



# Podstawy Konstrukcji Maszyn

---

## Wykład 4

### Połączenia śrubowe

Dr inż. Jacek Czarnigowski



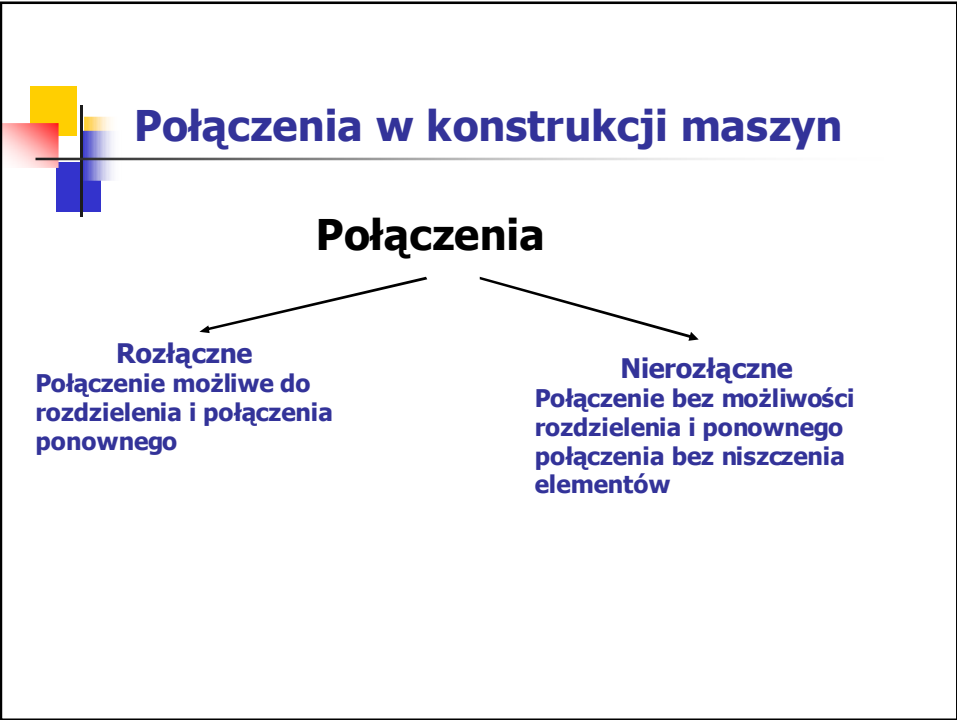
## Połączenia w konstrukcji maszyn

---

### Połączenia

**Pośrednie**  
Połączenie z elementem dodatkowym pomiędzy elementami łączonymi

**Bezpośrednie**  
Połączenie bez elementów dodatkowych pomiędzy elementami łączonymi



**Połączenia w konstrukcji maszyn**

**Połączenia**

	<b>Rozłączne</b>	<b>Nierozłączne</b>
<b>Pośrednie</b>	Kształtowe: - wpustowe, - klinowe, - kołkowe	Nitowe
<b>Bezpośrednie</b>	Kształtowe: - wielokątne, - wielowypustowe, - śrubowe.	Spawane Zgrzewane Klejone

## Połączenie śrubowe

**Połączenie bezpośrednie rozłączne kształtowe**

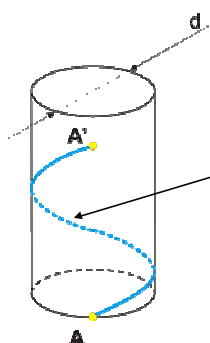
**Połączenie realizowane jest przez tarcie powierzchni roboczych gwintu**

**Powierzchnie robocze = powierzchnie wzajemnego styku „występów” i „bruzd” dwóch nagwintowanych elementów**

**Gwint w elemencie zewnętrznym MUSI odpowiadać gwintowi w elemencie wewnętrznym**

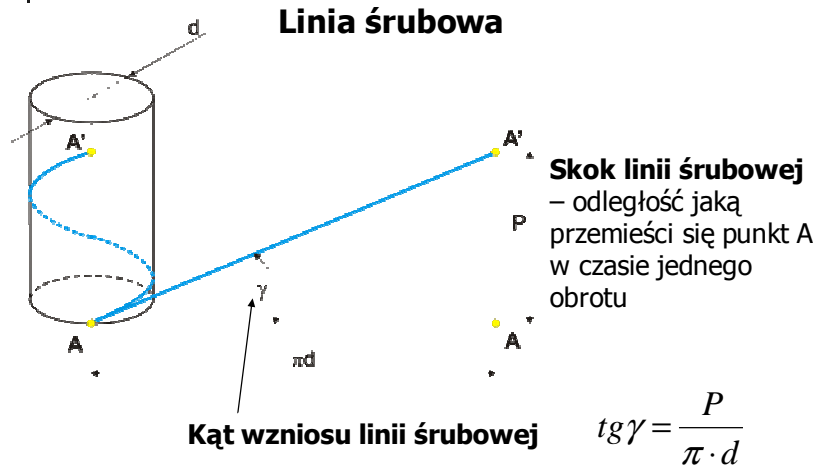
## Połączenie śrubowe

### Linia śrubowa



Linia śrubowa – tor punktu A wykonującego ruch obrotowy dookoła dowolnej osi oraz ruch postępowy

## Połączenie śrubowe



## Połączenie śrubowe

### Rodzaje gwintów

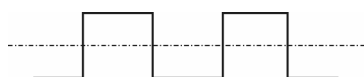
<b>Ze względu na kierunek</b>	<b>Lewoskrętny (gwint lewy)</b>	<b>Prawoskrętny (gwint prawy)</b>
<b>Ze względu na położenie</b>	<b>Zewnętrzny (śruba)</b>	<b>Wewnętrzny (nakrętka)</b>
<b>Ze względu na krotność</b>	<b>Pojedynczy</b>	<b>Wielokrotny</b>



## Rodzaje zarysu gwintów

### Gwinty prostokątne

$$\alpha_r = \alpha_p = 0^0$$



Cechy:

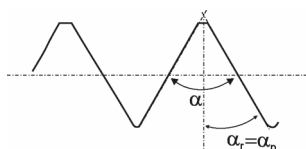
- Duża sprawność
- mała wytrzymałość

Gwint nieznormalizowane – wycofane z użytku

## Rodzaje zarysu gwintów

### Gwinty trójkątne

$$\alpha_r = \alpha_p = 30^0$$



Cechy:

- Duża wytrzymałość
- Odporne na luzowanie

**Gwint metryczny:**

**Gwint calowy:**

**Gwint rurowy:**

**Nominalne:** M30  
M30LH

3/4"

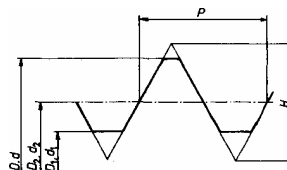
R3"

**Drobnozwojny lub grubozwojny:** M30x2

## Rodzaje zarysu gwintów

### PN-ISO 724 - 1995 GWINTY METRYCZNE ISO OGÓLNEGO PRZEZNACZENIA WYMIARY NOMINALNE

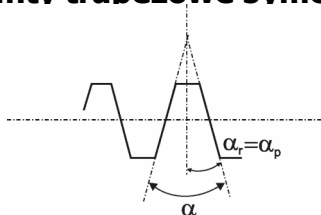
- $D$  średnica zewnętrzna nominalna gwintu wewnętrznego  
(średnica znamionowa)  
 $d$  średnica zewnętrzna nominalna gwintu zewnętrznego  
(średnica znamionowa)  
 $D_2$  średnica podziałowa nominalna gwintu wewnętrznego  
 $d_2$  średnica podziałowa nominalna gwintu zewnętrznego  
 $D_1$  średnica wewnętrzna nominalna gwintu wewnętrznego  
 $d_1$  średnica wewnętrzna nominalna gwintu zewnętrznego  
 $H$  wysokość trójkąta podstawowego  
 $P$  podziałka



## Rodzaje zarysu gwintów

### Gwinty trapezowe symetryczne

$$\alpha_r = \alpha_p = 15^\circ$$



**Gwint metryczny trapezowy:**

**Tr48x6  
Tr48x6LH**

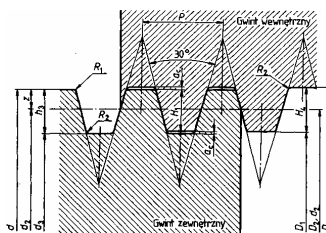
**Cechy:**

- Bardzo duża wytrzymałość
- stosowane przy maszynach o małych prędkościach obrotowych

## Rodzaje zarysu gwintów

### PN-ISO 2904+A - 1996 GWINTY TRAPEZOWE METRYCZNE ISO. WYMIARY NOMINALNE

$a_e$  - luz wierzchołkowy  
 $D_i$  - średnica zewnętrzna gwintów wewnętrznych  
 $D_2$  - średnica podziałowa gwintów wewnętrznych  
 $D_1$  - średnica wewnętrzna gwintów wewnętrznych  
 $d$  - średnica zewnętrzna gwintów zewnętrznych:  
**średnica znamionowa**  
 $d_2$  - średnica podziałowa gwintów zewnętrznych  
 $d_1$  - średnica wewnętrzna gwintów zewnętrznych  
 $H_t$  - głębokość skręcenia  
 $H_i$  - wysokość zarysu gwintów wewnętrznych  
 $h_s$  - wysokość zarysu gwintów zewnętrznych  
 $P$  - podziałka

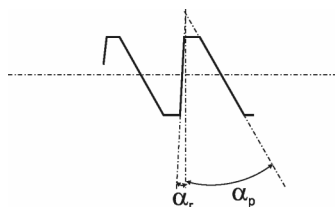


## Rodzaje zarysu gwintów

### Gwinty trapezowe niesymetryczne

$$\alpha_r = 3^\circ$$

$$\alpha_p = 15^\circ$$



**S48x6**  
**S48x6LH**

Cechy:

- Bardzo duża wytrzymałość
- pracuje w jedną stronę
- stosowane przy maszynach o małych prędkościach obrotowych

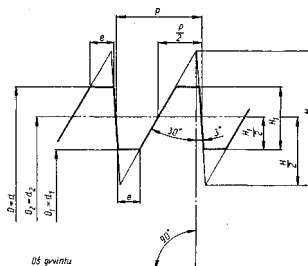


## Rodzaje zarysu gwintów

PN-88 / M-02019  
GWINTY TRAPEZOWE NIESYMETRYCZNE WYMIARY NOMINALNE

Przykład oznaczenia wielkości gwintu trapezowego niesymetrycznego o średnicy znamionowej  $d = 80$  mm i podziałce  $P = 10$  mm

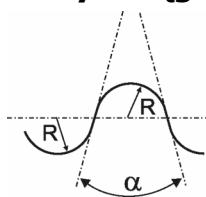
- a) jednokrotnego prawego  $S80 \times 10$   
b) dwukrotnego o skoku  $P' = 20$  lewego:  
 $S80 \times 20 (P10) LH$



## Rodzaje zarysu gwintów

### Gwinty okrągłe

$$\alpha_r = \alpha_p = 30^\circ$$



Cechy:

- Duża wytrzymałość na obciążenia zmienne
- stosowane przy połączeniach często rozłączanych

Gwint okrągły podstawowy:

**Rd60x1/6"**

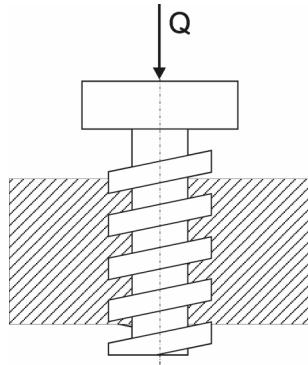
Gwint Edisona:

**E27**

Gwint Edisona metryczny:

**Em16**

## Rozkład sił w połączeniu gwintowym

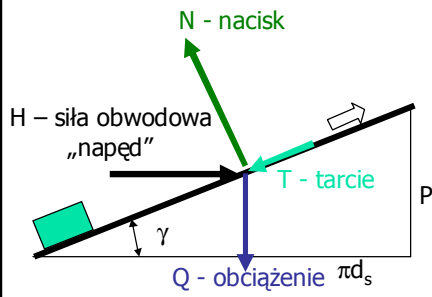


Możemy to rozpatrzyć jako przesuw ciężaru po ślimaku - pochylni

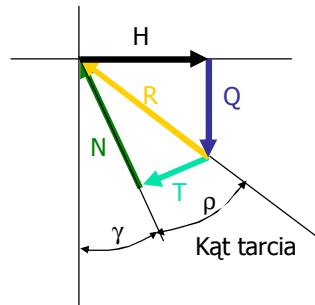
- Uproszczenia:
- Obciążenie jest rozłożone równomiernie na całą powierzchnię
  - gwint jest prostokątny,
  - obciążenie może być zastąpione jednym ciężarem poruszającym się po średniej średnicy gwintu

## Rozkład sił w połączeniu gwintowym

### „Podnoszenie ciężaru Q”

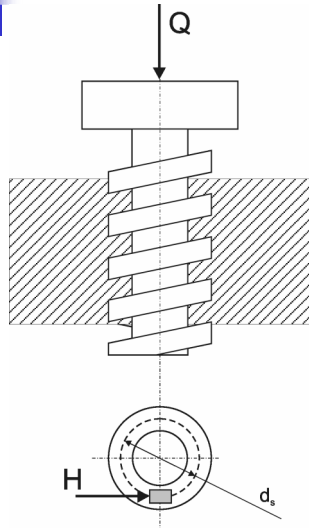


$$T = N \cdot \mu = N \cdot \operatorname{tg} \rho$$



$$H = Q \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \rho)$$

## Rozkład sił w połączeniu gwintowym



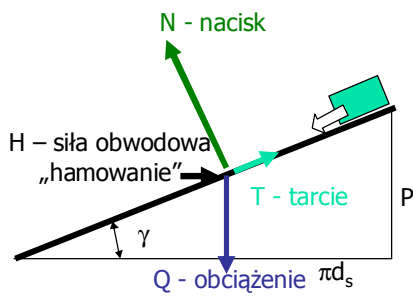
„Podnoszenie ciężaru Q”

$$H = Q \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \rho)$$

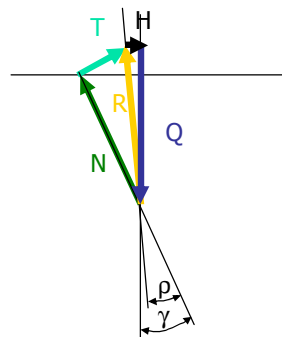
$$M_s = 0,5 \cdot d_s \cdot Q \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \rho)$$

## Rozkład sił w połączeniu gwintowym

„Opuszczanie ciężaru Q”

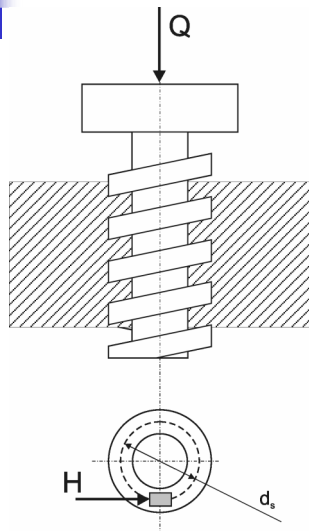


$$T = N \cdot \mu = N \cdot \operatorname{tg} \rho$$



$$H = Q \cdot \operatorname{tg}(\gamma - \rho)$$

## Rozkład sił w połączeniu gwintowym



„Opuszczanie ciężaru Q”

$$H = Q \cdot \operatorname{tg}(\gamma - \rho)$$

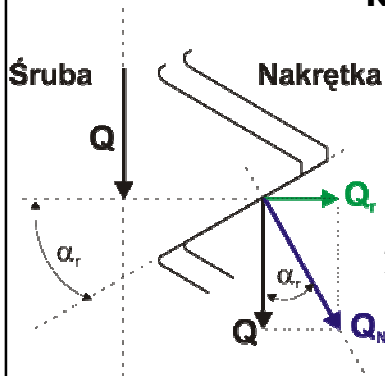
Jest to siła jaką trzeba przyłożyć aby przeciwdziałać przyspieszaniu ciężaru

Zatem aby utrzymać ciężar (lub opuszczać go jednostajnie) trzeba przyłożyć moment przeciwny

$$M_s = 0,5 \cdot d_s \cdot Q \cdot \operatorname{tg}(\gamma - \rho)$$

## Rozkład sił w połączeniu gwintowym

Rozkład sił przy zarysie dowolnym



$$Q_N = \frac{Q}{\cos \alpha_r}$$

$$T = Q_N \cdot \mu = \frac{Q \cdot \mu}{\cos \alpha_r} = Q \cdot \mu' = Q \cdot \operatorname{tg} \rho'$$

$\rho'$  - Pozorny kąt tarcia

$$M_s = 0,5 \cdot d_s \cdot Q \cdot \operatorname{tg}(\gamma \pm \rho')$$



## Rozkład sił w połączeniu gwintowym

### Moment oporów na gwincie

$$M_s = 0,5 \cdot d_s \cdot Q \cdot \operatorname{tg}(\gamma \pm \rho')$$

Zależy od kierunku pracy



## Samohamowność gwintu

### „Opuszczanie ciężaru Q”

$$M_s = 0,5 \cdot d_s \cdot Q \cdot \operatorname{tg}(\gamma - \rho')$$

Moment jaki trzeba przyłożyć aby układ był w równowadze

Jeżeli:  $\gamma - \rho' = 0$   $M_s = 0$

Jeżeli:  $\gamma - \rho' < 0$   $M_s < 0$

Siła tarcia jest na tyle duża, że samoczynnie przeciwstawia się zsuwaniu się ciężarku. Zatem aby ruszyć ciężar trzeba dodatkowo przyłożyć siłę (moment)



## Samohamowność gwintu

---

Warunek samohamowności

$$\gamma < \rho'$$



## Sprawność gwintu

---

Zamiana ruchu obrotowego na postępowy

Praca włożona

1 obrót

$$L_w = 2 \cdot \pi \cdot M_s$$

Praca uzyskana

Przesunięcie o skok

$$L_u = P \cdot Q$$

$$\eta = \frac{L_u}{L_w}$$

## Sprawność gwintu

### Zamiana ruchu obrotowego na postępowy

$$\eta = \frac{L_u}{L_w} = \frac{Q \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot M_s}$$

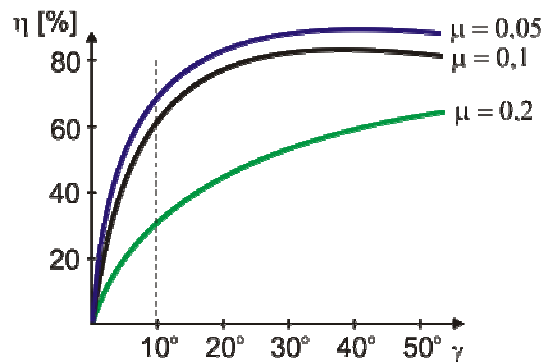
$$\eta = \frac{Q \cdot \pi \cdot d_s \cdot \operatorname{tg} \gamma}{2 \cdot \pi \cdot 0,5 \cdot d_s \cdot Q \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \rho')}$$

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg}(\gamma + \rho')}$$

## Sprawność gwintu

### Zamiana ruchu obrotowego na postępowy

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg}(\gamma + \rho')}$$





## Sprawność gwintu

### Zamiana ruchu postępowego na obrotowy

Praca włożona

Praca uzyskana

Przesunięcie o skok

1 obrót

$$L_w = P \cdot Q$$

$$L_u = 2 \cdot \pi \cdot M_s$$

$$\eta = \frac{L_u}{L_w}$$



## Sprawność gwintu

### Zamiana ruchu postępowego na obrotowy

$$\eta = \frac{L_u}{L_w} = \frac{2 \cdot \pi \cdot M_s}{Q \cdot P}$$

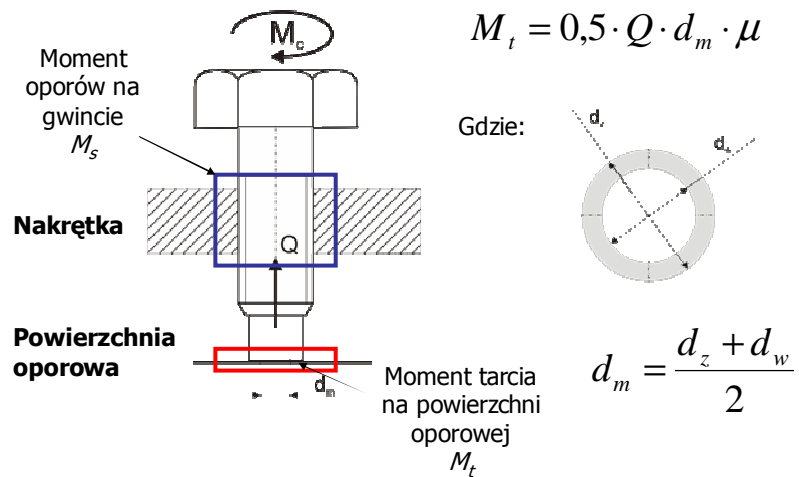
$$\eta = \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,5 \cdot d_s \cdot Q \cdot \operatorname{tg}(\gamma - \rho')}{Q \cdot \pi \cdot d_s \cdot \operatorname{tg} \gamma}$$

$$\eta = \frac{\operatorname{tg}(\gamma - \rho')}{\operatorname{tg} \gamma}$$

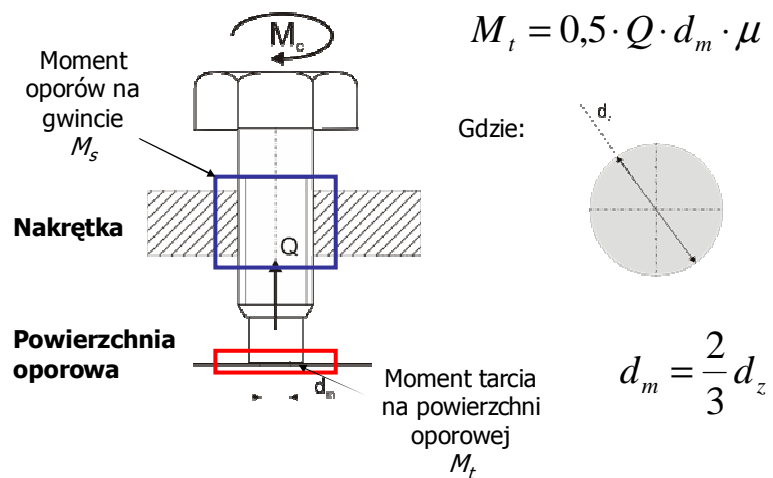
**UWAGA!** ruch możliwy tylko dla gwintu niesamohamownego



## Moment tarcia na powierzchni oporowej

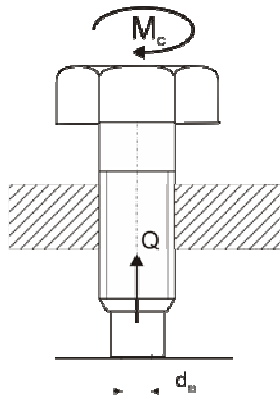


## Moment tarcia na powierzchni oporowej



## Moment całkowity

Łączny moment konieczny do napędu układu



$$M_c = M_s + M_t$$

## Przypadki obciążenia połączeń śrubowych

### 1 przypadek

Złącze samohamowne **najpierw** skręcone a **następnie** obciążone siłą osiową

Przykłady:

- hak,
- śruba oczkowa do podnoszenia,
- ...



## Przypadki obciążenia połączeń śrubowych

---

### 2 przypadek

Złącze **skręcane** pod obciążeniem osiowym

**Przykłady:**

- podnośnik śrubowy,
- prasa,
- imadło,
- ....



## Przypadki obciążenia połączeń śrubowych

---

### 3 przypadek

Złącze samohamowne **najpierw napięte** siłą napięcia wstępnego (wstępnie skręcane) a **następnie obciążone** siłą roboczą osiową

**Przykłady:**

- śruby pokryw zbiorników ciśnienia,
- szpilki głowic silnika,
- śruby kołnierzy przewodów rurowych



## Przypadki obciążenia połączeń śrubowych

### 4 przypadek

Złącze śrubowe obciążone **siłą prostopadłą** do osi

**Przykłady:**

- połączenie blach,
- połączenia kołnierzy sprzęgieł,
- ...



## 1 przypadek obciążenia śrub

Złącze samohamowne **najpierw** skrecone a **następnie** obciążone siłą osiową

Śruba jest **tylko** rozciągana lub ściskana

$$\sigma_r = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_3^2} \leq w \cdot k_r \quad (k_{rj})$$

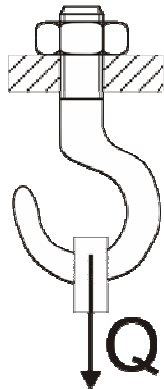
$$\sigma_c = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_3^2} \leq w \cdot k_c \quad (k_{cj})$$

$w = 1$  - śruby starannie wykonane  
 $w = 0,75$  - śruby normalnie wykonane  
 $w = 0,5$  - śruby zgrubnie wykonane

Średnica rdzenia śruby!!!!

## Przykład 4.01 1 przypadek obciążenia śrub

Sprawdzić, czy hak z gwintem M12 przeniesie obciążenie  $Q = 7$  kN.  
Hak wykonany jest ze stali E295 ( $k_r = 140$ MPa).



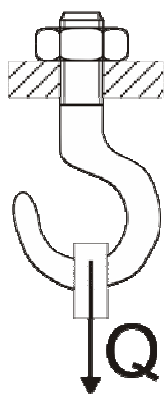
Śruba jest **tylko rozciągana**

Gwint M12:  
 $d = 12$  mm  
 $d_3 = 10,106$  mm  
 $P = 1,75$  mm

$$\sigma_r = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_3^2} \leq w \cdot k_r$$

## Przykład 4.01 1 przypadek obciążenia śrub

Stal E295 ( $k_r = 140$ MPa).



Gwint M12:  
 $d = 12$  mm  
 $d_3 = 10,106$  mm  
 $P = 1,75$  mm

$$\sigma_r = \frac{4 \cdot 7000}{\pi \cdot 10,106^2} = 87,31 \text{ MPa}$$

$$\sigma_r = 87,31 \text{ MPa} \leq 0,75 \cdot 140 = 105 \text{ MPa}$$

**Konstrukcja poprawna**

## 2 przypadek obciążenia śrub

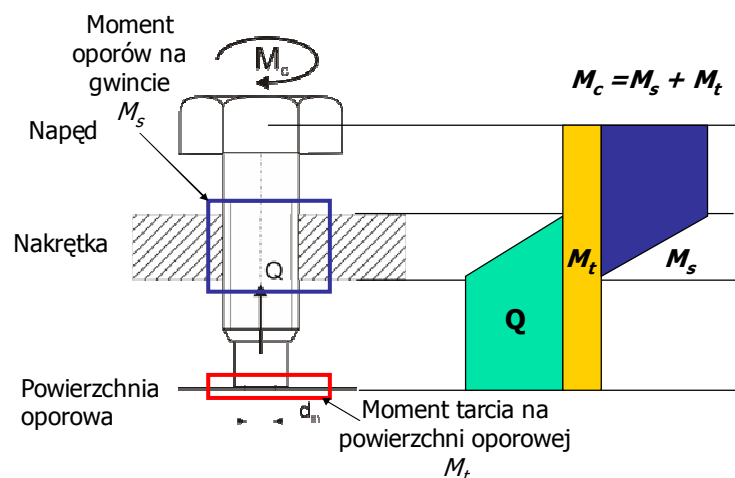
Złącze **skręcane** pod obciążeniem osiowym

Złącze jest zatem jednocześnie **skręcane** jak i **rozciągane (ściskane)**

Występuje zatem złożony stan naprężeń (naprężenia normalne – rozciąganie/ściskanie i styczne – skręcanie)

## 2 przypadek obciążenia śrub

Jednoczesne **skręcane** i **rozciągane (ściskane)**



## 2 przypadek obciążenia śrub

Zatem naprężenia:

Rozciągające lub ściskające:

$$\sigma_r = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_3^2} \qquad \sigma_c = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_3^2}$$

$d_3$  – średnica rdzenia śruby!!!!

## 2 przypadek obciążenia śrub

Zatem naprężenia:

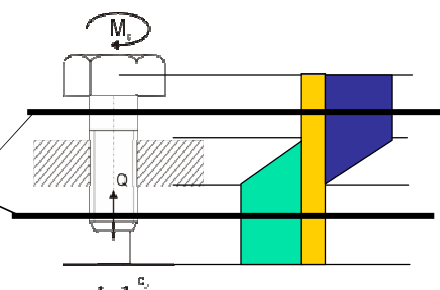
oraz skręcające:

Zależy od konstrukcji

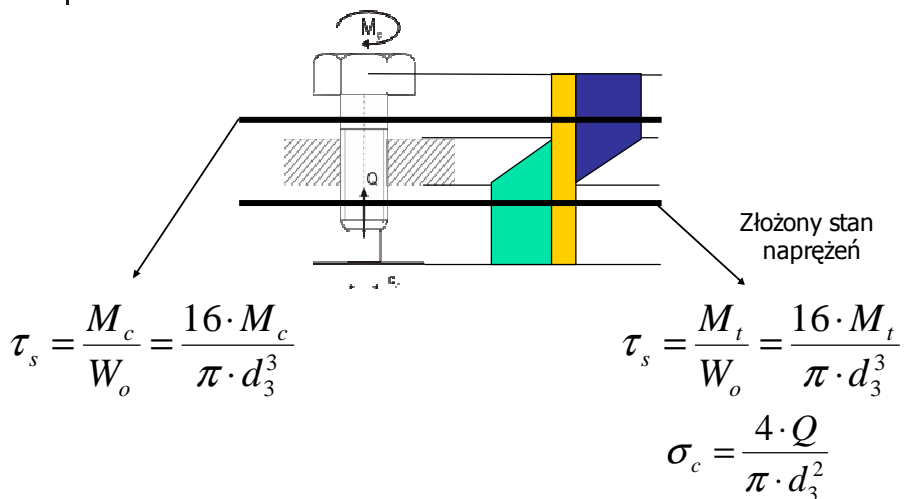
$$\tau_s = \frac{M_s}{W_o} = \frac{16 \cdot M_s}{\pi \cdot d_3^3}$$

$$\tau_s = \frac{M_t}{W_o} = \frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot d_3^3}$$

$$\tau_s = \frac{M_c}{W_o} = \frac{16 \cdot M_c}{\pi \cdot d_3^3}$$



## 2 przypadek obciążenia śrub



## 2 przypadek obciążenia śrub

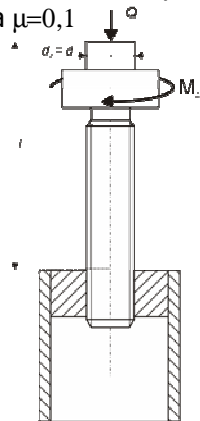
**Naprężenia wypadkowe  
Hipoteza Hubera:**

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_r^2 + 3 \cdot \tau_s^2} \leq k_c$$



## Przykład 4.02 2 przypadek obciążenia śrub

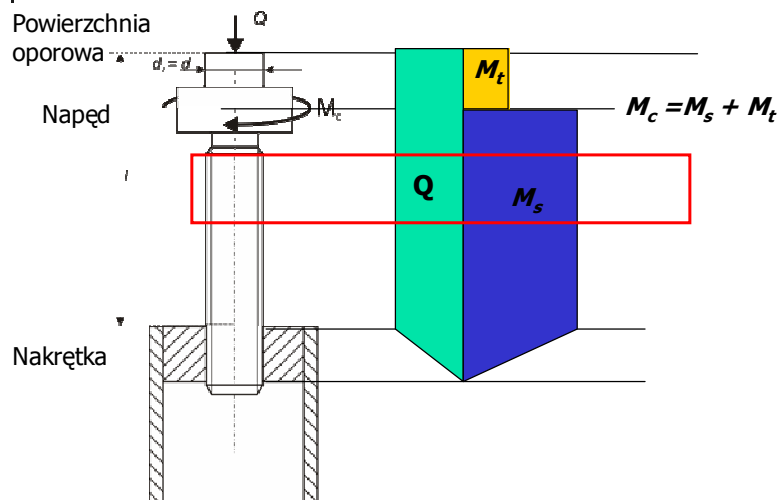
Sprawdzić, czy podnośnik śrubowy z gwintem M12 przeniesie obciążenie  $Q = 7 \text{ kN}$ . Śruba wykonana jest ze stali E295 ( $k_c = 140 \text{ MPa}$ ). Współczynnik tarcia  $\mu = 0,1$



Gwint M12:  
 $d = 12 \text{ mm}$   
 $d_3 = 10,106 \text{ mm}$   
 $D_1 = 10,20 \text{ mm}$   
 $P = 1,75 \text{ mm}$

## Przykład 4.02 2 przypadek obciążenia śrub

1. Określamy obciążenia działające na śrubę





## Przykład 4.02 2 przypadek obciążenia śrub

1. Określamy obciążenia działające na śrubę

Zatem wniosek:

- Ściskanie siłą Q
- Skręcanie momentem  $M_s$



## Przykład 4.02 2 przypadek obciążenia śrub

2. Obliczenie obciążeń:

Ściskanie:

$$\sigma_c = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_3^2}$$

$$\sigma_c = \frac{4 \cdot 7000}{\pi \cdot 10,106^2} = 87,27 \text{ MPa}$$



## Przykład 4.02 2 przypadek obciążenia śrub

2. Obliczenie obciążeń:

Skrećanie:

$$\tau_s = \frac{M_s}{W_o} = \frac{16 \cdot M_s}{\pi \cdot d_3^3}$$

Moment oporów na gwincie:

$$M_s = 0,5 \cdot d_s \cdot Q \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \rho')$$

$$d_s = \frac{d + D_1}{2} \quad d_s = \frac{12 + 10,2}{2} = 11,1 \text{ mm}$$



## Przykład 4.02 2 przypadek obciążenia śrub

2. Obliczenie obciążeń:

Kąt wzniosu linii śrubowej

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{P}{\pi \cdot d_s} \quad \operatorname{tg} \gamma = \frac{1,75}{\pi \cdot 11,1} = 0,05018 \quad \gamma = 2^\circ 52'$$

Pozorny kąt tarcia

$$\operatorname{tg} \rho' = \frac{\mu}{\cos \alpha_r} \quad \text{Kąt roboczy gwintu} \quad \alpha_r = 30^\circ \quad \operatorname{tg} \rho' = \frac{0,1}{\cos 30} = 0,11547$$
$$\rho' = 6^\circ 35'$$



## Przykład 4.02 2 przypadek obciążenia śrub

2. Obliczenie obciążeń:

Kąt wzniosu linii śrubowej

$$\gamma = 2^{\circ}52'$$

Pozorny kąt tarcia

$$\rho' = 6^{\circ}35'$$

<

Gwint samohamowny

Zatem moment oporów na gwincie:

$$M_s = 0,5 \cdot d_s \cdot Q \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \rho')$$

$$M_s = 0,5 \cdot 11,1 \cdot 7000 \cdot \operatorname{tg}(2^{\circ}52' + 6^{\circ}35')$$

$$M_s = 6466,4 \text{ Nmm}$$



## Przykład 4.02 2 przypadek obciążenia śrub

2. Obliczenie obciążeń:

Skręcanie:

$$M_s = 6466,4 \text{ Nmm}$$

$$\tau_s = \frac{M_s}{W_o} = \frac{16 \cdot M_s}{\pi \cdot d_3^3}$$

$$\tau_s = \frac{16 \cdot 6466,4}{\pi \cdot 10,106^3} = 31,91 \text{ MPa}$$



## Przykład 4.02 2 przypadek obciążenia śrub

3. Naprężenia zastępcze:

Skęcanie:

$$\tau_s = \frac{16 \cdot 6466,4}{\pi \cdot 10,106^3} = 31,91 \text{ MPa}$$

Ściskanie:

$$\sigma_c = \frac{4 \cdot 7000}{\pi \cdot 10,106^2} = 87,27 \text{ MPa}$$

Wypadkowe:

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_c^2 + 3\tau_s^2} = \sqrt{87,27^2 + 3 \cdot 31,91^2} = 103,30 \text{ MPa}$$



## Przykład 4.02 2 przypadek obciążenia śrub

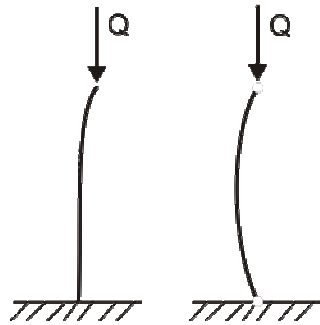
4. Sprawdzenie konstrukcji:

$$\sigma_z = 103,30 \text{ MPa} < k_c = 140 \text{ MPa}$$

Konstrukcja poprawna

## 2 przypadek obciążenia śrub - wyboczenie

### Wyboczenie



Długie pręty (śruba) poddane ścisnaniu narażone są **wyboczenie** – wygięcie się elementu pod wpływem utraty stateczności

## 2 przypadek obciążenia śrub - wyboczenie

### Warunek stateczności

$$\sigma_c \leq k_w$$

Naprężenia ściskające

Naprężenie dopuszczalne na  
wyboczenie

$$\sigma_c = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_3^2} \leq k_w = \frac{R_w}{x_w}$$



## 2 przypadek obciążenia śrub - wyboczenie

### Warunek stateczności

$$\sigma_c = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_3^2} \leq k_w = \frac{R_w}{x_w}$$

Doraźna wytrzymałość na wyboczenie

Współczynnik bezpieczeństwa na wyboczenie



## 2 przypadek obciążenia śrub - wyboczenie

### Rodzaje

#### Sprężyste

Pręt pod obciążeniem odchyła się od położenia a po zmniejszeniu obciążenia **wraca do pierwotnego położenia**

#### Trwałe

Pręt pod obciążeniem odchyła się od położenia a po zmniejszeniu obciążenia **nie wraca do pierwotnego położenia**

O rodzaju decyduje **smukłość**

## 2 przypadek obciążenia śrub - wyboczenie

### Smukłość

$$\lambda = \frac{l_s}{i_x}$$

Długość wyboczeniowa

Promień bezwładności:

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{F}}$$

Moment bezwładności

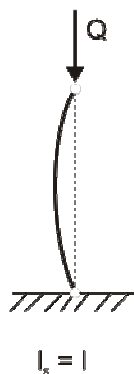
Pole powierzchni

Dla prętów pełnych:  $i_x = \frac{d}{4}$

## 2 przypadek obciążenia śrub - wyboczenie

### Długość wyboczeniowa

Długość pełnego łuku wygiętego pręta





## 2 przypadek obciążenia śrub - wyboczenie

### Rodzaje wyboczenia

#### Sprężyste

$$\lambda > \lambda_{kr}$$

$\lambda_{kr} = 120$	Stal węglowa bardzo miękka
$\lambda_{kr} = 105$	Stal węglowa miękka
$\lambda_{kr} = 90$	Stal węglowa twarda
$\lambda_{kr} = 86$	Stal stopowa

#### Trwałe

$$\lambda \leq \lambda_{kr}$$

## 2 przypadek obciążenia śrub - wyboczenie

$$\sigma_c = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_3^2} \leq k_w = \frac{R_w}{x_w}$$

#### Sprężyste

$$R_w = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2}$$

Wzór Eulera

#### Trwałe

$$R_w = R_0 - R_1 \cdot \lambda$$

Wzór Tetmajera

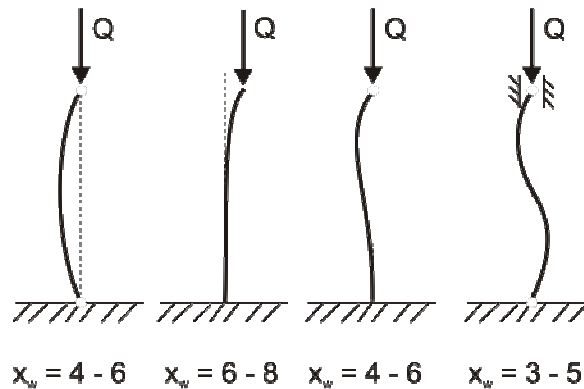
Typowe wartości na  
stali węglowych

$$R_0 = 335 \text{ MPa}$$

$$R_1 = 0,62 \text{ MPa}$$

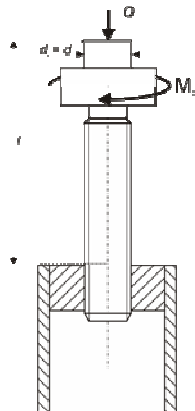
## 2 przypadek obciążenia śrub - wyboczenie

Współczynnik bezpieczeństwa na wyboczenie



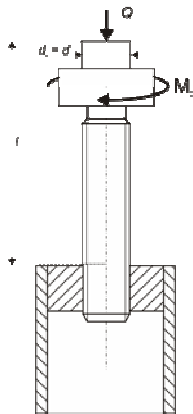
## Przykład 4.03 Wyboczenie śruby

Sprawdzić, czy podnośnik śrubowy z gwintem M12 przeniesie obciążenie  $Q = 7$  kN. Śruba wykonana jest ze stali E295. Wysokość śruby wynosi  $l = 150$  mm



Gwint M12:  
 $d = 12$  mm  
 $d_3 = 10,106$  mm  
 $D_1 = 10,20$  mm  
 $P = 1,75$  mm

## Przykład 4.03 Wyboczenie śruby

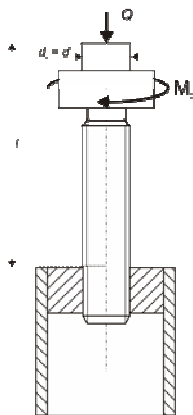


1. Określamy długość wyboczeniową:



$$l_s = 2 \cdot l = 2 \cdot 150 = 300 \text{ mm}$$

## Przykład 4.03 Wyboczenie śruby



2. Określamy smukłość śruby:

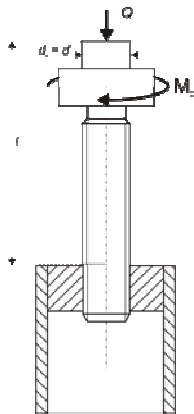
$$\lambda = \frac{l_s}{i_x} = \frac{4 \cdot l_s}{d_3}$$

$$\lambda = \frac{4 \cdot 300}{10,106} = 118,7 > \lambda_{kr} = 105$$

Stal węglowa miękka

Zatem wyboczenie sprężyste

## Przykład 4.03 Wyboczenie śruby



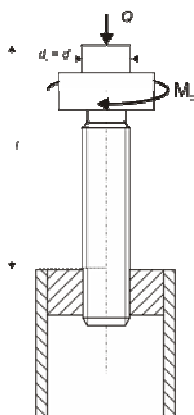
3. Określamy doraźną wytrzymałość na wyboczenie (wzór Eulera):

$$R_w = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{118,7^2} = 147,0 \text{ MPa}$$

4. Określamy naprężenia ściskające:

$$\sigma_c = \frac{4 \cdot 7000}{\pi \cdot 10,106^2} = 87,27 \text{ MPa}$$

## Przykład 4.03 Wyboczenie śruby



5. Określamy naprężenia dopuszczalne na wyboczenie:

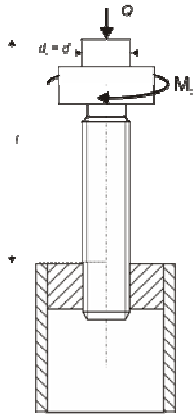
Przyjmijmy:  $x_w = 6$

$$k_w = \frac{147,0}{6} = 24,50 \text{ MPa}$$



## Przykład 4.03 Wyboczenie śruby

6. Sprawdzenie konstrukcji na wyboczenie:



$$\sigma_c = 87,27 \text{ MPa} > k_w = 24,50 \text{ MPa}$$

Konstrukcja niepoprawna