



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Wytrzymałość Materiałów

Projektowanie połączeń konstrukcji

Siły przekrojowe i naprężenia, przykłady połączeń, idealizacja pracy łącznika, warunki bezpieczeństwa przy ścinaniu i docisku, połączenia na spoiny pachwinowe

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki

Katedra Wytrzymałości, Zmęczenia Materiałów i Konstrukcji

Dr hab. inż. Kinga Nalepka

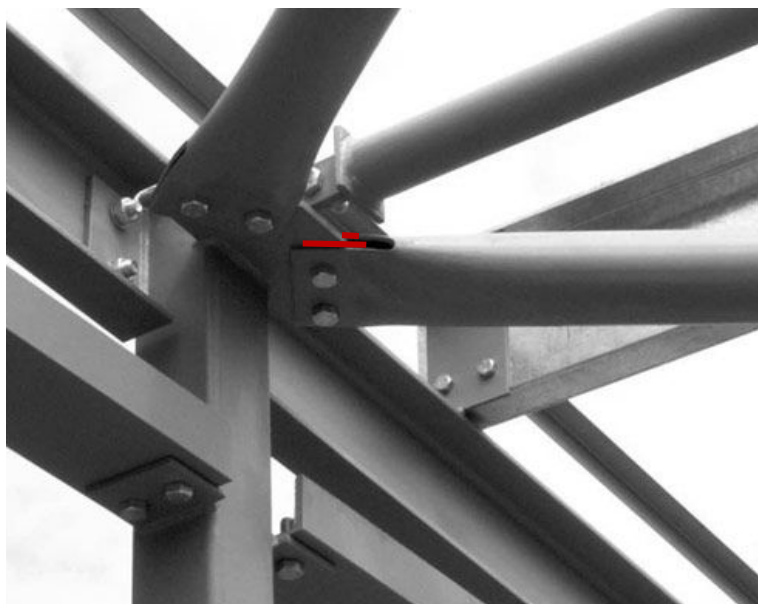
B2, III p., pok. 312

e-mail: knalepka@agh.edu.pl

tel. 12 617 30 98

http://zwmik.imir.agh.edu.pl/dydaktyka/dla_studentow/imir/imir.html

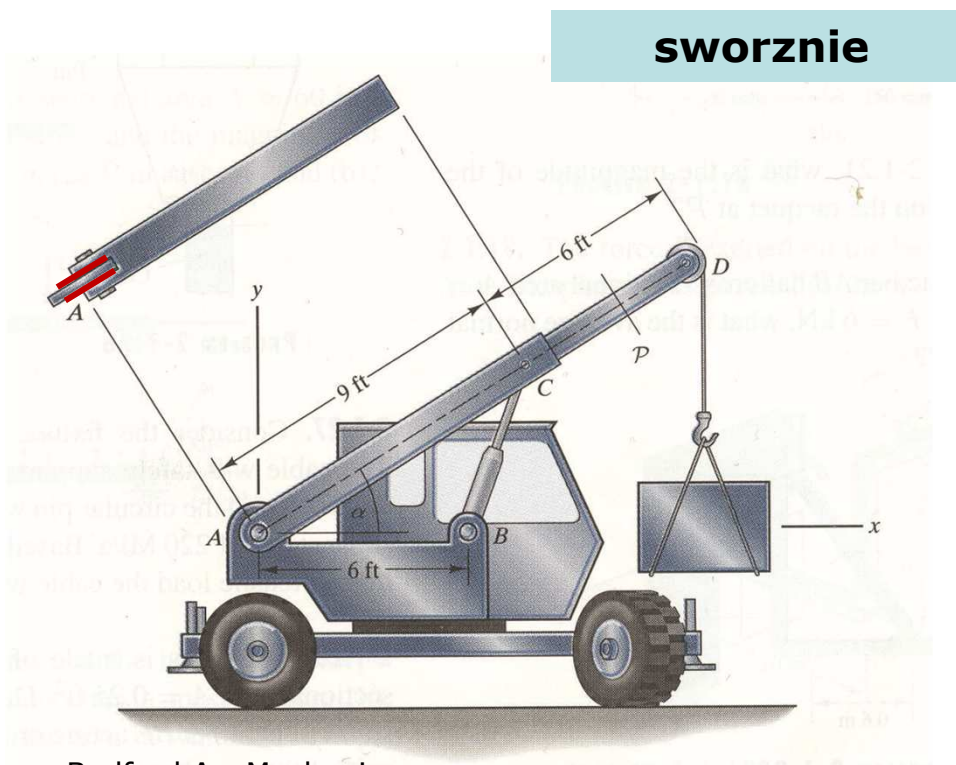
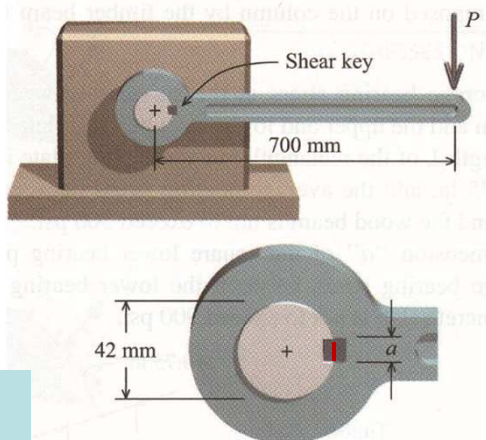
Przykłady połączeń



śruby

Philpot T.A.:
Mechanics of
materials

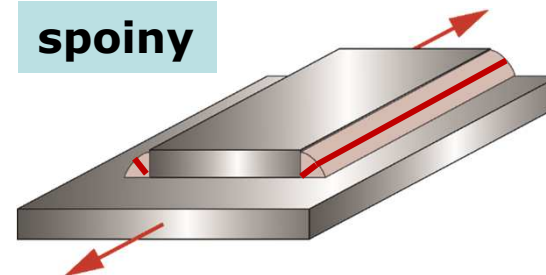
wpust



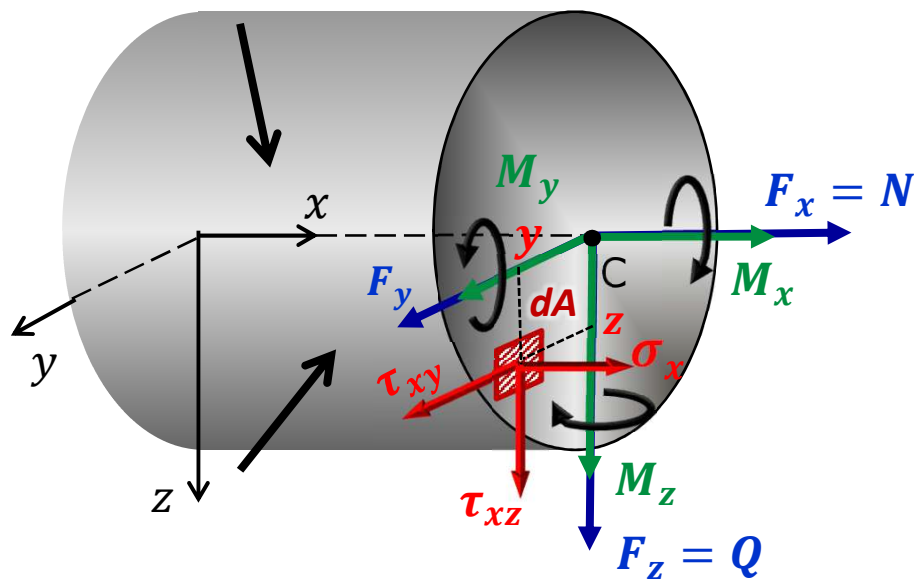
sworznie

Bedford A.: Mechanics
of materials

spoiny



Siły przekrojowe - naprężenia



$$N = \int_A \sigma_x dA \quad - \text{rozciąganie/ściskanie}$$

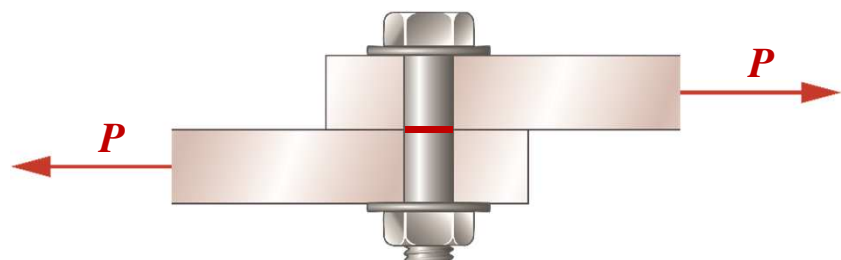
$$\left. \begin{aligned} F_y &= \int_A \tau_{xy} dA \\ F_z &= \int_A \tau_{xz} dA \end{aligned} \right\} - \text{ściananie}$$

$$T = \sqrt{F_y^2 + F_z^2}$$

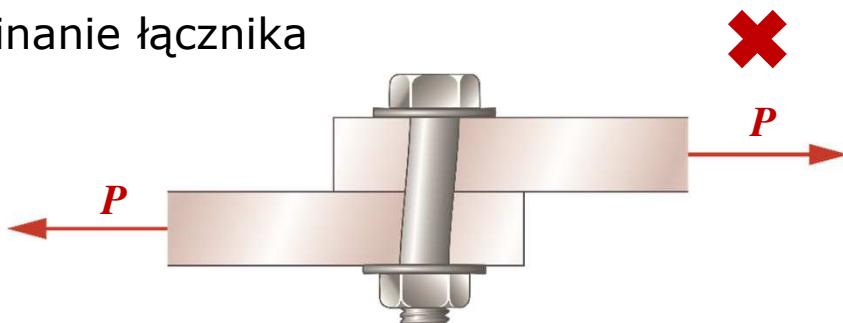
$$M_x = \int_A (\tau_{xz} y - \tau_{xy} z) dA \quad - \text{skręcanie}$$

$$\left. \begin{aligned} M_y &= \int_A \sigma_x z dA \\ M_z &= - \int_A \sigma_x y dA \end{aligned} \right\} - \text{zginanie}$$

Ścinanie techniczne Idealizacja

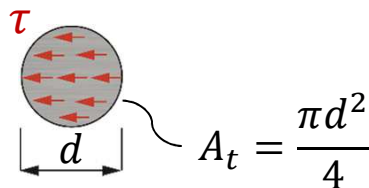


Zginanie łącznika



Przybliżony rozkład naprężeń stycznych w przekroju łącznika

$$\tau = \frac{P}{A_t}$$

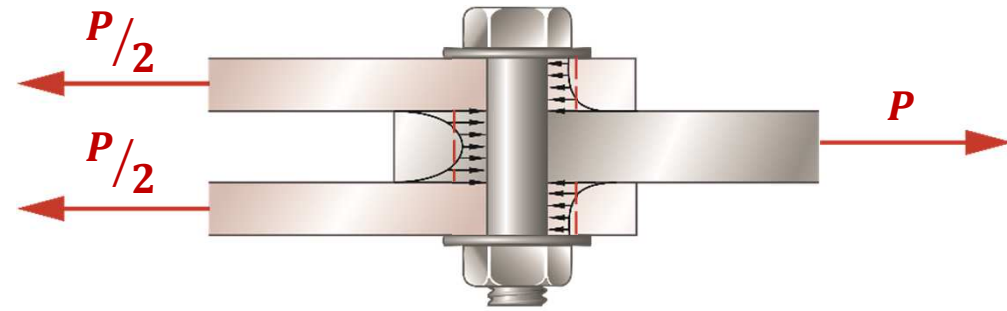


Połączenia na śruby, nity, sworznie, kołki projektowane są przy następujących założeniach:

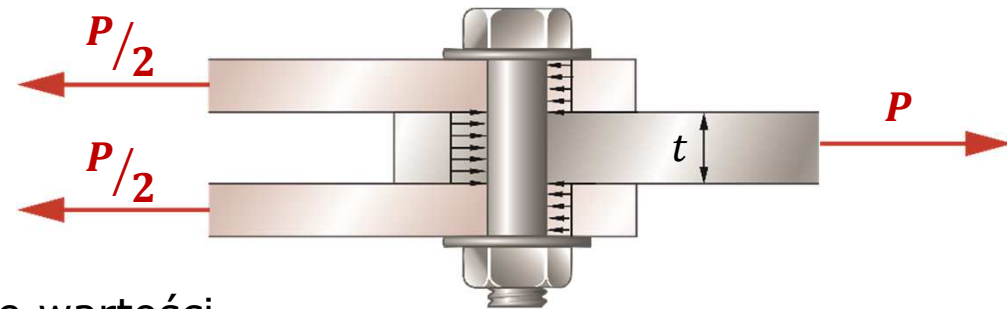
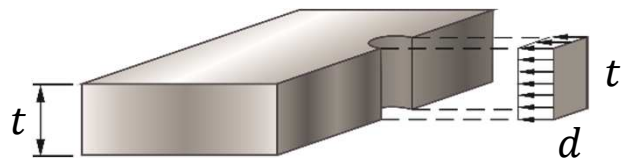
- Pomijamy zginanie, gdyż wywołane przez nie naprężenia są znacząco mniejsze od tych, które pochodzą od ścinania
- Siła tnąca działająca w przekroju poprzecznym śruby wywołuje równomierny rozkład naprężeń, który stanowi przybliżenie rzeczywiście występującego.

Docisk Idealizacja

Rzeczywisty rozkład naprężeń na cylindrycznej powierzchni docisku blachy do trzpienia łącznika.



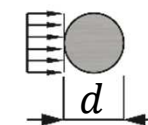
Przybliżony rozkład naprężeń na zastępczej powierzchni docisku tworzonej przez grubość blachy t i średnicę łącznika d .



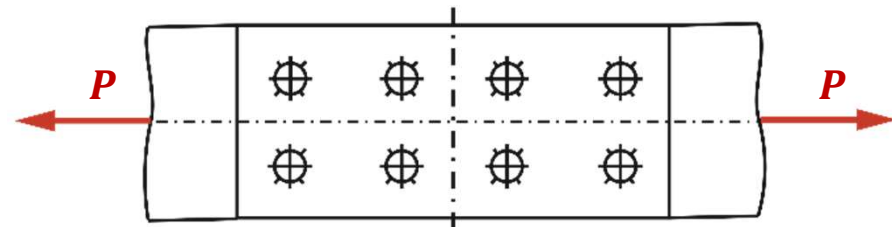
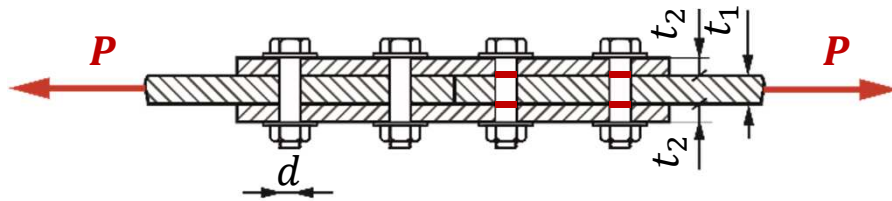
Naprężenie od docisku:

$$\sigma_d = \frac{P}{t \cdot d}$$

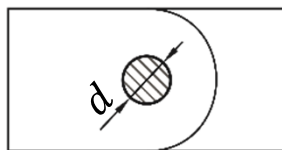
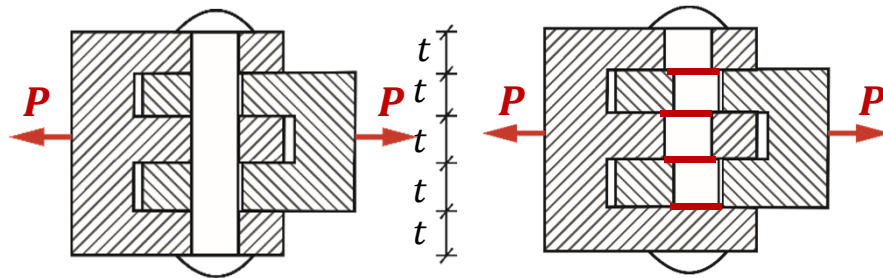
Przekroczenie wartości dopuszczalnej dla tego naprężenia powoduje uplastycznienie blachy



Warunek bezpieczeństwa Ścinanie łącznika



$$n = 4, i = 2$$



$$n = 1, i = 4$$

Naprężenia ścinające pojedynczy łącznik:

$$\tau = \frac{P/n}{A_t}$$

Powierzchnia ścinania:

$$A_t = \frac{\pi d^2}{4} \cdot i$$

d – średnica łącznika

n – liczba łączników przenoszących siłę.

i – liczba płaszczyzn ścinania

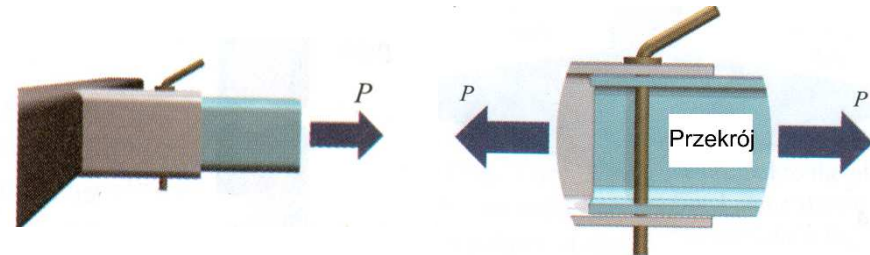
$$i = m - 1$$

m – liczba blach objętych łącznikiem

k_t – dopuszczalne naprężenie na ścinanie

Warunek bezpieczeństwa przy ścinaniu:

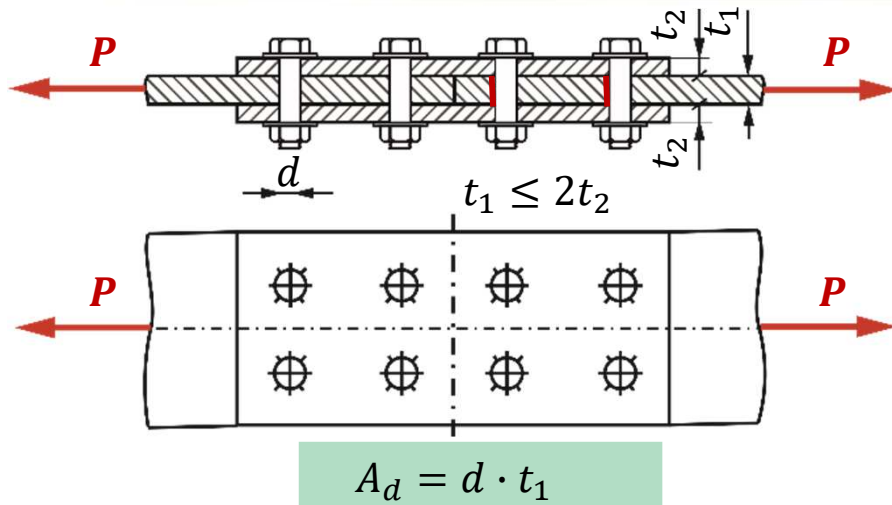
$$\frac{4P}{\pi d^2 \cdot n \cdot i} \leq k_t$$



$$n = 1, i = 2$$

Philpot T.A.: Mechanics of materials

Warunek bezpieczeństwa Uplastycznienie wskutek docisku trzcienia do ścianek otworu



Naprężenie od docisku pojedynczego łącznika:

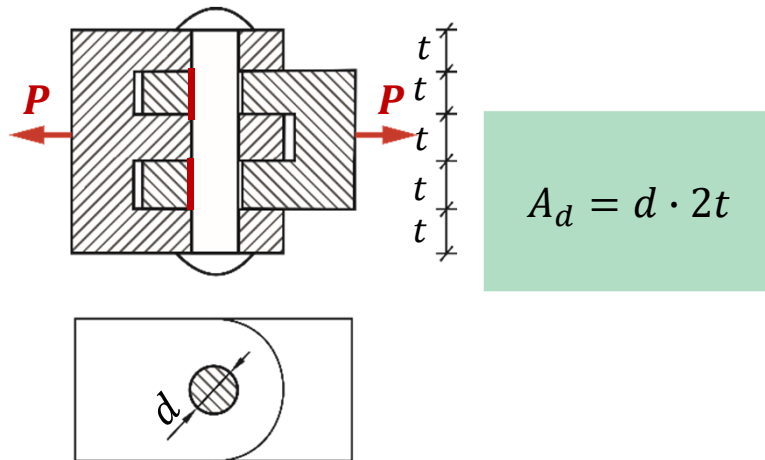
$$\sigma_d = \frac{P/n}{A_d}$$

Powierzchnia docisku:

$$A_d = d \sum_i t_i$$

Warunek bezpieczeństwa przy docisku:

$$\frac{P}{d \sum_i t_i \cdot n} \leq p_{dop}$$



d – średnica łącznika

n - liczba łączników przenoszących siłę.

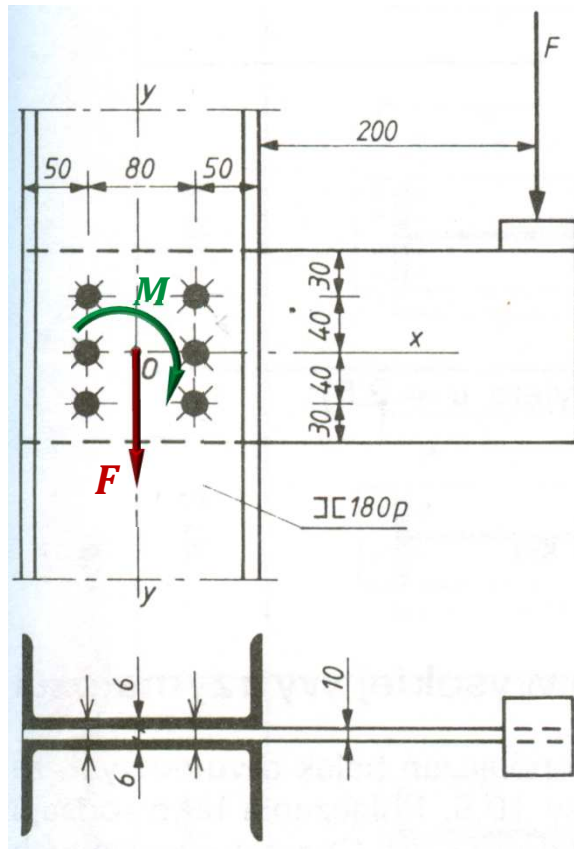
$\sum_i t_i$ - mniejsza z sumarycznych grubości blach dociskanych do jednej strony łącznika

p_{dop} - dopuszczalne naprężenie przy docisku

Przykłady obliczeń

Zadanie 1

Sprawdź czy spełniony jest warunek bezpieczeństwa dla śrub M12 klasy 4.6 w połączeniu obciążonym siłą $F = 15 \text{ kN}$ jak na poniższym rysunku. Dopuszczalne naprężenie na ścinanie $k_t = 180 \text{ MPa}$, zaś dopuszczalne naprężenie na docisk $p_d = 537.5 \text{ MPa}$.



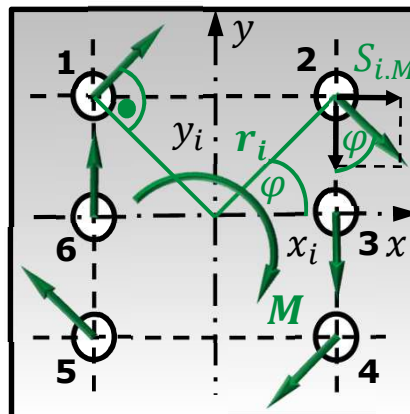
Siła działająca na pojedynczy łącznik w wyniku **obciążenia siłą skupioną**

$$S_{i,F} = \frac{-F}{n} \quad n - \text{liczba łączników}$$

Założenie:

Siła działająca na pojedynczy łącznik w wyniku **obciążenia momentem** jest prostopadła do promienia wodzącego łącznika oraz proporcjonalna do jego długości: $S_{i,M} = k \cdot r_i$

$$M = k \sum_i r_i^2 \Rightarrow k = \frac{M}{\sum_i (x_i^2 + y_i^2)} \rightarrow S_{i,M} = \frac{M r_i}{\sum_i (x_i^2 + y_i^2)}$$



$$S_{i,M,x} = S_{i,M} \sin \varphi = \frac{y_i}{r_i} S_{i,M}$$

$$|S_{i,M,y}| = S_{i,M} \cos \varphi = \frac{x_i}{r_i} S_{i,M}$$

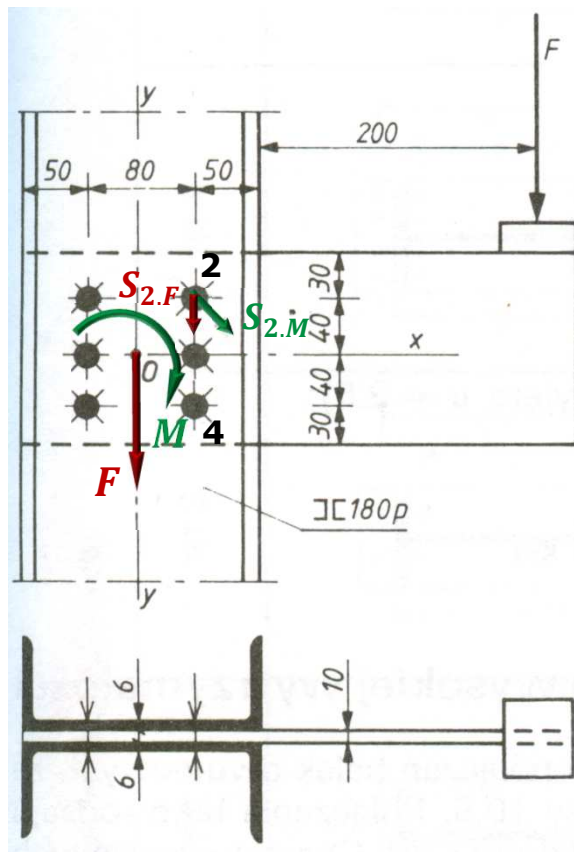
$$S_{i,M,x} = \frac{M y_i}{\sum_i (x_i^2 + y_i^2)} \quad S_{i,M,y} = \frac{-M x_i}{\sum_i (x_i^2 + y_i^2)}$$

$$S_i = \sqrt{S_{i,M,x}^2 + (S_{i,M,y} + S_{i,F})^2}$$

Przykłady obliczeń

Zadanie 1

Sprawdź czy spełniony jest warunek bezpieczeństwa dla śrub M12 klasy 4.6 w połączeniu obciążonym siłą $F = 15$ kN jak na poniższym rysunku. Dopuszczalne naprężenie na ścinanie $k_t=180$ MPa, zaś dopuszczalne naprężenie na docisk $p_d=537.5$ MPa.



Siła działająca na pojedynczy łącznik w wyniku **obciążenia siłą skupioną**

$$S_{i.F} = \frac{-15}{6} = -2.5 \text{ kN}$$

Siła działająca na pojedynczy łącznik w wyniku **obciążenia siłą momentem**

$$M = 15 \cdot 0.29 = 4.35 \text{ kNm}$$

$$S_{2.M.x} = \frac{4.35 \text{ kNm} \cdot 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}}{(6 \cdot 4^2 + 4 \cdot 4^2) \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 10.9 \text{ kN} = -S_{2.M.y}$$

$$S_2 = \sqrt{10.9^2 + (-10.9 - 2.5)^2} = 17.3 \text{ kN}$$

Warunek bezpieczeństwa: ścinanie

$$\frac{S_2}{2 \frac{\pi d^2}{4}} \leq k_t \Leftrightarrow 76.5 \text{ MPa} < 180 \text{ MPa} \quad \checkmark$$

Warunek bezpieczeństwa: docisk

$$\frac{S_2}{t \cdot d} \leq k_t \Leftrightarrow \frac{17.3 \text{ kN}}{1.2 \cdot 1.0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} \leq 537.5 \text{ MPa} \Leftrightarrow 144.2 \text{ MPa} < 180 \text{ MPa} \quad \checkmark$$

Obliczenia wytrzymałościowe

Ścinanie spoin pachwinowych

Naprężenia ścinające spoinę:

$$\tau = \frac{P}{A_t}$$

Warunek bezpieczeństwa przy ścinaniu spoiny:

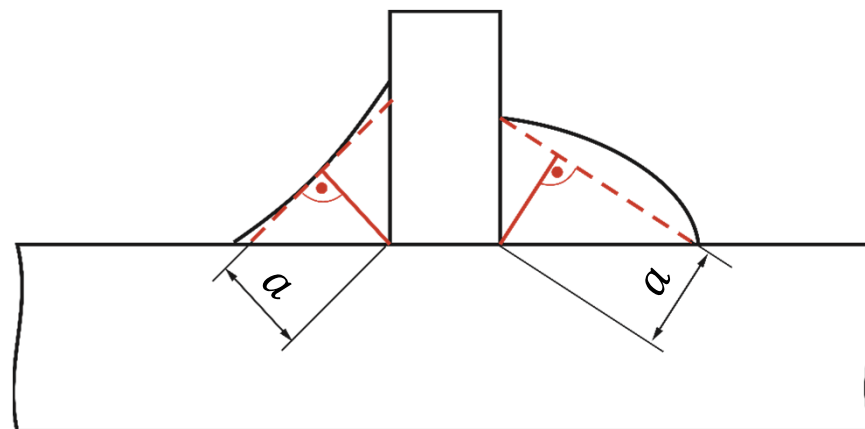
$$\frac{P}{a \cdot l_{eff}} \leq k_{ts}$$

A_t - pole powierzchni ścinania

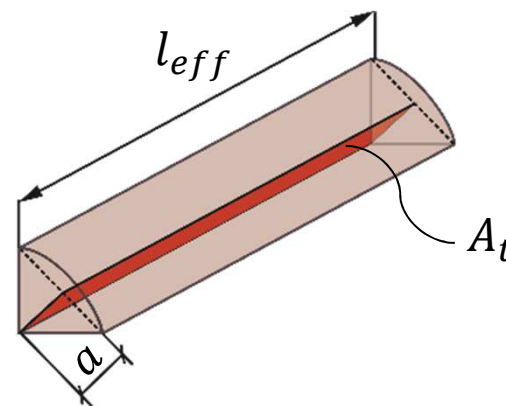
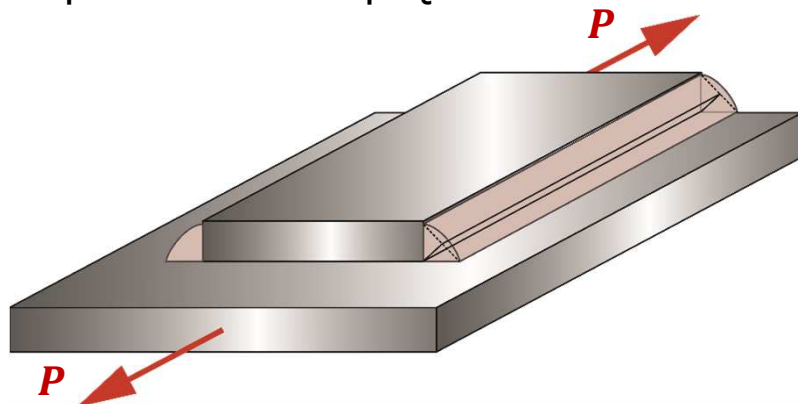
a - grubość spoiny

l_{eff} - efektywna długość spoiny

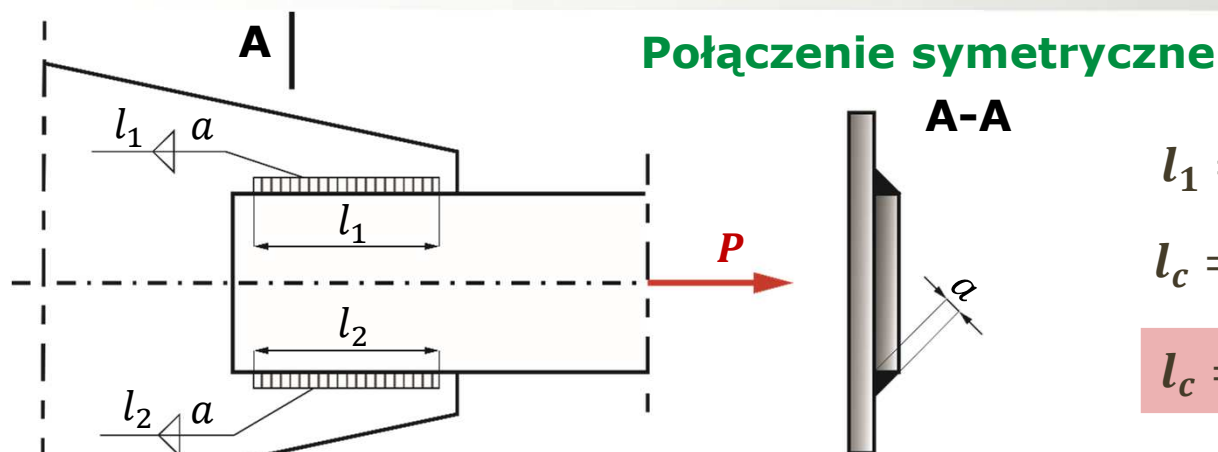
k_{ts} - dopuszczalne naprężenie na ścinanie



Norma: Projektowanie konstrukcji stalowych
PN-EN 1993-1-8:2005



Zasady doboru długości wzdluznych spoin pachwinowych

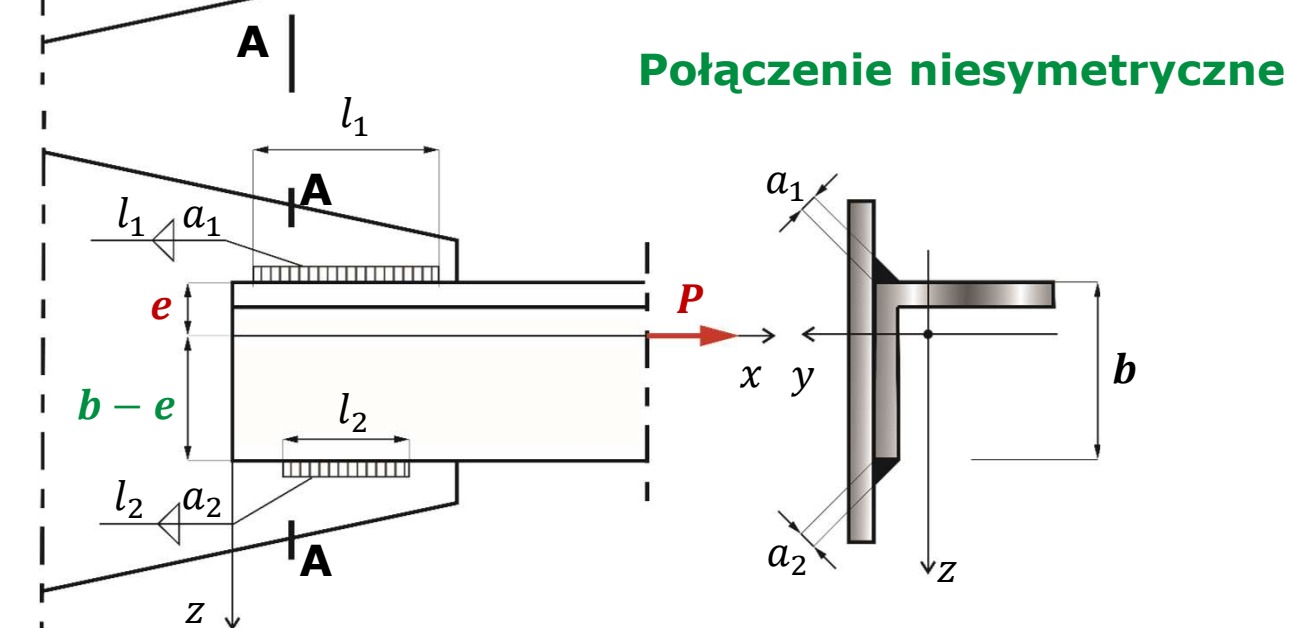


$$l_1 = l_2 = l$$

$$l_c = l_1 + l_2$$

$$l_c = 2l$$

$$\frac{P}{a \cdot l_c} \leq k_{ts}$$



$$z_c = \frac{S_x}{A} = 0$$

$$\frac{l_1 a_1 e - a_2 l_2 (b - e)}{l_1 a_1 + a_2 l_2} = 0$$

gdym: $a_1 = a_2$

$$l_1 e = l_2 (b - e)$$

$$l_c = l_1 + l_2$$