



**POLITECHNIKA
RZESZOWSKA**
im. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA



**WYDZIAŁ
BUDOWY MASZYN
I LOTNICTWA**
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

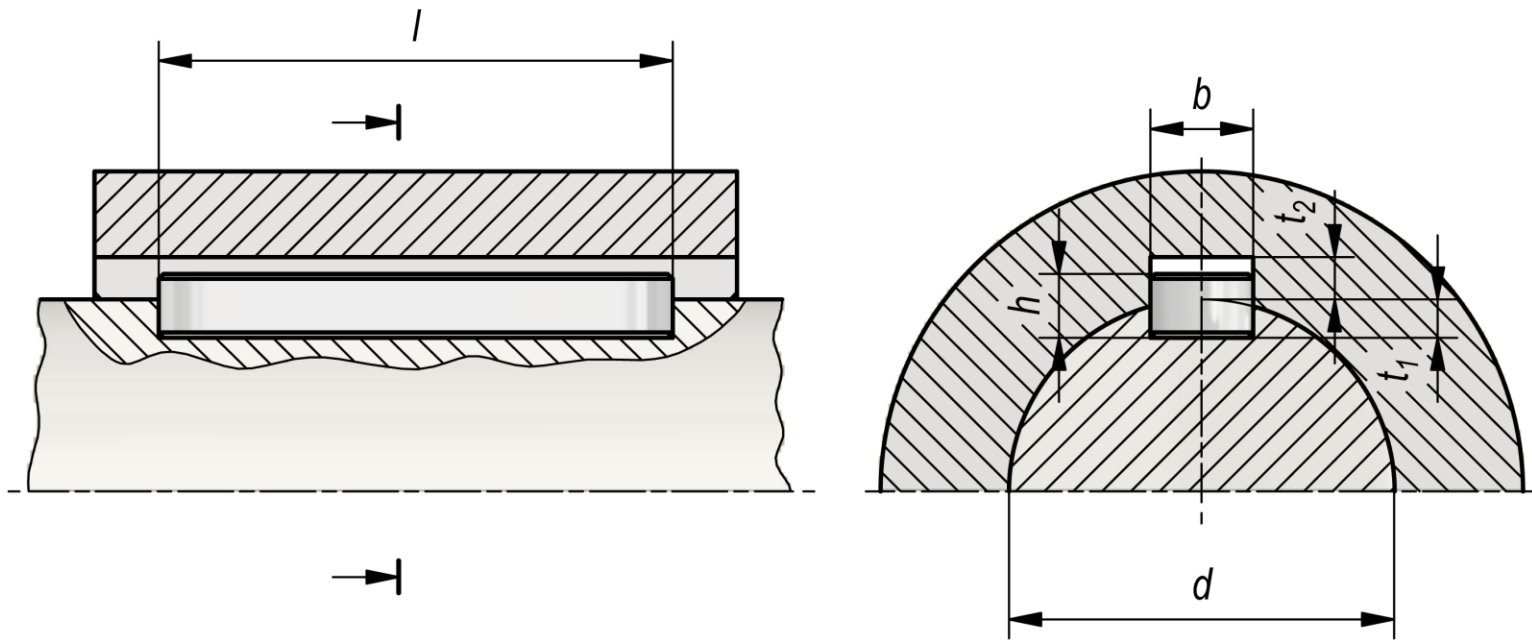
Połączenia wał-piasta

dr inż. Michał Batsch

Połączenia wpustowe (wpust pryzmatyczny)

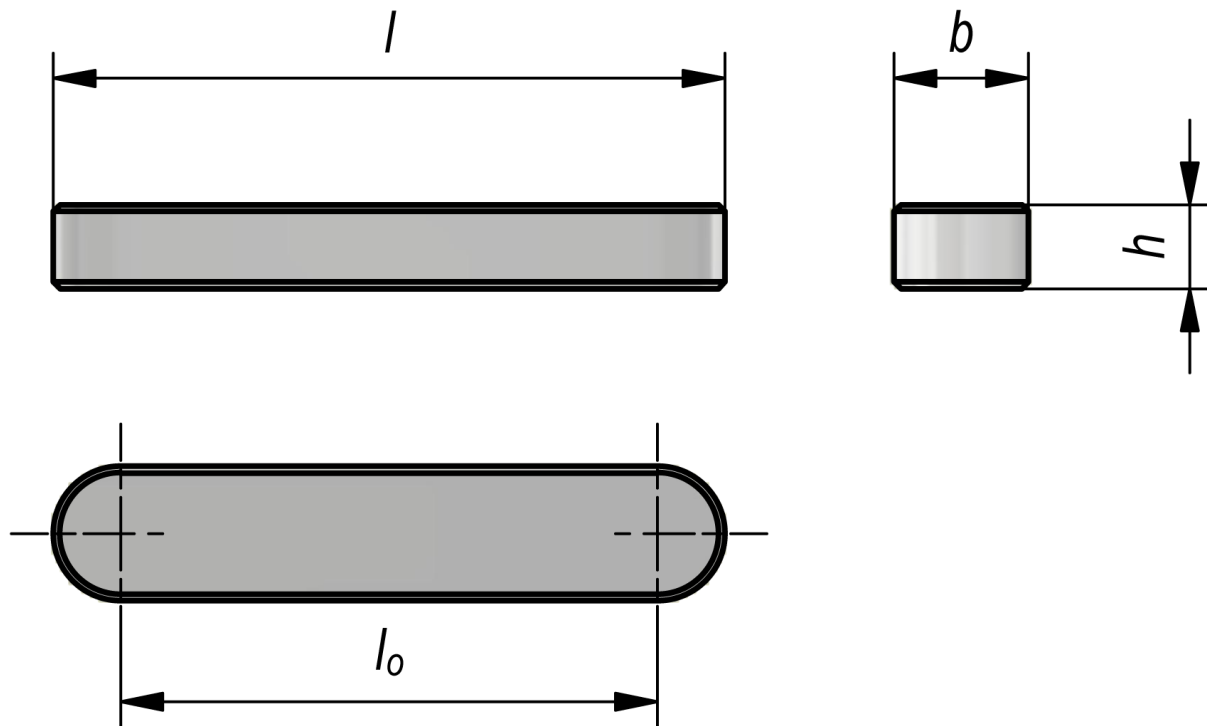
Połączenia te są znormalizowane. Moment obrotowy przenoszony jest przez specjalnie ukształtowany element (wpust) osadzony w rowku wpustowym na wałku i w piaście. Wpusty handlowe wykonywane są zazwyczaj ze stali E360 lub E335.

Połączenie wpustowe z wpustem pryzmatycznym



Połączenia wpustowe (wpust pryzmatyczny)

Wpust pryzmatyczny



Połączenia wpustowe (wpust pryzmatyczny)

Wpust pracuje na: nacisk, ścinanie i w przypadku wyłuskania na zginanie. W praktyce wpust pryzmatyczny oblicza się na nacisk.

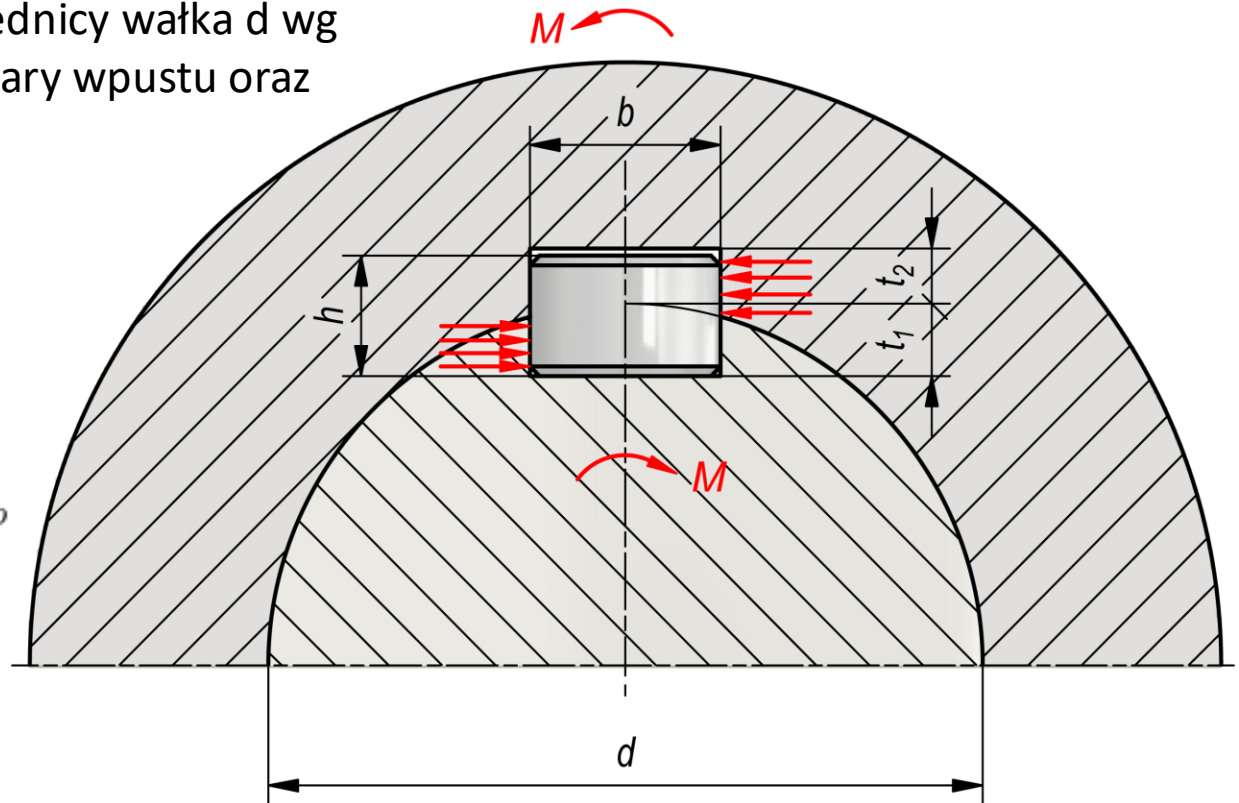
Na podstawie znanej średnicy wałka d wg normy dobiera się wymiary wpustu oraz rowków: b , h , t_1 , t_2 .

$$F = \frac{2M}{d}$$

$$A = i \cdot t_2 \cdot l_o$$

$$\sigma_o = \frac{F}{A} = \frac{2M}{d i t_2 l_o} \leq k_o$$

$$l_o \geq \frac{2M}{d i t_2 k_o} \Rightarrow l_{PN}$$



Połączenia wpustowe (wpust pryzmatyczny)

Połączenia wpustowe mogą być:

- spoczynkowe (tolerancja szerokości rowka P9),
- zwykłe (tolerancja szerokości rowka wałka N9, piasty JS9),
- przesuwne (tolerancja szerokości rowka wałka H9, piasty D9).

Do wad połączeń wpustowych należą:

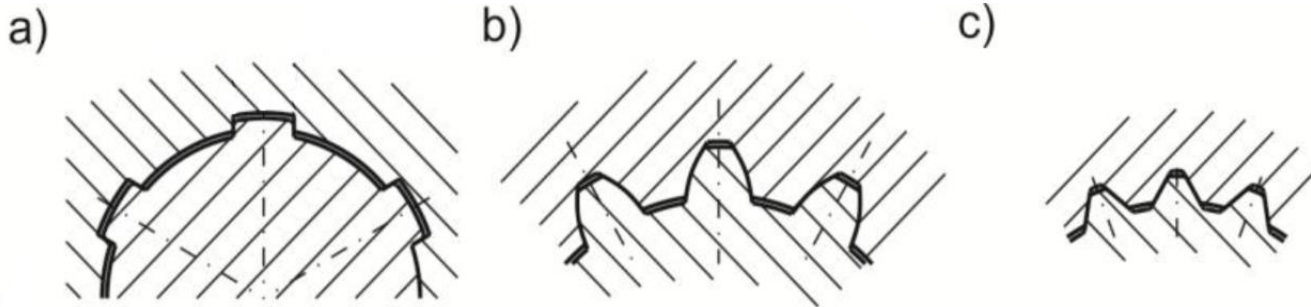
- mały w porównaniu do połączenia wielowypustowego przenoszony moment,
- osłabienie wałka rowkiem.

Zaletami są prostota konstrukcji i obliczeń oraz niskie koszty wykonania co sprawia, że są chętnie wykorzystywane w przemyśle maszynowym. Rowki wpustowe w wałku wykonuje się frezami palcowymi lub tarczowymi, w tulei natomiast poprzez dłutowanie, przeciąganie lub obróbkę elektroerozyjną.

Połączenia wielowypustowe

Połączenia wielowypustowe realizowane są za pośrednictwem wypustów wykonanych na wałku, które współpracują z odpowiednio wykonanymi rowkami w tulei. Połączenia te są znormalizowane i dzielą się na:

- prostokątne (a),
- ewolwentowe (b),
- trójkątne (c).



Zaletami w porównaniu do połączeń wpustowych są:

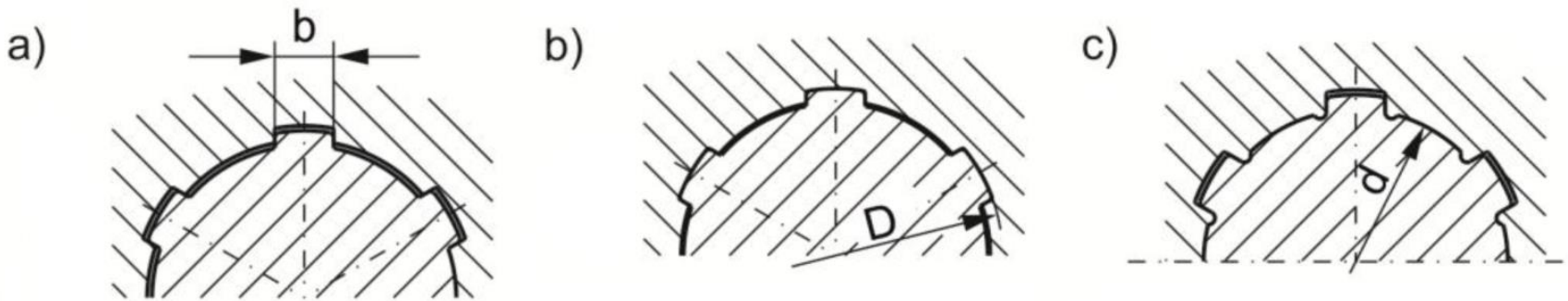
- lepsze osiowanie tulei na wałku,
- większa nośność,
- większa wytrzymałość zmęczeniowa wałków.

Połączenia wielowypustowe

Wielowypusty na wałku można frezować obwiedniowo lub kształtowo, a po obróbce cieplnej szlifować. Tuleje wielowypustowe są przeciągane, przepychane lub dłutowane. Możliwa jest również obróbka elektroerozyjna. Stosowane są głównie w produkcji seryjnej lub masowej.

Bazowanie tulei na wałku może być realizowane wg:

- ścianki bocznej (a),
- średnicy zewnętrznej (b),
- średnicy wewnętrznej (c).



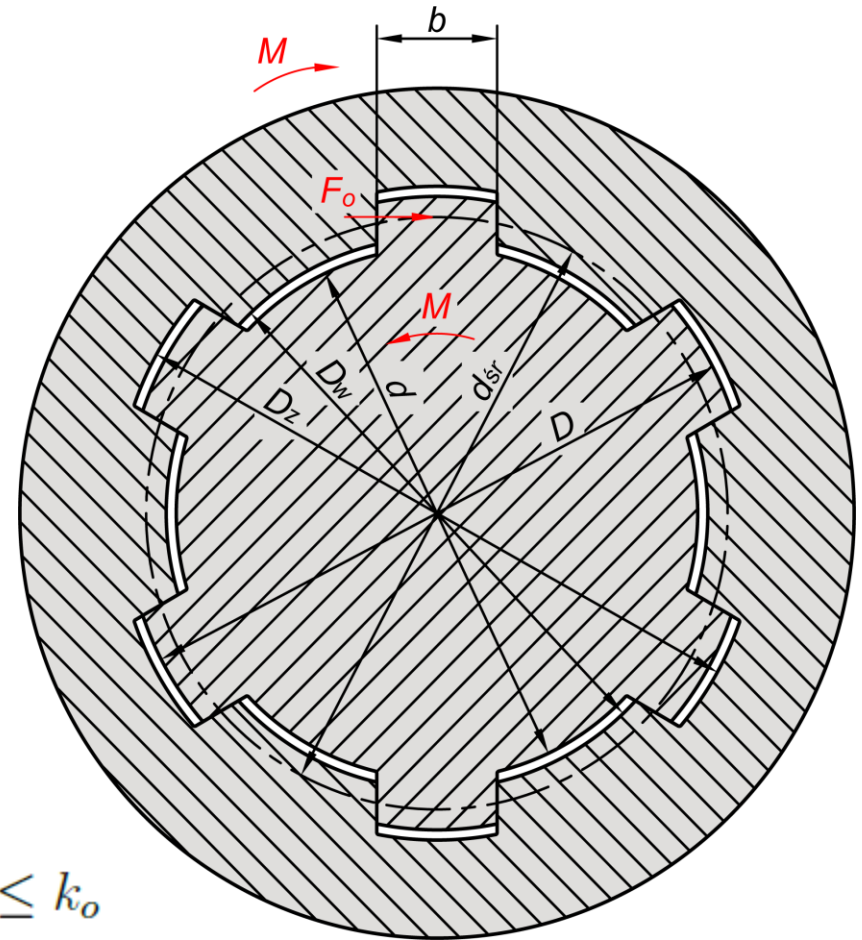
Ponadto występują odmiany wielowypustów: lekka, średnia i ciężka.

Wielowypust prostokątny

Podstawowymi parametrami wielowypustu prostokątnego są:

- D - średnica zewnętrzna wałka,
- d - średnica wewnętrzna wałka,
- D_w - średnica wewnętrzna piasty,
- D_z - średnica zewnętrzna piasty,
- $d_{sr} = (D_w + D)/2$ - średnica średnia.

W przypadku wielowypustu podobnie jak dla wpustów pryzmatycznych wymiary określa się wg normy na podstawie średnicy wału.



$$F_o = \frac{2M}{d_{sr}} \quad A = \frac{D - D_w}{2} l z \psi$$
$$\sigma_o = \frac{F_o}{A} \leq k_o \quad \sigma_o = \frac{2F_o}{(D - D_w) l z \psi} \leq k_o$$

l - to długość wpustu (często równa szerokości piasty),

z - liczba wypustów,

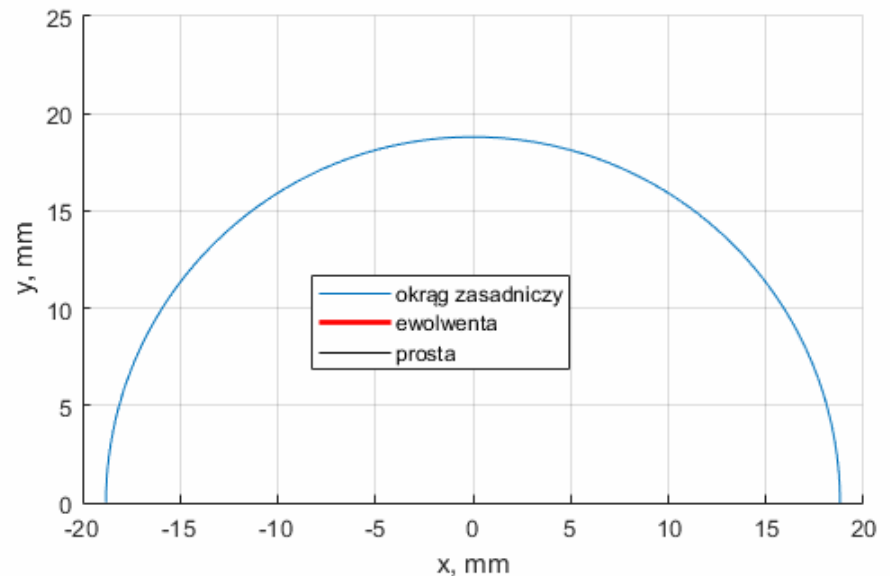
$\psi = 0.75$ - współczynnik nierównomierności obciążenia (uwzględnia wpływ błędów wykonania połączenia na rozkład obciążenia)

Wielowypust ewolwentowy

Ten rodzaj wielowypustu odznacza się największą nośnością i jest bardzo często stosowany w przemyśle lotniczym i motoryzacyjnym. Wielowypusty tego typu są również znormalizowane. Różnica w stosunku do wielowypustów prostokątnych polega na tym, że zarys wypustów jest krzywą zwaną ewolwentą. Ewolwenta jest to krzywa, którą zatacza punkt leżący na prostej odtaczającej się bez poślizgu po okręgu (okrąg ten nosi nazwę okręgu zasadniczego).

Ewolwentowy zarys zębów jest też powszechnie stosowany w przekładniach zębatych.

Z tego względu parametry zarysu wielowypustu oblicza się podobnie jak dla kół zębatych z tą różnicą, że tu wykorzystuje się zazwyczaj zęby niskie o zwiększonym kącie przyporu.

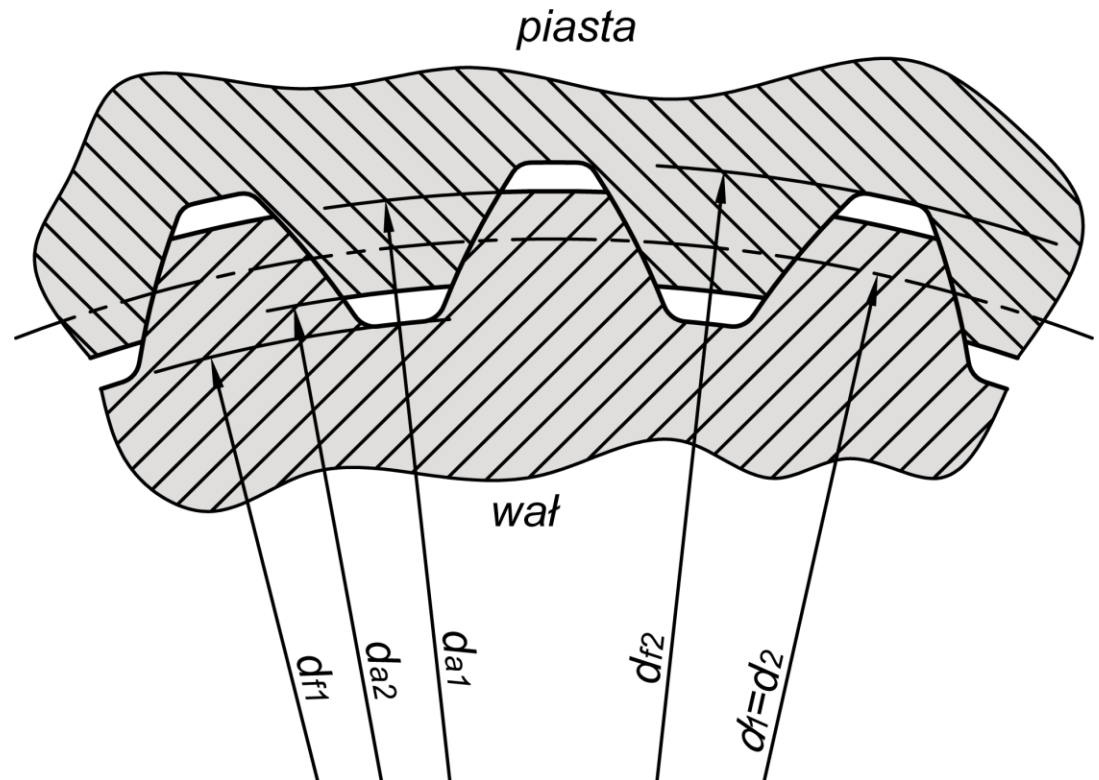


Wielowypust ewolwentowy

Poprzez analogię do kół zębatach można powiedzieć, że połączenie wielowypustowe ewolwentowe składa się z dwóch kół zębatach o tej samej liczbie zębów: koła o uzębieniu zewnętrznym (wał) i koła o uzębieniu wewnętrznym (piasta),

Wg normy PN-ISO 4156 przyjmuje się następujące parametry zarysu:

- kąt przyporu
 $\alpha = 30^\circ$
- średnica podziałowa
 $d_1 = d_2 = mz$
- wysokość głów zębów
 $h_{a1} = h_{a2} = 0.45m$
- wysokość stóp zębów
 $h_{f1} = h_{f2} = 0.55m$
- średnice wierzchołków zębów
 $d_{a1} = d_1 + 2h_{a1} + 2xm$
 $d_{a2} = d_2 - 2h_{a2} + 2xm$
- średnice dna wrębów
 $d_{f1} = d_1 - 2h_{f1} + 2xm$
 $d_{f2} = d_2 + 2h_{f2} + 2xm$



Wielowypust ewolwentowy

Przyjmując, że znana (wg normy) jest średnica nominalna połączenia d_{f2} oraz moduł m , oblicza się przesunięcie zarysu xm jako:

$$xm = 0,5(d_{f2} - d_2 - 2h_{f2})$$

gdzie x to współczynnik przesunięcia zarysu (korekcji). Wymiary średnicowe można wówczas wyrazić jako:

$$d_{a1} = d_{f2} - 0.2m$$

$$d_{f1} = d_{f2} - 2.2m$$

$$d_{a2} = d_{f2} - 2m$$

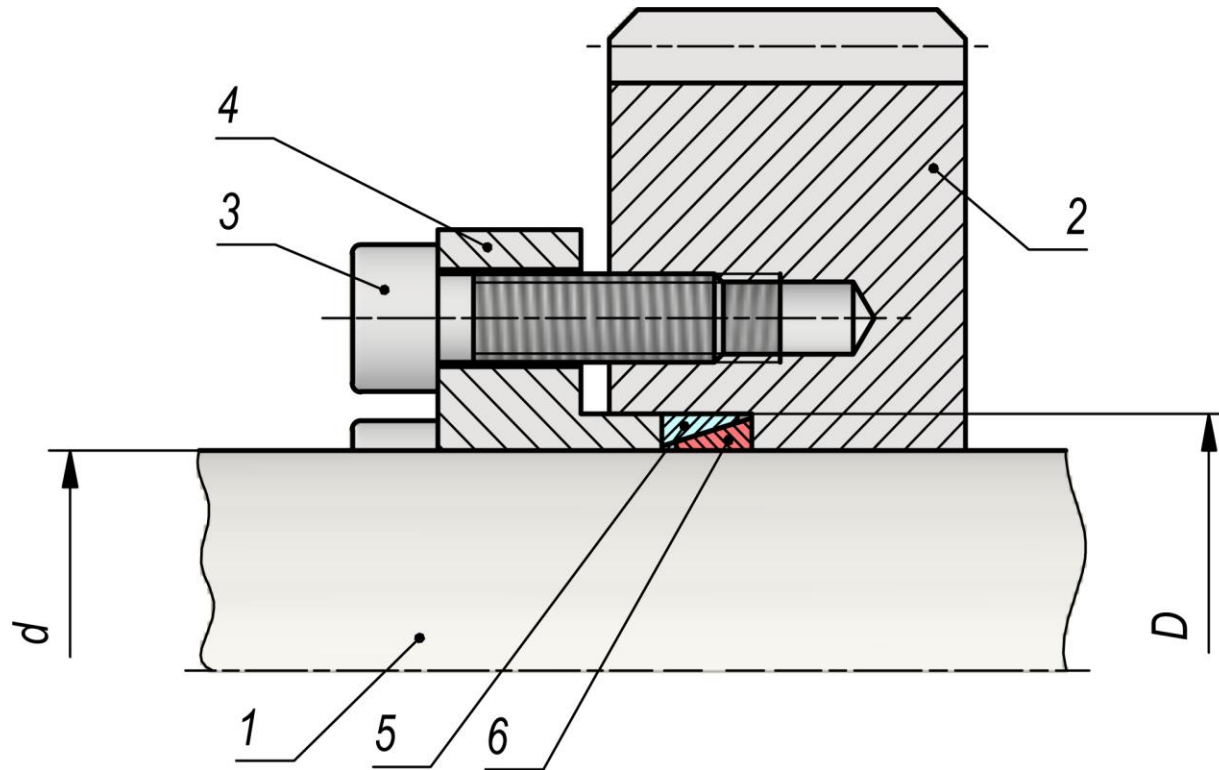
Przedstawiony zarys połączenia ewolwentowego jest jednym z wielu zarysów znormalizowanych.

Obliczenia wytrzymałościowe prowadzi się tak jak dla wielowypustów prostokątnych, na podstawie wcześniej podanej zależności, w której przyjmuje się:

$$D = d_{a1} \text{ i } D_w = d_{a2}$$

Połączenie rozprężno-zaciskowe

Przykładowe połączenie rozprężno-zaciskowe przedstawiono poniżej



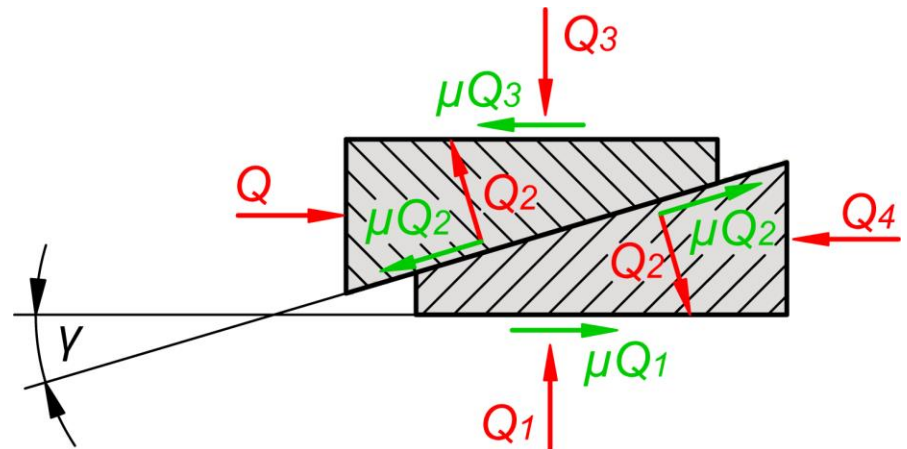
Na wale (1) osadzono piastę (2). Moment obrotowy przenoszony jest poprzez parę pierścieni stożkowych: zewnętrzny (5) i wewnętrzny (6), które ściskane są kołnierzem (4) dokręcanym za pośrednictwem śrub (3). Ścisnięcie pierścieni powoduje ich odkształcenie, które powinno wywołać siłę tarcia pomiędzy powierzchniami walcowymi, która zrównoważy moment obrotowy.

Połączenie rozprężno-zaciskowe

Rozkład sił w parze pierścieni stożkowych pokazano poniżej

$$\begin{cases} Q = \mu Q_3 + \mu Q_2 \cos \gamma + Q_2 \sin \gamma \\ Q_4 = -\mu Q_1 + \mu Q_2 \cos \gamma + Q_2 \sin \gamma \\ Q_2 \cos \gamma - Q_3 - \mu Q_2 \sin \gamma = 0 \\ Q_2 \cos \gamma - Q_1 - \mu Q_2 \sin \gamma = 0 \end{cases}$$

μ - to współczynnik tarcia,
 γ - to półkąąt rozwarcia stożka pierścieni



Przyjmując, że dana jest siła od śrub Q oraz, że $\mu \sin \gamma \approx 0$ rozwiązaniem tego układu są siły:

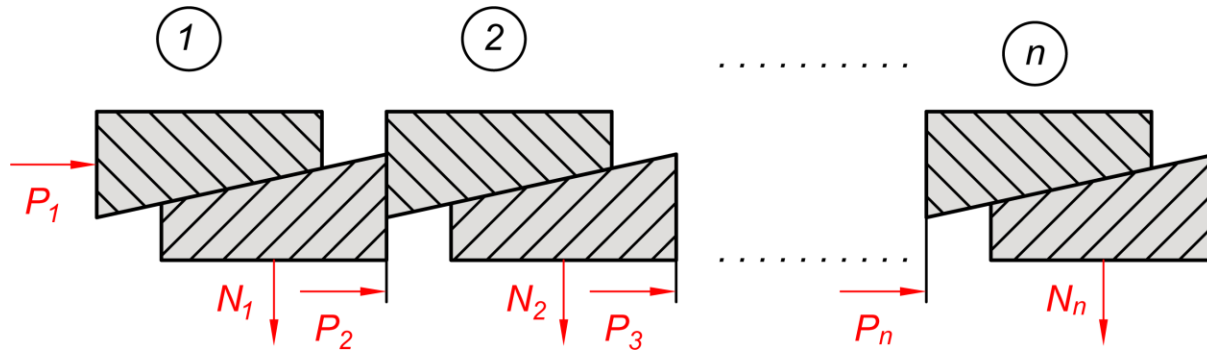
$$Q_1 = Q_3 = \frac{Q}{2\mu + \operatorname{tg} \gamma} \quad Q_2 = \frac{Q}{(2\mu + \operatorname{tg} \gamma) \cos \gamma} \quad Q_4 = Q \cdot \frac{\operatorname{tg} \gamma}{2\mu + \operatorname{tg} \gamma}$$

Ze względu na równość $Q_1 = Q_3$ najmniejszy moment wystąpi pomiędzy wałem, a pierścieniem wewnętrznym i on decyduje o nośności połączenia. Moment przenoszony przez jedną parę pierścieni jest zatem dany wzorem:

$$M = 0.5\mu d Q_1 = 0.5\mu d \frac{Q}{2\mu + \operatorname{tg} \gamma}$$

Połączenie rozprężno-zaciskowe

Istnieje możliwość zastosowania kilku par pierścieni co pokazano poniżej



Para pierścieni (1) jest obciążona siłą pochodzącą od śrub P_1 i obciąża parę pierścieni (2) siłą P_2 . Ponadto para (1) działa na wał z siłą N_1 , a para (2) z siłą N_2 . Kontynuując rozumowanie n-ta para pierścieni obciążona jest siłą P_n i działa na wał z siłą N_n . Korzystając z rozwiązania układu równań równowagi, które zostało przedstawione wyżej można zapisać:

$$\begin{array}{ll}
 P_1 = Q & N_1 = Q_1 = \frac{P_1}{2\mu + \operatorname{tg} \gamma} \\
 P_2 = Qq = Q \frac{\operatorname{tg} \gamma}{2\mu + \operatorname{tg} \gamma} & N_2 = \frac{P_2}{2\mu + \operatorname{tg} \gamma} \\
 P_3 = Qq^2 & N_3 = \frac{Q}{2\mu + \operatorname{tg} \gamma} q^2 \\
 \vdots & \vdots \\
 P_n = Qq^{n-1} & N_n = \frac{Q}{2\mu + \operatorname{tg} \gamma} q^{n-1}
 \end{array}$$

Połączenie rozprężno-zaciskowe

Siły działające na kolejne pierścienie tworzą ciąg geometryczny o ilorazie:

$$q = \frac{\operatorname{tg} \gamma}{2\mu + \operatorname{tg} \gamma}$$

Wobec tego moment przenoszony przez n-tą parę pierścieni:

$$M_n = 0.5\mu d \frac{Q}{2\mu + \operatorname{tg} \gamma} q^{n-1}$$

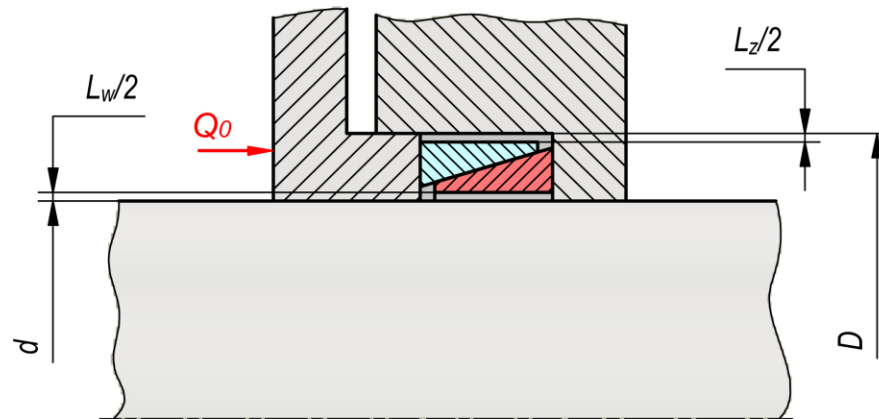
Całkowity moment przenoszony przez n par pierścieni jest więc sumą n wyrazów ciągu geometrycznego:

$$M_c = \frac{Q\mu d}{2(2\mu + \operatorname{tg} \gamma)} \cdot \frac{1 - q^n}{1 - q}$$

W praktyce stosuje się maksymalnie 4 pary pierścieni, ze względu na spadek udziału kolejnych par w przenoszeniu momentu.

Połączenie rozprężno-zaciskowe

We wstępnym etapie montażu połączenia siła od śrub musi skasować luz zewnętrzny L_z i wewnętrzny L_w występujący pomiędzy powierzchniami walcowymi, co pokazano poniżej



Jest to pierwszy etap montażu połączenia, w którym pierścienie odkształcają się tak aby doszło do ich kontaktu z wałkiem i piastą. Siła Q_0 niezbędna do skasowania luzu dana jest wzorem:

$$Q_0 = 2\pi \cdot \frac{EA}{k+1} \cdot \frac{\mu + \operatorname{tg} \gamma}{1 - \operatorname{tg} \gamma} \cdot \frac{L_z + L_w}{2}$$

gdzie: $k = D/d$ - to stosunek średnicy otworu do średnicy wałka, E - to moduł Younga, A - to pole przekroju pierścienia. W kolejnym etapie montażu śruby dokręcane są z siłą Q niezbędną do przenoszenia momentu, której wartość określa się z poprzednio wyprowadzanych zależności. Tym samym całkowite obciążenie śrub wynosi:

$$Q_c = Q_0 + Q$$



**POLITECHNIKA
RZESZOWSKA**
im. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA



**WYDZIAŁ
BUDOWY MASZYN
I LOTNICTWA**
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

Dziękuję za uwagę!

dr inż. Michał Batsch