



Podstawy Konstrukcji Maszyn

Wykład 12

Połączenia kształtowe

Dr inż. Jacek Czarnigowski



Połączenia w konstrukcji maszyn

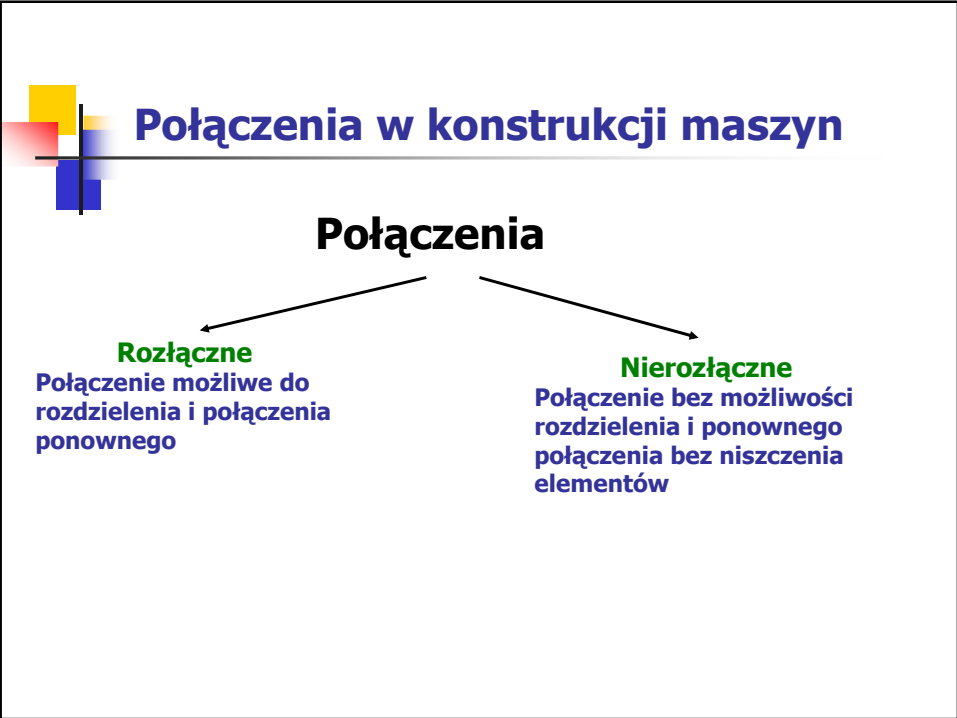
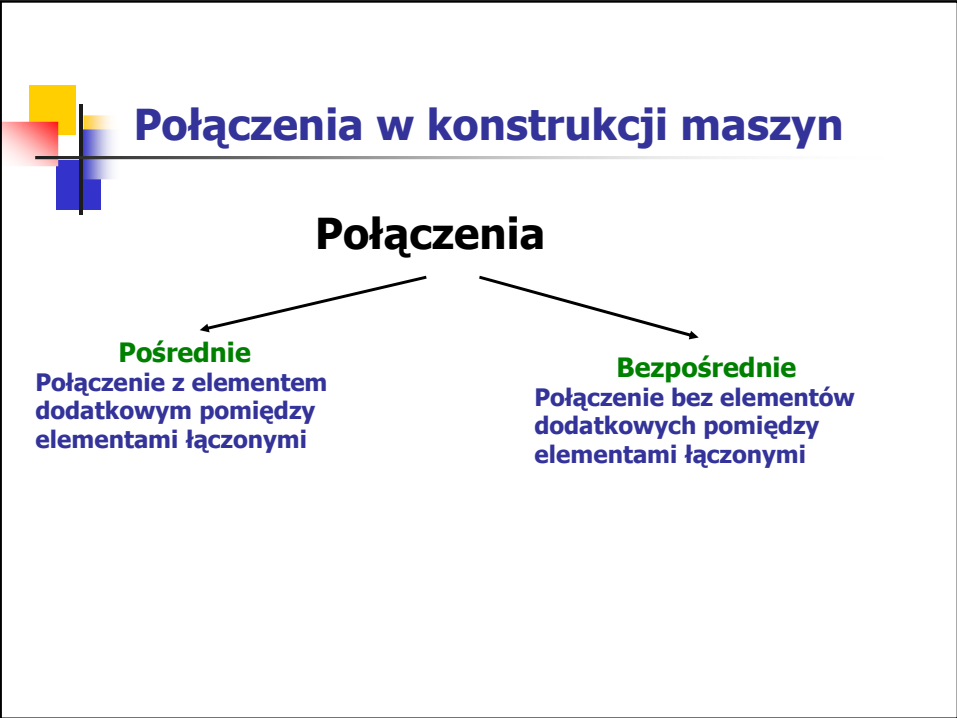
Połączenia

Spoczynkowe

Połączenie w którym elementy nie poruszają się względem siebie w czasie obciążenia

Ruchowe

Połączenie w którym elementy mogą się poruszać względem siebie w czasie obciążenia



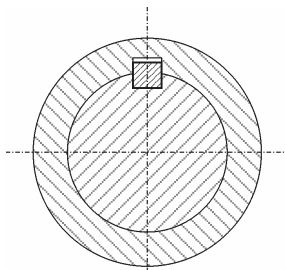
Połączenia w konstrukcji maszyn

Połączenia

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

Połączenia wpustowe

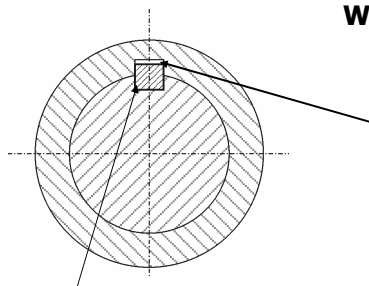
Połączenie rozłączne pośrednie



Do połączenia piasty z wałem i zabezpieczenia przed względnym obrotem stosuje się dodatkowy element – **wpust**.

W większości przypadków są to połączenia **spoczynkowe** choć istnieje możliwość pracy tych połączeń jako ruchomych.

Połączenia wpustowe



Wpust jest elementem pryzmatycznym (bez zbieżności).

Nie ma nacisku promieniowego na wał i piastę oraz nie ma centrowania piasty względem wałka (istnieje luz pomiędzy wpustem a rowkiem piasty).

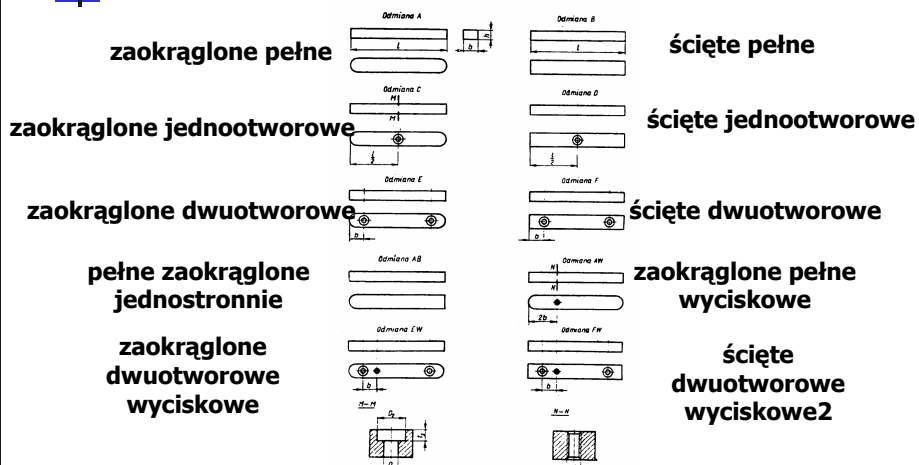
Wpusty pasowane są **ciasno** na powierzchniach bocznych

Wpust – h6
Połączenie ruchowe:
Piasta – D10, wałek – H9

Połączenie spoczynkowe:
Piasta i wałek – P9

Połączenia wpustowe

Rodzaje wpustów pryzmatycznych

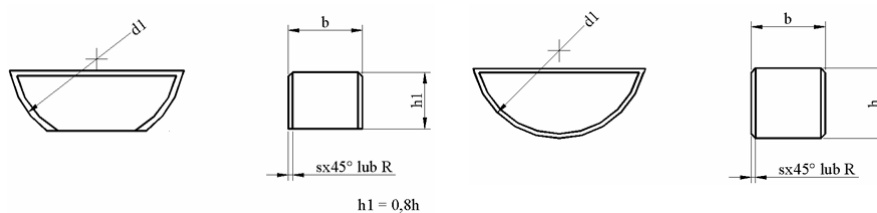


PN-M-85005:1970

Połączenia wpustowe

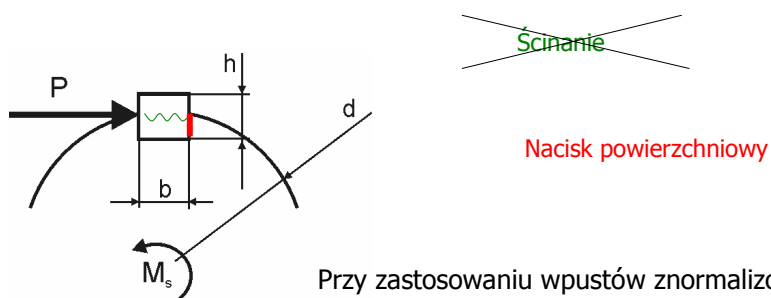
Wpusty czółenkowe

PN-M-85008:1988



Połączenia wpustowe

Obliczenia wytrzymałościowe

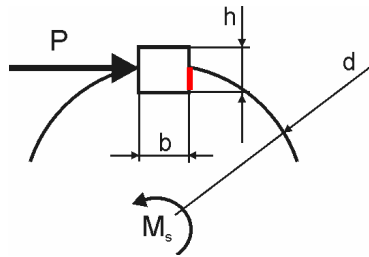


Przy zastosowaniu wpustów znormalizowanych naciski powierzchniowe są decydujące w wytrzymałości złącza dlatego też obliczenia na ścinanie jest pomijane.

Połączenia wpustowe

Obliczenia wytrzymałościowe

Nacisk powierzchniowy

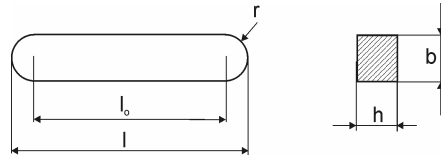


$$p = \frac{P}{\frac{h}{2} \cdot l_0} = \frac{2 \cdot P}{h \cdot l_0} \leq p_{dop}$$

Gdzie:

l_0 – długość części pryzmatycznej wpustu

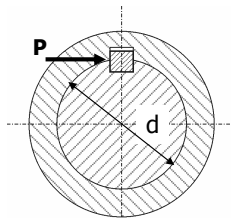
$$l_0 = l - 2 \cdot r = l - b$$



Połączenia wpustowe

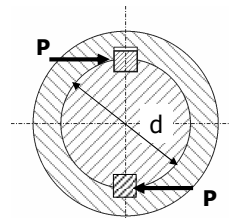
Obliczenia wytrzymałościowe

Jeden wpust




$$P = \frac{M_s}{\frac{d}{2}} = \frac{2 \cdot M_s}{d}$$

Dwa wpusty




$$P = \frac{M_s}{d}$$



Połączenia wpustowe

Naprężenia dopuszczalne

Rodzaj materiału		Naprężenia dopuszczalne	
Wpust	Piasta/walek	Połączenia spoczynkowe	Połączenia ruchowe
E295 E360	Żeliwo	30 – 50 MPa	20 – 40 MPa
E295 E360 C45	Stal, staliwo	60 – 90 MPa	20 – 40 MPa
E360 C45	Stal utwardzona	200 – 300 MPa	120 – 200 MPa



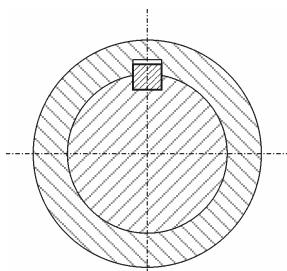
Połączenia w konstrukcji maszyn

Połączenia

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

Połączenia klinowe

Połączenie rozłączne pośrodkie



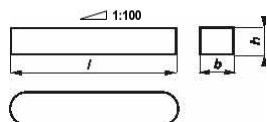
Do połączenia piasty z wałem i zabezpieczenia przed względnym obrotem stosuje się dodatkowy element – **klin**.

Tylko połączenie **spoczynkowe**

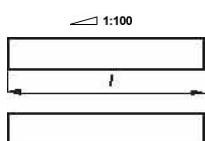
Połączenia klinowe

Rodzaje klinów

Odmiana A

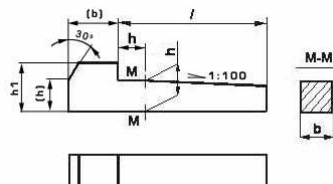


Odmiana B



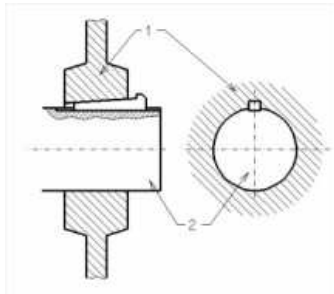
PN-M-85031:1973

Odmiana N



Połączenia klinowe

Obliczenia wytrzymałościowe



Obliczenia identyczne jak dla połączenia wpustowego

Obliczenia nacisków na powierzchnię boczną klina

Połączenia w konstrukcji maszyn

Połączenia

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

Połączenia kołkowe

Połączenie rozłączne pośrednie

Kołki są to elementy walcowe lub stożkowe montowane we współśrodkowy otwór w dwóch częściach w celu ich **połączenia lub ustalenia**.

Tylko połączenie **spoczynkowe**

Połączenia kołkowe

Rodzaje kołków

PN-EN 22339:2000 Kołki stożkowe niehartowane



PN-EN 28736:2001 Kołki stożkowe z gwintem wewnętrznym niehartowane



PN-EN 28737:2001 Kołki stożkowe z czopem gwintowanym niehartowane



PN-EN ISO 2338:2003 Kołki walcowe ze stali, niehartowane lub z austenitycznej stali nierdzewnej



Połączenia kołkowe

Rodzaje kołków

PN-EN ISO 8734:2003 Kołki walcowe ze stali, hartowane lub z martenzytycznej stali nierdzewnej (kołki ustalające)

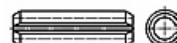
PN-EN ISO 8739:2002 Kołki z korbami - Kołki z korbami równoległymi na całej długości, z pilotem



PN-EN ISO 8750:2007 (U) Kołki sprężyste zwijane zwykle



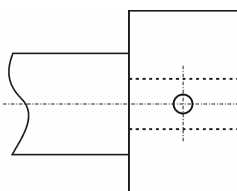
PN-EN ISO 13337:2002 Kołki sprężyste rozcięte lekkie



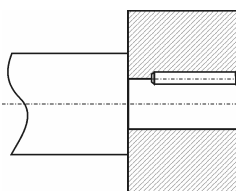
Połączenia kołkowe

Rodzaje połączeń kołkowych

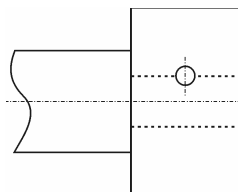
Poprzeczne



Wzdłużne

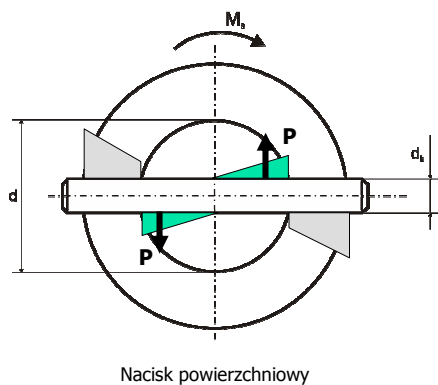


Styczne



Połączenia kołkowe poprzeczne

Obliczenia wytrzymałościowe – połączenie promieniowe wałka i piasty



$$M_s = P \cdot \frac{2}{3} d$$

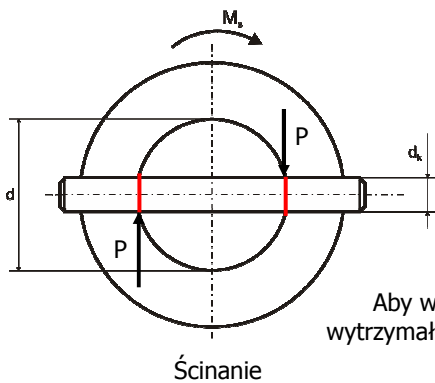
Siła przenoszona jest przez nacisk:

$$P = \frac{p_{\max}}{2} \cdot \frac{d}{2} \cdot d_k$$

$$p = \frac{4 \cdot P}{d \cdot d_k} = \frac{6 \cdot M_s}{d^2 \cdot d_k} \leq p_{dop}$$

Połączenia kołkowe poprzeczne

Obliczenia wytrzymałościowe – połączenie promieniowe wałka i piasty



$$M_s = P \cdot d$$

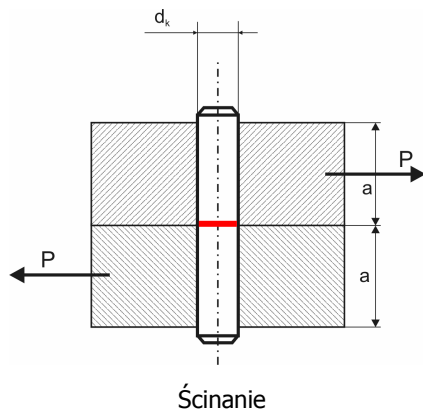
$$\tau_t = \frac{P}{\pi \cdot d_k^2} = \frac{4 \cdot M_s}{\pi \cdot d \cdot d_k^2} \leq k_t$$

Aby wytrzymałość na ścinanie była zbliżona do wytrzymałości na naciski kółek powinien mieć średnicę:

$$d_k \approx 0,21 \cdot d$$

Połączenia kołkowe poprzeczne

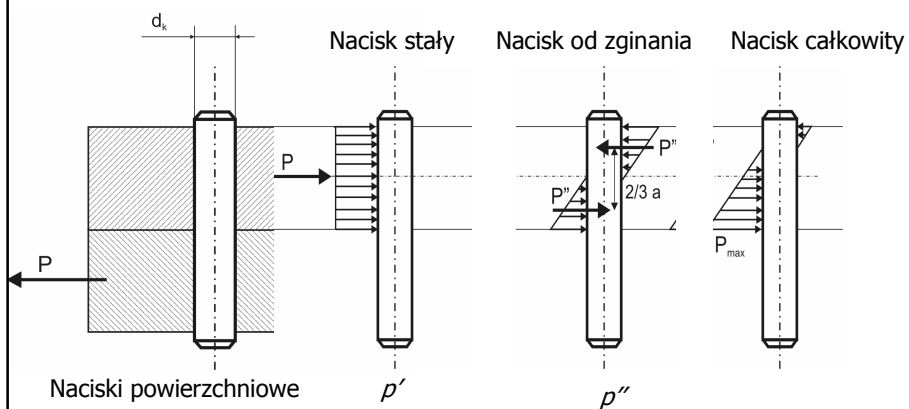
Obliczenia wytrzymałościowe – połączenie poprzeczne płyt



$$\tau_t = \frac{P}{\frac{\pi \cdot d_k^2}{4}} = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot d_k^2} \leq k_t$$

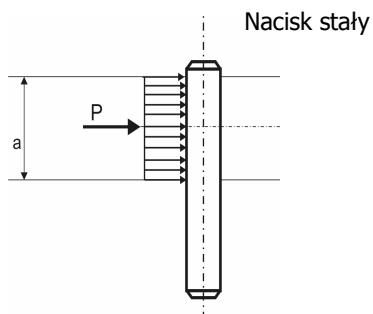
Połączenia kołkowe poprzeczne

Obliczenia wytrzymałościowe – połączenie poprzeczne płyt



Połączenia kołkowe poprzeczne

Obliczenia wytrzymałościowe – połączenie poprzeczne płyt

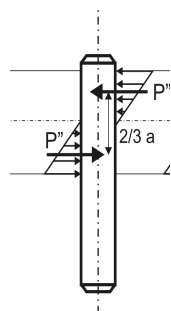


$$p' = \frac{P}{d_k \cdot a}$$

Połączenia kołkowe poprzeczne

Obliczenia wytrzymałościowe – połączenie poprzeczne płyt

Nacisk od zginania



$$M_g = P'' \cdot \frac{2}{3} \cdot a$$

$$P'' = \frac{P''_{\max}}{2} \cdot \frac{1}{2} a \cdot d_k$$

$$P''_{\max} = \frac{4 \cdot P''}{a \cdot d_k} = \frac{6 \cdot M_g}{a^2 \cdot d_k}$$

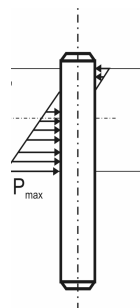
$$P = M_g \cdot \frac{2}{a}$$

$$P''_{\max} = \frac{6 \cdot M_g}{a^2 \cdot d_k} = \frac{3 \cdot P}{a \cdot d_k}$$

Połączenia kołkowe poprzeczne

Obliczenia wytrzymałościowe – połączenie poprzeczne płyt

Nacisk całkowity



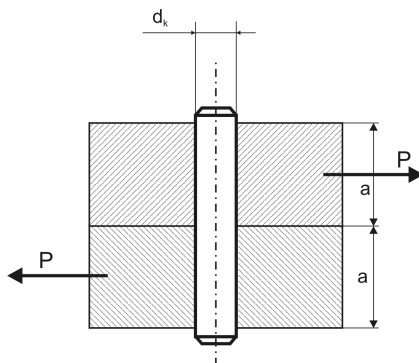
$$p' = \frac{P}{d_k \cdot a}$$

$$p''_{\max} = \frac{3 \cdot P}{a \cdot d_k}$$

$$p_{\max} = \frac{P}{a \cdot d_k} + \frac{3 \cdot P}{a \cdot d_k} = \frac{4 \cdot P}{a \cdot d_k} \leq p_{dop}$$

Połączenia kołkowe poprzeczne

Obliczenia wytrzymałościowe – połączenie poprzeczne płyt



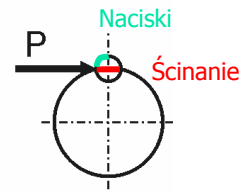
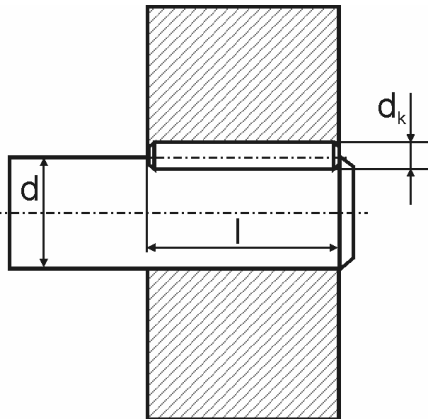
Aby wytrzymałość kołka na naciski i ścinanie była podobnie wykorzystana powinno się przyjąć:

$$a \approx 3 \cdot d_k$$

Połączenia kołkowe wzdłużne

Obliczenia wytrzymałościowe

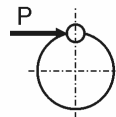
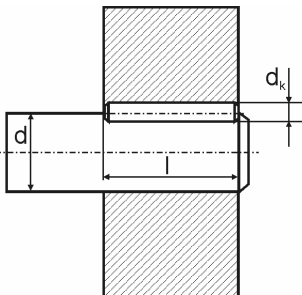
Kołek wzdłużny działa tak ja wpust



Połączenia kołkowe wzdłużne

Obliczenia wytrzymałościowe

Obliczenia na naciski powierzchniowe:



$$P = \frac{M_s}{\frac{d}{2}} = \frac{2 \cdot M_s}{d}$$

$$p = \frac{P}{\frac{d_k \cdot l}{2}} = \frac{2 \cdot P}{d_k \cdot l} \leq p_{dop}$$

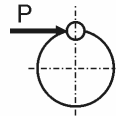
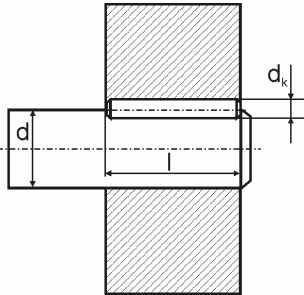
Naprężenia dopuszczalne wynikają z rodzaju materiału.

Przyjmuje się, że kołek wykonany jest z najsłabszego materiały w połączeniu

Połączenia kołkowe wzdłużne

Obliczenia wytrzymałościowe

Obliczenia na ścinanie:



$$P = \frac{M_s}{d} = \frac{2 \cdot M_s}{d}$$

$$\tau_t = \frac{P}{d_k \cdot l} \leq k_t$$

Napężenia dopuszczalne wynikają z rodzaju materiału.
Przyjmuje się, że kołek wykonany jest z najsłabszego materiału w połączeniu

Połączenia w konstrukcji maszyn

Połączenia

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

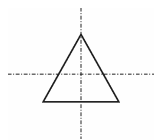
Połączenia wielokątne

Połączenie kształtowe bezpośrednio rozłączne

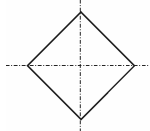
Powstaje poprzez współpracę kształtu czopu i otworu w piaście

Rodzaje kształtu połączeń

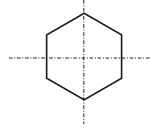
Trójkątne



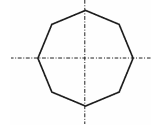
Czworokątne



Sześciokątne



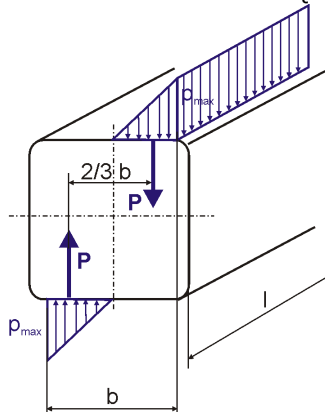
Ośmiokątne



Połączenia wielokątne

Obliczenia wytrzymałościowe

Obliczenia są tylko na naciski powierzchniowe



Dwa przeciwległe boki
przenoszą obciążenie:

$$M_{g1} = P \cdot \frac{2}{3} b$$

Siła wynika z nacisku powierzchni

$$P = \frac{p_{\max}}{2} \cdot \frac{b}{2} \cdot l$$

Połączenia wielokątne

Obliczenia wytrzymałościowe

Obliczenia są tylko na naciski powierzchniowe

Zatem nacisk maksymalny wynosi:

$$p_{\max} = \frac{4 \cdot P}{b \cdot l} = \frac{6 \cdot M_{g1}}{b^2 \cdot l}$$

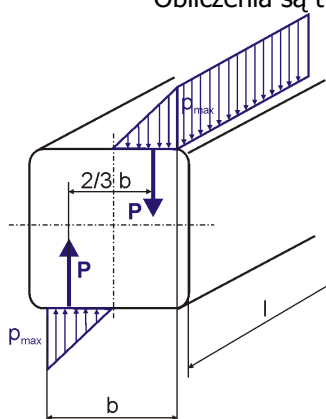
Zakładając, że współpracują 2 pary powierzchni:

$$M_{g1} = \frac{1}{2} M_s$$

Stąd ostatecznie:

$$p_{\max} = \frac{3 \cdot M_s}{b^2 \cdot l} \leq p_{dop}$$

Naprężenia dopuszczalne dla słabszego materiału w połączeniu



Połączenia w konstrukcji maszyn

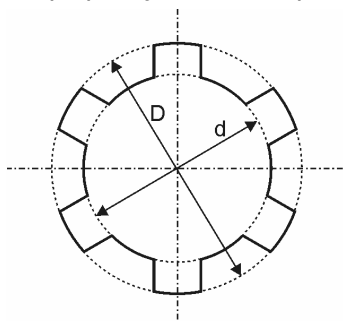
Połączenia

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

Połączenia wielowypustowe

Połączenie kształtowe bezpośrednio rozłączne

Powstaje poprzez współpracę kształtu czopu i otworu w piaście



Często stosowane jako połączenia **ruchowe**

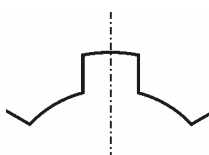
Połączenia wielowypustowe

Połączenie kształtowe bezpośrednio rozłączne

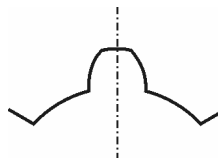
Rodzaje kształtów wielowypustów

PN-ISO 14:1994

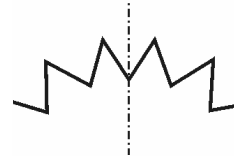
Prostokątne



Ewolwentowe



Trójkątne



Połączenia wielowypustowe

Połączenie kształtowe bezpośrednio rozłączne

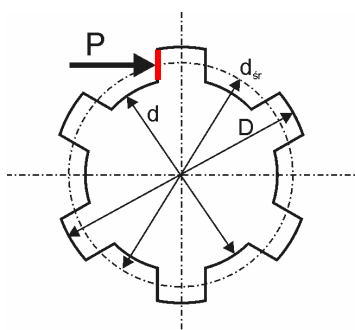
Centrowanie piast na wale może odbywać się na:

1. Powierzchniach bocznych wielowypustu (zmienny moment obrotowy, zarys ewolwentowy)
2. Powierzchni zewnętrznej wielowypustu (mniej dokładne połączenia ruchowe, powierzchnie nieutwardzone)
3. Powierzchni wewnętrznej (połączenia dokładne, powierzchnie utwardzone)

Połączenia wielowypustowe

Obliczenia wytrzymałościowe

Oblicza się tylko na naciski powierzchniowe



$$M_s = P \cdot \frac{d_{sr}}{2} = P \cdot \frac{D+d}{4}$$

$$p = \frac{P}{\frac{D-d}{2} \cdot l \cdot z \cdot \varphi}$$

Długość połączenia

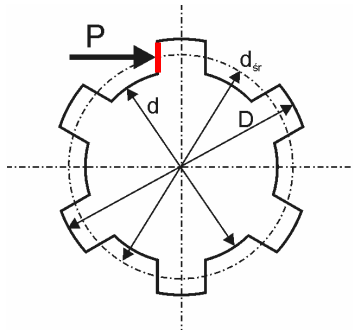
Liczba wypustów (4 do 12)

Współczynnik niedokładności wykonania
 $\varphi = 0,75$

Połączenia wielowypustowe

Obliczenia wytrzymałościowe

Oblicza się tylko na naciski powierzchniowe



$$p = \frac{8 \cdot M_s}{(D-d)^2 \cdot l \cdot z \cdot \varphi} \leq p_{dop}$$

Naprężenia dopuszczane są identyczne jak w przypadku połączeń wpustowych

Przykład 12.1 Połączenia kształtowe

Dobrać i obliczyć wymiary połączeń kształtowych dla połączenia wałka i piasty. Wymagana średnica rdzenia $d = 22$ mm, przenoszący moment obrotowy $M_s = 70$ Nm. Piasta i wałek wykonane są ze stali C45.

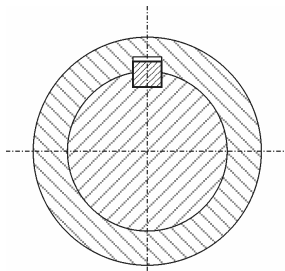
Połączenia do analizy:

- Wpustowe (1 i 2 wpusty)
- Wielowypustowe
- Kołek wzdłużny
- Czworokąt

Przykład 12.1 Połączenia kształtowe

Wymagana średnica rdzenia $d = 22$ mm,
Przenoszący moment obrotowy $M_s = 70$ Nm

Połączenie wpustowe



Ze względu na konieczność pozostawienia rdzenia nienaruszonego średnica wałka musi być zwiększona tak aby rowki pod wpusty znajdowały się ponad tą średnicą.

Wg normy dla średnic od 22 do 30 mm przyjmuje się wpusty (bxh) **8x7**

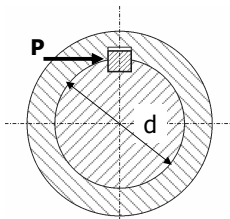
Zatem średnica zewnętrzna powinna wynosić minimum:

$$d = d_{rdzenia} + h = 22 + 7 = 29$$

Przykład 12.1 Połączenia kształtowe

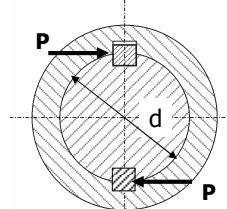
Wymagana średnica rdzenia $d = 22$ mm,
Przenoszący moment obrotowy $M_s = 70$ Nm

Jeden wpust



$$P = \frac{M_s}{\frac{d}{2}} = \frac{2 \cdot M_s}{d} = \frac{2 \cdot 70000}{29} = 4827,6 \text{ N}$$

Dwa wpusty



$$P = \frac{M_s}{d} = \frac{M_s}{d} = \frac{70000}{29} = 2413,7 \text{ N}$$

Przykład 12.1 Połączenia kształtowe

Wymagana średnica rdzenia $d = 22 \text{ mm}$,
Przenoszący moment obrotowy $M_s = 10 \text{ Nm}$

Obliczenia długości – nacisk powierzchniowy

$$p = \frac{P}{\frac{h}{2} \cdot l_0} = \frac{2 \cdot P}{h \cdot l_0} \leq p_{dop}$$

Przyjmijmy połączenie spoczynkowe
 $p_{dop} = 40 \text{ MPa}$

$$l_0 \geq \frac{2 \cdot P}{h \cdot p_{dop}}$$

Jeden wpust $l_0 \geq \frac{2 \cdot 4827,6}{7 \cdot 40} = 34,5 \text{ mm}$

Dwa wpusty $l_0 \geq \frac{2 \cdot 2413,8}{7 \cdot 40} = 17,2 \text{ mm}$

Przykład 12.1 Połączenia kształtowe

Wymagana średnica rdzenia $d = 22 \text{ mm}$,
Przenoszący moment obrotowy $M_s = 10 \text{ Nm}$

Przyjmując zastosowanie wpustów pryzmatycznych zaokrąglonych

Jeden wpust $l \geq l_0 + b = 34,5 + 8 = 42,5 \text{ mm} = 45 \text{ mm}$

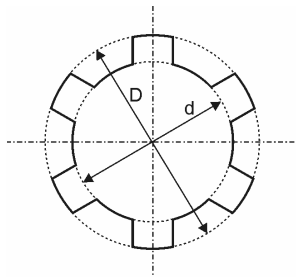
Dwa wpusty $l \geq l_0 + b = 17,2 + 8 = 25,2 \text{ mm} = 28 \text{ mm}$

Wymiary
znormalizowane

Przykład 12.1 Połączenia kształtowe

Wymagana średnica rdzenia $d = 22$ mm,
Przenoszący moment obrotowy $M_s = 70$ Nm

Połączenie wielowypustowe



Ze względu na konieczność pozostawienia rdzenia nienaruszonego średnica wałka musi być zwiększona tak aby rowki pod wypusty znajdowały się ponad tą średnicą.

Wg normy mamy do wyboru dwa wielowypusty:
6x23x26
6x23x28

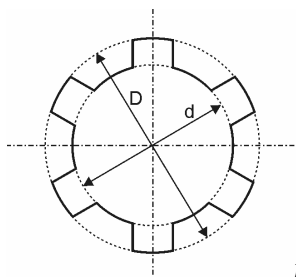
Przyjmijmy: 6x23x28 (z x d x D)

Przykład 12.1 Połączenia kształtowe

Wymagana średnica rdzenia $d = 22$ mm,
Przenoszący moment obrotowy $M_s = 70$ Nm

Siła działająca na wypusty:

$$P = \frac{4 \cdot M_s}{D + d} = \frac{4 \cdot 70000}{28 + 23} = 5490,2 \text{ N}$$



**Obliczenia prowadzone są dla nacisków.
Naciski dopuszczalne wynoszą $p_{dop} = 40$ MPa**

$$l \geq \frac{2 \cdot P}{(D - d) \cdot p_{dop} \cdot z \cdot \varphi} \quad \varphi = 0,75$$

Przykład 12.1 Połączenia kształtowe

Wymagana średnica rdzenia $d = 22$ mm,
Przenoszący moment obrotowy $M_s = 70$ Nm

Zatem:

$$l \geq \frac{2 \cdot P}{(D-d) \cdot p_{dop} \cdot z \cdot \varphi} = \frac{2 \cdot 5490,2}{(28-23) \cdot 40 \cdot 6 \cdot 0,75} = 12,2 \text{ mm}$$

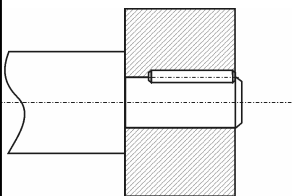
Z warunku dobrego prowadzenia przyjmuje się, że:

$$l \geq d = 23 \text{ mm}$$

Przykład 12.1 Połączenia kształtowe

Wymagana średnica rdzenia $d = 22$ mm,
Przenoszący moment obrotowy $M_s = 70$ Nm

Połączenie kołkiem wzdłużnym



Ze względu na konieczność pozostawienia rdzenia nienaruszonego dobieramy średnicę zewnętrzną tak aby nie naruszyć rdzenia po wykonaniu nawiertu pod kołek

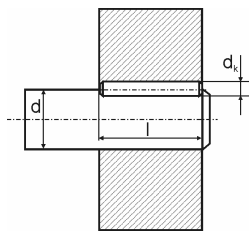
Przyjmijmy kołek o średnicy $d_k = 5$ mm.
Zatem średnica połączenia powinna wynosić:

$$d = d_{rdzenia} + d_k = 22 + 5 = 27 \text{ mm}$$

Przykład 12.1 Połączenia kształtowe

Wymagana średnica rdzenia $d = 22$ mm,
Przenoszący moment obrotowy $M_s = 70$ Nm

Połączenie kołkiem wzdłużnym



Siła działająca na kołek:

$$P = \frac{2 \cdot M_s}{d} = \frac{2 \cdot 70000}{27} = 5185,2 \text{ N}$$

Przyjmujemy, że kołek wykonany jest ze stali S235JR

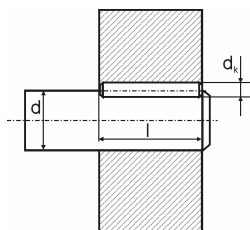
$$p_{dop} = 95 \text{ MPa}$$

$$k_t = 78 \text{ MPa}$$

Przykład 12.1 Połączenia kształtowe

Wymagana średnica rdzenia $d = 22$ mm,
Przenoszący moment obrotowy $M_s = 70$ Nm

Połączenie kołkiem wzdłużnym



Obliczenia ze ścinania:

$$l \geq \frac{P}{d_k \cdot k_t} = \frac{5185,2}{5 \cdot 78} = 13,3 \text{ mm}$$

Obliczenia z nacisków:

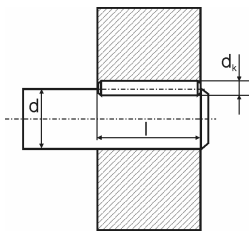
$$l \geq \frac{2 \cdot P}{d_k \cdot p_{dop}} = \frac{2 \cdot 5185,2}{5 \cdot 95} = 21,8 \text{ mm}$$

Przykład 12.1 Połączenia kształtowe

Wymagana średnica rdzenia $d = 22 \text{ mm}$,
Przenoszący moment obrotowy $M_s = 70 \text{ Nm}$

Połączenie kołkiem wzdłużnym

Zatem długość musi spełniać oba warunki zatem:



$$l \geq 21,8 \text{ mm} = 25 \text{ mm}$$

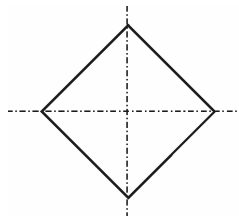
Długość znormalizowana

Przykład 12.1 Połączenia kształtowe

Wymagana średnica rdzenia $d = 22 \text{ mm}$,
Przenoszący moment obrotowy $M_s = 70 \text{ Nm}$

Połączenie czworokątne

Ze względu na konieczność pozostawienia rdzenia nienaruszonego dobieramy wymiar boku kwadratu równy średnicy rdzenia



$$b = d_{rdzenia} = 22 \text{ mm}$$



Przykład 12.1 Połączenia kształtowe

Wymagana średnica rdzenia $d = 22 \text{ mm}$,
Przenoszący moment obrotowy $M_s = 70 \text{ Nm}$

Połączenie czworokątne

Długość obliczana jest z nacisków powierzchniowych:

$$l \geq \frac{3 \cdot M_s}{b^2 \cdot p_{dop}}$$

Oba elementy wykonane są z tego samego materiału dla którego

$$p_{dop} = 175 \text{ MPa}$$



Przykład 12.1 Połączenia kształtowe

Wymagana średnica rdzenia $d = 22 \text{ mm}$,
Przenoszący moment obrotowy $M_s = 70 \text{ Nm}$

Połączenie czworokątne

Zatem długość wynosi:

$$l \geq \frac{3 \cdot M_s}{b^2 \cdot p_{dop}} = \frac{3 \cdot 70000}{22^2 \cdot 175} = 2,5 \text{ mm}$$

Podobnie jak dla wielowypustów warunek dobrego prowadzenia
wymusza długość większą niż wysokość boku kwadratu:

$$l = 22 \text{ mm}$$

Przykład 12.1 Połączenia kształtowe

Wymagana średnica rdzenia $d = 22 \text{ mm}$,
Przenoszący moment obrotowy $M_s = 70 \text{ Nm}$

Rodzaj połączenia	Wymiar osadzenia	Długość nominalna	Długość dobrana
1 wpust	$d = 29 \text{ mm}$	$l = 42,5 \text{ mm}$	$l = 45 \text{ mm}$
2 wpust	$d = 29 \text{ mm}$	$l = 25,2 \text{ mm}$	$l = 28 \text{ mm}$
Wielowypust	6x23x28	$l = 12,0 \text{ mm}$	$l = 23 \text{ mm}$
1 kołek	$d = 27 \text{ mm}$	$l = 21,8 \text{ mm}$	$l = 25 \text{ mm}$
Czworokąt	$a = 22 \text{ mm}$	$l = 2,5 \text{ mm}$	$l = 22 \text{ mm}$