



**POLITECHNIKA
RZESZOWSKA**
im. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA



**WYDZIAŁ
BUDOWY MASZYN
I LOTNICTWA**
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

Sprzęgła

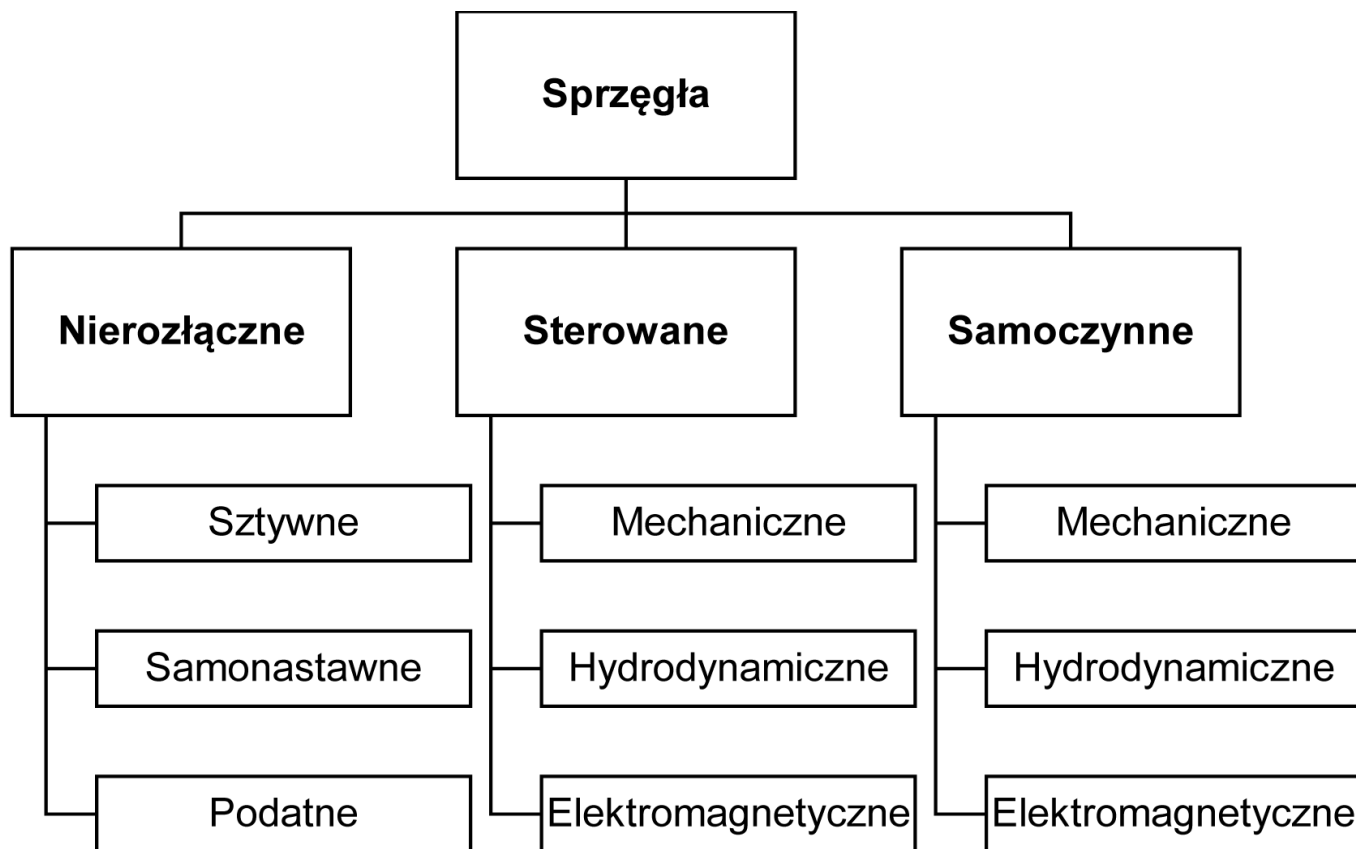
dr inż. Michał Batsch

Podział sprzęgieł

Sprzęgło to element służący do łączenia wałów. Sprzęgła przenoszą głównie moment obrotowy. Dobór sprzęgła przeprowadza się na podstawie momentu obliczeniowego M_o .

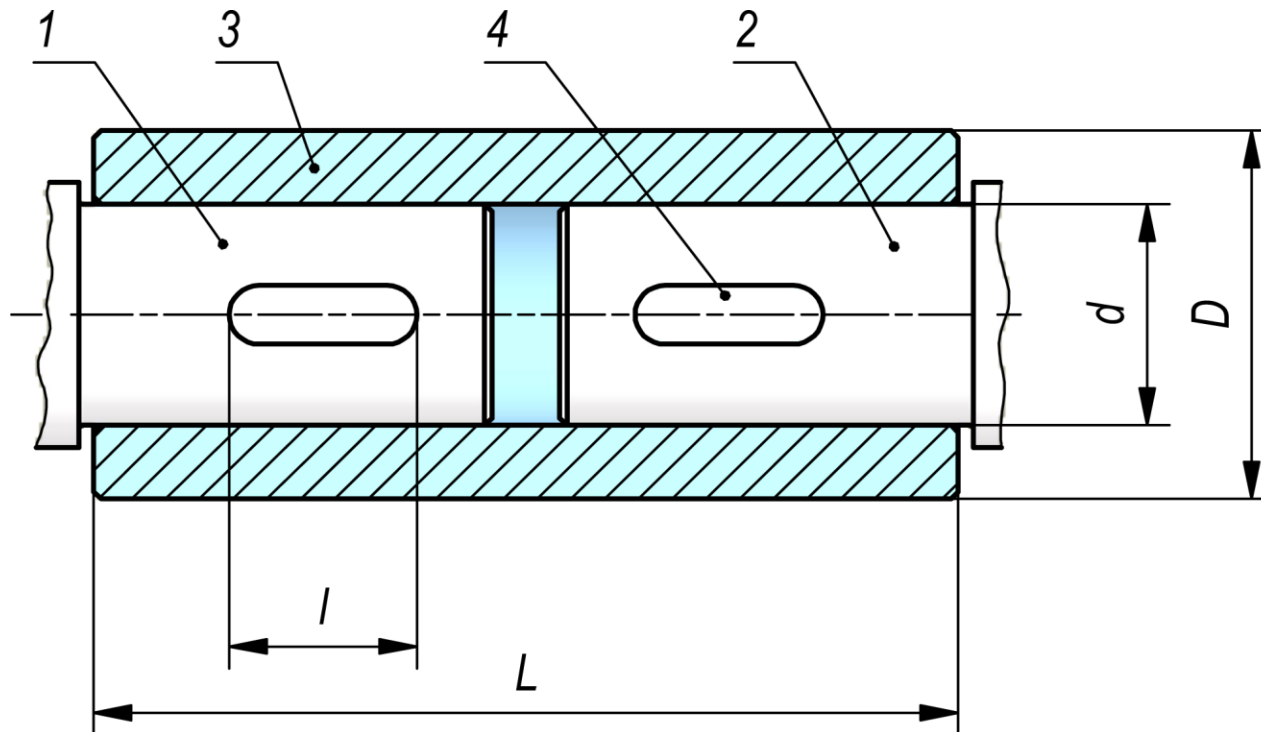
$$M_o = kM$$

k - to współczynnik przeciążenia, M - to moment nominalny.



Sprzęgła sztywne

Sprzęgło tulejowe wpustowe



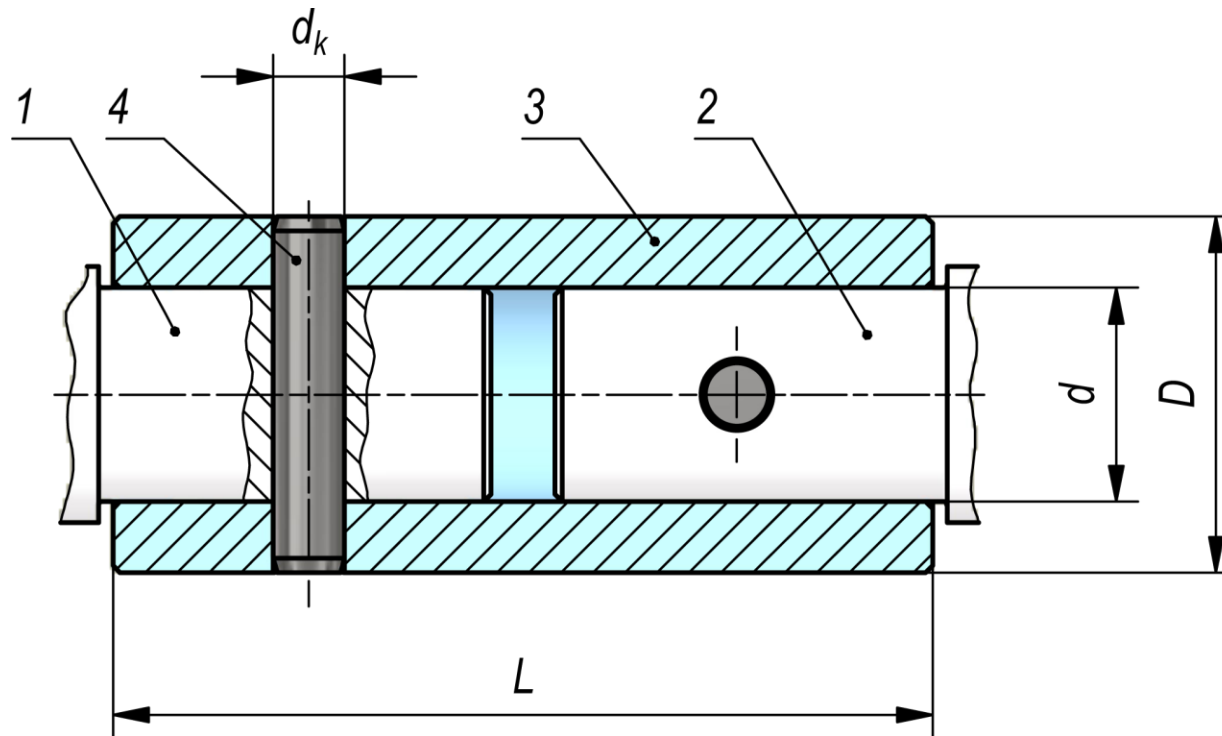
Wały (1) i (2) połączone są tuleją wpustową (3). Moment M przenoszony jest przez wpusty (4), które oblicza się na nacisk. Przyjmując, że siła obwodowa jest przyłożona w połowie wysokości wpustu h można zapisać, że moment przenoszony przez sprzęgło musi spełniać nierówność:

$$M_o \leq \frac{1}{4} k_o d h l$$

gdzie: k_o - to naciski dopuszczalne dla połączenia wpustowego,
 h - wysokość wpustu, l - to długość wpustu, d - to średnica wału.

Sprężą sztywne

Sprężo tulejowe kołkowe



Warunek na ścinanie kołka:

$$\sigma_t = \frac{F}{A} = \frac{\frac{2M_o}{d}}{2\frac{\pi d_k^2}{4}} = \frac{4M_o}{\pi d d_k^2} \leq k_t$$

Warunek na nacisk:

$$\sigma_o = \frac{F}{A} = \frac{\frac{2M_o}{d}}{2\delta d_k} = \frac{M_o}{\delta d d_k} \leq k_o$$

d_k - to średnica kołka, d - to średnica wału, δ - to grubość tulei

Sprzęgła sztywne

Sprzęgło kołnierzowe

Śruby pasowane (ściskanie)

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{\frac{2M_o}{D_2}}{n \frac{\pi d_s^2}{4}} \leq k_t$$

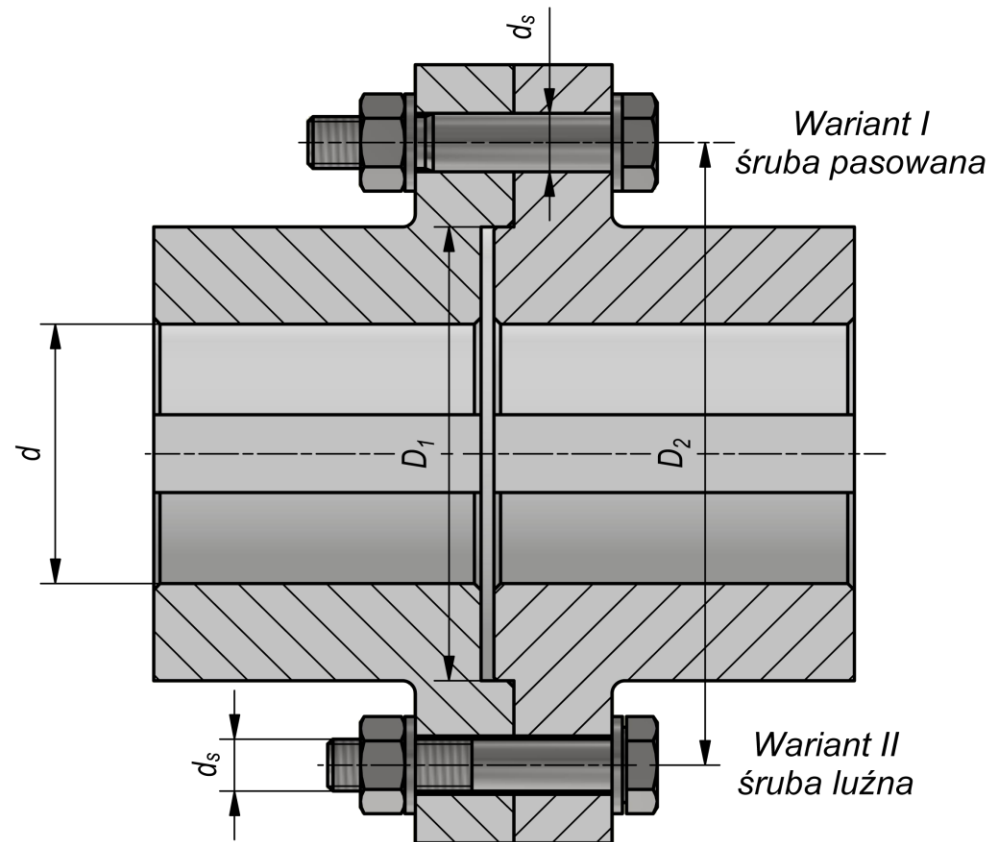
$$M_o \leq \frac{1}{8} k_t n \pi d_s^2 D_2$$

Śruby luźne (rozciąganie)

$$F = \frac{2M_o}{D_2} = T = \mu Q n$$

$$Q = \frac{2M_o}{D_2 \mu n}$$

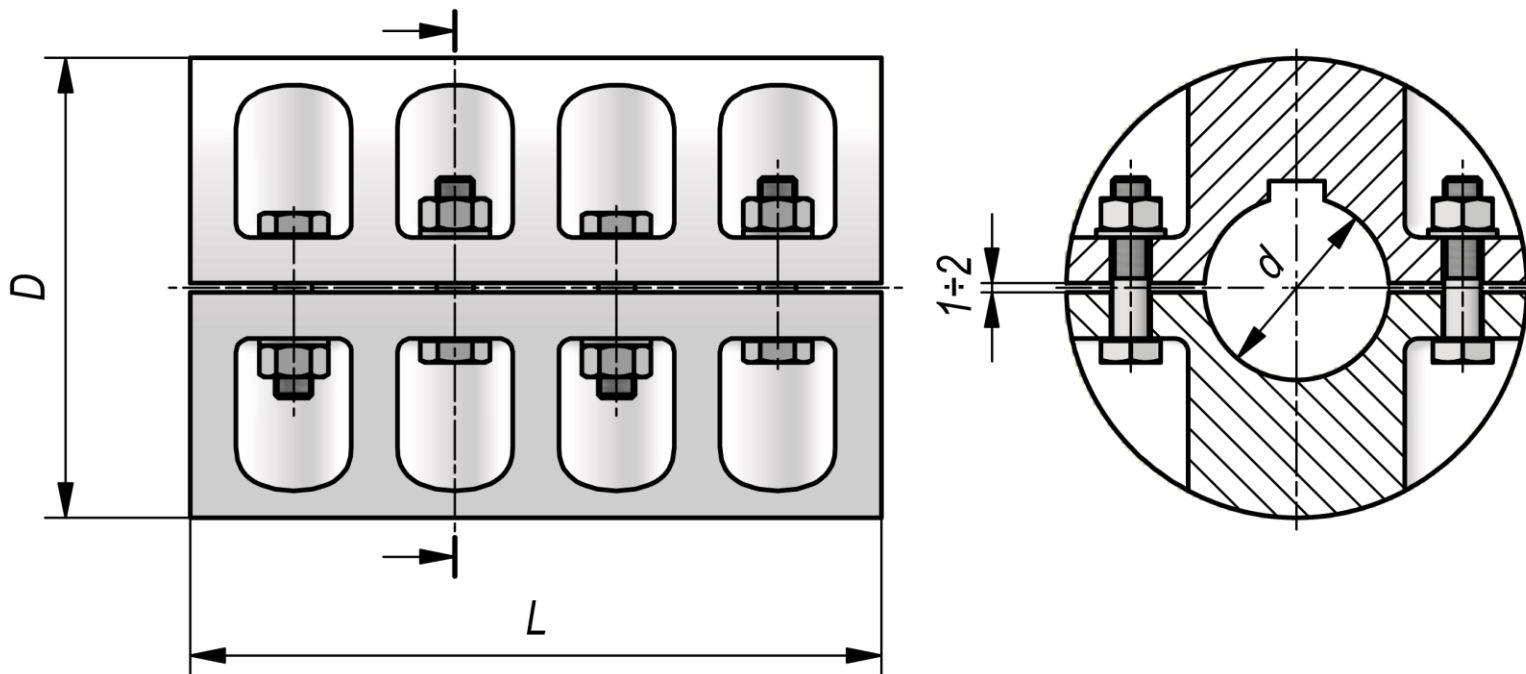
$$d_3 \geq \sqrt{\frac{4Q}{\pi k_r}} = \sqrt{\frac{8M_o}{\pi k_r D_2 \mu n}}$$



Sprzęgła sztywne

Sprzęgło łubkowe śrubowe

Sprzęgło to zbudowane jest z dwóch członów zwanych łubkami. Moment przenoszony jest poprzez tarcie pomiędzy otworem w łubkach, a wałkiem. Tarcie wywoływane jest poprzez dokręcenie członów sprzęgła śrubami. Zastosowany wpust należy traktować jako dodatkowe zabezpieczenie przed poślizgiem.



Sprzęgła sztywne

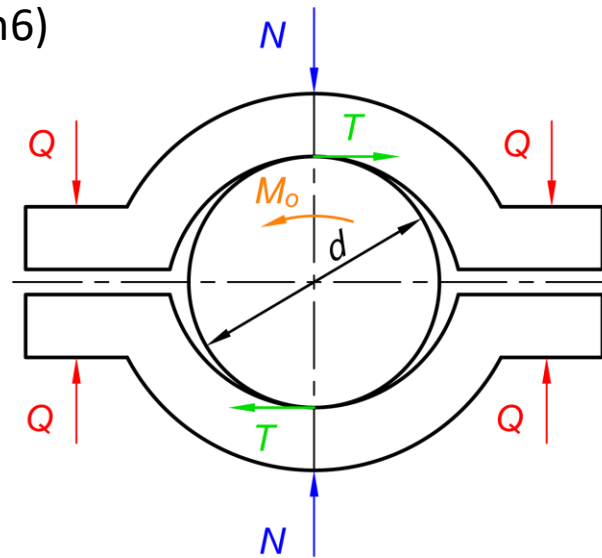
Sprzęgło łubkowe śrubowe

Pasowanie suwliwe (np. H7/h6)

$$M_o = Td = \mu Qnd$$

$$Q = \frac{M_o}{\mu dn}$$

$$d_3 \geq \sqrt{\frac{4M_o}{\pi k_r \mu dn}}$$

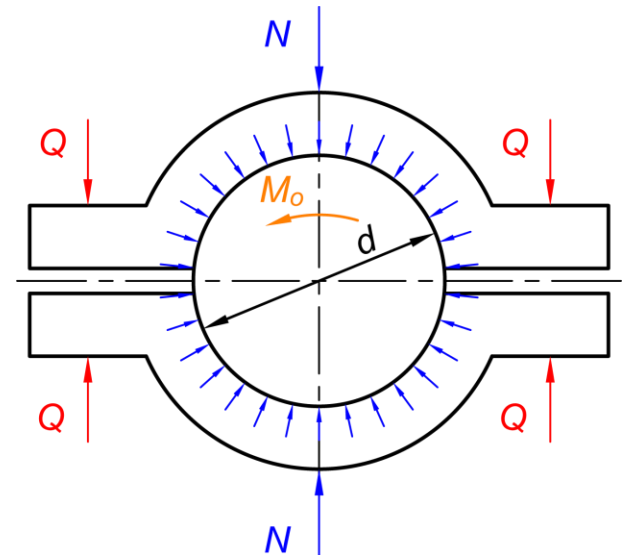


Pasowanie ciasne (np. H7/s6)

$$p = \frac{N}{Ld} \quad t = \mu p \quad M_o = \int_F tr dF = \int_F \mu \frac{N}{Ld} \cdot \frac{d}{2} dF$$

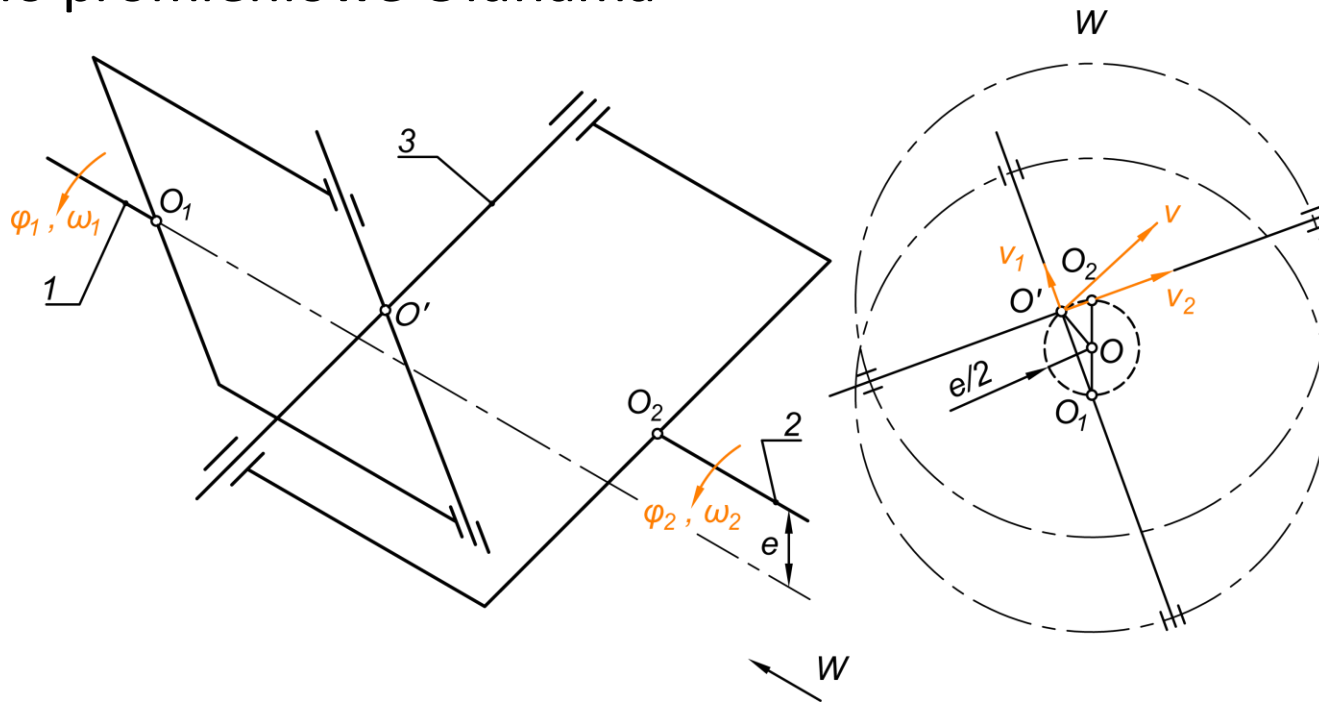
$$dF = 2\pi \frac{d}{2} dL \quad M_o = \int_0^L \mu \frac{N}{Ld} \cdot \frac{d}{2} 2\pi \frac{d}{2} dL$$

$$M_o = \frac{\pi}{2} \mu Nd = \frac{\pi}{2} \mu Qnd \quad Q = \frac{2M_o}{\pi \mu dn} \quad d_3 \geq \sqrt{\frac{4Q}{\pi k_r}}$$



Sprzęgła samonastawne

Sprzęgło promieniowe Oldhama



Łączone wały 1 i 2 posiadają widełki. W widełkach ułożyskowany jest krzyż. Podczas obrotu wałów środek krzyża O_0 porusza się po okręgu o promieniu $e/2$, co pokazano w widoku W .

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi = \angle O' O_1 O_2$$

$$\omega_k = 2\omega$$

$$v = \frac{e}{2} \omega_k = e\omega$$

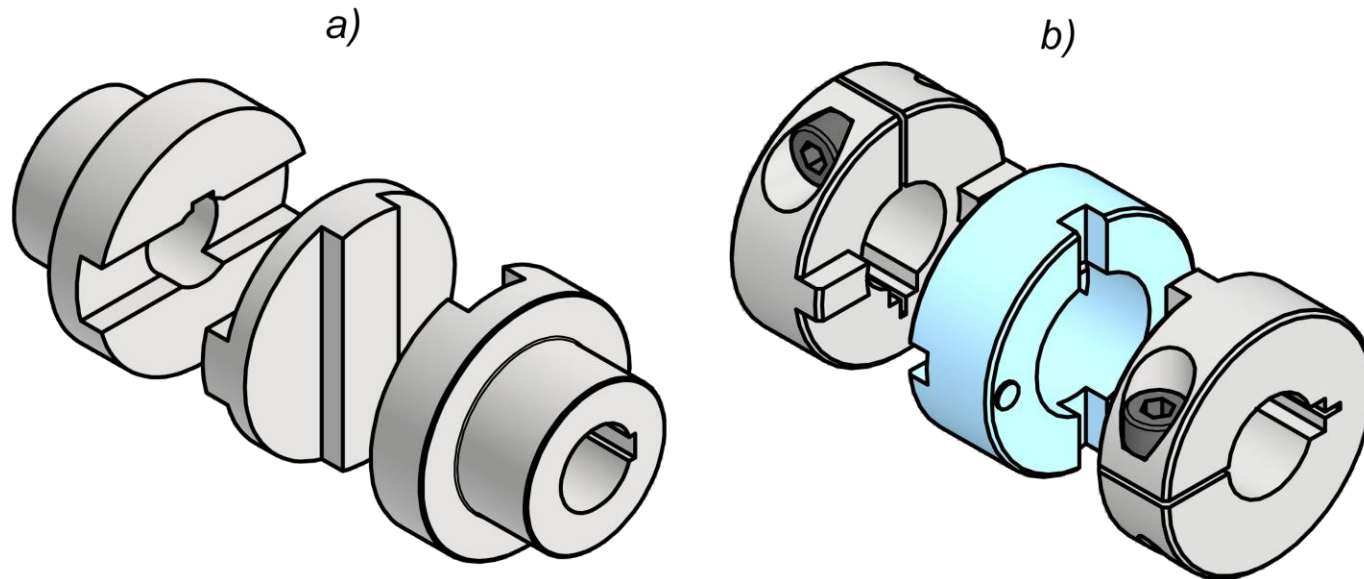
$$v_1 = v \sin \varphi = e\omega \sin \varphi$$

$$v_2 = v \cos \varphi = e\omega \cos \varphi$$

Sprzęgła samonastawne

Sprzęgło promieniowe Oldhama

Postacie konstrukcyjne sprzęgła Oldhama, krążek: a) stalowy, b) polimerowy



Sprzęgła krzyżakowe Oldhama oblicza się na nacisk. Sprawdzane są naciski jednostkowe na powierzchniach wypustów:

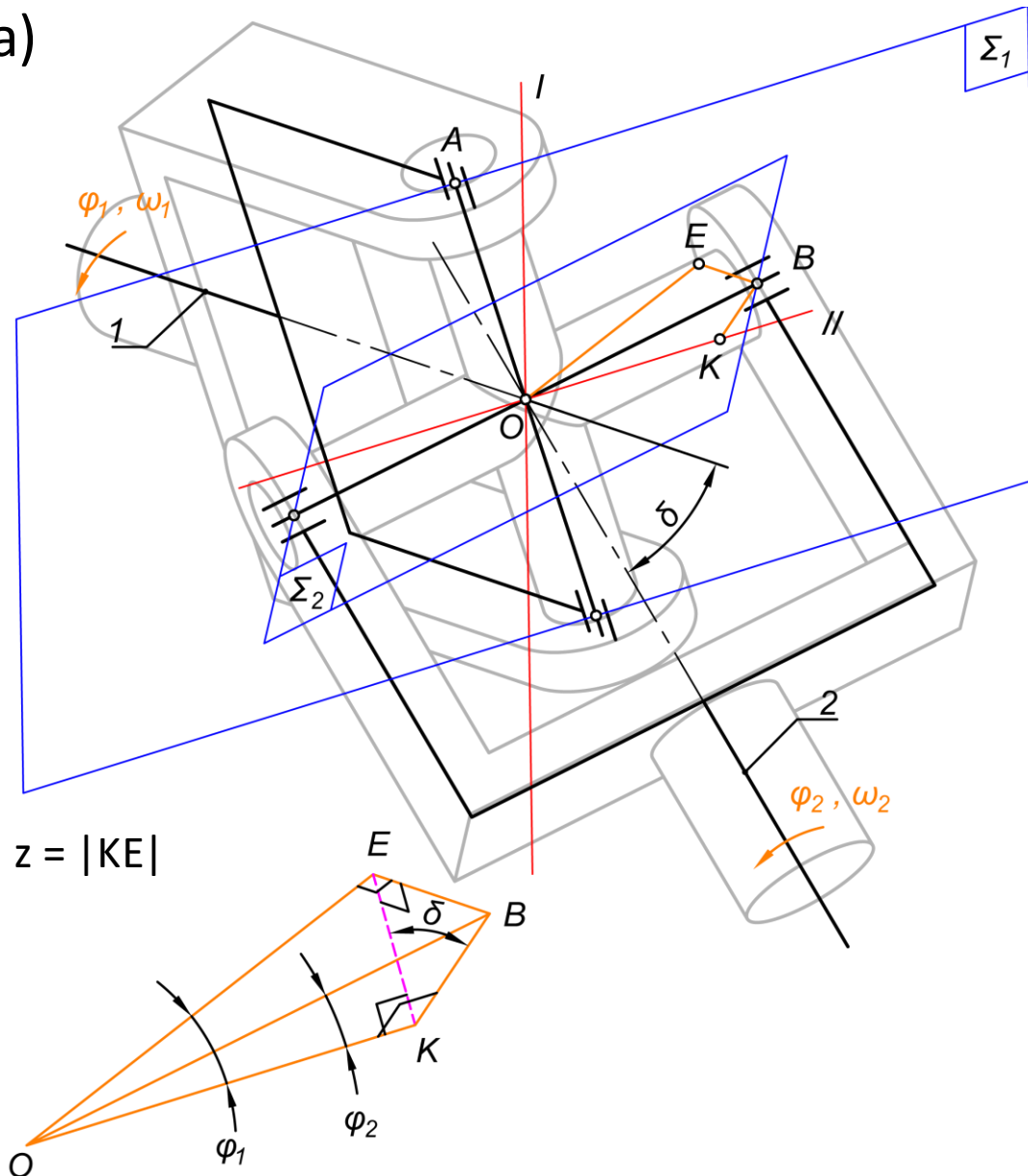
$$\sigma_o = \frac{12M_o}{h(2D + d)(D - d)} \leq k_o$$

gdzie: h - to robocza wysokość wypustu, d - to średnica wału, D - to średnica zewnętrzna sprzęgła.

Sprzęgła samonastawne

Sprzęgło wychylne (Cardana)

Wały 1 i 2 obracające się o kąty odpowiednio ϕ_1 i ϕ_2 z prędkościami kątowymi ω_1 i ω_2 zakończone są widełkami. W widełkach ułożyskowany jest krzyż, którego środek zaznaczono punktem O. Płaszczyzna Σ_1 jest prostopadła do wału 1, natomiast Σ_2 jest prostopadła do wału 2. Oś I to oś pionowa, oś II to oś pozioma.



$$R = |AO| = |OB|, x = |OK|, y = |KB|, z = |KE|$$

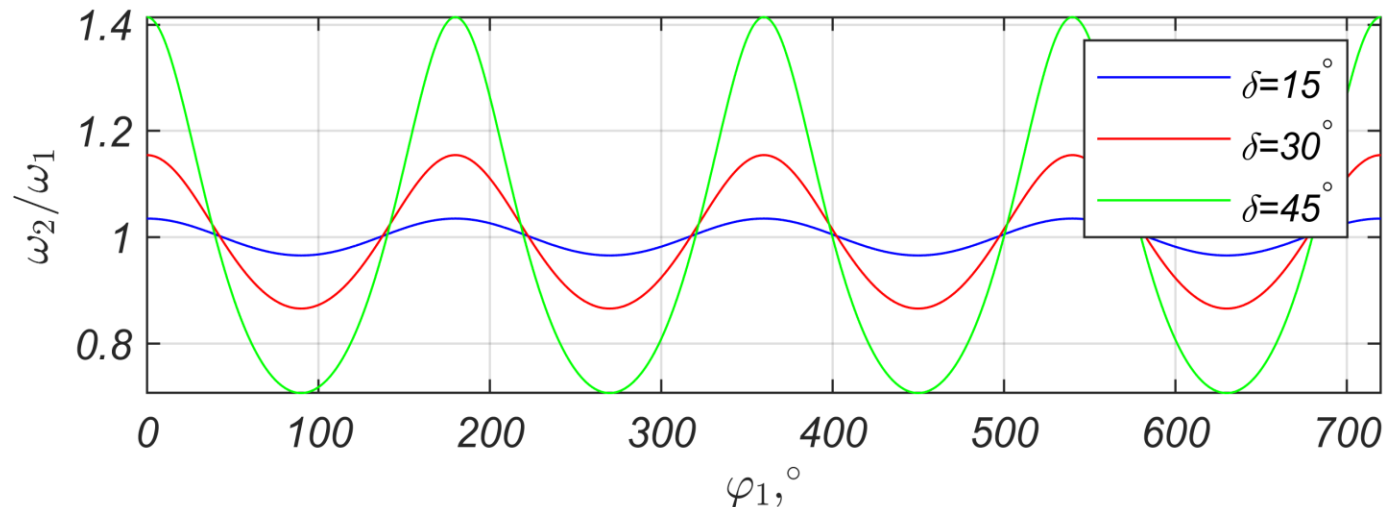
$$\begin{aligned}x &= R \cos \phi_2 \\y &= R \sin \phi_2 \\z &= x \tan \phi_1 = y \cos \delta\end{aligned}$$

Sprzęgła samonastawne

Sprzęgło wychylne (Cardana)

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{\operatorname{tg} \varphi_1}{\cos \delta} \quad \frac{d\varphi_2}{dt} \cdot \frac{1}{\cos^2 \varphi_2} = \frac{d\varphi_1}{dt} \cdot \frac{1}{\cos^2 \varphi_1} \cdot \frac{1}{\cos \delta} \quad \omega_1 = \frac{d\varphi_1}{dt} \text{ i } \omega_2 = \frac{d\varphi_2}{dt}$$

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\cos^2 \varphi_2}{\cos^2 \varphi_1} \cdot \frac{1}{\cos \delta} \quad \cos^2 \varphi_2 = \frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_2} \quad \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\cos \delta}{1 - \cos^2 \varphi_1 \sin^2 \delta}$$

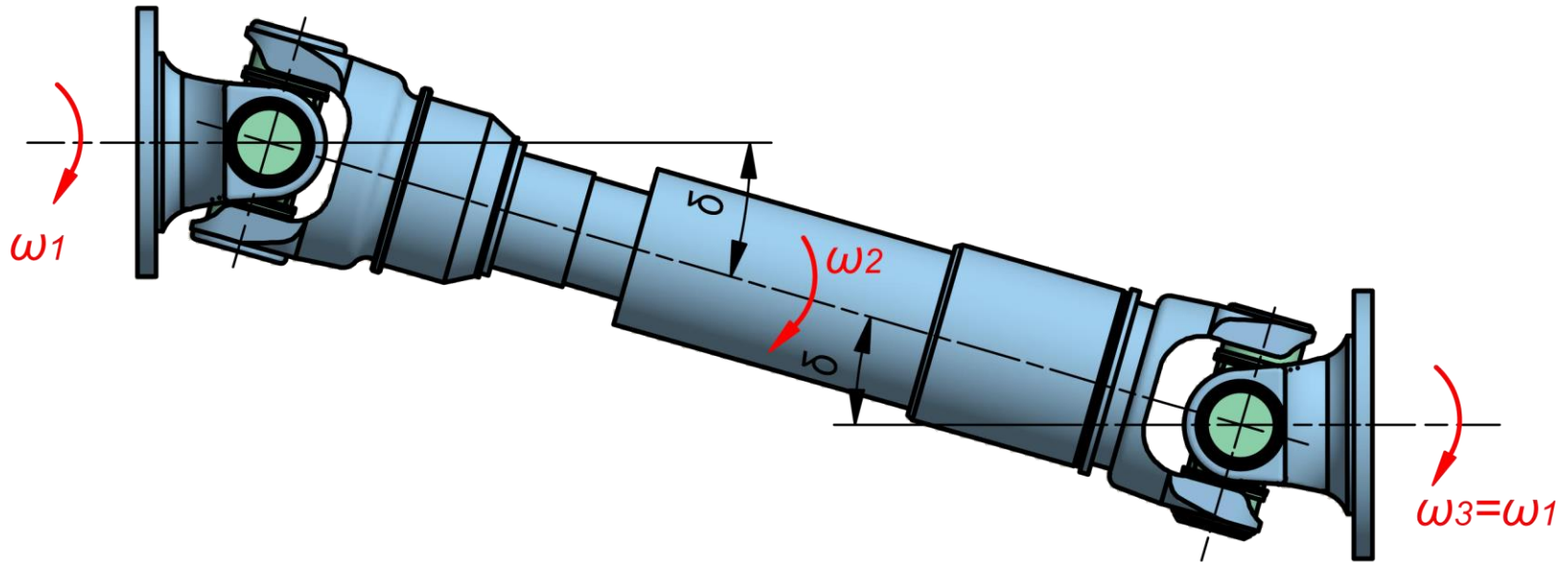


Im większy jest kąt skrzyżowania wałów tym nierównomierność przekazywania ruchu rośnie (zwiększa się amplituda). Wobec powyższych wykresów oczywistym jest, że dla stałej prędkości kątowej wału 1 prędkość kątowa wału 2 będzie zmienna i będzie oscylowała wokół prędkości kątowej wału 1.

Sprzęgła samonastawne

Sprzęgło wychylne (Cardana)

Zastosowanie dwóch przegubów Cardana



Sprężą samonastawne

Sprężło podatne wkładkowe

O nośności sprężła decyduje
nacisk jednostkowy
na powierzchni wkładki:

$$\sigma_o = \frac{2M_o}{Dd_sln} \leq k_o$$

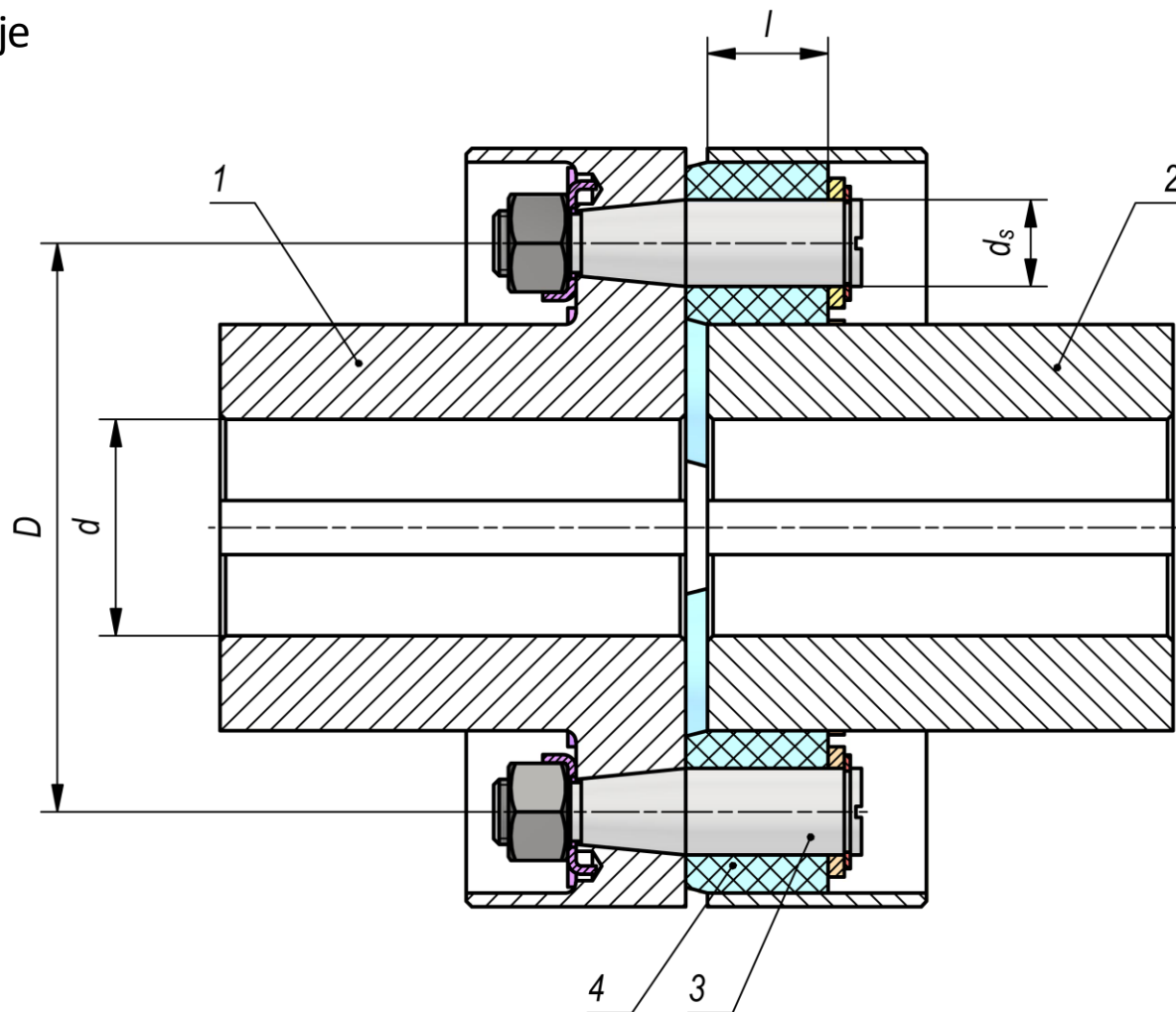
gdzie:

D - to średnica podziałowa
śrub,

d_s - to średnica otworu
wkładki (średnica trzpienia
śruby),

l - to obliczeniowa długość
wkładki,

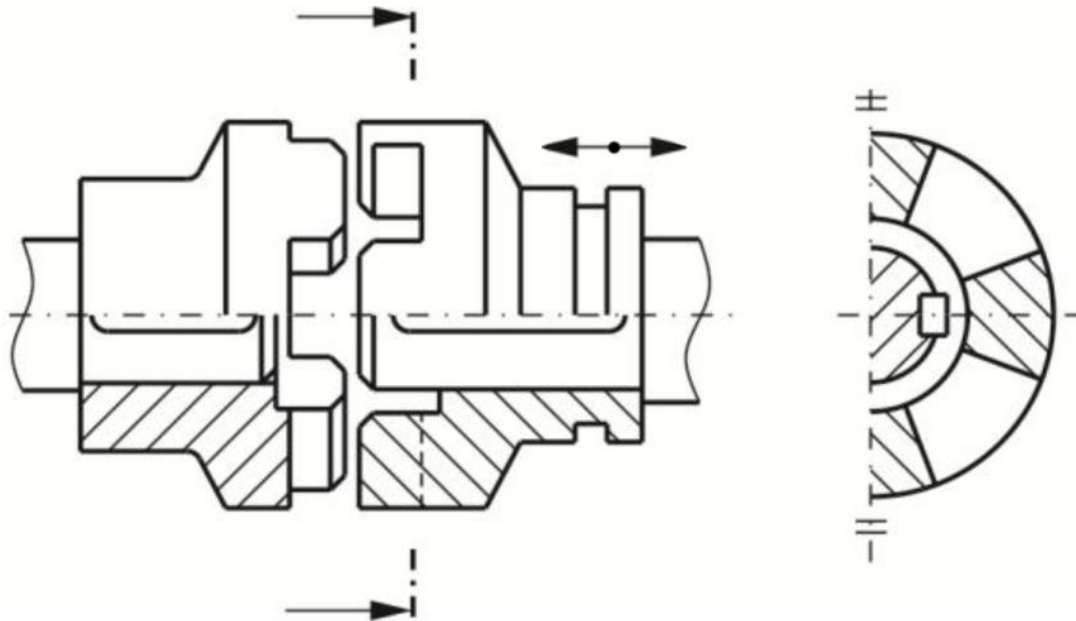
n - to liczba zastosowanych
wkładek.



Sprzęgła sterowane

Sprzęgło kłowe

Sprzęgła kłowe zaliczane są do grupy sprzęgieł przełączanych synchronicznie.



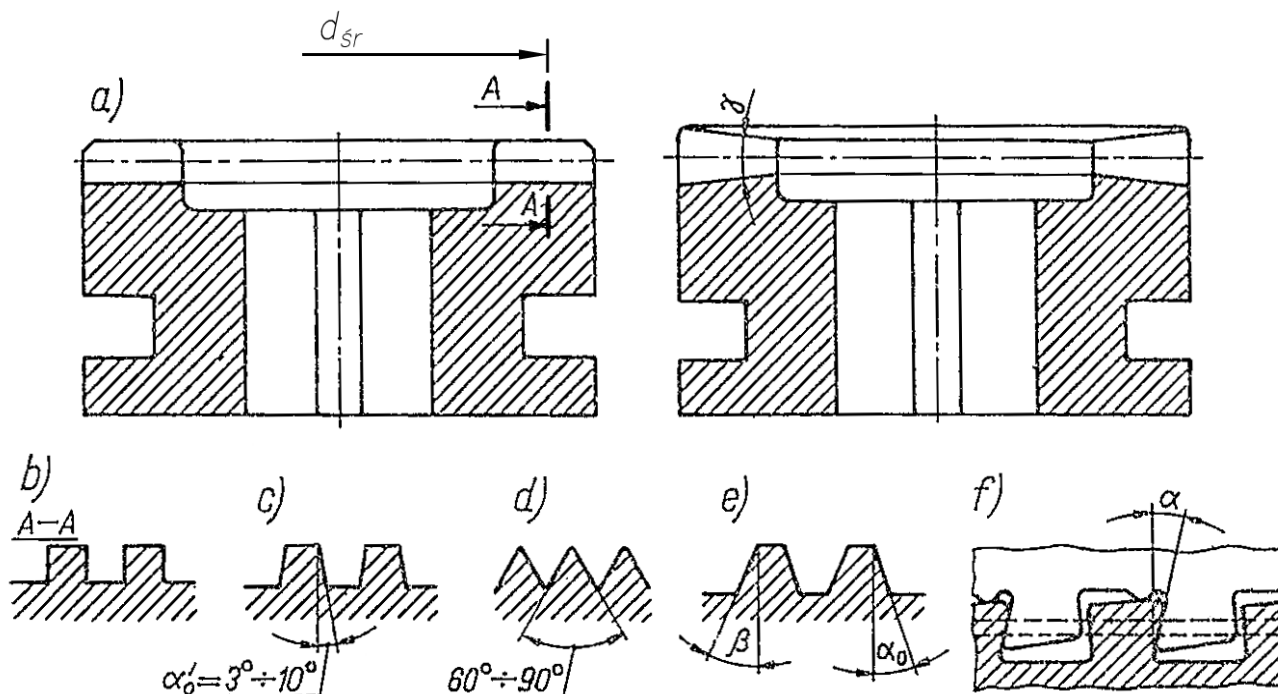
Sprzęgło zbudowane jest z dwóch członów posiadających łączniki kształtowe zwane kłami.

Sprzęgła sterowane

Sprzęgło kłowe

Włączanie sprzęgła odbywa się poprzez przesuw jednego z członów. Kły mogą być o stałej lub o zmiennej wysokości (rys. a). Ponadto zarys kłów może być:

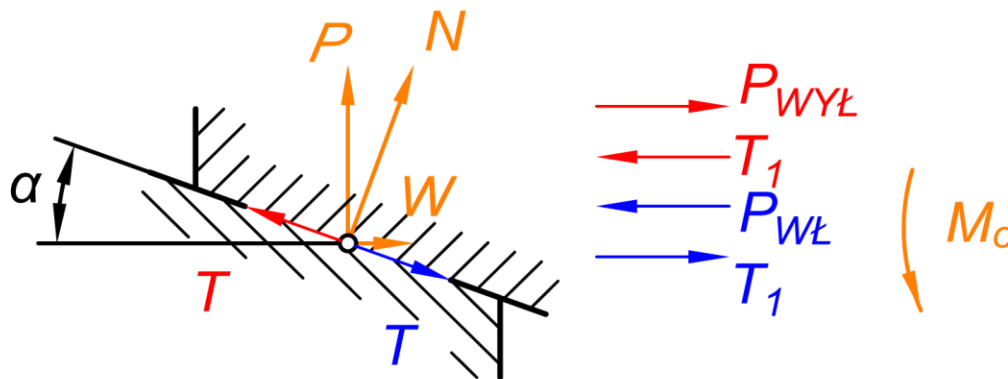
- prostokątny (rys. b),
- trapezowy symetryczny (rys. c),
- trójkątny (rys. d),
- trapezowy niesymetryczny (rys. e),
- samoblokujący (rys. f).



Sprzęgła sterowane

Sprzęgło kłowe

Rozkład sił w kłach podczas włączania/wyłączania sprzęgła przedstawiono na rysunku poniżej.



Przy czym siły oznaczone kolorem czerwonym odnoszą się do wyłączenia, a kolorem niebieskim do włączania sprzęgła. Sprzęgło obciążone jest momentem M_o . Człony sprzęgła działają na siebie z siłą normalną N , którą można rozłożyć na dwie składowe: obwodową P i osiową W . Ponadto występuje siła tarcia T wynikająca z wzajemnego poślizgu kłów. Podczas włączania/wyłączania sprzęgła na człon sprzęgła suwliwie osadzonego na wale działa siła tarcia T_1 , którą można obliczyć wg wzoru:

$$T_1 = \mu_1 \frac{2M_o}{d} \quad \text{gdzie: } \mu_1 - \text{to współczynnik tarcia pomiędzy wałem, a piastą członu suwliwego, } d - \text{to średnica wału.}$$

Sprzęgła sterowane

Sprzęgło kłowe

$$\begin{aligned} W &= P \operatorname{tg} \alpha \\ N &= \frac{P}{\cos \alpha} \\ T &= \mu N = \mu \frac{P}{\cos \alpha} \end{aligned} \quad M_o = (P \mp \mu P \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}) \frac{d_{sr}}{2} \quad P = \frac{2M_o}{d_{sr}} \cdot \frac{1}{1 \mp \mu \operatorname{tg} \alpha}$$

$$W \pm T \cos \alpha_0 \pm T_1 \mp P_{w,wy} = 0 \quad \text{górny znak odnosi się do włączania, dolny zaś do wyłączania sprzęgła}$$

$$P_{w,wy} = 2M_o \left(\frac{\mu_1}{d} \pm \frac{\operatorname{tg}(\alpha \pm \rho)}{d_{sr}} \right) \quad \mu = \operatorname{tg} \rho$$

Kły pracują na nacisk i zginanie. Naciski jednostkowe na powierzchni kła powinny być mniejsze od wartości dopuszczalnych:

$$\sigma_o = \frac{2M_o}{d_{sr} z A} \leq k_o \quad \text{gdzie: } z - \text{to liczba kłów, } A - \text{to pole powierzchni styku kłów (przyjmuje się rzut powierzchni kła na przekrój osiowy).}$$

Naprężenia gnące sprawdza się w najgorszym przypadku na początku włączania sprzęgła gdy siła przyłożona jest do wierzchołka kła, wg warunku:

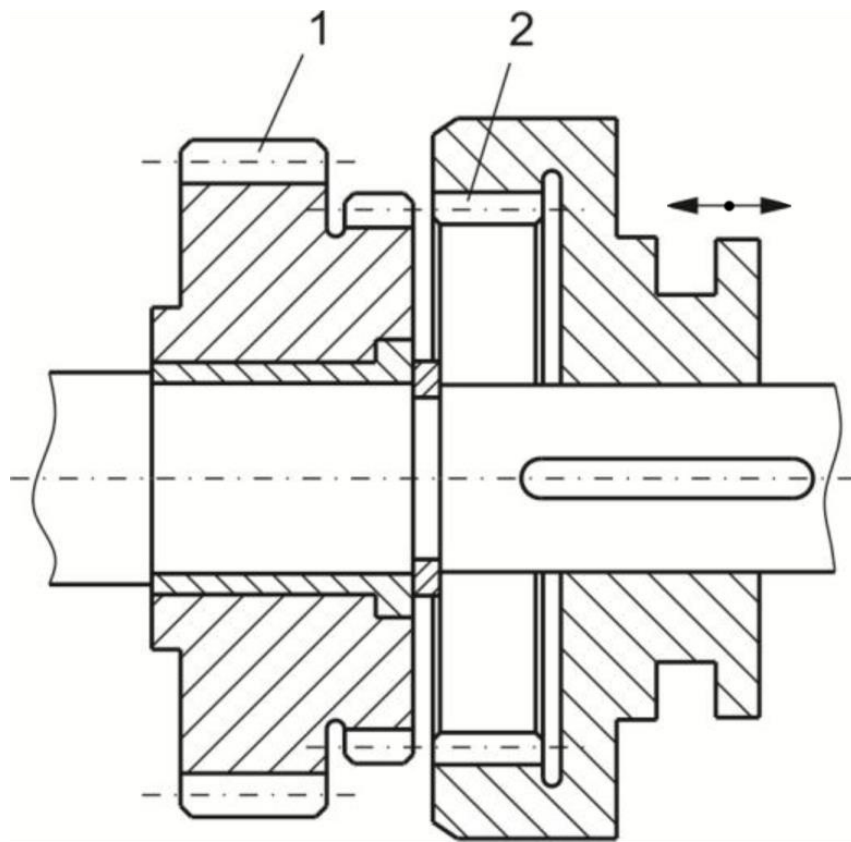
$$\sigma_g = \frac{2M_o}{d_{sr}} \cdot \frac{hk}{Wz} \leq k_g \quad \text{gdzie: } W - \text{to wskaźnik wytrzymałości przekroju kła na zginanie, } h - \text{to wysokość kła, } k = 2 \div 3 - \text{to współczynnik uwzględniający nierównomierną pracę kłów.}$$

Sprzęgła sterowane

Sprzęgło zębate

Sprzęgła zębate zaliczane są do grupy sprzęgieł przełączanych synchronicznie. Człony sprzęgła zębatego posiadają wykonane uzębienia (rys. poniżej): człon 1 uzębienie zewnętrzne, człon 2 wewnętrzne.

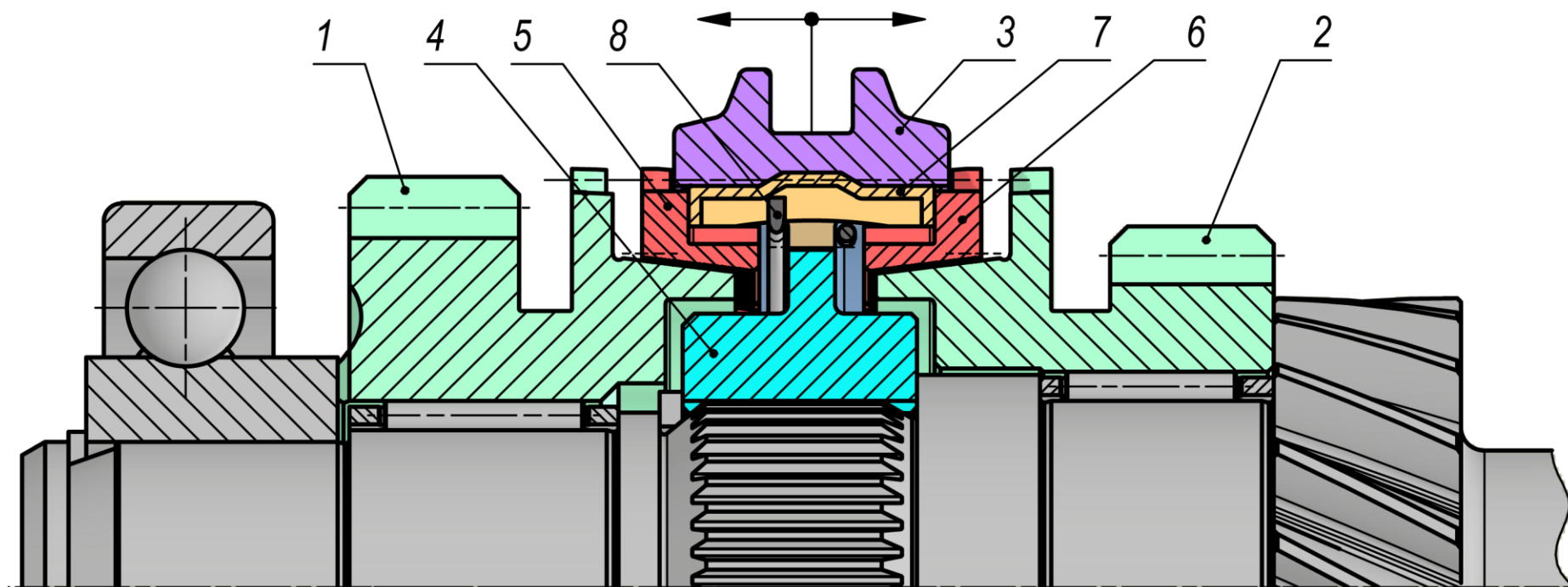
Stosowane są ewolwentowe zarysy zębów. Podobnie jak w przypadku sprzęgieł kłowych włączenie sprzęgła odbywa się poprzez przesunięcie jednego z jego członów. Sprzęgła te pozwalają na załączanie napędu podczas gdy prędkości wałów są równe lub do siebie zbliżone.



Sprzęgła sterowane

Sprzęgło zębate

W celu płynniejszego załączania sprzęgła stosowane są synchronizatory (rys. poniżej), które wyrównują prędkości obrotowe członów sprzęgła.



Synchronizator sprzęgła zębatego w skrzyni biegów samochodu VW Golf I

Sprzęgła sterowane

Sprzęgło cierne dwutarczowe

Sprzęgło cierne dwutarczowe należy do grupy sprzęgół przełączanych asynchronicznie. Sprzęgło tego typu przedstawiono na poniższym rysunku.

Załączanie sprzęgła odbywa się poprzez przesunięcie jednego z członów sprzęgła z siłą F_w , która wywołuje tarcie pomiędzy powierzchniami ciernymi równoważące przenoszony moment M_o wyrażony wzorem:

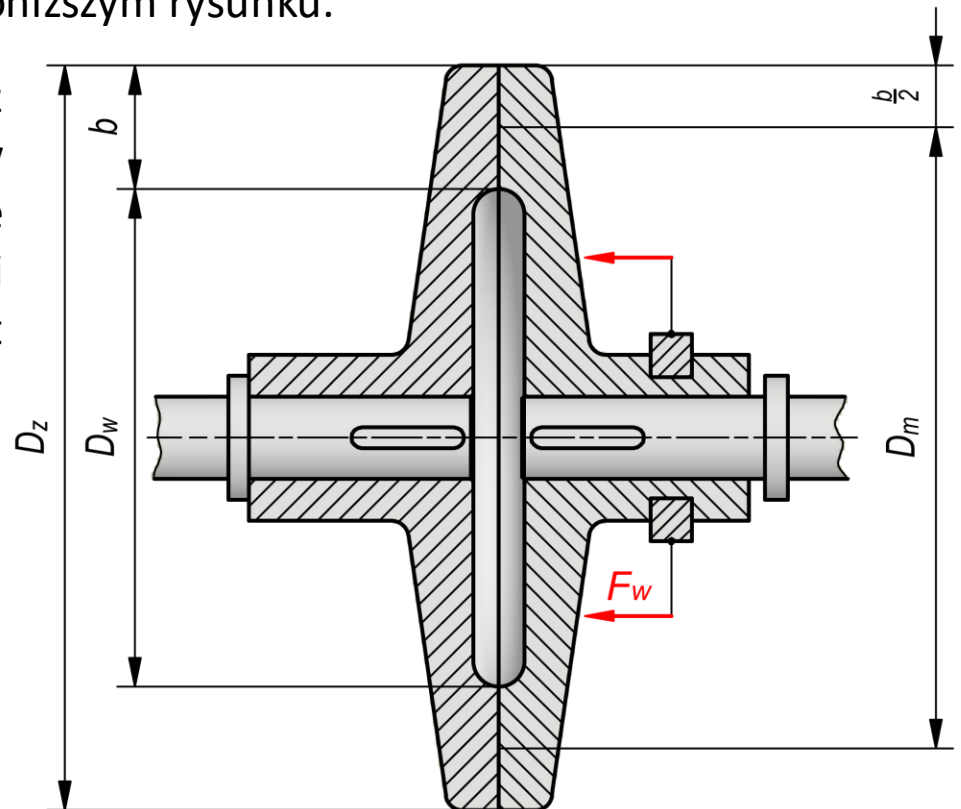
$$M_o = \frac{1}{3} F_w \mu \cdot \frac{D_z^3 - d_w^3}{D_z^2 - D_w^2} \approx F_w \mu \frac{D_m}{2}$$

$$D_m = \frac{D_z + D_w}{2} \text{ to średnica średnia}$$

μ - to współczynnik tarcia pomiędzy powierzchniami ciernymi

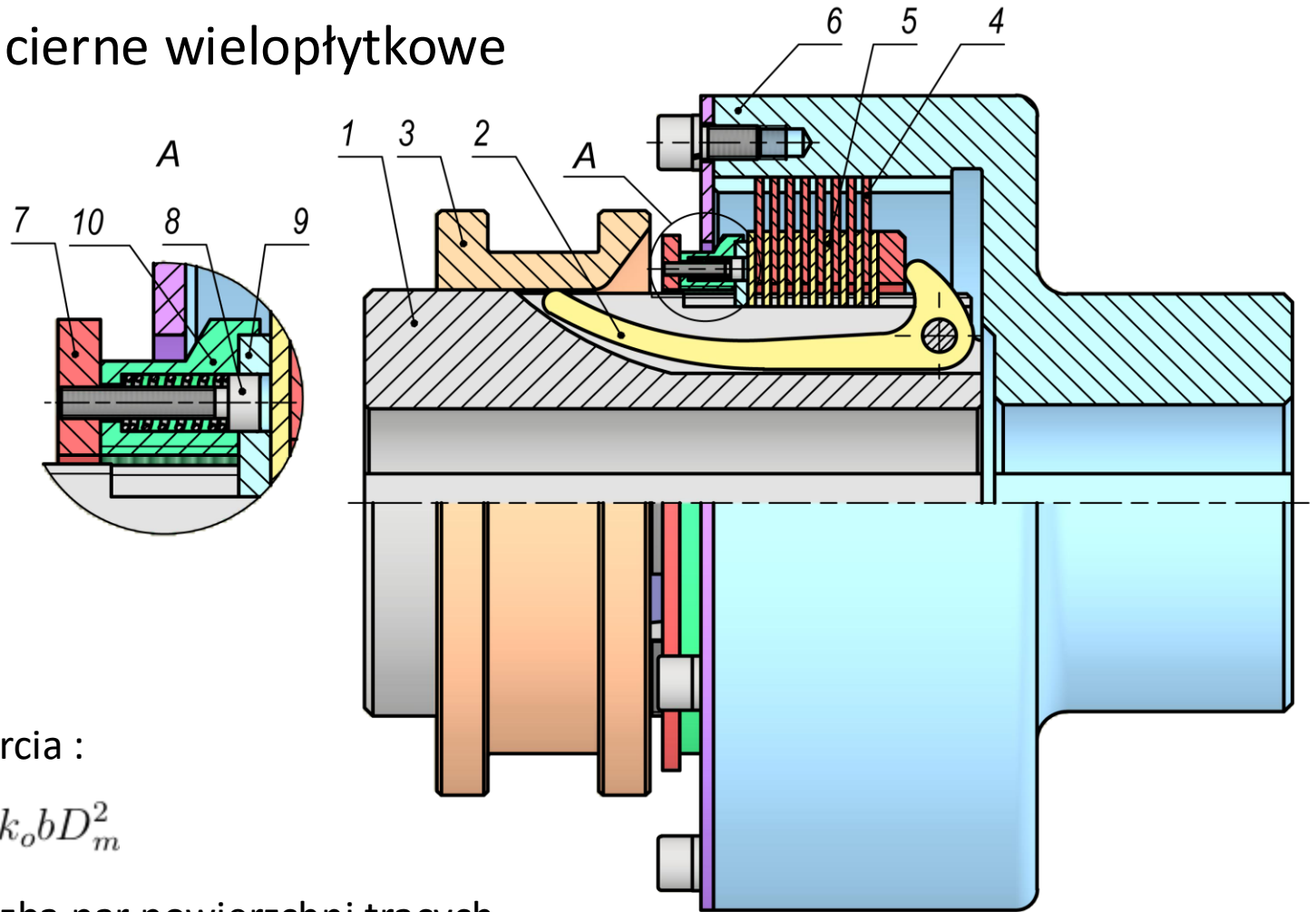
Sprawdza się ponadto nacisk na powierzchniach ciernych:

$$\sigma_o = \frac{F_w}{\frac{\pi}{4}(D_z^2 - D_w^2)} = \frac{F_w}{\pi b D_m} \leq k_o \quad \text{gdzie} \quad b = \frac{D_z - D_w}{2}$$



Sprzęgła sterowane

Sprzęgło cierne wielopłytkowe



Moment tarcia :

$$M_o = \frac{\pi}{2} z \mu k_o b D_m^2$$

gdzie z to liczba par powierzchni trących.

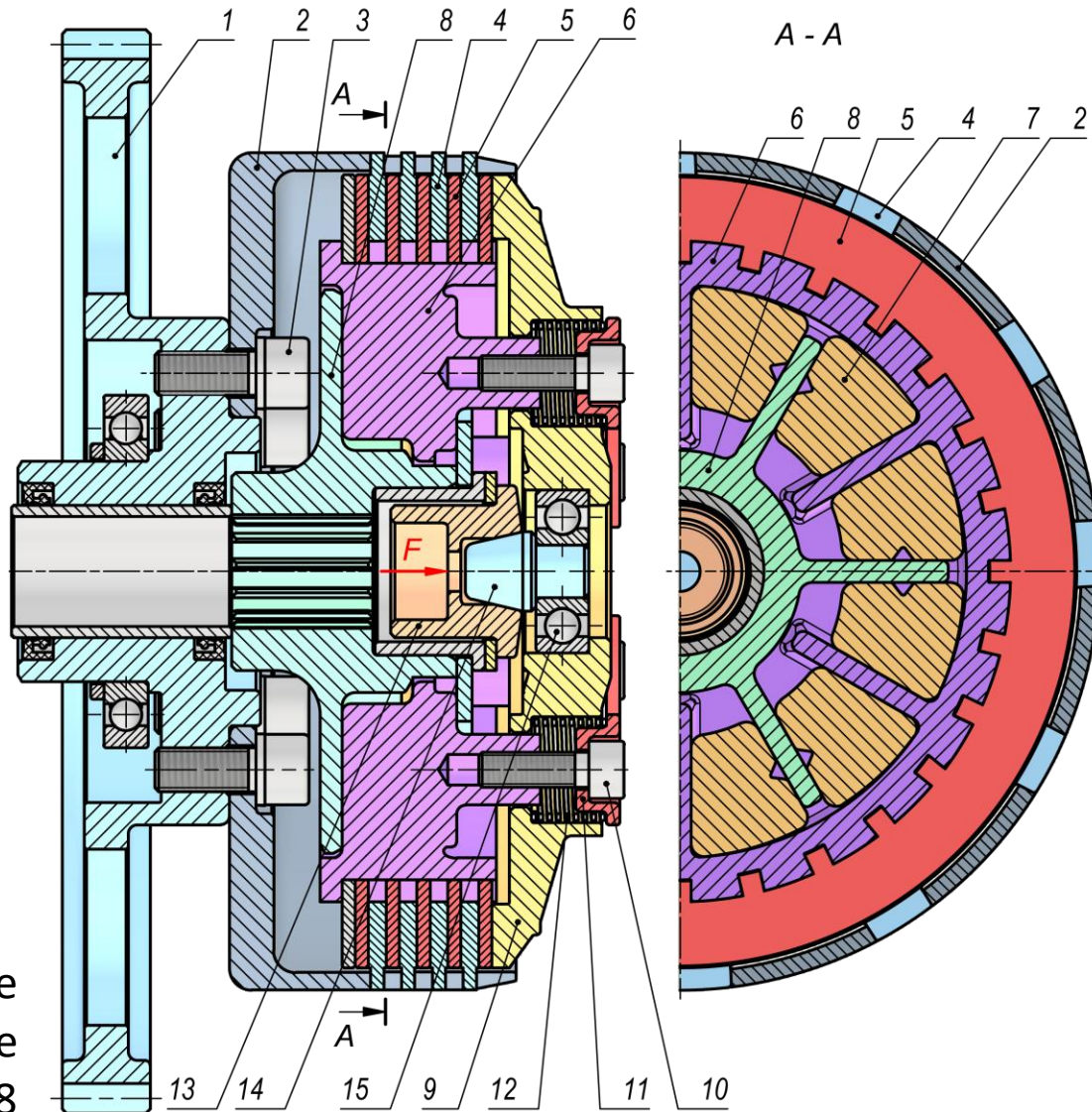
$$\psi = \frac{b}{D_m} \approx 0.25$$

$$z \geq \frac{2M_o}{\pi \mu k_o \psi D_m^3 k_z}$$

$$\begin{aligned} z_1 &= z/2 \\ z_2 &= z/2 + 1 \end{aligned}$$

Sprzęgła sterowane

Sprzęgło cierne wielopłytkowe

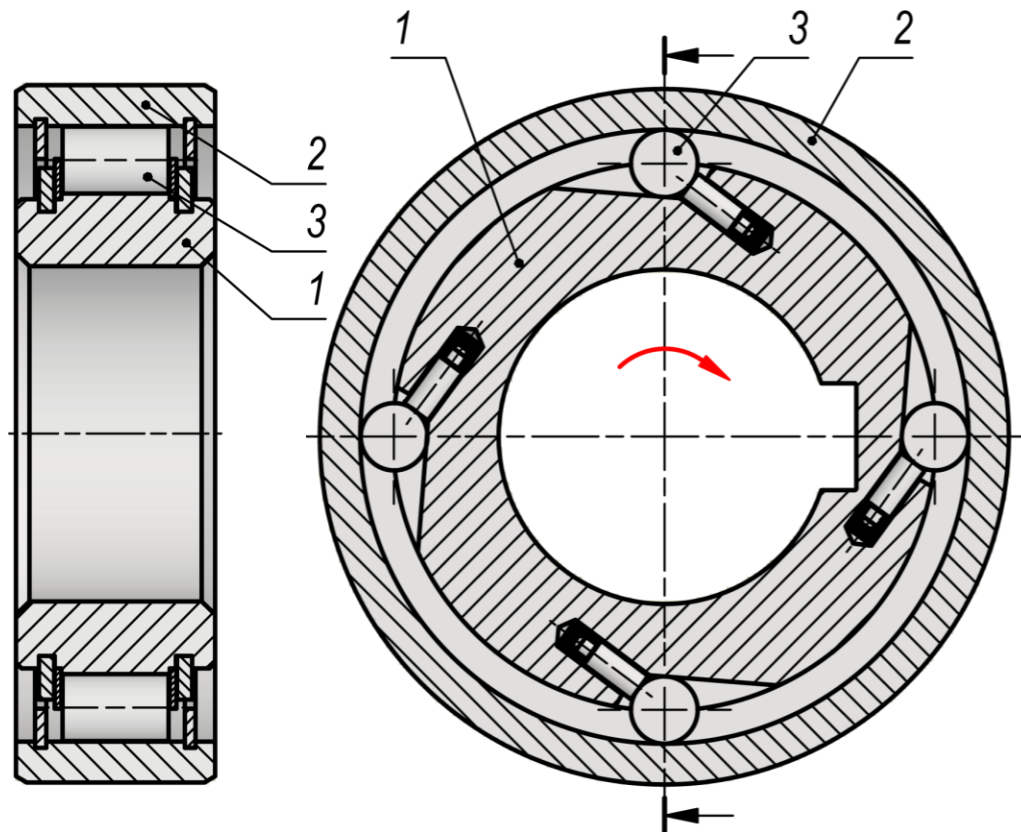


Sprzęgło suche
wielopłytkowe cierne
motocykla Ducati 998

Sprzęgła samoczynne

Sprzęgło jednokierunkowe

Sprzęgło zbudowane jest z gwiazdy 1, obejmy 2 oraz rolek 3. Jeżeli gwiazda 1 obraca się względem obejmy 2 zgodnie z kierunkiem zaznaczonym na rys. 6.22, rolki 3 zakleszczają się w przestrzeni klinowej przekazując napęd na obejmę 2. W przypadku obrotu gwiazdy 1 względem obejmy 2 w przeciwnym kierunku niż zaznaczony, rolki 3 ślizgają się względem obejmy nie przekazując momentu. W tego typu sprzęgłach elementami klinującymi mogą być też elementy nieokrągłe.

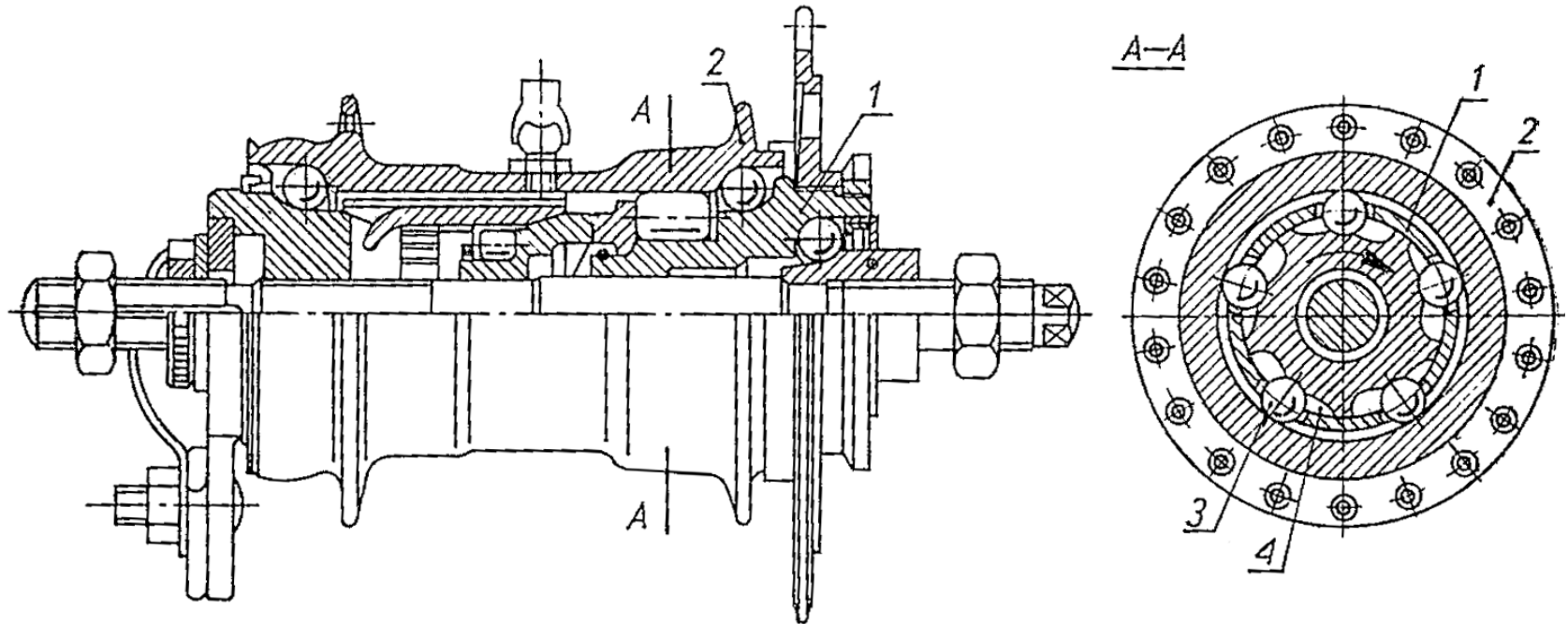


Schemat budowy sprzęgła jednokierunkowego

Powierzchnie klinujące gwiazdy mogą być płaskie (jak na rysunku) lub ukształtowane wg spirali logarytmicznej lub Archimedesesa. Sprzęgła jednokierunkowe są szeroko stosowane jako sprzęgła wolnego biegu w pojazdach mechanicznych. Najbardziej rozpoznawalnym przykładem zastosowania jest rowerowe sprzęgło wolnego biegu.

Sprzęgła samoczynne

Sprzęgło jednokierunkowe



Rowerowe sprzęgło jednokierunkowe

Część 1 jest związana z kołem łańcuchowym. Jeżeli prędkość koła łańcuchowego jest większa od prędkości obrotowej piasty 2 koła rowerowego wałeczki 3 sprzęgła są zakleszczane w przestrzeniach klinowych 4 - tym samym koło jest napędzane.



**POLITECHNIKA
RZESZOWSKA**
im. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA



**WYDZIAŁ
BUDOWY MASZYN
I LOTNICTWA**
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

Dziękuję za uwagę!

dr inż. Michał Batsch