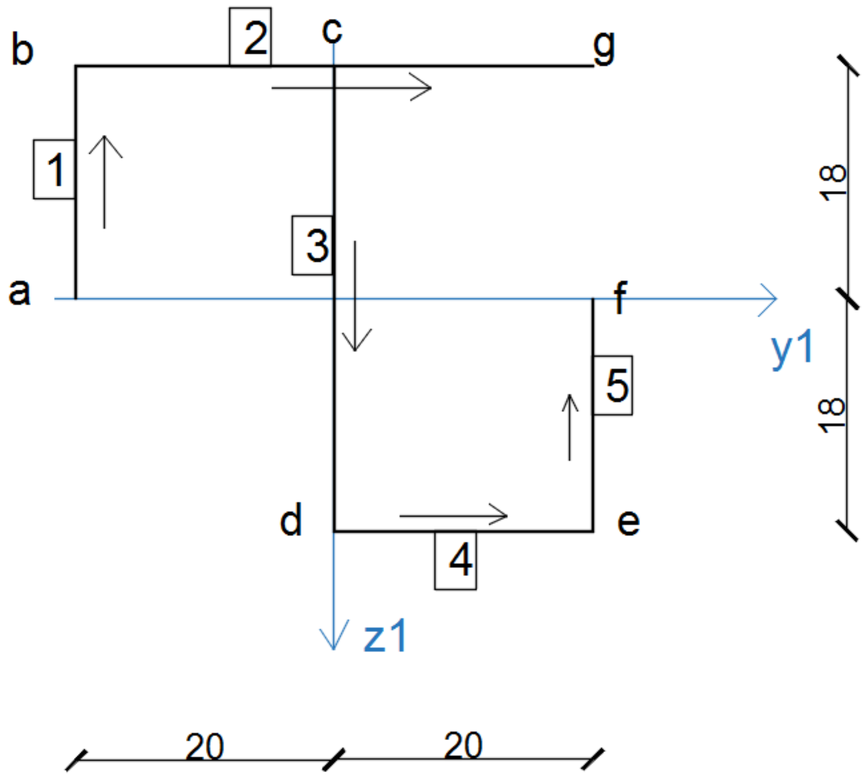
Zadanie: Wyznacz charakterystyki przekroju cienkościennego i wartość siły krytycznej przy obciążeniu : w środku ciężkości, biegunie, punkcie k0.



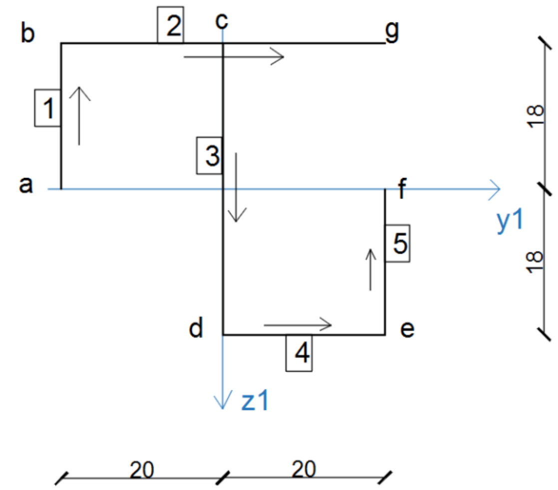
$\delta = 1{,}8$ cm

Przyjęcie charakterystycznych punktów, osi pomocniczych i podział na elementy:



$\delta = 1{,}8$ cm

Definicja podstawowych danych i współrzędnych y1 i z1 punktów w Mathcadzie :



$za1 := 0$

$zb1 := -18$

$zc1 := -18$

$zd1 := 18$

$ze1 := 18$

$zf1 := 0$

$zg1 := -18$

$ya1 := -20$

$yb1 := -20$

$yc1 := 0$

$yd1 := 0$

$ye1 := 20$

$yf1 := 20$

$yg1 := 20$

$L1 := 18$

$L2 := 40$

$L3 := 36$

$L4 := 20$

$L5 := 18$

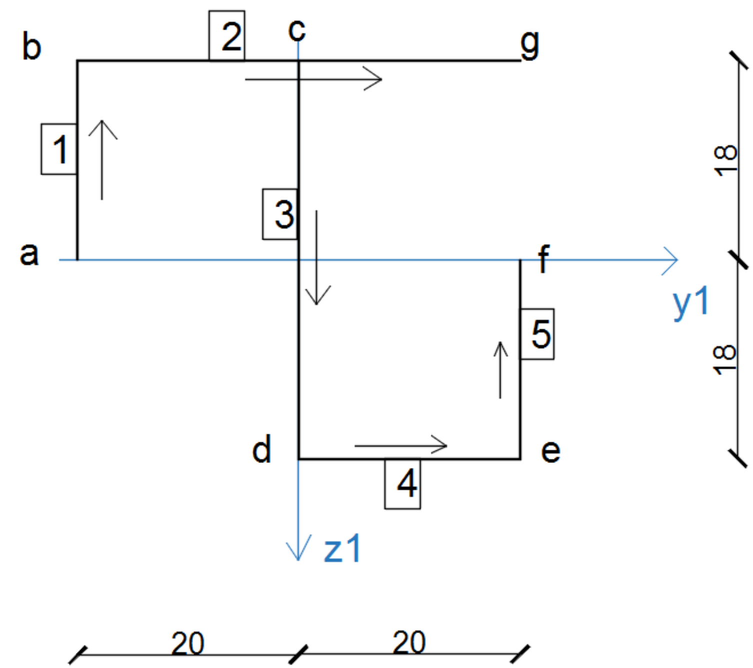
$\delta := 1.8$

$A := \delta\cdot(L1 + L2 + L3 + L4 + L5) = 237.6$

Wyznaczenie położenia środka ciężkości:

$$zcc := \frac{\left(L4 \cdot \delta \cdot L5 + L5 \cdot \delta \cdot \frac{L5}{2} - L2 \cdot \delta L1 - L1 \cdot \delta \cdot \frac{L1}{2}\right)}{A} = -2.727$$

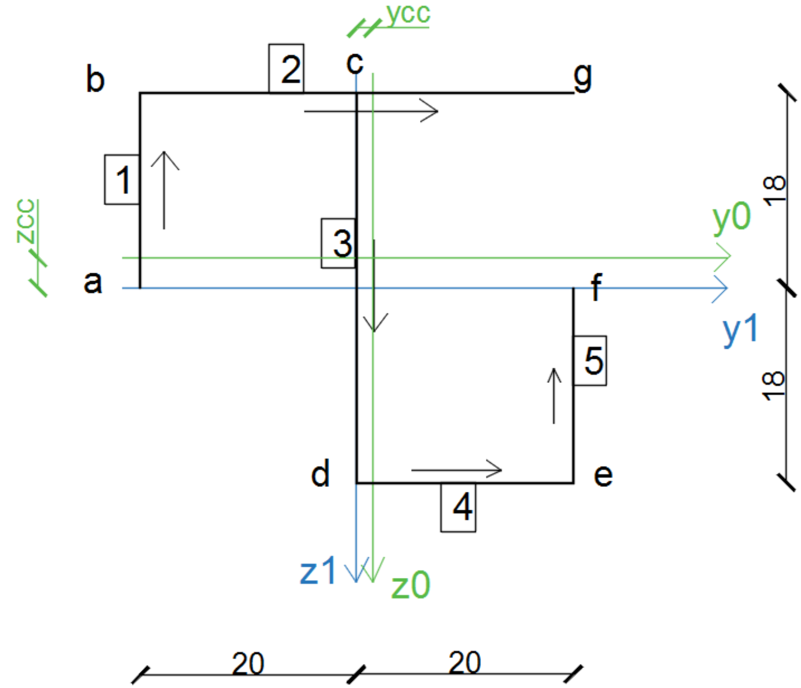
$$ycc := \frac{\left(-L1 \cdot \delta \cdot \frac{L2}{2} + L5 \cdot \delta \cdot L4 + L4 \cdot \delta \cdot \frac{L4}{2}\right)}{A} = 1.515$$



Wyznaczenie położenia środka ciężkości:

$$zcc := \frac{\left(L4\cdot\delta\cdot L5 + L5\cdot\delta\cdot\frac{L5}{2} - L2\cdot\delta\, L1 - L1\cdot\delta\cdot\frac{L1}{2}\right)}{A} = -2.727$$

$$ycc := \frac{\left(-L1\cdot\delta\cdot\frac{L2}{2} + L5\cdot\delta\cdot L4 + L4\cdot\delta\cdot\frac{L4}{2}\right)}{A} = 1.515$$



Współrzędne punktów w układzie osi centralnych y0z0:

$za0 := za1 - zcc = 2.727$

$zb0 := zb1 - zcc = -15.273$

$zc0 := zc1 - zcc = -15.273$

$zd0 := zd1 - zcc = 20.727$

$ze0 := ze1 - zcc = 20.727$

$zf0 := zf1 - zcc = 2.727$

$zg0 := zg1 - zcc = -15.273$

$ya0 := ya1 - ycc = -21.515$

$yb0 := yb1 - ycc = -21.515$

$yc0 := yc1 - ycc = -1.515$

$yd0 := yd1 - ycc = -1.515$

$ye0 := ye1 - ycc = 18.485$

$yf0 := yf1 - ycc = 18.485$

$yg0 := yg1 - ycc = 18.485$

Wyznaczenie współrzędnej wycinkowej ω liczonej dla środka ciężkości jako bieguna

$$\omega c := \left(-|zcc| + \frac{L3}{2}\right)\cdot ycc = 23.14$$

$$\omega d := \omega c - L3ycc = -31.405$$

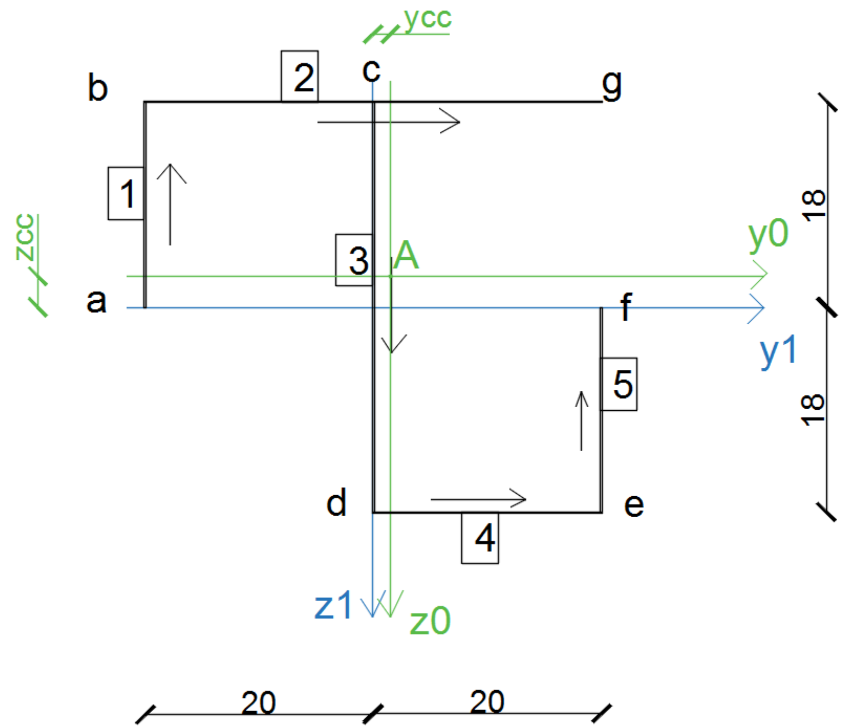
$$\omega b := \omega c - \frac{L2}{2}\cdot\left(-|zcc| + \frac{L3}{2}\right) = -282.314$$

$$\omega a := \omega b - L1\cdot\left(ycc + \frac{L2}{2}\right) = -669.587$$

$$\omega e := \omega d - L4\cdot\left(|zcc| + \frac{L3}{2}\right) = -445.95$$

$$\omega f := \omega e - L5(L4 - ycc) = -778.678$$

$$\omega g := \omega c + \left(-|zcc| + \frac{L3}{2}\right)\cdot\frac{L2}{2} = 328.595$$



Definiowanie funkcji zmienności współrzędnych na poszczególnych prętach:

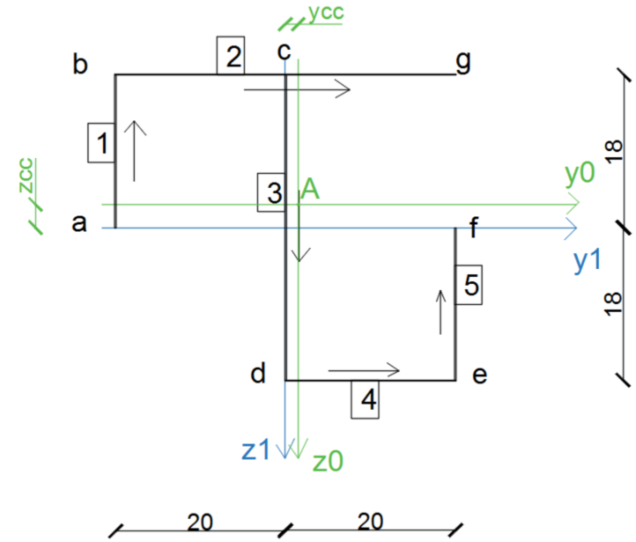
$$fz1(x) := za0 - (za0 - zb0)\cdot\frac{x}{L1} \qquad fy1(x) := ya0 - (ya0 - yb0)\cdot\frac{x}{L1}$$

$$fz2(x) := zb0 - (zb0 - zg0)\cdot\frac{x}{L2} \qquad fy2(x) := yb0 - (yb0 - yg0)\cdot\frac{x}{L2}$$

$$fz3(x) := zc0 - (zc0 - zd0)\cdot\frac{x}{L3} \qquad fy3(x) := yc0 - (yc0 - yd0)\cdot\frac{x}{L3}$$

$$fz4(x) := zd0 - (zd0 - ze0)\cdot\frac{x}{L4} \qquad fy4(x) := yd0 - (yd0 - ye0)\cdot\frac{x}{L4}$$

$$fz5(x) := ze0 - (ze0 - zf0)\cdot\frac{x}{L5} \qquad fy5(x) := ye0 - (ye0 - yf0)\cdot\frac{x}{L5}$$



Wyznaczenie momentów bezwładności względem osi centralnych:

$$Jy0 := \delta\cdot\left(\int_0^{L1} fz1(x)^2\,dx + \int_0^{L2} fz2(x)^2\,dx + \int_0^{L3} fz3(x)^2\,dx + \int_0^{L4} fz4(x)^2\,dx + \int_0^{L5} fz5(x)^2\,dx\right)$$

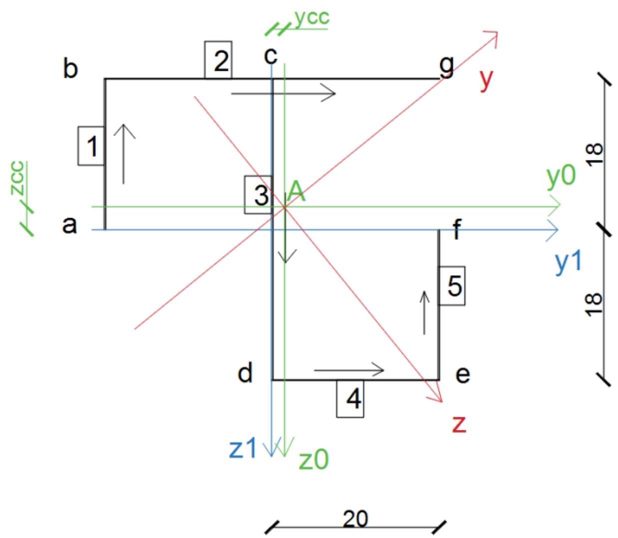
$$Jz0 := \delta\cdot\left(\int_0^{L1} fy1(x)^2\,dx + \int_0^{L2} fy2(x)^2\,dx + \int_0^{L3} fy3(x)^2\,dx + \int_0^{L4} fy4(x)^2\,dx + \int_0^{L5} fy5(x)^2\,dx\right)$$

$$Jy0z0 := \delta\cdot\left(\int_0^{L1} fy1(x)\cdot fz1(x)\,dx + \int_0^{L2} fy2(x)\cdot fz2(x)\,dx + \int_0^{L3} fy3(x)\cdot fz3(x)\,dx + \int_0^{L4} fy4(x)\cdot fz4(x)\,dx + \int_0^{L5} fy5(x)\cdot fz5(x)\,dx\right)$$

$$Jy0 = 4.722\times 10^4 \qquad Jz0 = 3.977\times 10^4 \qquad Jy0z0 = 1.913\times 10^4$$

Wyznaczenie kąta obrotu:

$$\varphi 1 := 0.5\,\mathrm{atan}\left(-2\cdot\frac{Jy0z0}{Jy0 - Jz0}\right) = -0.689$$



Transformacja współrzędnych punktów do układu osi głównych centralnych:

$$za := \cos(\varphi1)\cdot za0 - \sin(\varphi1)\cdot ya0 = -11.578$$

$$zb := \cos(\varphi1)\cdot zb0 - \sin(\varphi1)\cdot yb0 = -25.469$$

$$zc := \cos(\varphi1)\cdot zc0 - \sin(\varphi1)\cdot yc0 = -12.75$$

$$zd := \cos(\varphi1)\cdot zd0 - \sin(\varphi1)\cdot yd0 = 15.032$$

$$ze := \cos(\varphi1)\cdot ze0 - \sin(\varphi1)\cdot ye0 = 27.751$$

$$zf := \cos(\varphi1)\cdot zf0 - \sin(\varphi1)\cdot yf0 = 13.86$$

$$zg := \cos(\varphi1)\cdot zg0 - \sin(\varphi1)\cdot yg0 = -0.031$$

$$ya := \cos(\varphi1)\cdot ya0 + \sin(\varphi1)\cdot za0 = -18.338$$

$$yb := \cos(\varphi1)\cdot yb0 + \sin(\varphi1)\cdot zb0 = -6.891$$

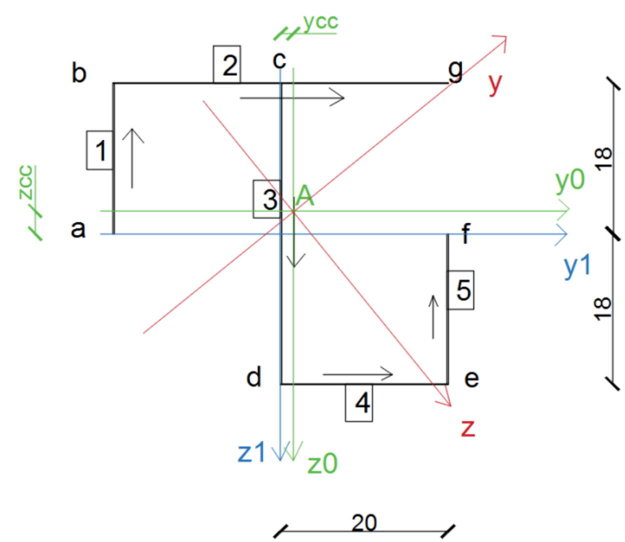
$$yc := \cos(\varphi1)\cdot yc0 + \sin(\varphi1)\cdot zc0 = 8.544$$

$$yd := \cos(\varphi1)\cdot yd0 + \sin(\varphi1)\cdot zd0 = -14.351$$

$$ye := \cos(\varphi1)\cdot ye0 + \sin(\varphi1)\cdot ze0 = 1.083$$

$$yf := \cos(\varphi1)\cdot yf0 + \sin(\varphi1)\cdot zf0 = 12.531$$

$$yg := \cos(\varphi1)\cdot yg0 + \sin(\varphi1)\cdot zg0 = 23.978$$



Predefiniowanie funkcji zmienności współrzędnych na prętach:

$$fz1(x) := za - (za - zb)\cdot\frac{x}{L1}$$

$$fz2(x) := zb - (zb - zg)\cdot\frac{x}{L2}$$

$$fz3(x) := zc - (zc - zd)\cdot\frac{x}{L3}$$

$$fz4(x) := zd - (zd - ze)\cdot\frac{x}{L4}$$

$$fz5(x) := ze - (ze - zf)\cdot\frac{x}{L5}$$

$$fy1(x) := ya - (ya - yb)\cdot\frac{x}{L1}$$

$$fy2(x) := yb - (yb - yg)\cdot\frac{x}{L2}$$

$$fy3(x) := yc - (yc - yd)\cdot\frac{x}{L3}$$

$$fy4(x) := yd - (yd - ye)\cdot\frac{x}{L4}$$

$$fy5(x) := ye - (ye - yf)\cdot\frac{x}{L5}$$

Momenty bezwładności względem osi głównych centralnych:

$$Jy := \delta\cdot\left(\int_0^{L1} fz1(x)^2\,dx + \int_0^{L2} fz2(x)^2\,dx + \int_0^{L3} fz3(x)^2\,dx + \int_0^{L4} fz4(x)^2\,dx + \int_0^{L5} fz5(x)^2\,dx\right) = 6.298\times 10^4$$

$$Jz := \delta\cdot\left(\int_0^{L1} fy1(x)^2\,dx + \int_0^{L2} fy2(x)^2\,dx + \int_0^{L3} fy3(x)^2\,dx + \int_0^{L4} fy4(x)^2\,dx + \int_0^{L5} fy5(x)^2\,dx\right) = 2.401\times 10^4$$

Przedefiniowanie funkcji zmienności współrzędnych na prętach:

$$fz1(x) := za - (za - zb)\cdot\frac{x}{L1}$$

$$fz2(x) := zb - (zb - zg)\cdot\frac{x}{L2}$$

$$fz3(x) := zc - (zc - zd)\cdot\frac{x}{L3}$$

$$fz4(x) := zd - (zd - ze)\cdot\frac{x}{L4}$$

$$fz5(x) := ze - (ze - zf)\cdot\frac{x}{L5}$$

$$fy1(x) := ya - (ya - yb)\cdot\frac{x}{L1}$$

$$fy2(x) := yb - (yb - yg)\cdot\frac{x}{L2}$$

$$fy3(x) := yc - (yc - yd)\cdot\frac{x}{L3}$$

$$fy4(x) := yd - (yd - ye)\cdot\frac{x}{L4}$$

$$fy5(x) := ye - (ye - yf)\cdot\frac{x}{L5}$$

Moment dewiacyjny – sprawdzenie poprawności wyznaczenia współrzędnych:

$$Jyz := \delta\cdot\left(\int_0^{L1} fy1(x)\cdot fz1(x)\,dx + \int_0^{L2} fy2(x)\cdot fz2(x)\,dx + \int_0^{L3} fy3(x)\cdot fz3(x)\,dx + \int_0^{L4} fy4(x)\cdot fz4(x)\,dx + \int_0^{L5} fy5(x)\cdot fz5(x)\,dx\right)$$

$$\boxed{Jyz = 6.548\times 10^{-12}}$$

$$\boxed{\sim 0}$$

Definiowanie funkcji zmienności współrzędnych wycinkowych na prętach:

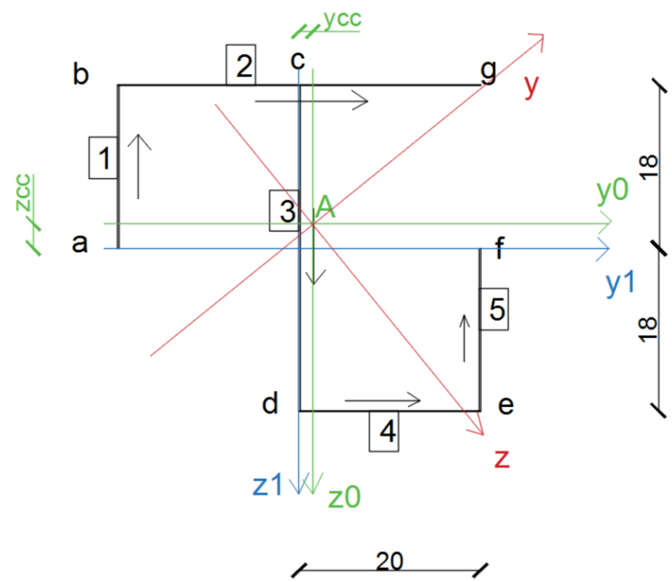
$$f\omega 1(x) := \omega a - (\omega a - \omega b)\cdot \frac{x}{L1}$$

$$f\omega 2(x) := \omega b - (\omega b - \omega g)\cdot \frac{x}{L2}$$

$$f\omega 3(x) := \omega c - (\omega c - \omega d)\cdot \frac{x}{L3}$$

$$f\omega 4(x) := \omega d - (\omega d - \omega e)\cdot \frac{x}{L4}$$

$$f\omega 5(x) := \omega e - (\omega e - \omega f)\cdot \frac{x}{L5}$$



Wyznaczenie bieguna:

$$J\omega y := \delta\cdot\left(\int_0^{L1} fy1(x)\cdot f\omega 1(x)\,dx + \int_0^{L2} fy2(x)\cdot f\omega 2(x)\,dx + \int_0^{L3} fy3(x)\cdot f\omega 3(x)\,dx + \int_0^{L4} fy4(x)\cdot f\omega 4(x)\,dx + \int_0^{L5} fy5(x)\cdot f\omega 5(x)\,dx\right)$$

$$J\omega z := \delta\cdot\left(\int_0^{L1} fz1(x)\cdot f\omega 1(x)\,dx + \int_0^{L2} fz2(x)\cdot f\omega 2(x)\,dx + \int_0^{L3} fz3(x)\cdot f\omega 3(x)\,dx + \int_0^{L4} fz4(x)\cdot f\omega 4(x)\,dx + \int_0^{L5} fz5(x)\cdot f\omega 5(x)\,dx\right)$$

$$J\omega := \delta\cdot\left(\int_0^{L1} f\omega 1(x)^2\,dx + \int_0^{L2} f\omega 2(x)^2\,dx + \int_0^{L3} f\omega 3(x)^2\,dx + \int_0^{L4} f\omega 4(x)^2\,dx + \int_0^{L5} f\omega 5(x)^2\,dx\right)$$

Wyznaczenie bieguna:

$J\omega y = 2.339 \times 10^{5}$ $\quad J\omega z = -2.653 \times 10^{5}$ $\quad J\omega = 2.505 \times 10^{7}$

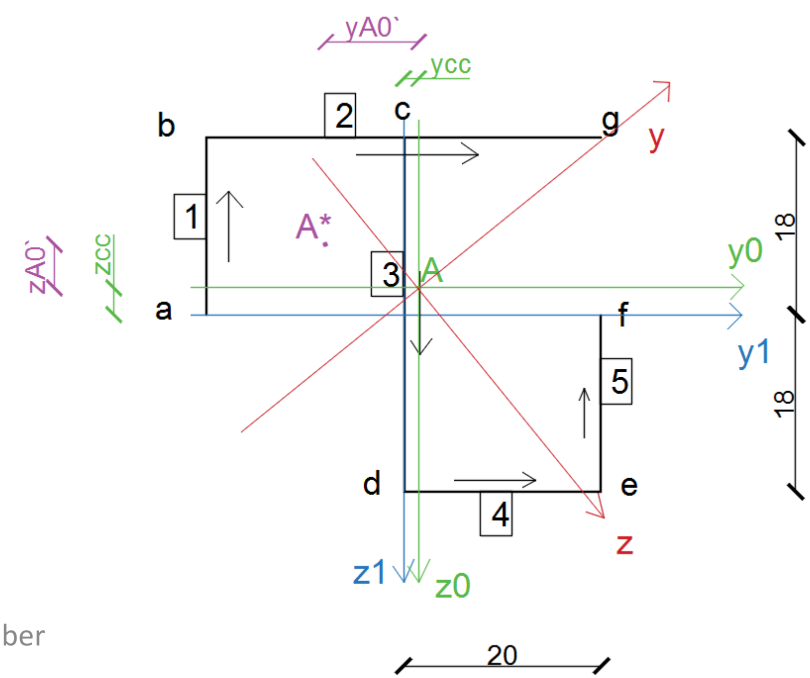
Współrzędne bieguna w układzie osi głównych centralnych:

$$\boxed{zA' := 0 - \frac{J\omega y}{Jz} = -9.74} \qquad \boxed{yA' := 0 + \frac{J\omega z}{Jy} = -4.212}$$

Transformacja współrzędnych bieguna do układu osi centralnych y0z0:

$$zA0' := zA' \cdot \cos(\varphi 1) + yA' \cdot \sin(\varphi 1) = -4.838$$

$$yA0' := -zA' \cdot \sin(\varphi 1) + yA' \cdot \cos(\varphi 1) = -9.44$$



Wyznaczenie wartości ω' dla bieguna:

$$n := 18 - |zcc| - |zA0'| = 10.435$$

$$m := |yA0'| - |ycc| = 7.929$$

$$k := 6.2200077399$$

$$\omega c' := k \cdot n = 64.907$$

$$\omega b' := \omega c' - \frac{L2 \cdot n}{2} = -143.796$$

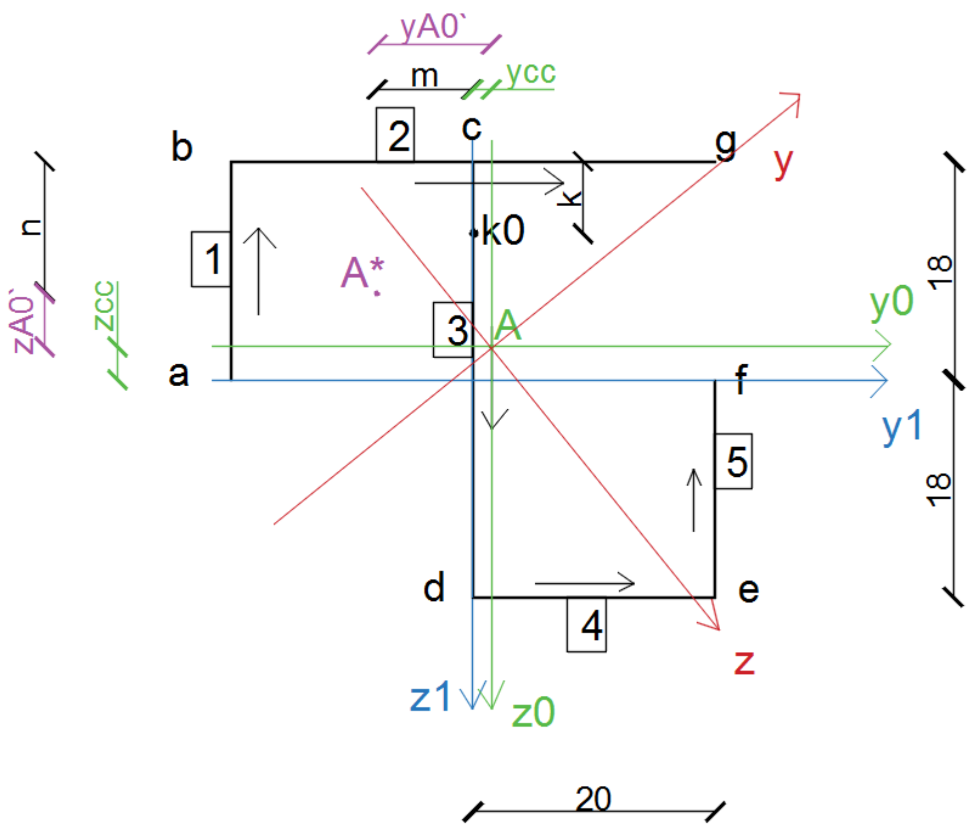
$$\omega a' := \omega b' - L1 \cdot \left(-m + \frac{L2}{2}\right) = -361.07$$

$$\omega g' := \omega c' + n \cdot \frac{L2}{2} = 273.609$$

$$\omega d' := \omega c' + L3 m = 350.358$$

$$\omega e' := \omega d' - L4(L3 - n) = -160.939$$

$$\omega f' := \omega e' - L5(m + L4) = -663.665$$



Przedefiniowanie funkcji zmienności ω' dla prętów:

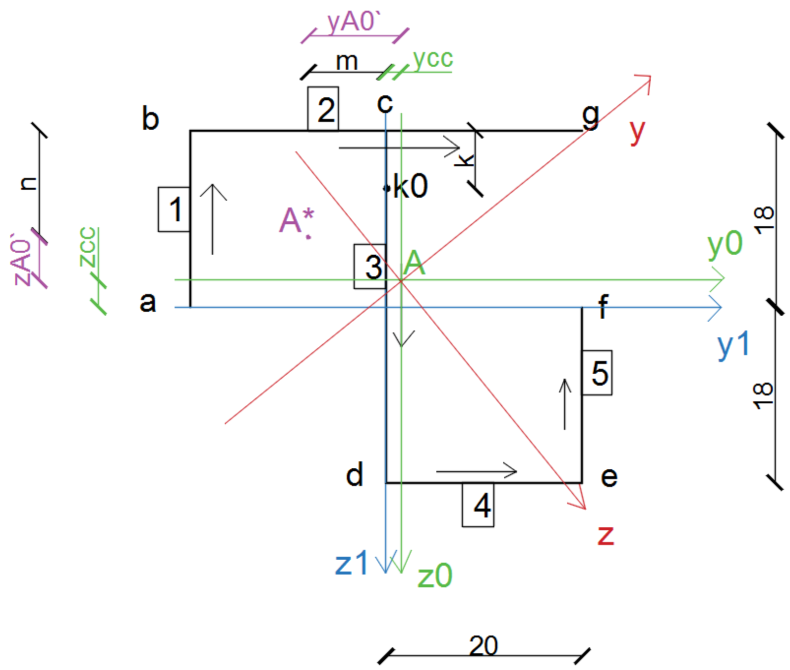
$$f\omega1(x) := \omega a' - (\omega a' - \omega b')\cdot\frac{x}{L1}$$

$$f\omega2(x) := \omega b' - (\omega b' - \omega g')\cdot\frac{x}{L2}$$

$$f\omega3(x) := \omega c' - (\omega c' - \omega d')\cdot\frac{x}{L3}$$

$$f\omega4(x) := \omega d' - (\omega d' - \omega e')\cdot\frac{x}{L4}$$

$$\omega5(x) := \omega e' - (\omega e' - \omega f')\cdot\frac{x}{L5}$$



Sprawdzenie poprawności lokalizacji bieguna:

$$J\omega'y := \delta\cdot\left(\int_0^{L1} fy1(x)\cdot f\omega1(x)\,dx + \int_0^{L2} fy2(x)\cdot f\omega2(x)\,dx + \int_0^{L3} fy3(x)\cdot f\omega3(x)\,dx + \int_0^{L4} fy4(x)\cdot f\omega4(x)\,dx + \int_0^{L5} fy5(x)\cdot f\omega5(x)\,dx\right) =$$

$$J\omega'z := \delta\cdot\left(\int_0^{L1} fz1(x)\cdot f\omega1(x)\,dx + \int_0^{L2} fz2(x)\cdot f\omega2(x)\,dx + \int_0^{L3} fz3(x)\cdot f\omega3(x)\,dx + \int_0^{L4} fz4(x)\cdot f\omega4(x)\,dx + \int_0^{L5} fz5(x)\cdot f\omega5(x)\,dx\right) = -$$

$$J\omega'y = 6.548\times 10^{-11} \qquad J\omega'z = -1.048\times 10^{-10}$$

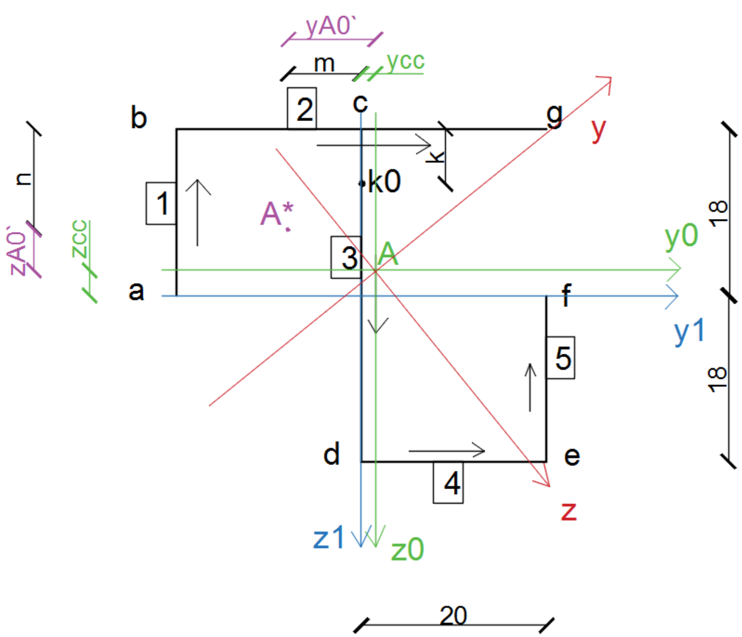
Sprawdzenie prawidłowej lokalizacji punktu k0:

$$S\omega' := \delta\cdot\left(\int_0^{L1} f\omega1(x)\,dx + \int_0^{L2} f\omega2(x)\,dx + \int_0^{L3} f\omega3(x)\,dx + \int_0^{L4} f\omega4(x)\,dx + \int_0^{L5} f\omega5(x)\,dx\right) =$$

$$S\omega' = -2.046\times 10^{-10}$$

$$J\omega' := \delta\cdot\left(\int_0^{L1} f\omega1(x)^2\,dx + \int_0^{L2} f\omega2(x)^2\,dx + \int_0^{L3} f\omega3(x)^2\,dx + \int_0^{L4} f\omega4(x)^2\,dx + \int_0^{L5} f\omega5(x)^2\,dx\right)$$

$$J\omega' = 1.407\times 10^{7}$$



Momenty wyższego rzędu:

$$Jz3 := \delta\cdot\left(\int_0^{L1} fz1(x)^3\,dx + \int_0^{L2} fz2(x)^3\,dx + \int_0^{L3} fz3(x)^3\,dx + \int_0^{L4} fz4(x)^3\,dx + \int_0^{L5} fz5(x)^3\,dx\right)$$

$$Jy3 := \delta\cdot\left(\int_0^{L1} fy1(x)^3\,dx + \int_0^{L2} fy2(x)^3\,dx + \int_0^{L3} fy3(x)^3\,dx + \int_0^{L4} fy4(x)^3\,dx + \int_0^{L5} fy5(x)^3\,dx\right)$$

$$Jy2z := \delta\cdot\left(\int_0^{L1} fy1(x)^2\cdot fz1(x)\,dx + \int_0^{L2} fy2(x)^2\cdot fz2(x)\,dx + \int_0^{L3} fy3(x)^2\cdot fz3(x)\,dx + \int_0^{L4} fy4(x)^2\cdot fz4(x)\,dx + \int_0^{L5} fy5(x)^2\cdot fz5(x)\,dx\right)$$

$$Jyz2 := \delta\cdot\left(\int_0^{L1} fy1(x)\cdot fz1(x)^2\,dx + \int_0^{L2} fy2(x)\cdot fz2(x)^2\,dx + \int_0^{L3} fy3(x)\cdot fz3(x)^2\,dx + \int_0^{L4} fy4(x)\cdot fz4(x)^2\,dx + \int_0^{L5} fy5(x)\cdot fz5(x)^2\,dx\right)$$

$Jz3 = 1.896\times 10^5$ $Jy3 = 7.948\times 10^4$ $Jy2z = -5.27\times 10^4$ $Jyz2 = -1.442\times 10^5$

Wyznaczenie sił krytycznych przy obciążeniu siłą ściskającą w środku ciężkości:

$yA := yA'$ $\qquad\qquad$ $zA := zA'$

$$Cy := \frac{(Jy3 - 2 \cdot yA \cdot Jz + Jyz2)}{2Jz} = 2.864$$

$$Cz := \frac{(Jz3 - 2 \cdot zA \cdot Jy + Jy2z)}{2Jy} = 10.826$$

$$r2 := yA^2 + zA^2 + \frac{(Jy + Jz)}{A} = 478.743$$

$zp := 0$ $\qquad$ $yp := 0$ $\quad \rightarrow \quad$ Współrzędne punktu przyłożenia siły

Schemat – belka wolnopodparta długości 400cm

$n1 := 1$ $\qquad$ $L := 400$ $\qquad$ $a := 1$ $\qquad$ $E := 20000$ $\qquad$ $G := 8000$

$$\alpha := \pi \cdot \frac{n1}{(a \cdot L)} = 7.854 \times 10^{-3}$$

$$K0 := (L1 + L2 + L3 + L4 + L5) \cdot \frac{\delta^3}{3} = 256.608$$

Wyznaczenie sił krytycznych przy obciążeniu siłą ściskającą w środku ciężkości:

$$Pz := E \cdot Jz \cdot \alpha^2 = 2.963 \times 10^4$$

$$Py := E \cdot Jy \cdot \alpha^2 = 7.77 \times 10^4$$

$$P\omega := \frac{\left(G \cdot K0 + E \cdot J\omega' \cdot \alpha^2\right)}{r2} = 4.055 \times 10^4$$

$$w := \begin{bmatrix} P - Pz & 0 & P \cdot (zA - zp) \\ 0 & P - Py & P \cdot (yp - yA) \\ P \cdot (zA - zp) & P \cdot (yp - yA) & (P - P\omega) \cdot r2 + 2 \cdot Cy \cdot P \cdot yp + 2 \cdot Cz \cdot P \cdot zp \end{bmatrix}$$

$$|w| \rightarrow 366.1450872359962889P^3 - 6.2899038563153150106e7 \cdot P^2 + 3.1855889148311077064e12P - 4.4687626081094173 2e16$$

$$Pkryt := |w| \text{ solve}, P \rightarrow \begin{pmatrix} 90695.762755060238235 \\ 23275.545011487434813 \\ 57815.890138997373689 \end{pmatrix}$$

$$Pmin := \begin{pmatrix} Py \\ Pz \\ P\omega \\ Pkryt_0 \\ Pkryt_1 \\ Pkryt_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7.77 \times 10^4 \\ 2.963 \times 10^4 \\ 4.055 \times 10^4 \\ 9.07 \times 10^4 \\ 2.328 \times 10^4 \\ 5.782 \times 10^4 \end{pmatrix}$$

$$Pkrytyczna := Pmin_4 = 2.328 \times 10^4$$

Wyznaczenie sił krytycznych przy obciążeniu siłą ściskającą w biegunie:

$$zp := zA' = -9.74$$

$$yp := yA' = -4.212$$

$$w := \begin{bmatrix} P - Pz & 0 & P\cdot(zA - zp) \\ 0 & P - Py & P\cdot(yp - yA) \\ P\cdot(zA - zp) & P\cdot(yp - yA) & (P - P\omega)\cdot r2 + 2\cdot Cy\cdot P\cdot yp + 2\cdot Cz\cdot P\cdot zp \end{bmatrix}$$

$$|w| \rightarrow 243.72847065789973603P^{3} - 4.55718188180547004486e7P^{2} + 2.6446017989589370042e12P - 4.4687626081094173 2e16$$

$$Pkryt := |w| \text{ solve}, P \rightarrow \begin{pmatrix} 77702.082533901099981 \\ 79650.720099010521098 \\ 29625.020249421494 \end{pmatrix}$$

$$Pmin := \begin{pmatrix} Py \\ Pz \\ P\omega \\ Pkryt_{0} \\ Pkryt_{1} \\ Pkryt_{2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7.77\times 10^{4} \\ 2.963\times 10^{4} \\ 4.055\times 10^{4} \\ 7.77\times 10^{4} \\ 7.965\times 10^{4} \\ 2.963\times 10^{4} \end{pmatrix}$$

$$Pkrytyczna := Pmin_{5} = 2.963\times 10^{4}$$

Wyznaczenie sił krytycznych przy obciążeniu siłą ściskającą w punkcie k0:

$$zp0 := -(18 - |zcc| - k) = -9.053$$

$$yp0 := -(ycc) = -1.515$$

$$zp := \cos(\varphi 1)\cdot yp0... $$

$$zp := \cos(\varphi 1)\cdot zp0 - \sin(\varphi 1)\cdot yp0 = -7.95$$

$$yp := \cos(\varphi 1)\cdot yp0 + \sin(\varphi 1)\cdot zp0 = 4.588$$

$$w := \begin{bmatrix} P - Pz & 0 & P\cdot(zA - zp) \\ 0 & P - Py & P\cdot(yp - yA) \\ P\cdot(zA - zp) & P\cdot(yp - yA) & (P - P\omega)\cdot r2 + 2\cdot Cy\cdot P\cdot yp + 2\cdot Cz\cdot P\cdot zp \end{bmatrix}$$

$$|w| \rightarrow 252.247285425556882355P^3 - 5.2597983228464785657e7P^2 + 2.8498382217465359483e12P - 4.4687626081094173 2e16$$

$$Pkryt := |w| \text{ solve}, P \rightarrow \begin{pmatrix} 134138.59994280919622 \\ 45085.546276751763767 \\ 29293.392986970883385 \end{pmatrix}$$

$$Pmin := \begin{pmatrix} Py \\ Pz \\ P\omega \\ Pkryt_0 \\ Pkryt_1 \\ Pkryt_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7.77\times 10^4 \\ 2.963\times 10^4 \\ 4.055\times 10^4 \\ 1.341\times 10^5 \\ 4.509\times 10^4 \\ 2.929\times 10^4 \end{pmatrix}$$

$$Pkrytyczna := Pmin_5 = 2.929\times 10^4$$