



AKADEMIA KALISKA

im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego

Napędy i sterowanie hydrauliczne

Kierunek

Mechanika i Budowa Maszyn

sem. V studia I stopnia stacjonarne i niestacjonarne

Rok akademicki 2020 / 2021

Właściwości fizyczne powietrza

Powietrze jest mieszaniną gazów, które mogą zawierać także ciekłe krople lub stałe cząstki pochodzenia naturalnego (np. aerozole soli morskiej lub pyłów mineralnych np. popioły i cząstki sadzy itd.).

Właściwości powietrza:

- jest bezbarwne,
- bez smaku,
- słabo rozpuszczalne w wodzie.
- skroplone powietrze jest bladoniebieskie.

- **gęstość powietrza zależy od:**
 - ciśnienia,
 - temperatury oraz składu

Suche powietrza mierzone przy ciśnieniu atmosferycznym, na poziomie morza, w temperaturze 20 °C wynosi około 1,2 kg/m³.

Wilgotność powietrza

Wilgotność bezwzględna - jest to zawartość pary wodnej w powietrzu wyrażona w gramach ilości wody przypadających na 1 metr sześcienny powietrza [g/m^3].

Wilgotność względna wyrażana jest w procentach, gdzie 100% lub wartość 1 oznacza powietrze całkowicie nasycone parą wodną (oziębienie powietrza przy wilgotności względnej równej 1 daje początek skraplaniu pary wodnej). Wilgotność względna równa jako 0% lub 0 oznacza powietrze suche.

Próba zdefiniowania podstawowych zagadnień

Pneumatyka – nauka, będąca działem inżynierii mechanicznej, zajmująca się wykorzystaniem sprężonego powietrza do przekazywania energii i sterowania elementami maszyn i urządzeń. Powietrze lub inny gaz jest czynnikiem napędzającym elementy wykonawcze (np. siłowniki, silniki, regulatory).

Pneumatyka wykorzystuje:

1. **nadciśnienie (sprężone powietrze – w rozumieniu technicznym)** - powietrze spręża się do ciśnienia wyższego niż ciśnienie atmosferyczne tworząc nadciśnienie,
2. **podciśnienie (próżnia – w rozumieniu technicznym)** – zamknięty obszar wypełniony gazem o ciśnieniu niższym od atmosferycznego.

Ciśnienie może być określone względem:

1. próżni i wówczas mówi się o ciśnieniu bezwzględnym (*absolutnym*),
2. względem ciśnienia panującego w otoczeniu i wówczas używa się określenia nadciśnienie lub ciśnienie względne.

Ciśnienie

Ciśnienie – to wielkość skalarna określona jako wartość siły działającej prostopadle do powierzchni podzielona przez powierzchnię na jaką ona działa, co przedstawia zależność

$$p = \frac{F_n}{S}$$

Jednostką ciśnienia jest Pascal.

$$1\text{Pa} = 1\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}^2) = 1\text{N}/\text{m}^2$$

p – ciśnienie [Pa]

F_n – składowa siła prostopadła do powierzchni [N]

S – powierzchnia [m²]

W przypadku gazów w stanie ustalonym w spoczynku, ciśnienie jakie gaz wywiera na ścianki naczynia jest funkcją objętości, masy i temperatury traktowane jest jako parametr stanu.

Do pomiaru służy manometr i barometr. W technice budowy maszyn używamy manometrów.

Ciśnienie aerostatyczne

Ciśnienie aerostatyczne – ciśnienie panujące wewnątrz gazu pozostającego w równowadze, pochodzące od jego własnego ciężaru.

Ciśnienie w cieczy jest ciśnieniem **hydrostatycznym**.

Gazy w porównaniu z cieciami charakteryzują się ściśliwością, mniejszą gęstością i brakiem powierzchni swobodnej zajmując całą powierzchnię naczynia, w którym się znajdują.

Źródło: Maria Kapuścińska "Fizyka. Podręcznik dla studentów farmacji" wydanie 4, Warszawa 1982 s. 83n

Ciśnienie aerostatyczne zależy od ciężaru właściwego i wysokości słupa gazu.

$$p_h = h\gamma = \rho gh$$

Ciśnienie aerostatyczne

$$p_h = h\gamma = \rho gh$$

p_h – ciśnienie aerostatyczne

h – wysokość słupa gazu [m]

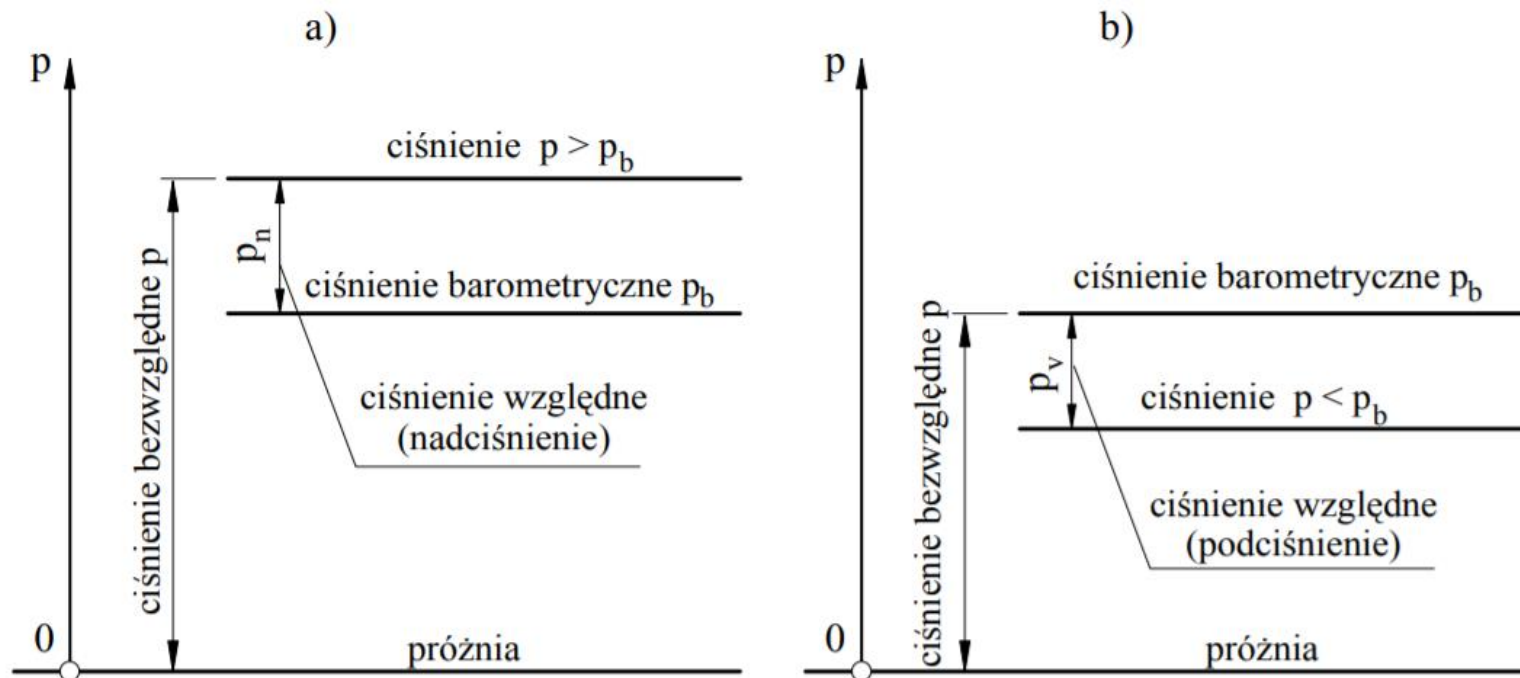
γ – średni ciężar właściwy gazu [N/m^3]

ρ – gęstość – masa właściwa gazu [kg/m^3]

g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2]

Można przyjąć, że na powierzchni ziemi ciśnienie aerostatyczne odpowiada ciśnieniu aerostatycznemu.

Typy ciśnień



Ilustracja do określenia ciśnień bezwzględnych i względnych:

- a) ciśnienie większe od barometrycznego,
- b) ciśnienie mniejsze od barometrycznego

Ciśnienie względne to: nadciśnienie p_n , będące nadwyżką ciśnienia absolutnego ponad ciśnienie barometryczne $p_n = p - p_b$,

Podciśnienie p_v , stanowiące różnicę między ciśnieniem barometrycznym a ciśnieniem absolutnym $p_v = p_b - p$.

Podstawowe prawa fizyki

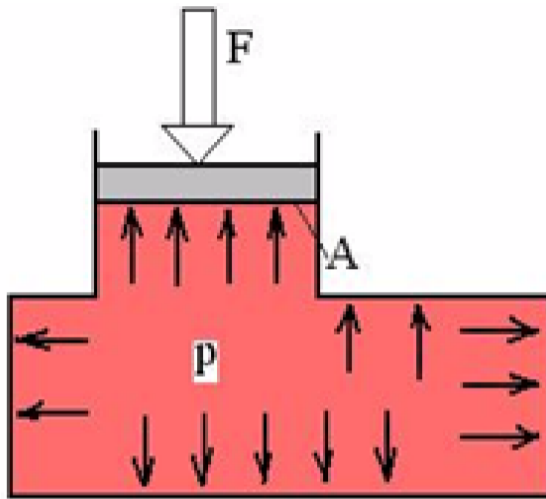
Dla gazów pozostających w równowadze można stosować prawa Pascala i Archimedesesa.

Prawo Pascala mówi o tym, że *ciśnienie wewnątrz gazu pozostającego w stanie równowagi ma wszędzie wartość jednakową.*

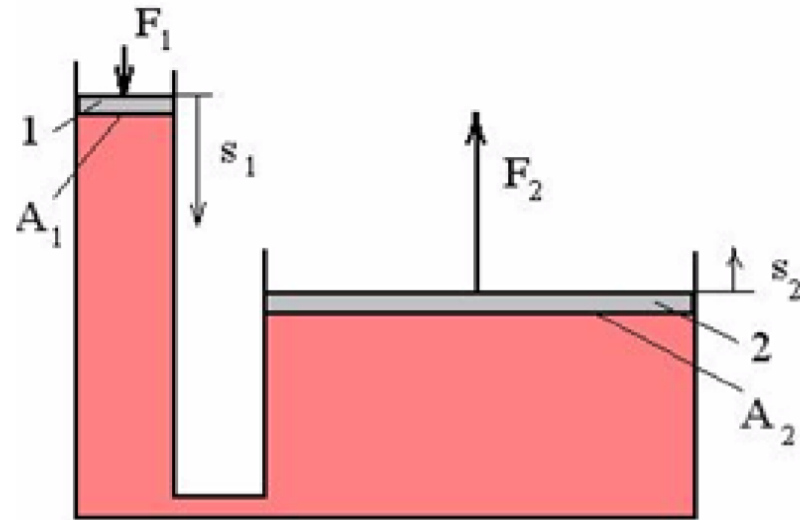
Prawo Archimedesesa zakłada, że *na ciało zanurzone w gazie doznaje wyporu, to jest parcia skierowanego do góry, którego wielkość jest równa iloczynowi objętości zanurzonego ciała przez ciężar właściwy gazu, czyli ciężarowi gazu, wypartego przez ciało.*

Źródło: Zbigniew Kamiński „Fizyka dla kandydatów na wyższe uczelnie techniczne” wydanie 7, Warszawa 1967 s. 156n.

Prawo Pascala



a)



b)

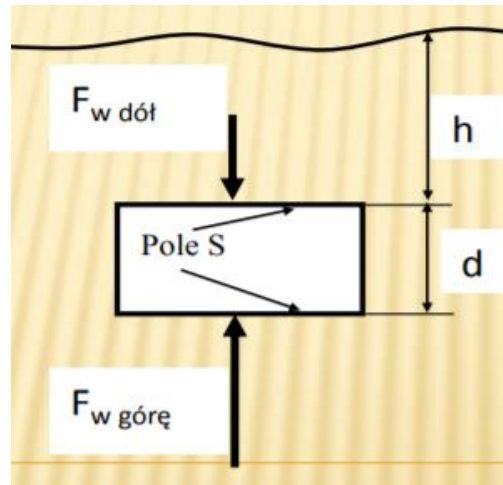
Jeżeli na ciecz nieściśliwą działają tylko siły powierzchniowe, to w każdym jej punkcie panuje jednakowe ciśnienie

Źródło: Moduł 6. Hydrauliczne i elektrohydrauliczne układy napędu i sterowania.. Podstawy automatyki dla branży mechanicznej. Kształcenie na odległość.

Prawo Archimedesesa

Zgodnie z prawem Pascala, jeśli zanurzymy w cieczy ciało stałe, to na poszczególne części tego ciała będzie działać różne ciśnienie, w zależności od tego, na jakiej głębokości znajduje się dana część tego ciała

$$F_{w\ dół} = \rho \cdot g \cdot h \cdot S$$



$$F_{w\ górę} = \rho \cdot g \cdot (h + d) \cdot S$$

Źródło: Dr hab. inż. Władysław Artur Woźniak. Wykład Fizyka I. 12 mechanika płynów.

Prawo Archimedesesa - siła wyporu

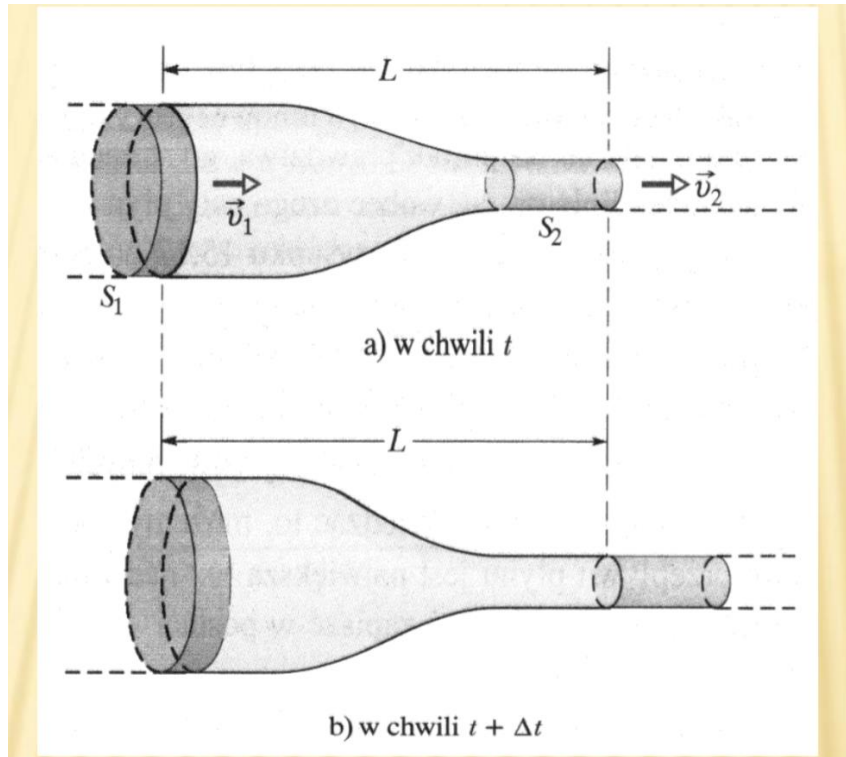
$$F_{wypadkowa} = F_{w \text{ górze}} - F_{w \text{ dół}} = \rho \cdot g \cdot d \cdot S = m_c \cdot g$$

Prawo Archimedesesa mówi, że na ciało zanurzone w cieczy działa siła wyporu, skierowana przeciwnie do siły ciężkości, równa liczbowo ciężarowi wypartej cieczy

PŁYNY DOSKONAŁE

- **Przepływ ustalony (laminarny):** gdy prędkość poruszającego się płynu w każdym wybranym punkcie nie zmienia się z upływem czasu; przeciwieństwem jest przepływ nieustalony – turbulentny.
- **Przepływ nieściśliwy:** gęstość płynu jest stała;
- **Przepływ nielepki:** (lepkość – tarcie wewnętrzne między warstwami płynu);
- **Przepływ bezwirowy:** żaden z fragmentów płynu nie porusza się wokół osi przechodzącej przez swój środek masy (założenie niekoniecznie potrzebne...)

Równanie ciągłości



$$\Delta V = S_1 \Delta x_1 = S_1 v_1 \Delta t = S_2 v_2 \Delta t$$

$$S_1 v_1 = S_2 v_2$$

Strumień objętościowy

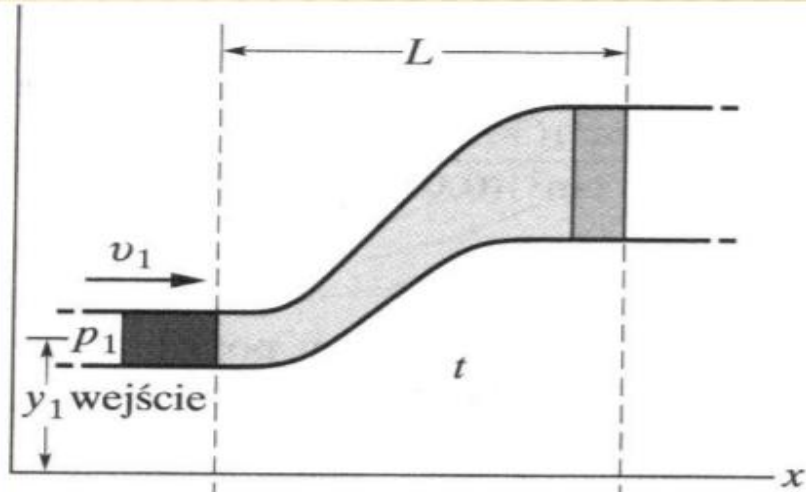
$$R_V = Sv = \text{const}$$

Strumień masy

$$R_m = \rho R_V = \rho S v = \text{const}$$

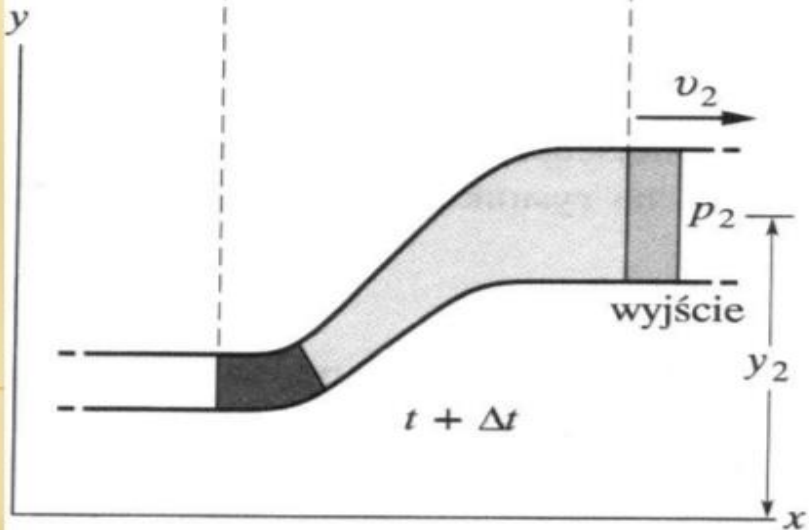
Źródło: Dr hab. inż. Władysław Artur Woźniak. Wykład Fizyka I. 12 mechanika płynów.

Równanie Bernoulliego



a)

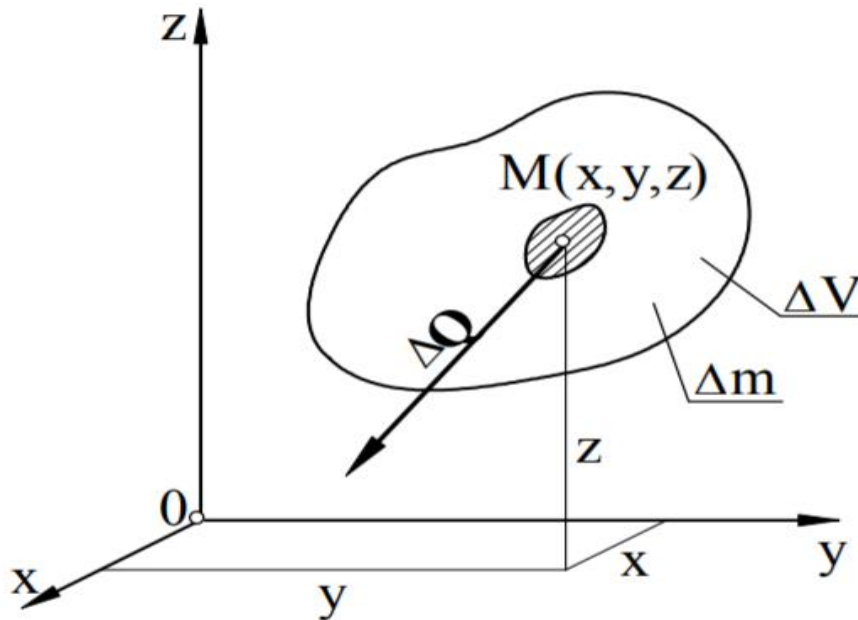
$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gy = \text{const}$$



Gęstością płynu w punkcie $M(x, y, z)$

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V},$$

$$\rho = \frac{dm}{dV}.$$



Gęstością płynu w punkcie $M(x, y, z)$ w chwili t nazywa się granicę ilorazu $\Delta m/\Delta V$, gdy objętość ΔV dąży do zera

W ogólnym przypadku gęstość płynu zależy od:

- czasu,
- temperatury
- ciśnienia.

Płyn poddany temu samemu ciśnieniu ma gęstość w każdym punkcie jednakową i równą.

Podstawową jednostką gęstości jest kg/m^3 .

Ciężar i objętość właściwa

Ciężar właściwy jest ilorazem gęstości i przyspieszenia ziemskiego.

$$\gamma = \rho g.$$

Podstawową jednostką ciężaru właściwego jest N/m^3 .

Odwrotność gęstości to **objętością właściwą** i podawana w m^3/kg

$$v = \frac{dV}{dm} = \frac{1}{\rho}$$

Zależność gęstości od temperatury

Gęstość zmniejsza się zwykle ze wzrostem temperatury (dla wody poniżej 4 °C zależność ta jest anormalna), a zwiększa z podwyższeniem ciśnienia.

Równanie Clapeyrona zwane jest równaniem stanu gazu doskonałego – równanie stanu opisujące związek pomiędzy temperaturą, ciśnieniem i objętością dla gazu doskonałego.

$$p\nu = n R T \text{ lub } pV = RT$$

p – ciśnienie

v – objętość [m]

V – objętość molowa

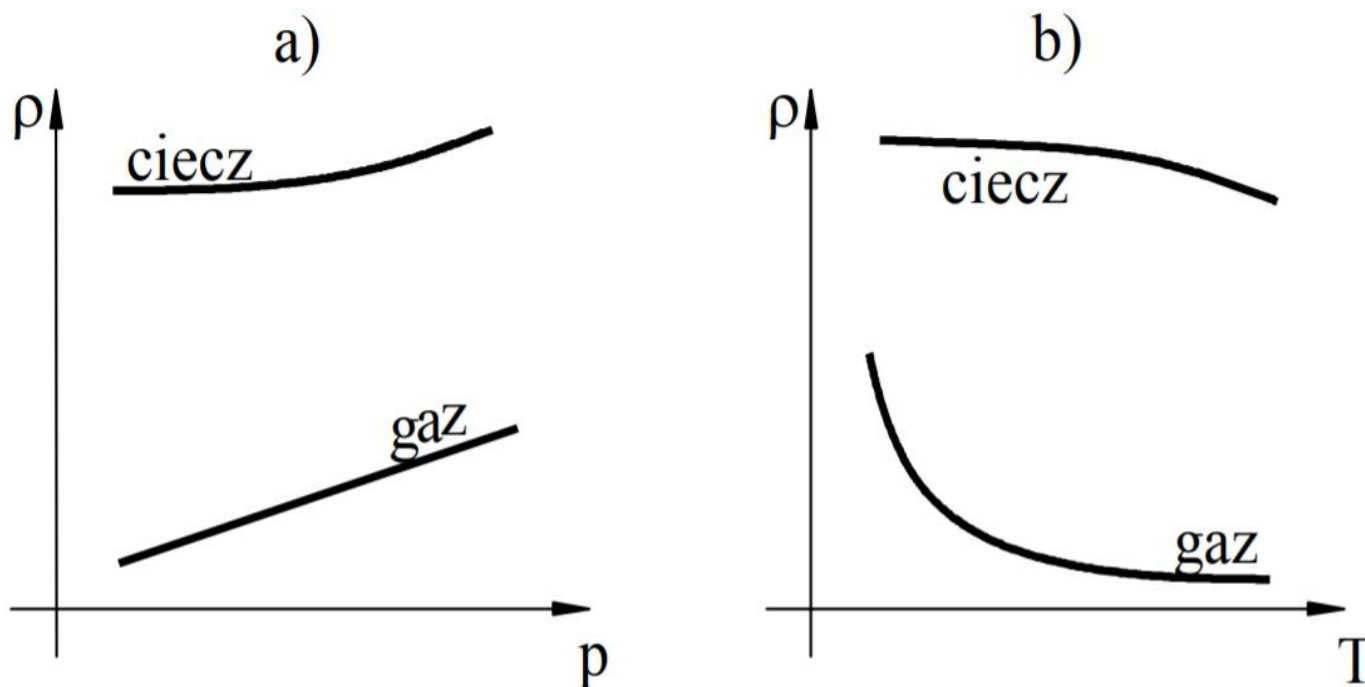
n – liczba moli gazu, będąca miarą liczby jego cząsteczek $n = v/V$

T – temperatura bezwzględna [K] = $t[^\circ\text{C}] + 273,15$

R – uniwersalna stała gazowa – stała fizyczna równa pracy wykonanej przez 1 mol gazu doskonałego podgrzewanego o 1 Kelwin (stopień Celsjusza) podczas przemiany izobarycznej.

Gęstość gazu i cieczy

Gęstość gazu jest funkcją ciśnienia i temperatury oraz dodatkowo zależy od prędkości gazu, lecz wpływ ten uwidacznia się dopiero przy dużych prędkościach. Przy małych prędkościach i niewielkich jej zmianach $\rho = \text{const}$ przyjmuje się również w przypadku gazu.



Jakościowe zmiany gęstości płynów w zależności od ciśnienia (a) i temperatury (b)

Energia gazu

Zgodnie z założeniami kinetycznej teorii gazów zakładaliśmy, że nie ma międzycząsteczkowych oddziaływań pomiędzy cząsteczkami gazu doskonałego. Innymi słowy, jego potencjalna energia wynosi zero. Stąd cała energia posiadana przez gaz jest energią kinetyczną:

$$E = \frac{3}{2}RT \quad \text{energia związana z jednym molem gazu}$$

$$E = \frac{3}{2}rT \quad \text{energia związana z jednym gramem gazu}$$

$$E = \frac{3}{2}k_gT \quad \text{energia związana z jedną cząsteczką gazu}$$

Źródło: [https://pl.wikipedia.org/wiki/R%C3%B3wnanie_Clapeyrona_\(stan_gazu_doskona%C5%82ego\)](https://pl.wikipedia.org/wiki/R%C3%B3wnanie_Clapeyrona_(stan_gazu_doskona%C5%82ego))

Prawo Daltona

Prawo Daltona – o ciśnieniach cząstkowych i prawo o objętościach cząstkowych

$$p = \sum_{i=1}^k p_i$$

Ciśnienie wywierane przez mieszaninę gazów jest równe sumie ciśnień wywieranych przez składniki mieszaniny, gdyby każdy z nich był umieszczany osobno w tych samych warunkach objętości i temperatury, jest ono zatem sumą ciśnień cząstkowych.

$$V = \sum_{i=1}^k V_i$$

Objętość zajmowana przez mieszaninę gazów jest równa sumie objętości, które byłyby zajmowane przez składniki mieszaniny, gdyby każdy z nich był umieszczony osobno w tych samych warunkach ciśnienia i temperatury, czyli jest równa sumie objętości cząstkowych.

Stała Boltzmannna

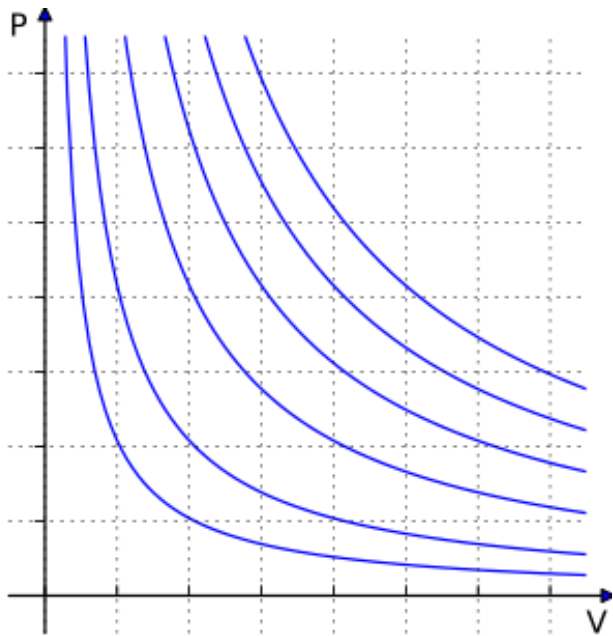
Stała Boltzmannna k_g – stała fizyczna występująca w równaniach określających rozkłady energii cząsteczek. Oznaczana jest symbolem k lub k_B i związana jest równaniem

$$k_g = \frac{R}{N_A}$$

R – *uniwersalna stała gazowa* – stała fizyczna równa pracy wykonanej przez 1 mol gazu doskonałego podgrzewanego o 1 Kelwin (stopień Celsjusza) podczas przemiany izobarycznej.

N_A – *liczba Avogadra* = $6,022140857(74) \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} = (7,4 \times 10^{15})$

Izotermy gazu doskonałego



Izotermy gazu doskonałego. Zakrzywione linie reprezentują zależność pomiędzy ciśnieniem (na osi pionowej) a objętością (na osi poziomej) dla idealnego gazu w różnych temperaturach: linie, które są dalej od początku (czyli linie, które są bliżej prawego górnego rogu wykresu) reprezentują wyższe temperatury.

Założenia gazu doskonałego:

- Gaz składa się z poruszających się cząsteczek.
- cząsteczki zderzają się ze sobą oraz ze ściankami naczynia, w którym się znajdują
- nie ma oddziaływań międzycząsteczkowych w gazie, z wyjątkiem odpychania w momencie zderzeń cząsteczek
- objętość (rozmiary) cząsteczek pomija się
- zderzenia cząsteczek są doskonale sprężyste

Ściśliwość

Ściśliwość gazu charakteryzuje się podatnością na odkształcenie objętościowe przy zmianie ciśnienia.

Zależność współczynnika ściśliwości od ciśnienia: $\frac{3}{4}$ dla gazów (przy ściskaniu izotermicznym)

Dla gazów (przy ściskaniu izotermicznym)

$$\xi = \frac{1}{p}$$

Jednostką współczynnika ściśliwości jest 1/Pa (Pa⁻¹)

ROZSZERZALNOŚĆ CIEPLNA

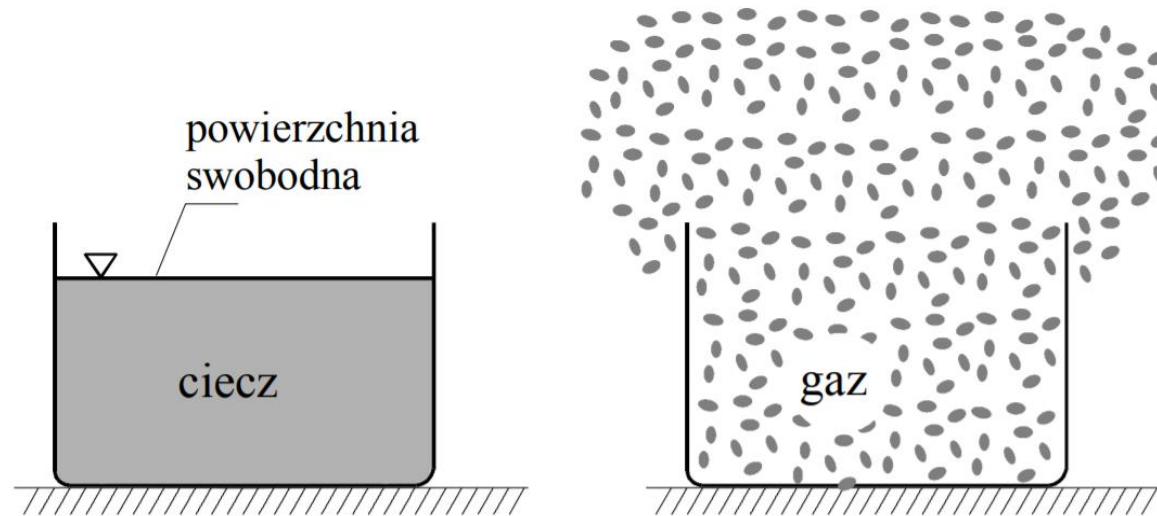
Rozszerzalność cieplna płynu charakteryzuje jego podatność na odkształcenie objętościowe przy zmianie temperatury. Miarą tej odkształcalności jest współczynnik rozszerzalności cieplnej, wyrażający względną zmianę objętości przy zmianie temperatury o 1 K.

$$\beta = \frac{\Delta V}{V} \cdot \frac{1}{\Delta T}$$

Współczynnik rozszerzalności cieplnej jest funkcją temperatury, jednak gdy zmiany temperatury nie są zbyt duże, przyjmuje się $\beta = \beta_{sr} = \text{const}$ w rozpatrywanym przedziale wartości temperatury.

Wynika stąd, że przyrostowi temperatury towarzyszy zmniejszenie gęstości¹). Ta właściwość płynów jest często wykorzystywana w technice, np. do wywołania cyrkulacji w instalacjach c.o., usuwania produktów spalania, wietrzenia.

Zachowanie cieczy i gazu w stanie równowagi statycznej



Druga istotna różnica pomiędzy cieciami i gazami to ich ściśliwość rozumiana jako opór stawiany próbom zmiany objętości. Ciecze są praktycznie nieściśliwe, gdyż przykładowo zmiana objętości wody o zaledwie 5% zachodzi dopiero przy ciśnieniu przekraczającym 1000 bar. Gazy natomiast bardzo łatwo dają się sprężyć do bardzo małych objętości i z równą łatwością rozprężają się zajmując zawsze całą dostępną przestrzeń.

Różnice pomiędzy cieciami i gazami

Ciecze i gazy odróżnia między innymi gęstość, niespotykana w ciałach stałych. Przykładowo, różnica gęstości między powietrzem ($\rho \approx 1.2 \text{ [kg/m}^3 \text{]}$) i wodą ($\rho = 1000 \text{ [kg/m}^3 \text{]}$). *Na przykład - wodór ma gęstość $\rho = 0.08999 \text{ [kg/m}^3 \text{]}$ i najcięższa ze znanych cieczy rtęć, której gęstość wynosi $13\,546 \text{ [kg/m}^3 \text{]}$* . Zainteresowany Czytelnik może łatwo sprawdzić, że stosunek gęstości najlżejszych i najcięższych ciał stałych niewiele przekracza rząd wielkości.

Ciecze i gazy dotyczą zmienności oporu stawianego zanurzonemu w nich ciałom w funkcji temperatury. **Podgrzanie cieczy powoduje iż poruszające się w niej ciało doznaje mniejszego oporu, podczas gdy w gazach opór ruchu rośnie wraz z temperaturą ośrodka.**

Opór wywołany tarciem płynu o ściany jest bowiem proporcjonalny do współczynnika lepkości dynamicznej μ , który wraz ze wzrostem temperatury wzrasta w cieczech i maleje w gazach.

Lepkość płynu jest proporcjonalna do długości drogi swobodnej: $\mu \approx l$

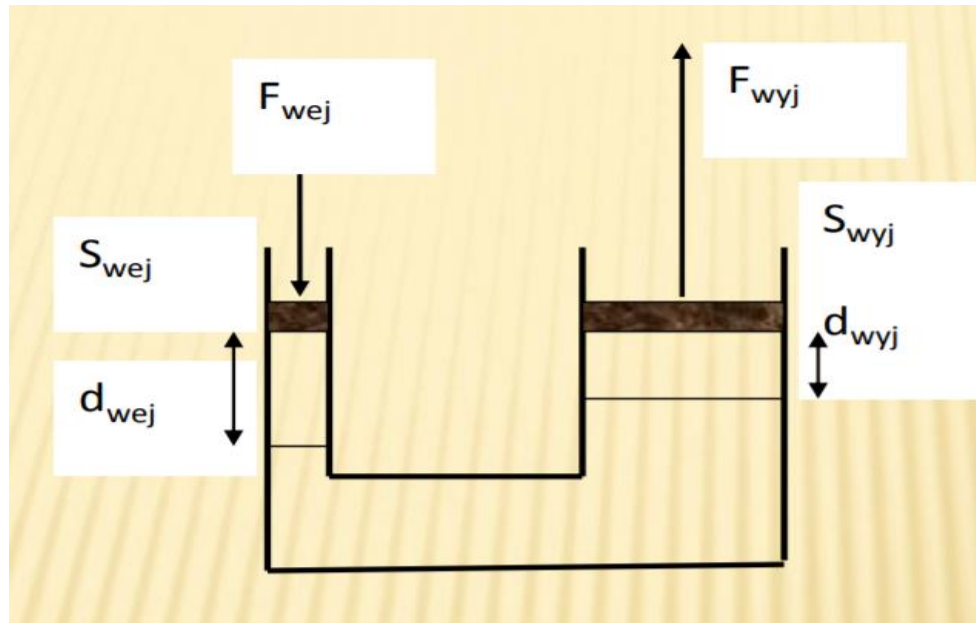
PNEUMATYKA - Jednostki

Automatyzacja obiektów i stosowania racjonalnych – energooszczędnych metod produkcji, powoduje powszechne wprowadzenie pneumatyki do przemysłu.

Wielkość	oznaczenie	Jednostki i ich oznaczenia	
		„techniczny system miar”	„system jednostkowy SI”
długość	l	metr [m]	metr [m]
masa	m	$\frac{\text{kG} \times \text{s}^2}{\text{m}}$	kilogram [kg]
siła	F	kG [kp]	Newton [N]
czas	t	sekunda [s]	sekunda [s]
temperatura	T	stopień Celsjusza [°C]	kelwin [K]
powierzchnia	A	metr kwadratowy [m ²]	metr kwadratowy [m ²]
objętość	V	metr sześcienny [m ³]	metr sześcienny [m ³]
przepływ	Q	[m ³ /s]	[m ³ /s]
ciśnienie	P	atmosferyczne at [kG/cm ²]	Pascal [Pa] bar [bar] 1 bar = 10 ⁵ [Pa]

$$[1\text{Pa}] = \left[\frac{1\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

PRASA HYDRAULICZNA



$$\Delta p = \frac{F_{wej}}{S_{wej}} = \frac{F_{wyj}}{S_{wyj}}$$

$$W = F_{wej} \cdot d_{wej} = F_{wyj} \cdot d_{wyj}$$

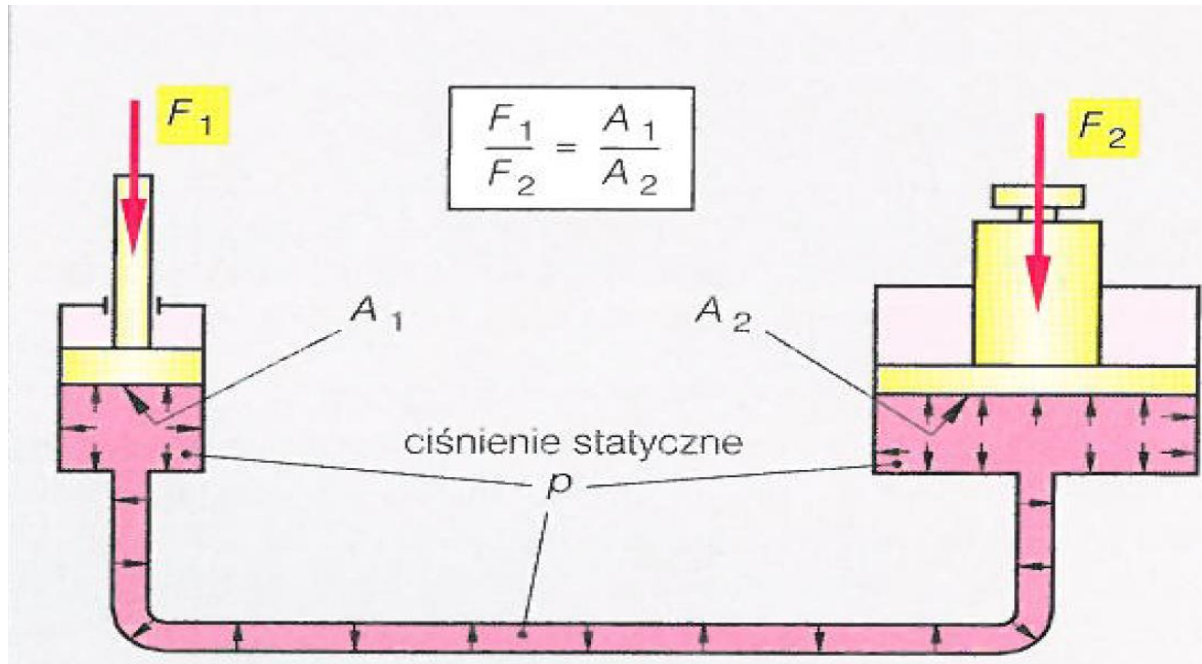
Hydraulika – pojęcia podstawowe

Pod pojęciem „hydraulika” rozumie się dziedzinę techniki zajmująca się elementami napędowymi, sterującymi i regulującymi maszyn, w których za pośrednictwem cieczy pod ciśnieniem wytwarza się lub przenosi siły i momenty. Hydraulikę stosuje się przede wszystkim w budowie maszyn ciężkich, w prasach, dźwignicach i mobilnych maszynach roboczych. Dalszym ważnym obszarem zastosowań hydrauliki jest budowa obrabiarek, w których elementy hydrauliczne stosuje się do mocowania narzędzi lub obrabianych detali oraz do realizacji ruchów transportowych.

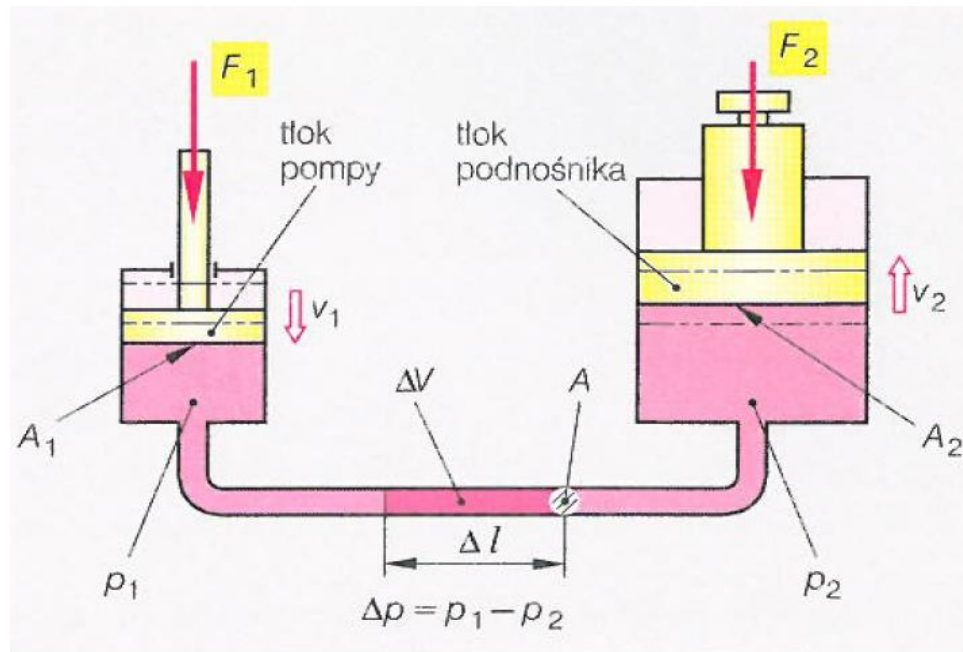
Właściwości hydrauliki:

- lekkie i małogabarytowe elementy mogące realizować znaczne siły,
- szybka, precyzyjna i bezstopniowa zmiana prędkości silników i siłowników,
- proste zabezpieczenie przed przeciążeniem zaworami ograniczającymi ciśnienie,
- lepkość olejów hydraulicznych zależy od temperatury,
- przecieki oleju powodują straty,
- straty związane z przepływem zamieniają się w ciepło,
- tendencja do drgań i hałasu.

Hydraulika – pojęcia podstawowe

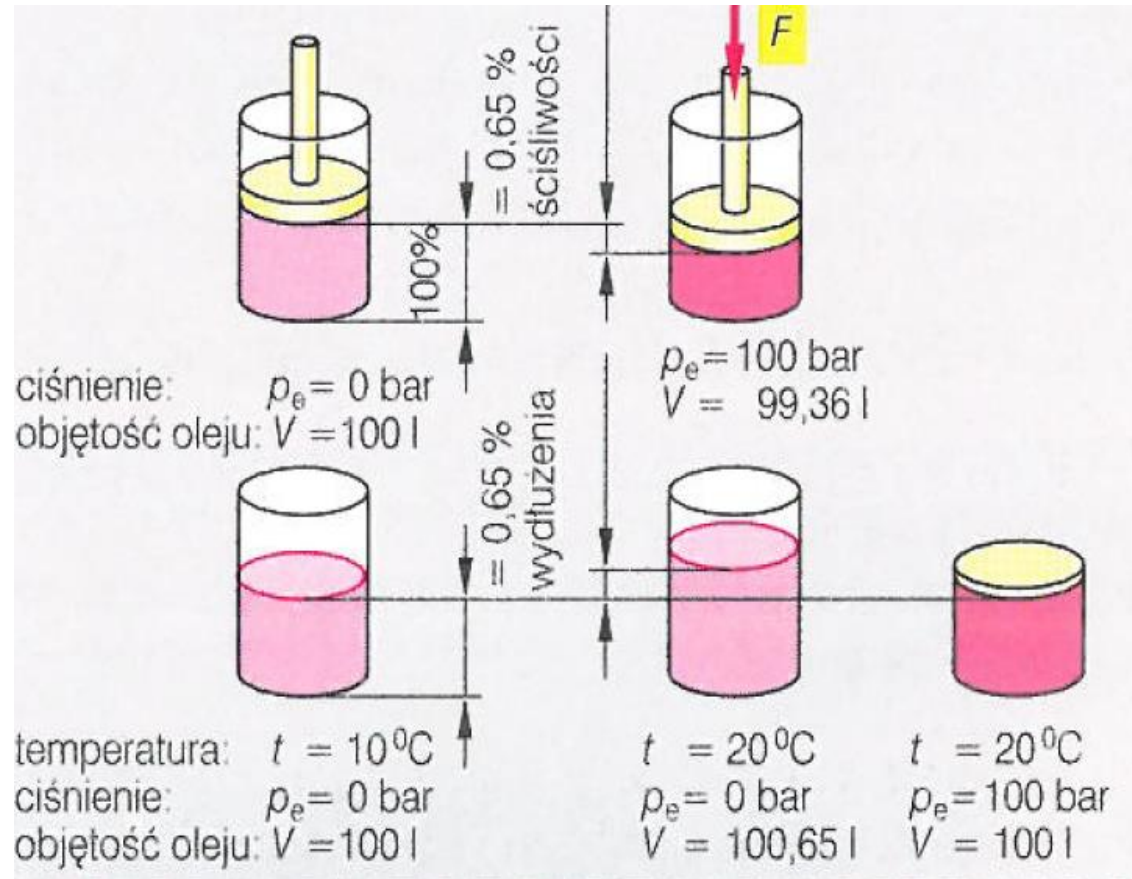


Hydraulika – pojęcia podstawowe

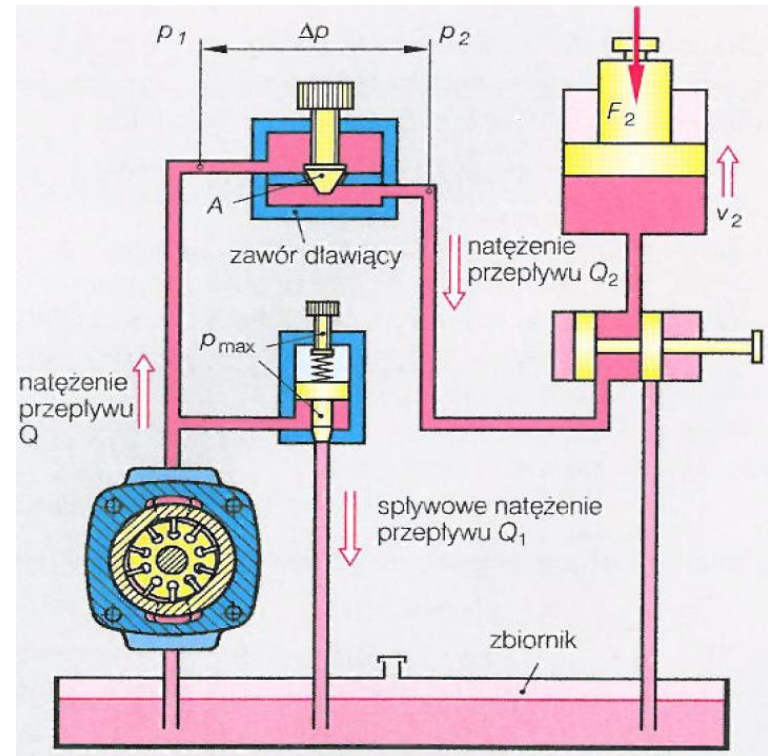
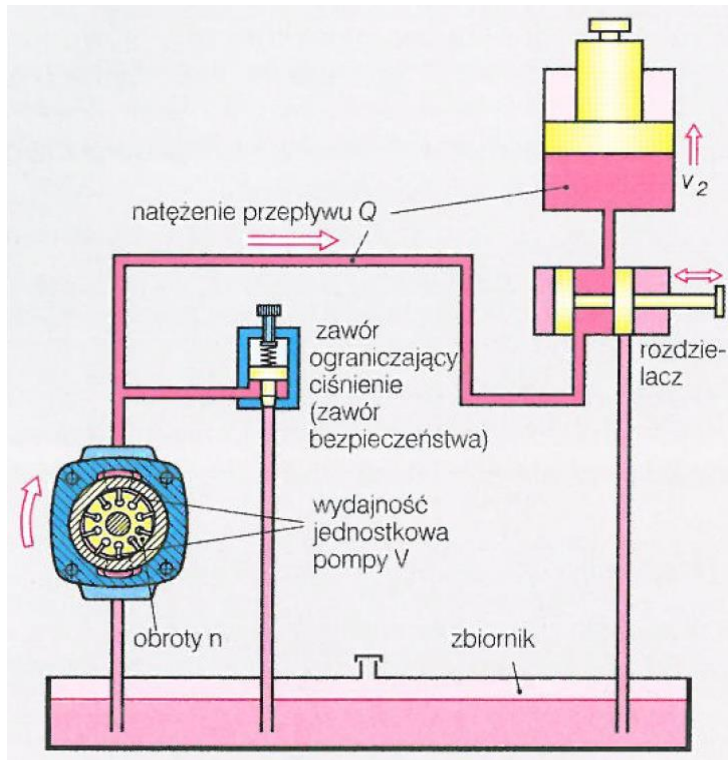


W zamkniętym układzie natężenie przepływu jest wszędzie jednakowe. Z tego powodu ciecz hydrauliczna musi płynąć szybciej w miejscach, gdzie przekrój przewodu A jest mniejszy i wolniej tam gdzie przekrój A jest większy.

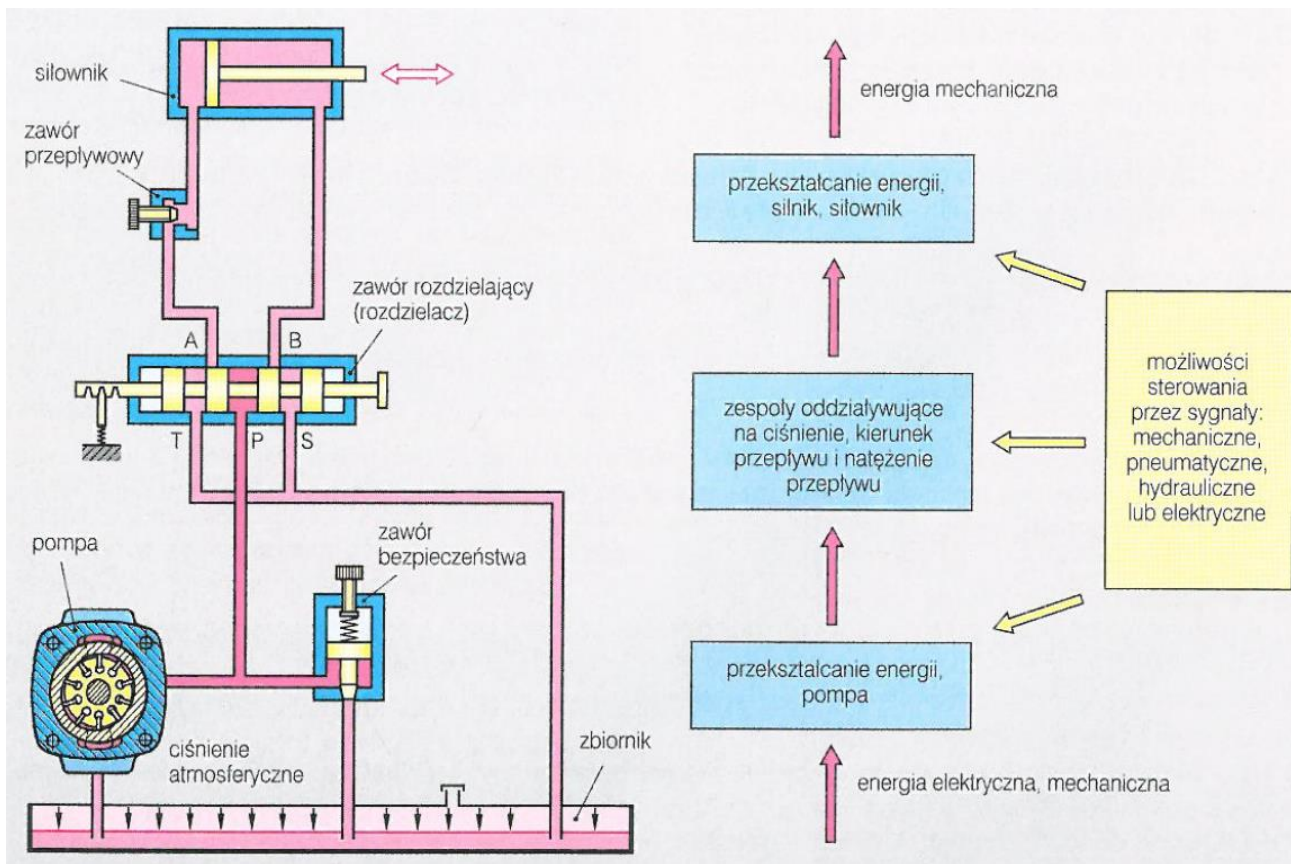
Wpływ ciśnienia i temperatury na właściwości cieczy hydraulicznych



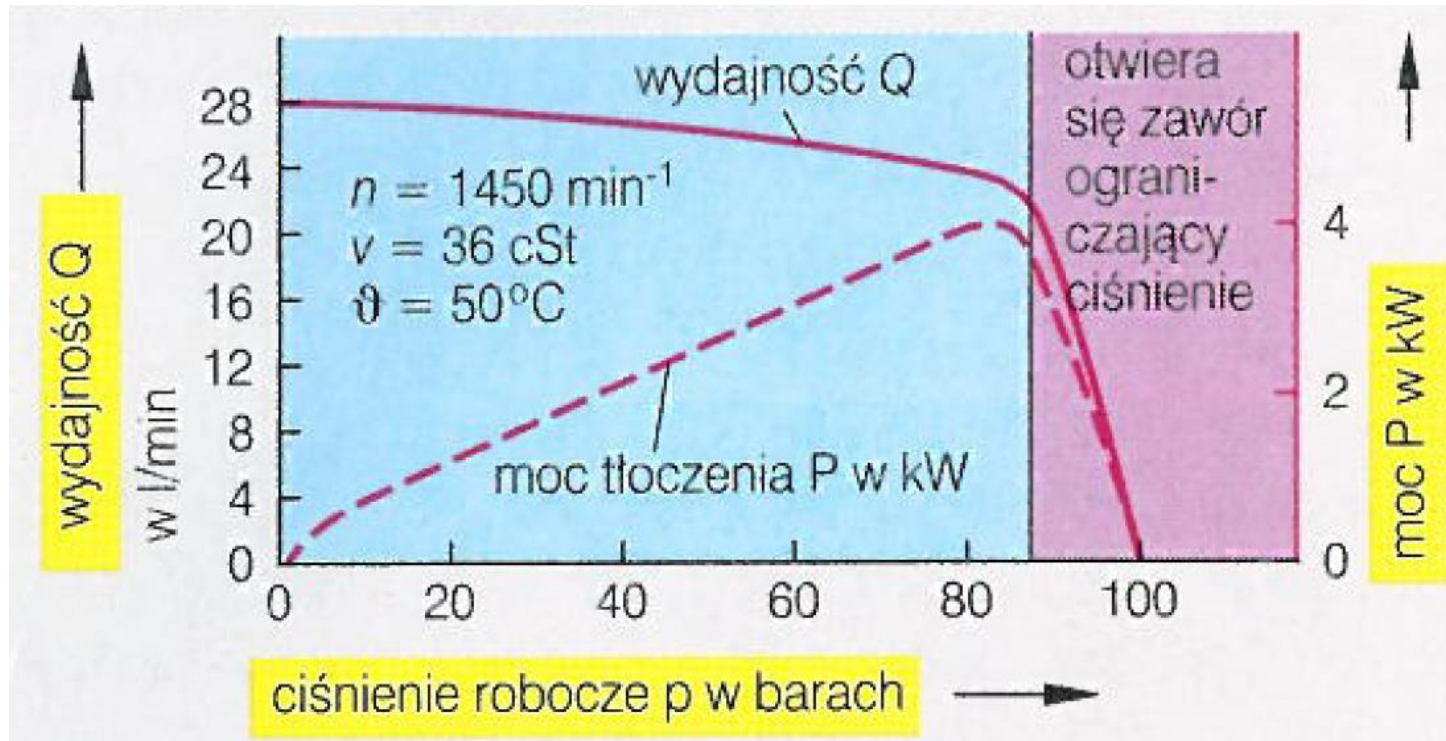
Przykład instalacji hydraulicznej



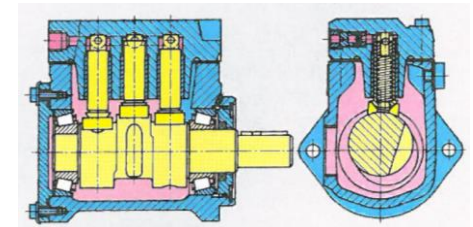
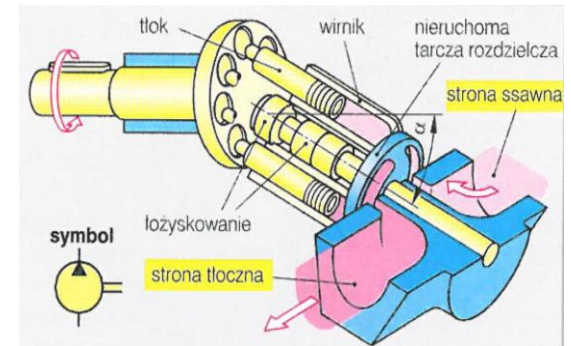
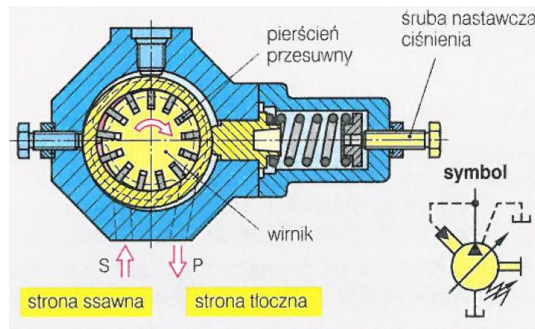
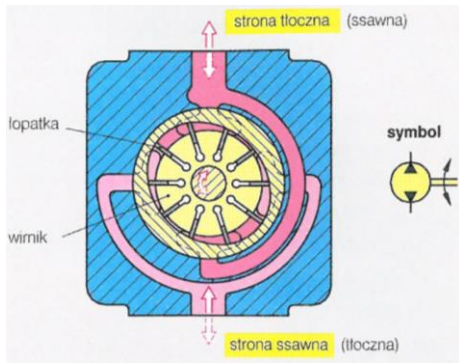
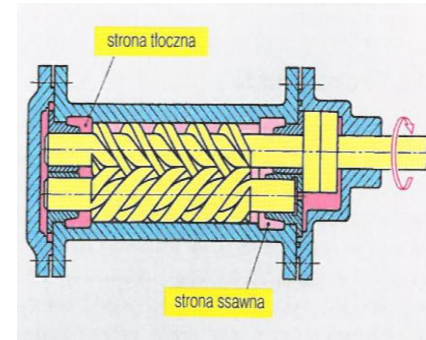
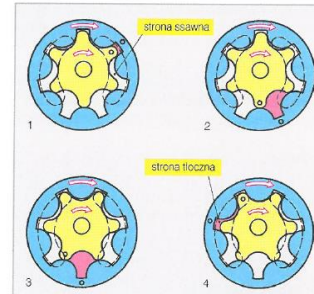
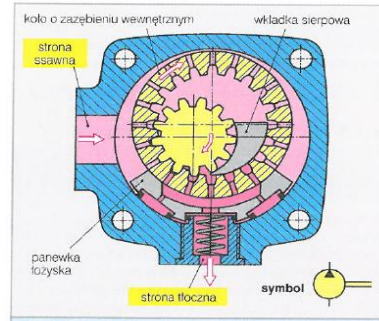
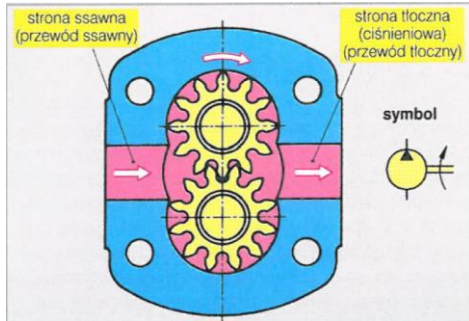
Przykład instalacji sterowania siłownikiem



Pompy hydrauliczne

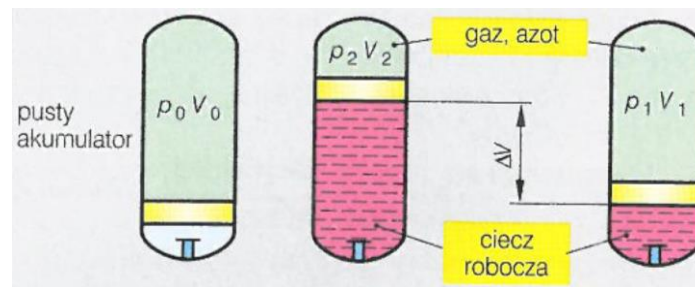
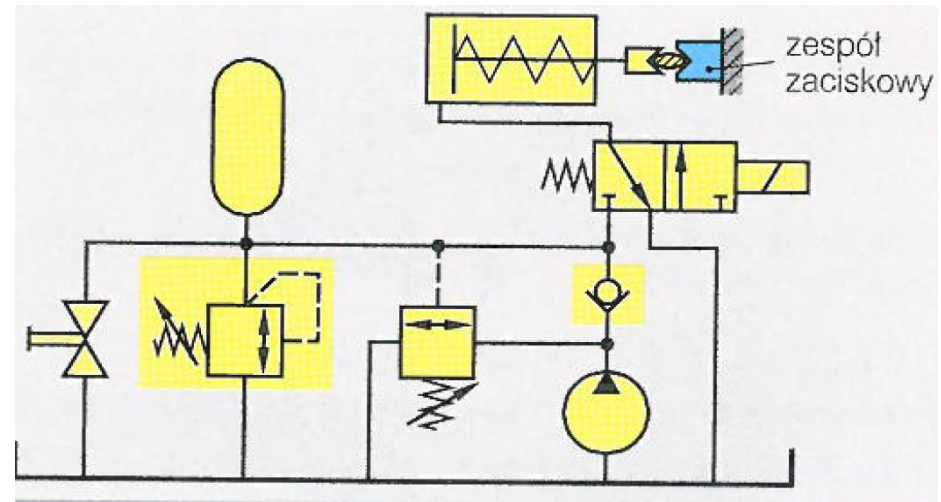
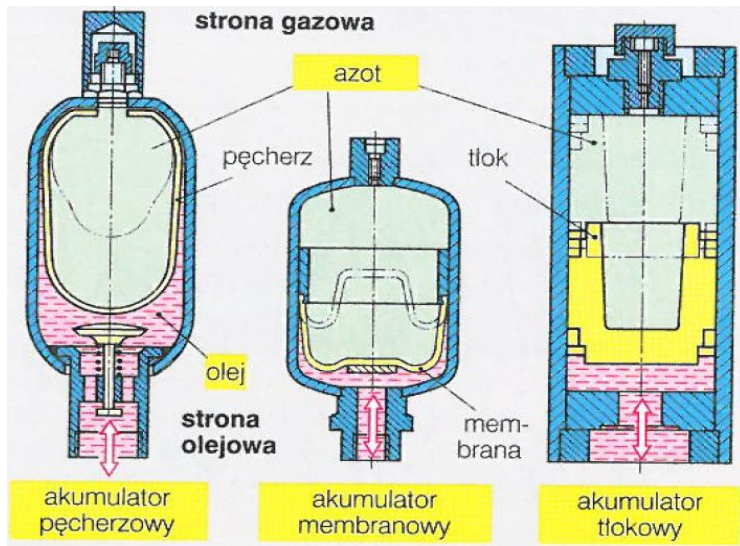


Przykłady pomp hydraulicznych



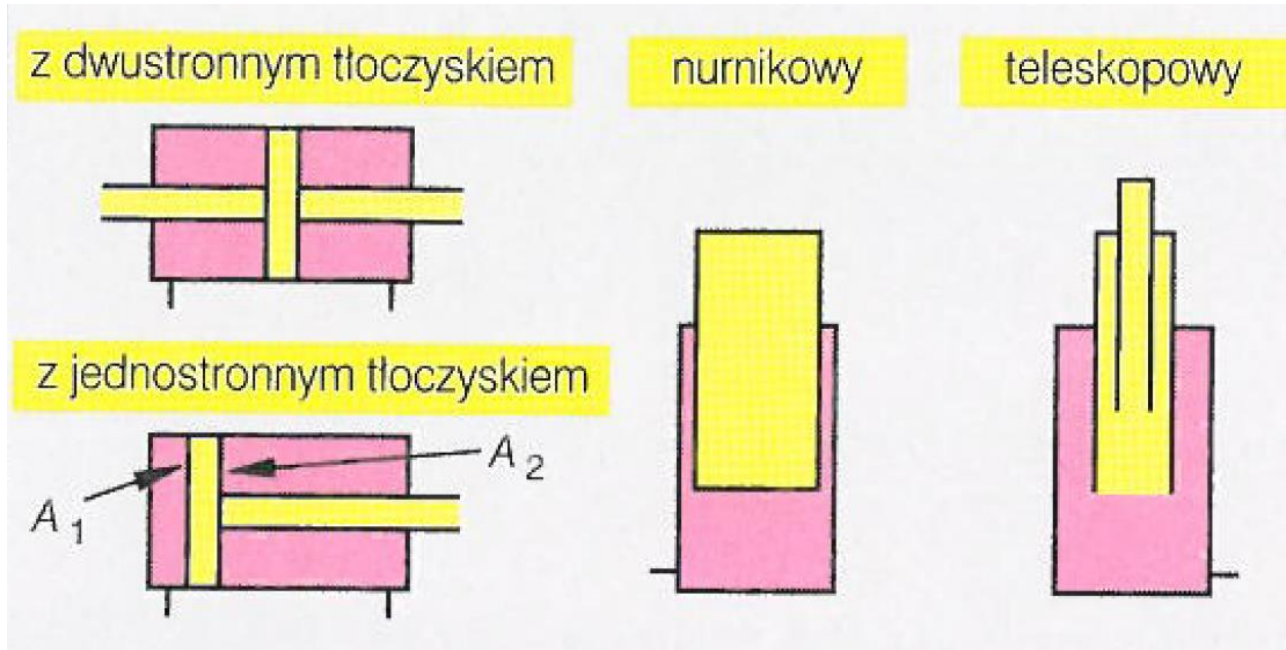
Źródło: Prof. dr inż. Dietmar Schmid, *Mechatronika Podręcznik dla uczniów średnich i zawodowych szkół technicznych*

Akumulator hydrauliczny

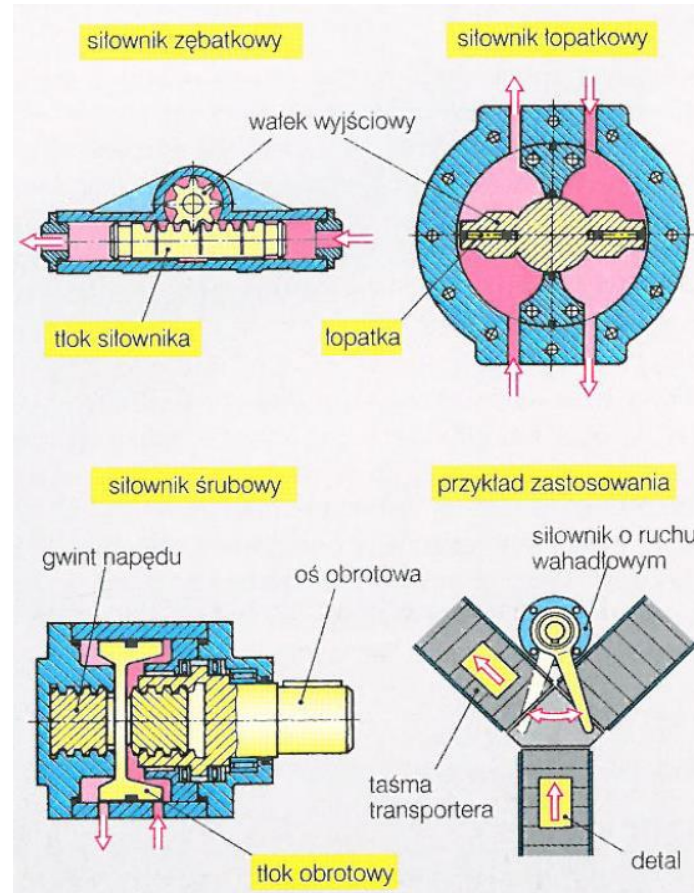


Źródło: Prof. dr inż. Dietmar Schmid, *Mechatronika Podręcznik dla uczniów średnich i zawodowych szkół technicznych*

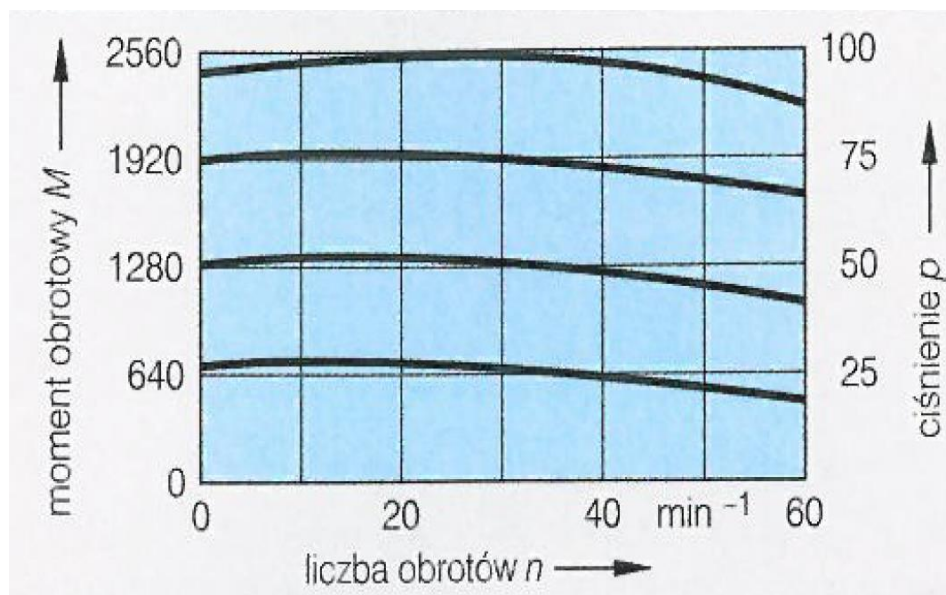
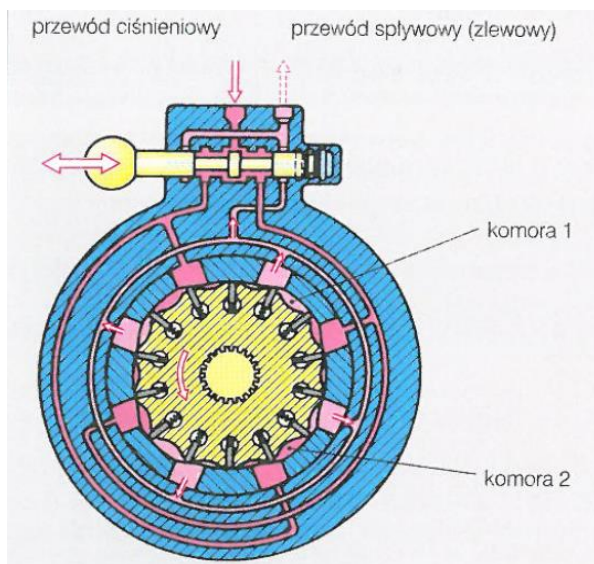
Przykłady siłowników hydraulicznych o ruchu liniowym



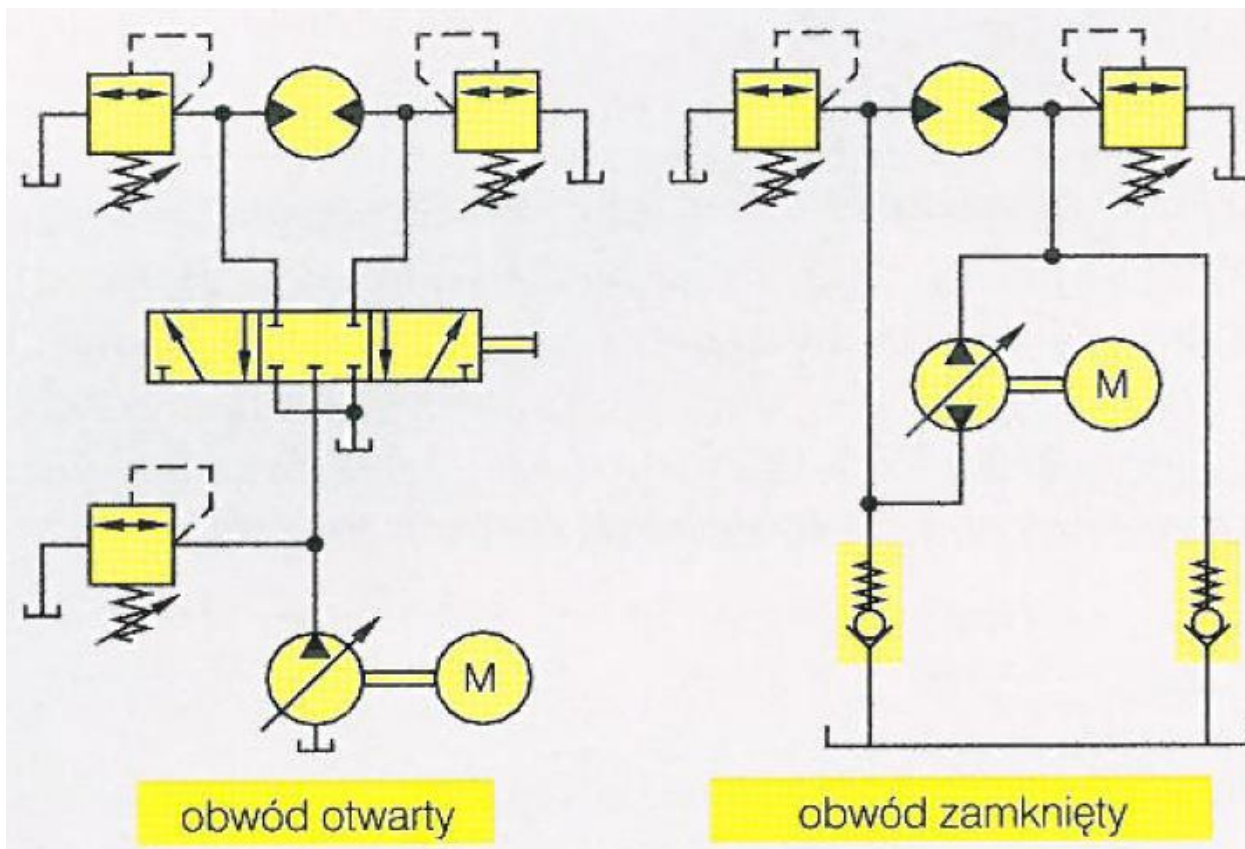
Przykłady siłowników hydraulicznych o ruchu obrotowym



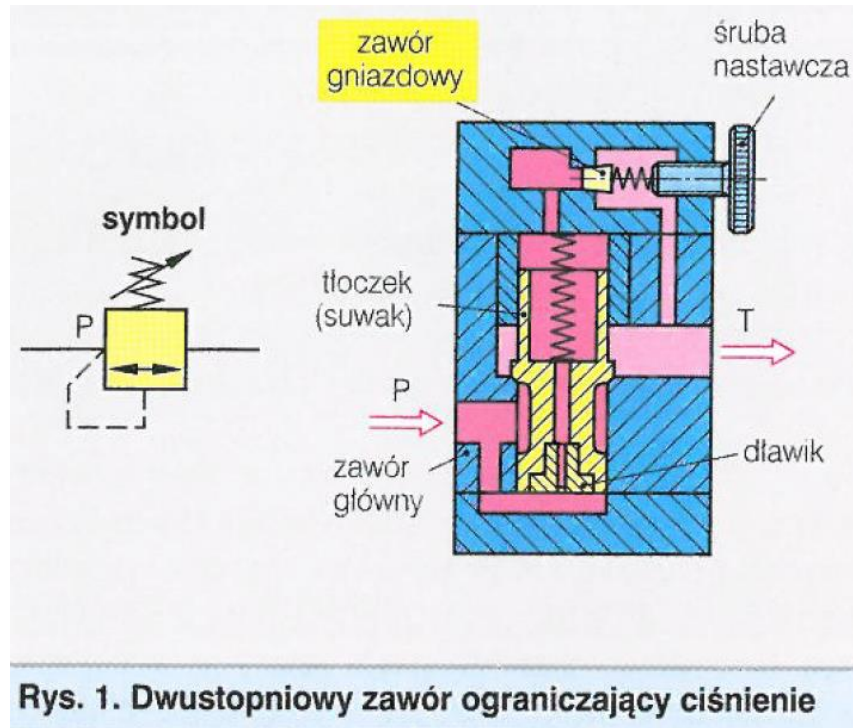
Przykłady silników hydraulicznych



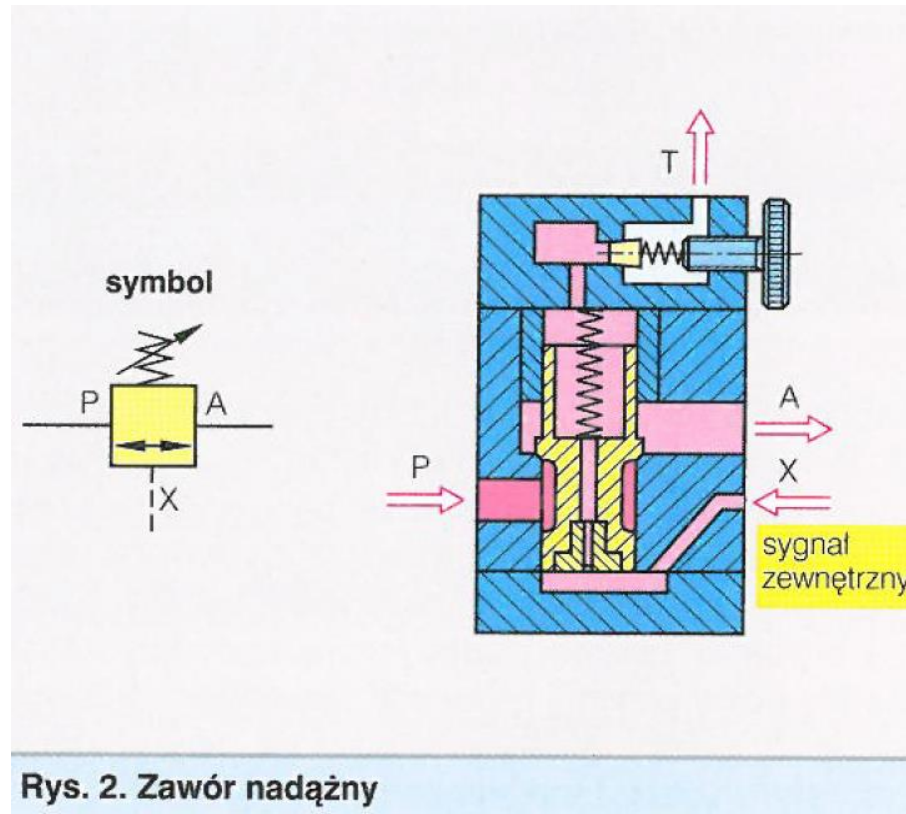
Przykłady układu hydraulicznego zawierającego silniki hydrauliczne



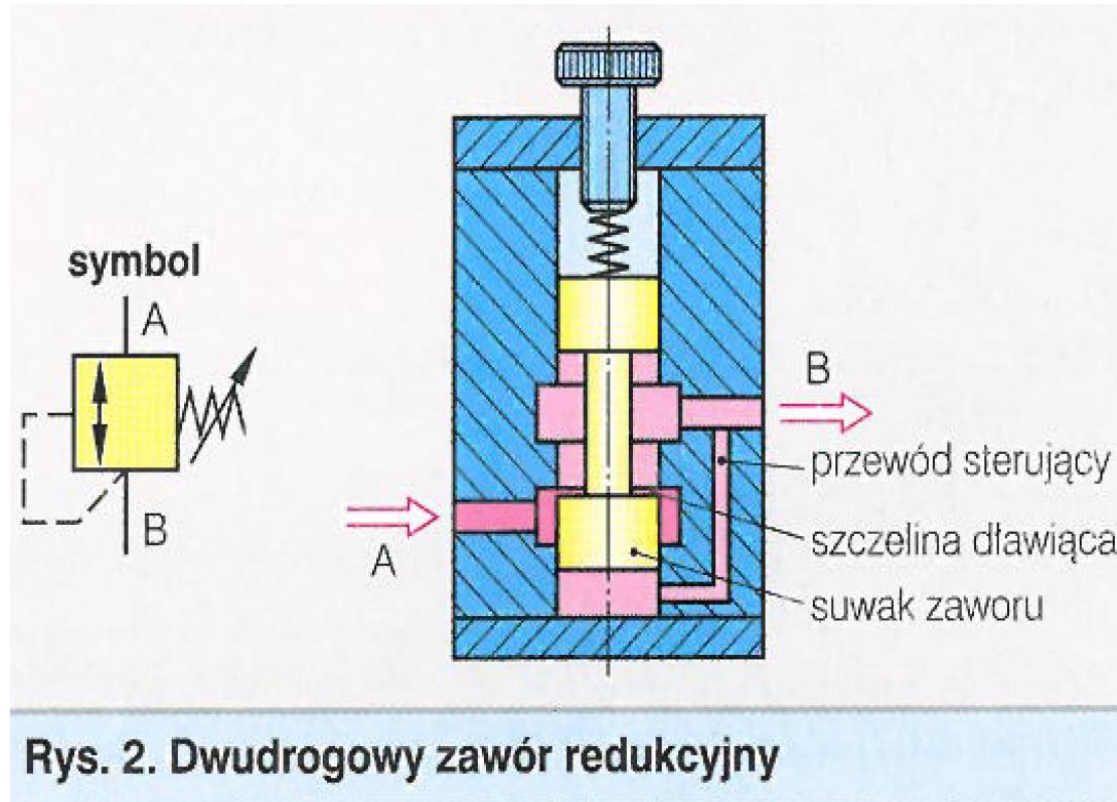
Przykłady elementów układów hydraulicznych



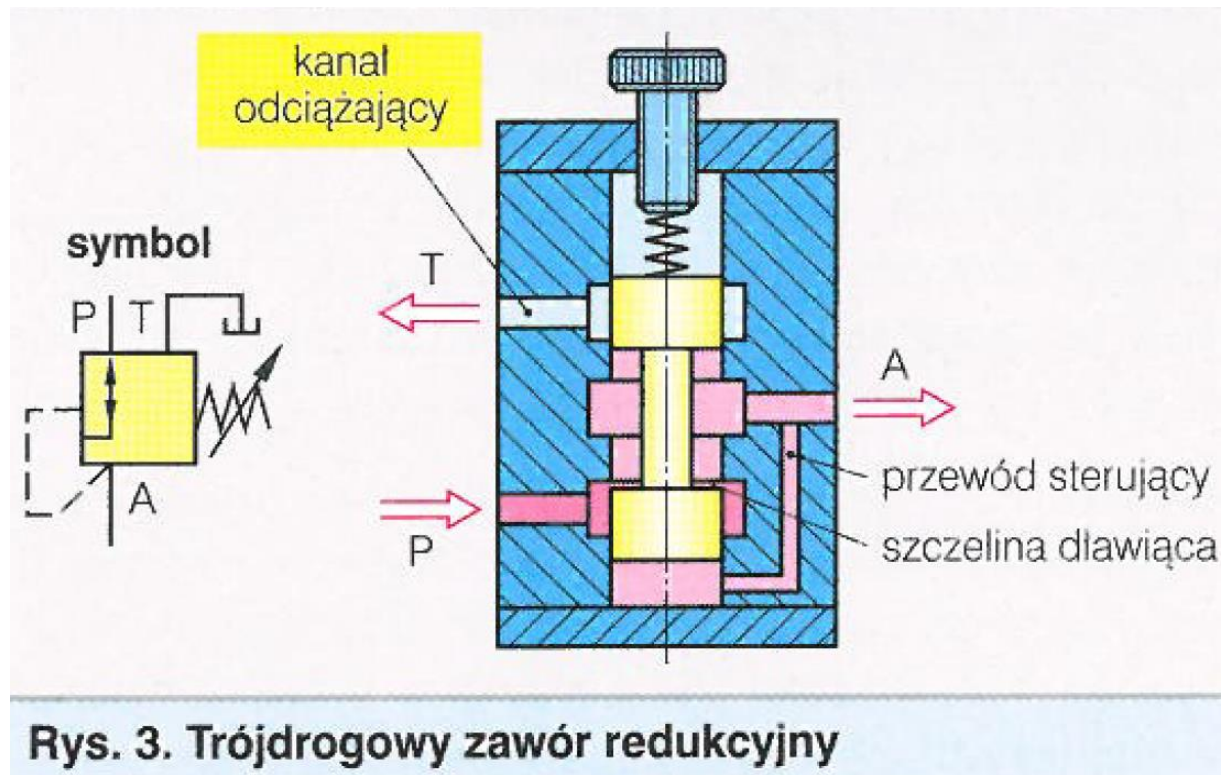
Przykłady elementów układów hydraulicznych



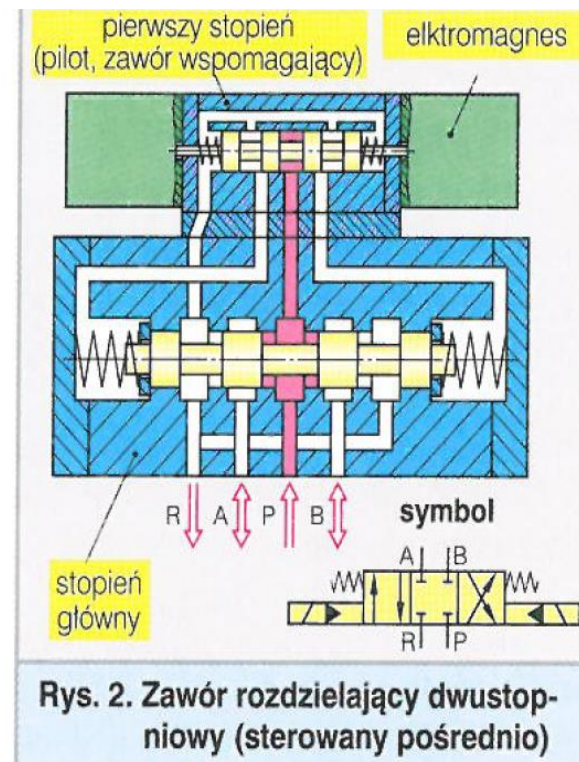
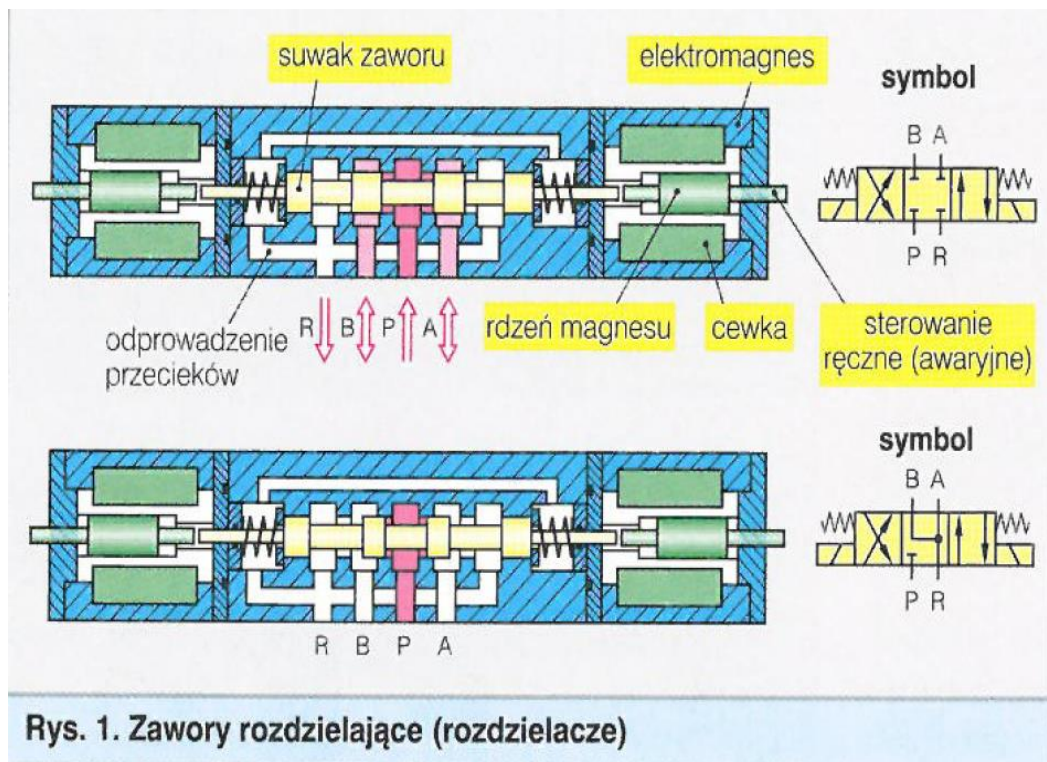
Przykłady elementów układów hydraulicznych



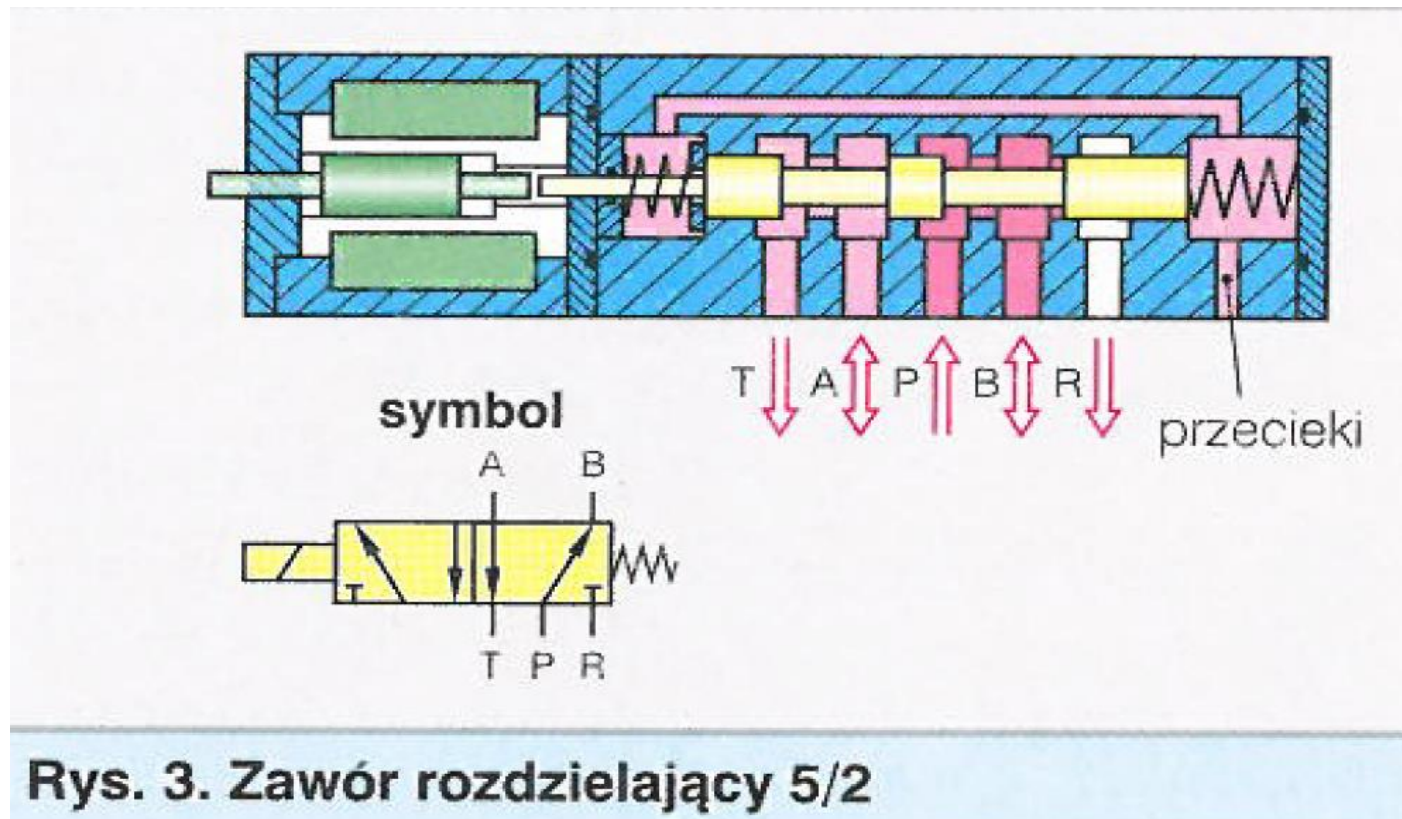
Przykłady elementów układów hydraulicznych



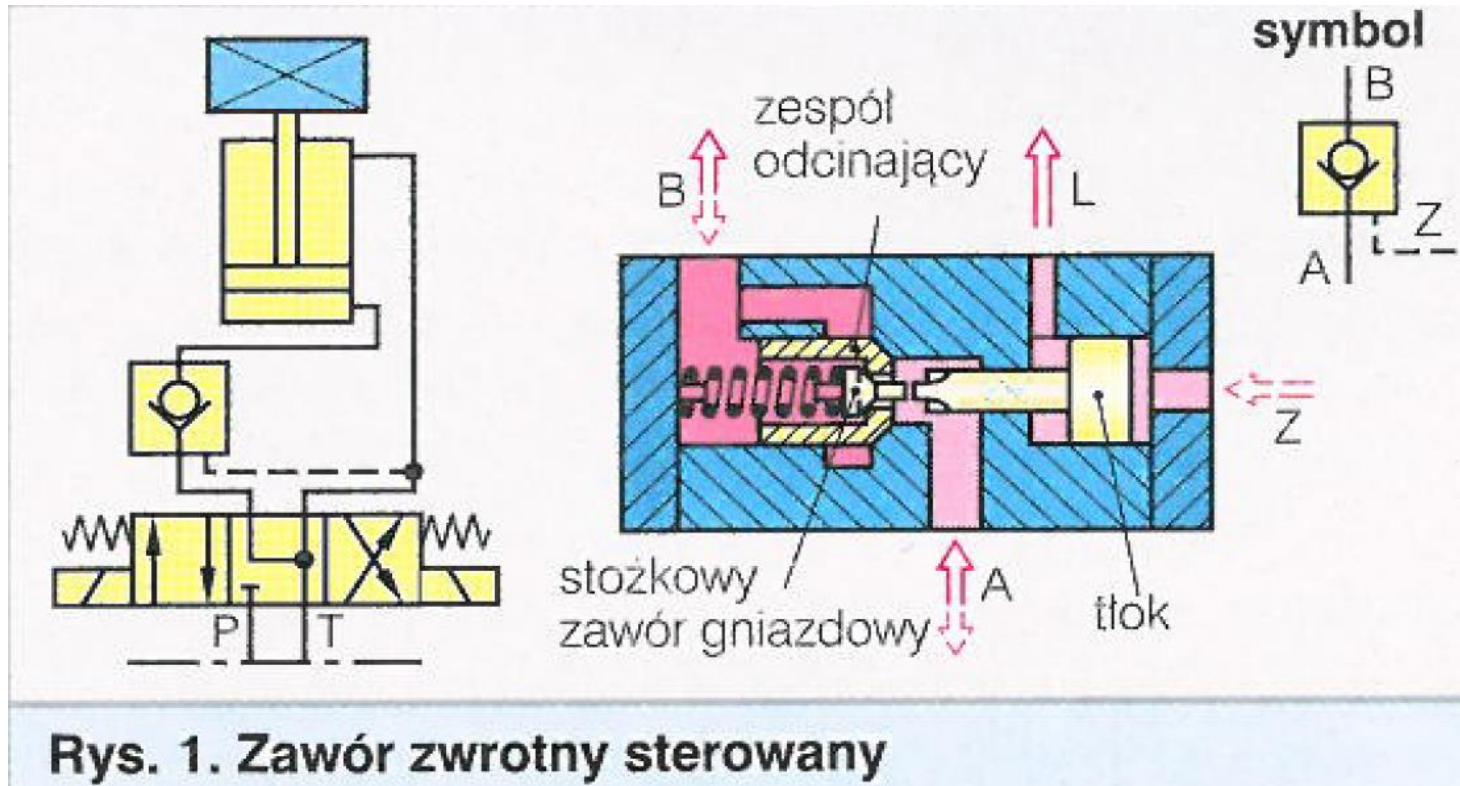
Przykłady elementów układów hydraulicznych



Przykłady elementów układów hydraulicznych

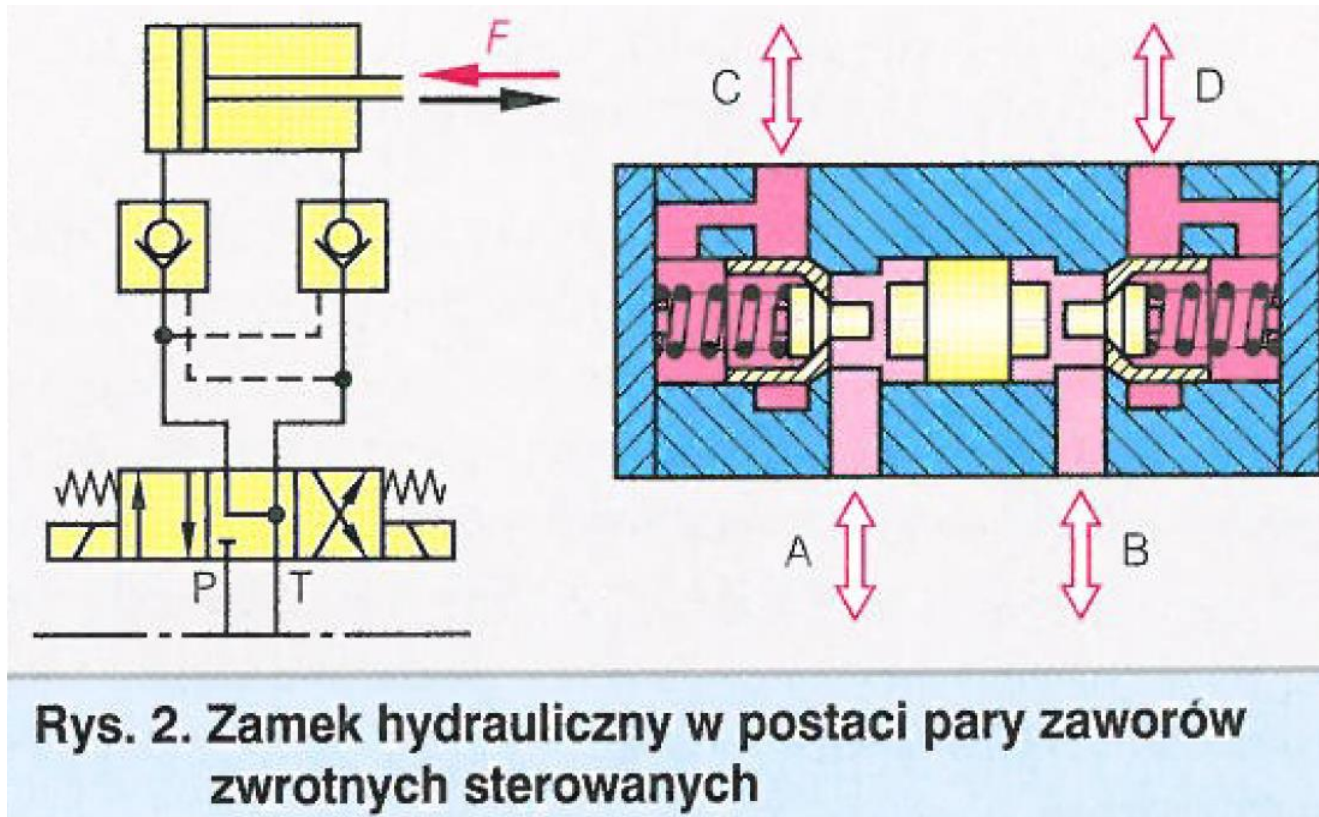


Przykłady elementów układów hydraulicznych

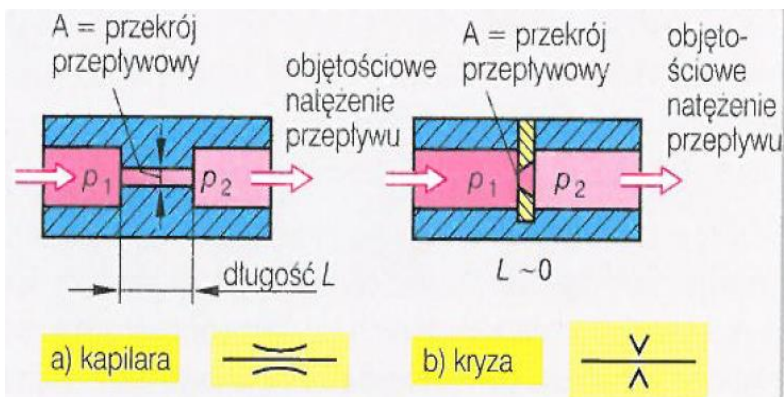


Rys. 1. Zawór zwrotny sterowany

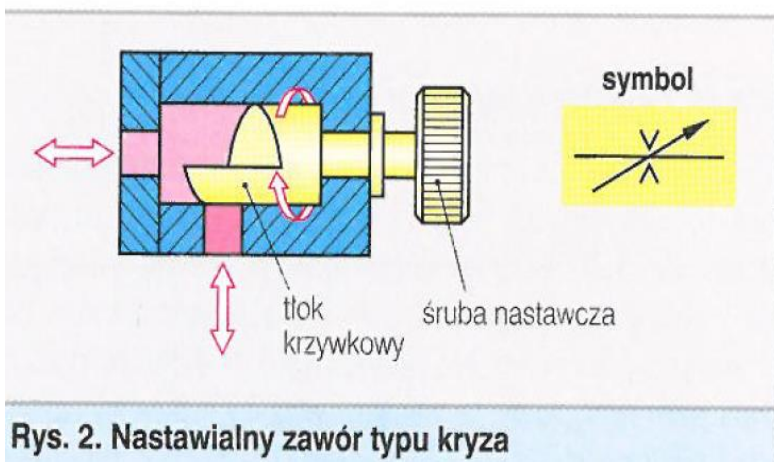
Przykłady elementów układów hydraulicznych



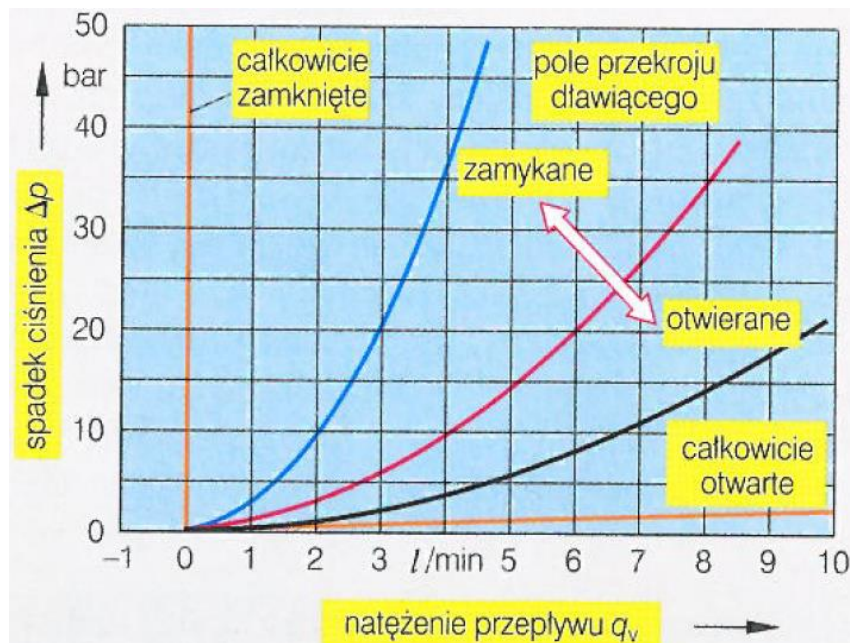
Przykłady elementów układów hydraulicznych



Rys. 1. Dławiki typu kapilara i kryza

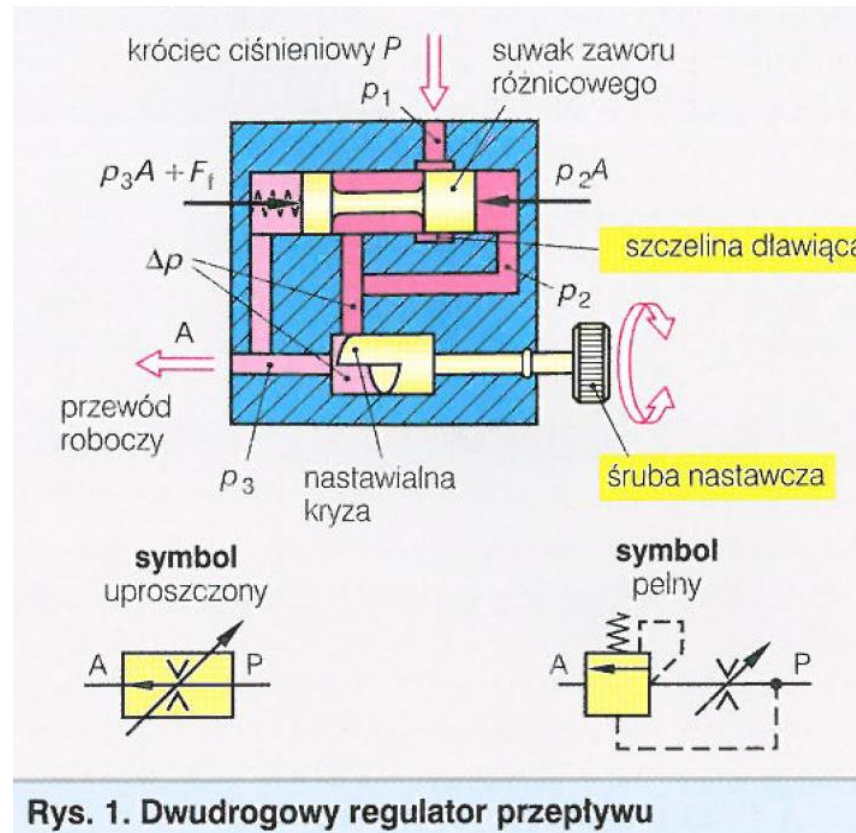


Rys. 2. Nastawialny zawór typu kryza

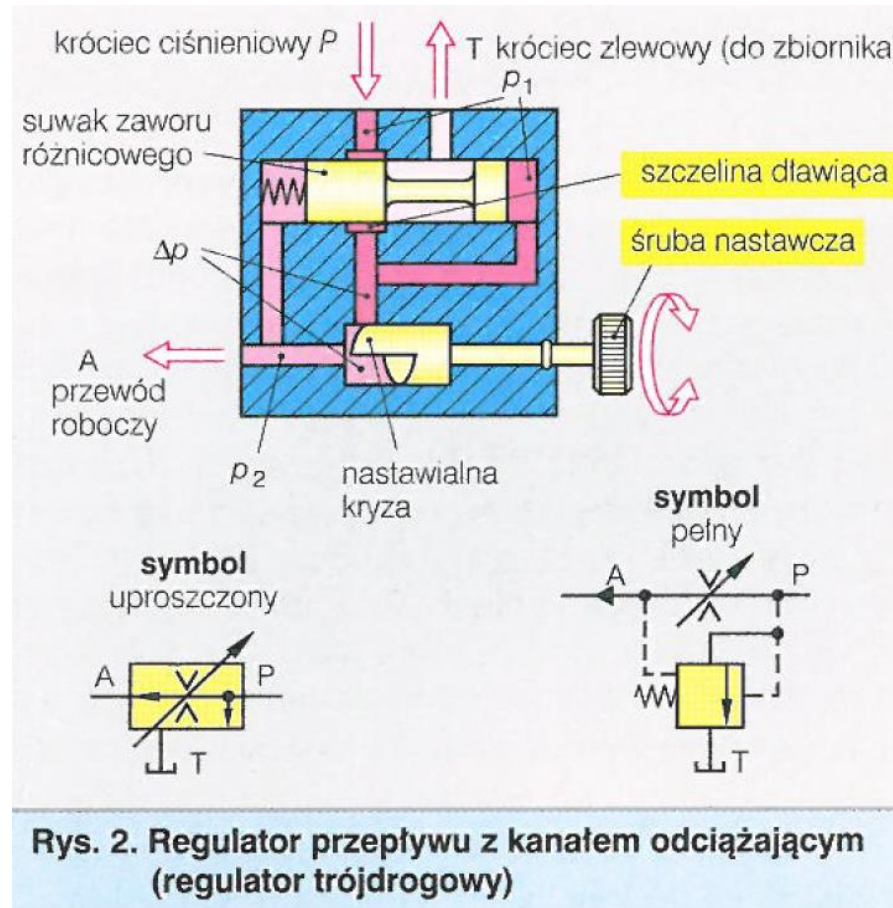


Rys. 3. Charakterystyki zaworu przepływowego

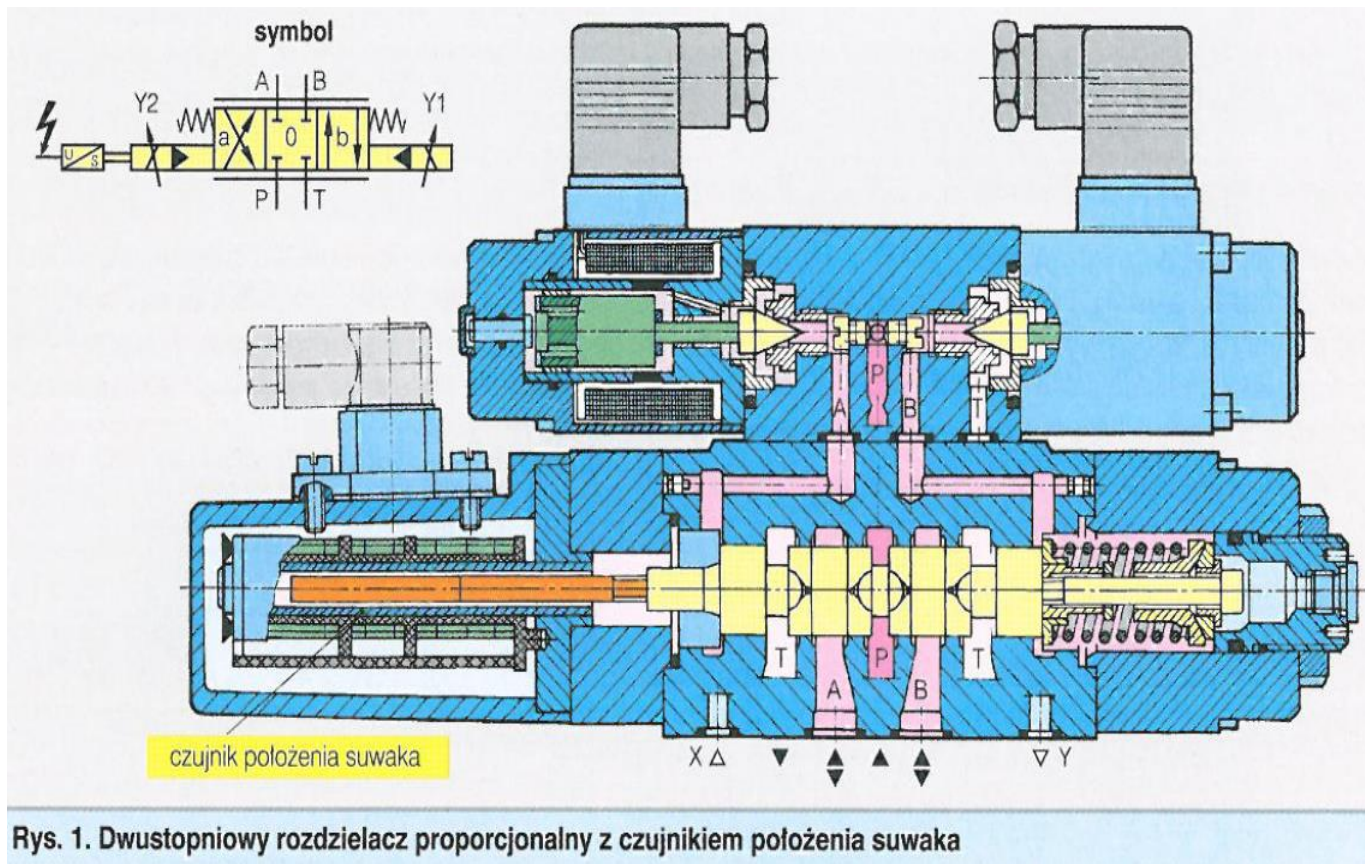
Przykłady elementów układów hydraulicznych



Przykłady elementów układów hydraulicznych



Przykłady elementów układów hydraulicznych



Pompa

Wydatek pompy

$$Q = \frac{V \times n \times \eta_{\text{vol}}}{1000} \left[\frac{1}{\text{min}} \right]$$

Q – wydatek pompy $\left[\frac{1}{\text{min}} \right]$

V – geometryczna pojemność skokowa (Pompa i silnik) $[\text{cm}^3]$

n – prędkość obrotowa $\left[\frac{\text{obr}}{\text{min}} \right]$ względnie $[\text{min}^{-1}]$

P_{an} – wymagana moc napędu pompy [kW]

Pompa

Moc napędowa

$$P_{an} = \frac{p \times Q}{600 \times \eta_{ges}} \quad [\text{kW}]$$

Sprawność całkowita

$$\eta_{ges} = \eta_{vol} \times \eta_{hm}$$

Silnik hydrauliczny

Przepływ cieczy

$$Q = \frac{V \times n}{1000 \times \eta_{vol}} \left[\frac{l}{min} \right]$$

Prędkość obrotowa

$$n = \frac{Q \times \eta_{vol} \times 1000}{V} \left[min^{-1} \right]$$

Silnik hydrauliczny

Prędkość obrotowa

Moment obrotowy napędu

$$M_{ab} = \frac{\Delta p \times V \pm \times \eta_{hm}}{2 \times \pi \times 100} \quad [\text{daNm}]$$

p – ciśnienie robocze $\left[\text{bar lub } \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} \right]$

η_{ges} – sprawność całkowita ($\sim 0,8 - 0,85$)

η_{vol} – sprawność objętościowa (wolumetryczna) (0,9-0,95)

η_{hm} – hydrauliczno-mechaniczny współczynnik sprawności (0,9-0,95)

$$M_{ab} = 1,59 \times V \times \Delta p \times \eta_{hm} \times 10^{-3} \quad [\text{daNm}]$$

M_{ab} = Moment obrotowy napędu [daNm]

Silnik hydrauliczny

Moc napędu

Δp – Różnica ciśnienia pomiędzy wlotem a wylotem silnika [bar] względnie $\left[\frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} \right]$

P_{ab} – Moc napędowa silnika hydraulicznego [kW]

$$P_{ab} = \frac{\Delta p \times Q \times \eta_{ges}}{600} \quad [\text{kW}]$$

Cylinder hydrauliczny

Powierzchnia tłoka

$$A = \frac{d_1^2 \times \pi}{4 \times 100} \quad [\text{cm}^2]$$

d_1 – średnica tłoka ($\hat{=}$ Cylinder – Ø) [mm]

$$A = \frac{d_1^2 \times 0,785}{100} \quad [\text{cm}^2]$$

Cylinder hydrauliczny

Powierzchnia trzona tłoka

$$A_{St} = \frac{d_2^2 \times 0,785}{100} \quad [\text{cm}^2]$$

d_2 – średnica trzona

Powierzchnia pierścieniowa tłoka = Powierzchnia tłoka = powierzchnia trzona

$$A_R = \frac{(d_1^2 - d_2^2) \times 0,785}{100} \quad [\text{cm}^2]$$

tłoka

Siły w cylindrze

$$F_D = \frac{p \times d_1^2 \times 0,785}{10000} \quad [\text{kN}]$$

Siła nacisku F_D

Siła ciągnienia

$$F_Z = \frac{p \times (d_1^2 - d_2^2) \times 0,785}{10000} \quad [\text{kN}]$$

Siła tłoczyska FS (= siła nacisku w układzie różnicowym)

$$F_Z = \frac{p \times d_2^2 \times 0,785}{10000} \quad [\text{kN}]$$

Współczynnik sprawności w hydrocylindrach wynosi ok. 0,85 ÷ 0,95

Siła

$$F = p \times A \quad [\text{daN}]$$

F – siła [daN]

Ciśnienie

$$p_{\text{th}} = \frac{F}{A} \quad [\text{bar}]$$

p – ciśnienie robocze [bar] względnie $\left[\frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} \right]$

A – powierzchnia czynna tłoka [cm²]

p_{th} – teoretyczne ciśnienie bez uwzględnienia strat tarcia

Prędkość ruchu tłoka

$$v = \frac{h}{t \times 1000} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

v – prędkość ruchu tłoka $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$

$$v = \frac{Q}{A \times 6} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Konieczne natężenie przepływu

$$Q_{th} = \frac{a \times v \times 60}{10} \left[\frac{1}{\text{min}} \right]$$

Q – natężenie przepływu $\left[\frac{1}{\text{min}} \right]$ przy uwzględnieniu strat przecieków

$$Q_{th} = \frac{v}{t} \times 60 \left[\frac{1}{\text{min}} \right]$$

Q_{th} – natężenie przepływu $\left[\frac{1}{\text{min}} \right]$ bez strat przecieków

$$Q = \frac{Q_{th}}{\eta_{vol}} \quad \left[\frac{1}{\text{min}} \right]$$

η_{vol} – objętościowy (wolumetryczny) współczynnik sprawności [$\sim 0,95$]
uwzględniający przecieki

Objętość skokowa

$$V = \frac{A \times h}{10000} \quad [l]$$

V – objętość skokowa [l]

Czas ruchu tłoka

$$t = \frac{A \times h \times 6}{Q \times 1000} \quad [s]$$

t – czas skoku [sek]

h – skok [mm]

1.1.1 Straty ciśnienia w prostych przewodach

$$\Delta p = \lambda \times \frac{1 \times p v^2 \times 10}{d \times 2} \quad [\text{bar}]$$

Δp = strata ciśnienia w prostym przewodzie rurowym (przepływ laminarny lub turbulentny)

p – gęstość $\left[\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \right]$ ($\sim 0,89$ dla oleju)

λ – współczynnik tarcia

l – długość przepływu [m]

v – prędkość przepływu w przewodzie rurowym $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$

d – średnica wewnętrzna rurociągu [mm]

Współczynnik tarcia cieczy o rurę dla przepływu laminarnego

$$\lambda_{\text{lam}} = \frac{64}{R_e}$$

Współczynnik tarcia cieczy o rurę dla przepływu turbulentnego

$$\lambda_{\text{turb.}} = \frac{0,316}{\sqrt[4]{R_e}}$$

Liczba Reynoldsa

$$R_e = \frac{v \times d}{\nu} \times 10^3$$

ν – lepkość kinematyczna [cSt] lub $\left[\frac{\text{mm}^2}{\text{s}} \right]$

Prędkość przepływu

$$v = \frac{Q}{6 \times d^2 \times \frac{\pi}{4}} \times 10^2$$

Q – strumień cieczy rurociągu $\left[\frac{1}{\text{min}} \right]$

1.1 Nomogramy, Tablice oraz wykresy

Oznaczenia średniej prędkości przepływu

$$v = \frac{1}{6} \times \frac{Q}{S}$$

- v – średnia prędkość przepływu w przewodach [m/s]
Q – wydatek objętościowy [l/min]
S – pole przekroju przewodu [cm²]

Oznaczenie przybliżonego wydatku przy przepływach turbulentnych przez krótkie otwory

$$Q_s = 10f - \sqrt{\Delta p}$$

dla cieczy o gęstości [0,9 g/cm³]

- Q_s – przybliżony wydatek objętościowy [cm³/s]
- S – pole przekroju otworu [mm²]
- d – średnica otworu [mm]
- Δp – spadek ciśnienia [kG/cm²]

Oznaczenie mocy użytecznej pompy

$$P_u = \frac{Qp}{612}$$

- P_u – moc użyteczna pompy [kW]
 Q – wydatek pompy [l/min]
 p – ciśnienie [kG/cm²]

Oznaczenie mocy pobranej przez pompę

$$P_p = \frac{P_u}{\eta_{\text{calk}}} \eta_{\text{calk}} = \eta_{\text{mech.}} \times \eta_{\text{hydr.}} \times \eta_v$$

P_p – moc pobrana pompy [kW lub KM]

P_u – moc użyteczna pompy [kW lub KM]

$\eta_{\text{calk.}}$ – sprawność całkowita pompy

$\eta_{\text{mech.}}$ – sprawność mechaniczna pompy

$\eta_{\text{hydr.}}$ – sprawność hydrauliczna pompy

η_v – sprawność objętościowa pompy

Oznaczenie średniej prędkości cylindrów roboczych

$$v_c = \frac{1000 Q}{6 S_c}$$

- v_c – średnia prędkość cylindrów roboczych [mm/s]
 Q – wydatek pompy [l/min]
 S_c – pole przekroju tłoka [cm²]
 d_c – średnica tłoka [mm]

Oznaczenie mocy użytecznej cylindrów roboczych

$$P_u = \frac{F_c v_c}{102 \times 1000}$$

P_u – moc użyteczna [kW]

F_c – siła na tłoku [kG]

v_c – prędkość poruszania się cylindra [mm/s]

Tabela Przeliczenia jednostek lepkości

cSt	°E	“S	“R
1,0	1,0	30,0	26,2
5,0	1,4	45,0	38,0
9,0	1,8	60,0	49,7
15,7	2,4	83,0	67,3
20,2	2,9	102,0	82,1
30,9	4,2	150,0	120,0
49,0	6,5	230,0	184,0
64,5	8,50	309,0	245,0
70,0	10,00	363,0	288,0
80,0	10,54	365,0	325,0
85,0	11,20	388,0	345,0
90,0	11,86	411,0	365,0
95,0	12,51	433,0	385,0
100,0	13,70	456,0	405,0
110,0	14,48	501,0	446,0
120,0	15,80	547,0	86,0
130,0	17,11	592,0	527,0
140,0	18,43	637,0	537,0
150,0	19,74	683,0	608,0
160,0	21,06	728,0	648,0
170,0	22,37	774,0	689,0
180,0	23,69	819,0	729,0
190,0	25,00	864,0	769,0
200,0	26,30	910,0	810,0

Budowa słowników

Opracował Paweł Knast 2018

Hydraulic actuators: cylinders

Cylinder types:

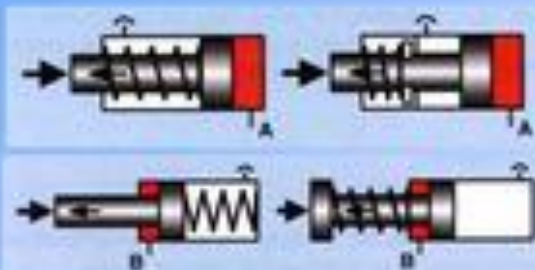
Single acting:

work can be done only in one direction

Plunger



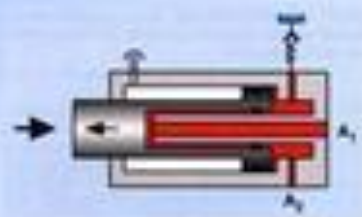
Piston



Telescopic



Fast moving

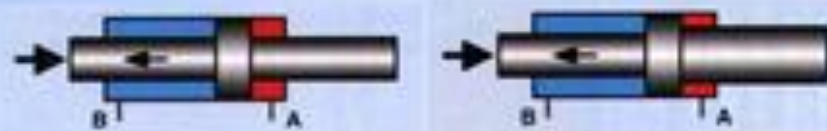


Double acting piston:

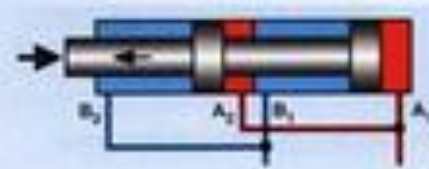
Work is done in both directions



Piston rod on both sides



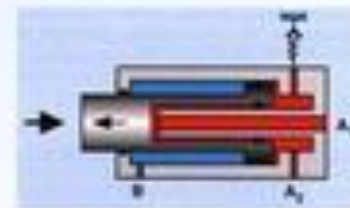
Tandem



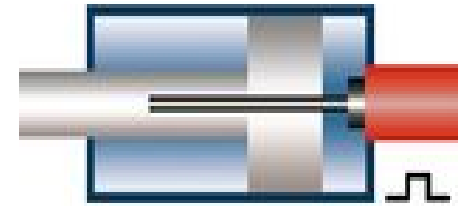
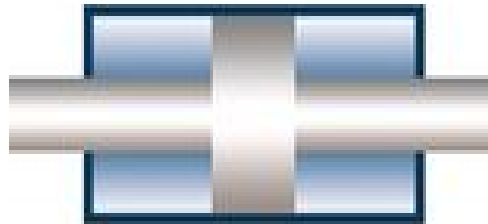
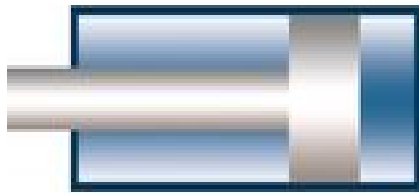
Telescopic



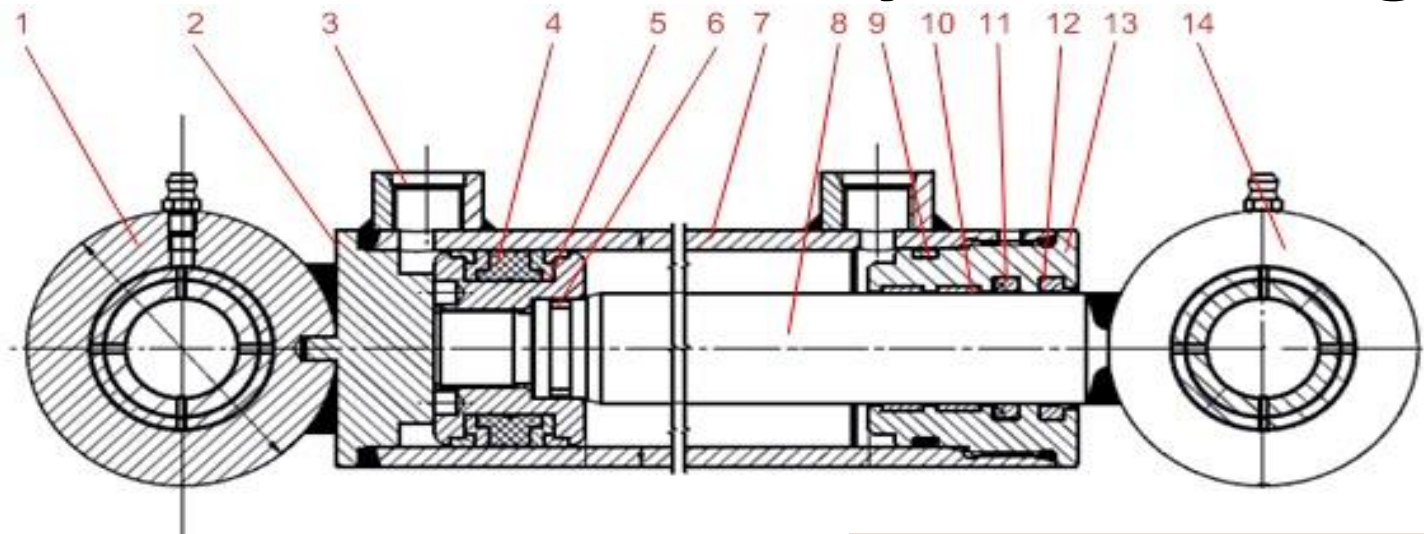
Fast moving



Siłowniki hydrauliczne



Budowa siłownika hydraulicznego

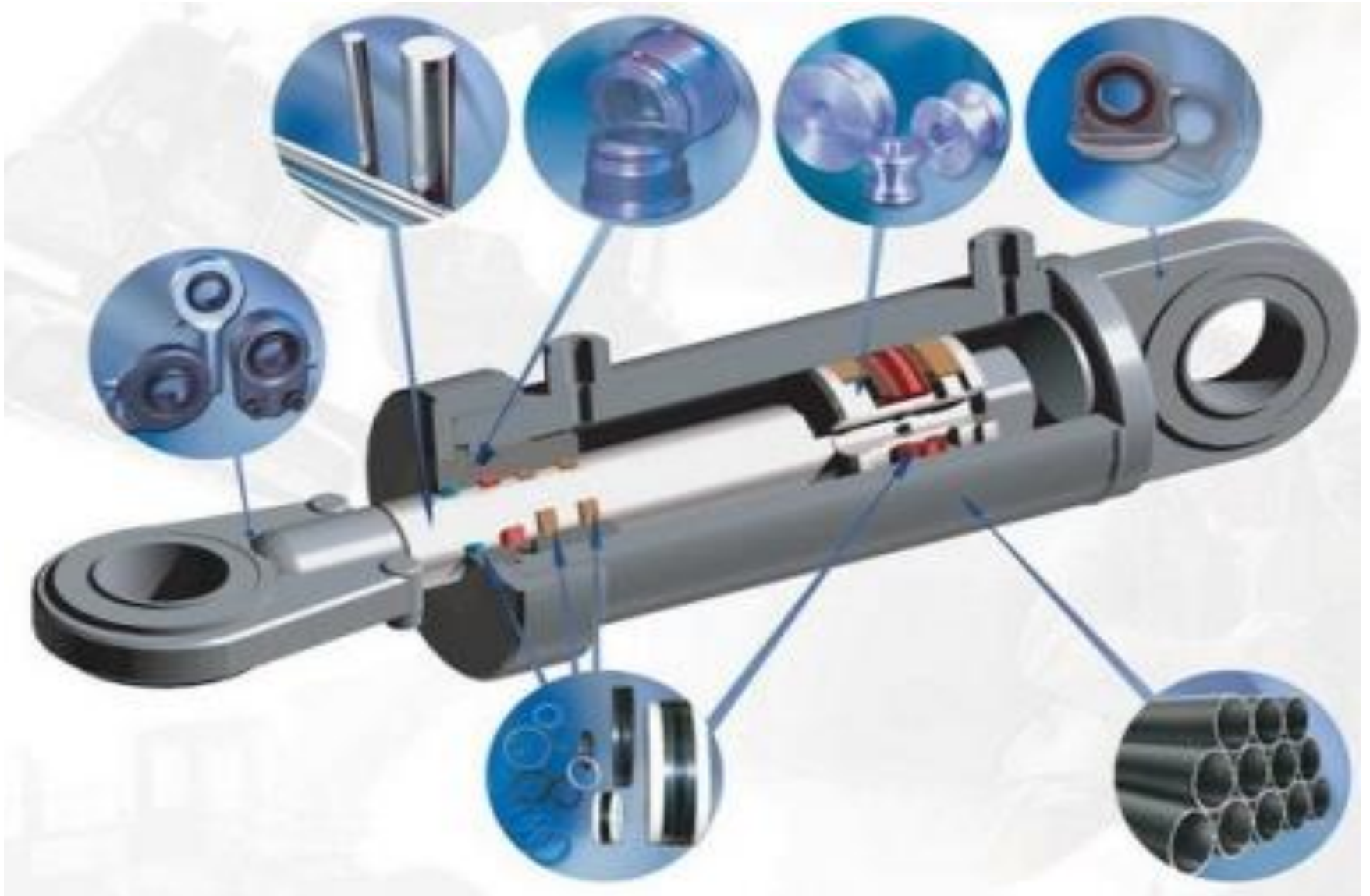


Rys. 1. Przekrój siłownika tłokowego dwustronnego działania

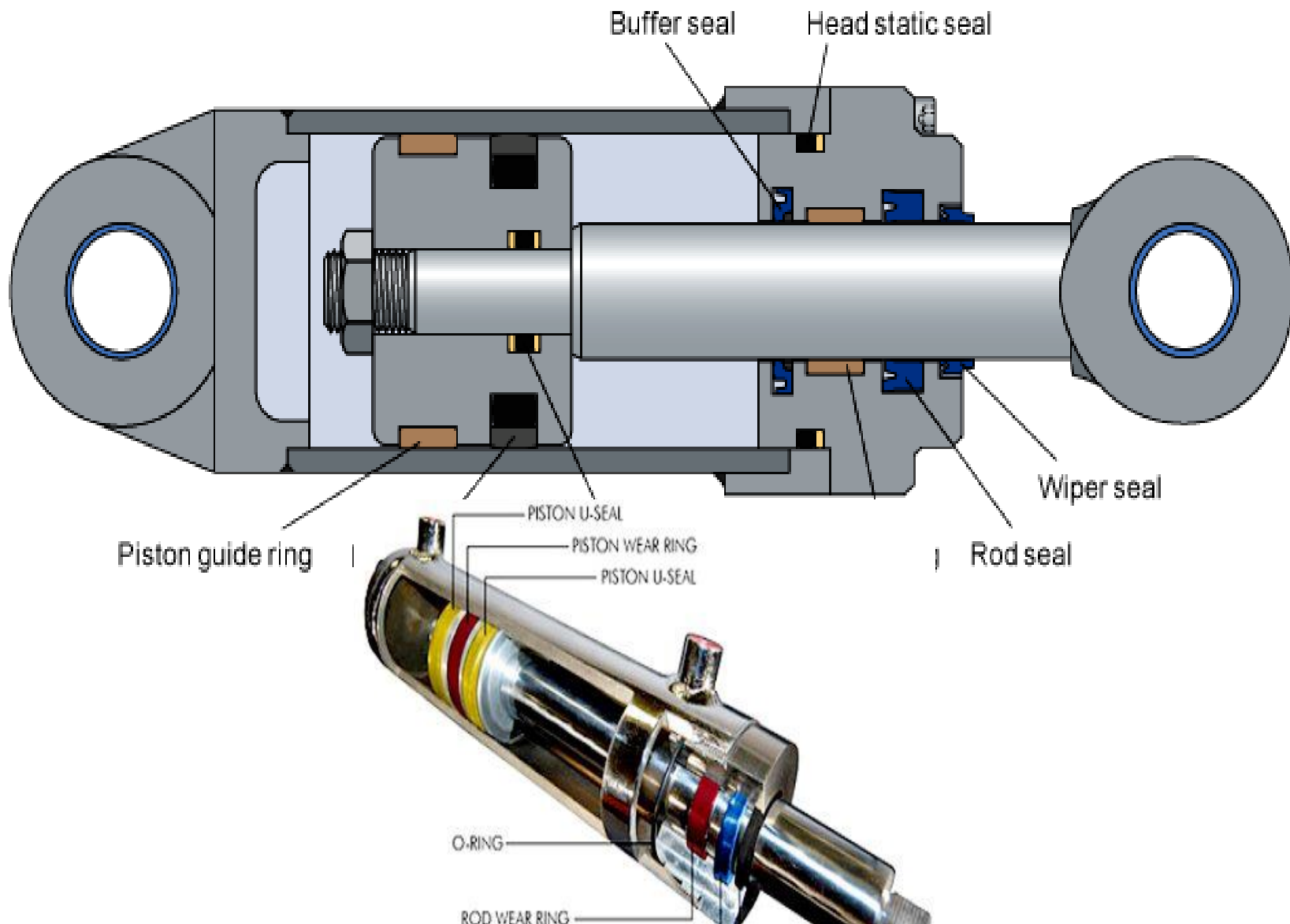
1. Ucho dna siłownika z łożyskiem wahlwym
2. Dno siłownika.
3. Nabka (przyłącze hydrauliczne)
4. Uszczelnienie tłokowe
5. Tłok
6. Uszczelka tłoka względem tłoczyska
7. Cylinder

8. Tłoczysko
9. Uszczelnienie dławnicy względem cylindra
10. Pierścienie prowadzące tłoczysko
11. Uszczelnienie dławnicowe
12. Pierścień zgarniający
13. Dławnica
14. Ucho tłoczyska z łożyskiem wahlwym

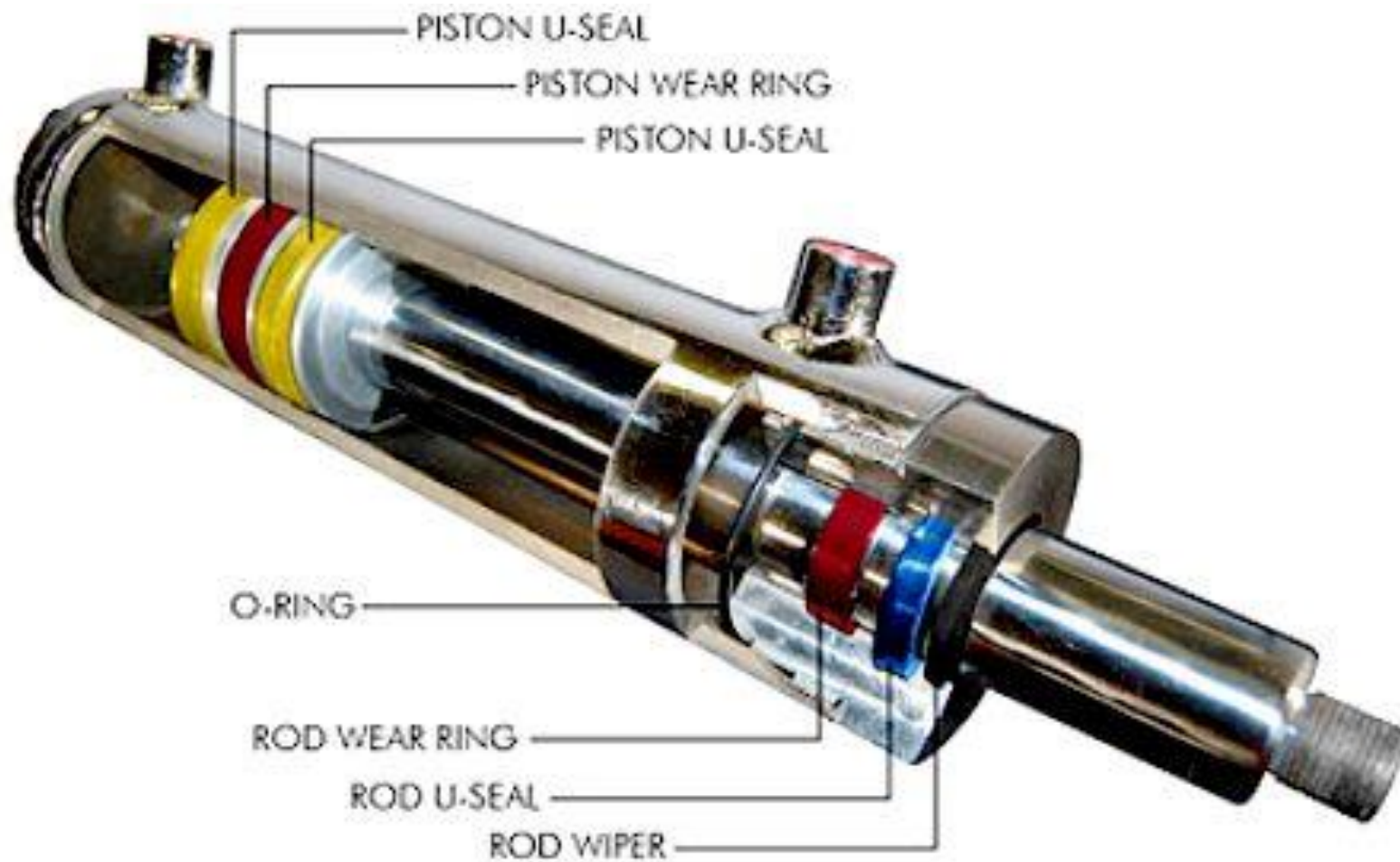
Budowa siłownika



Schemat siłownika



Schemat siłownika

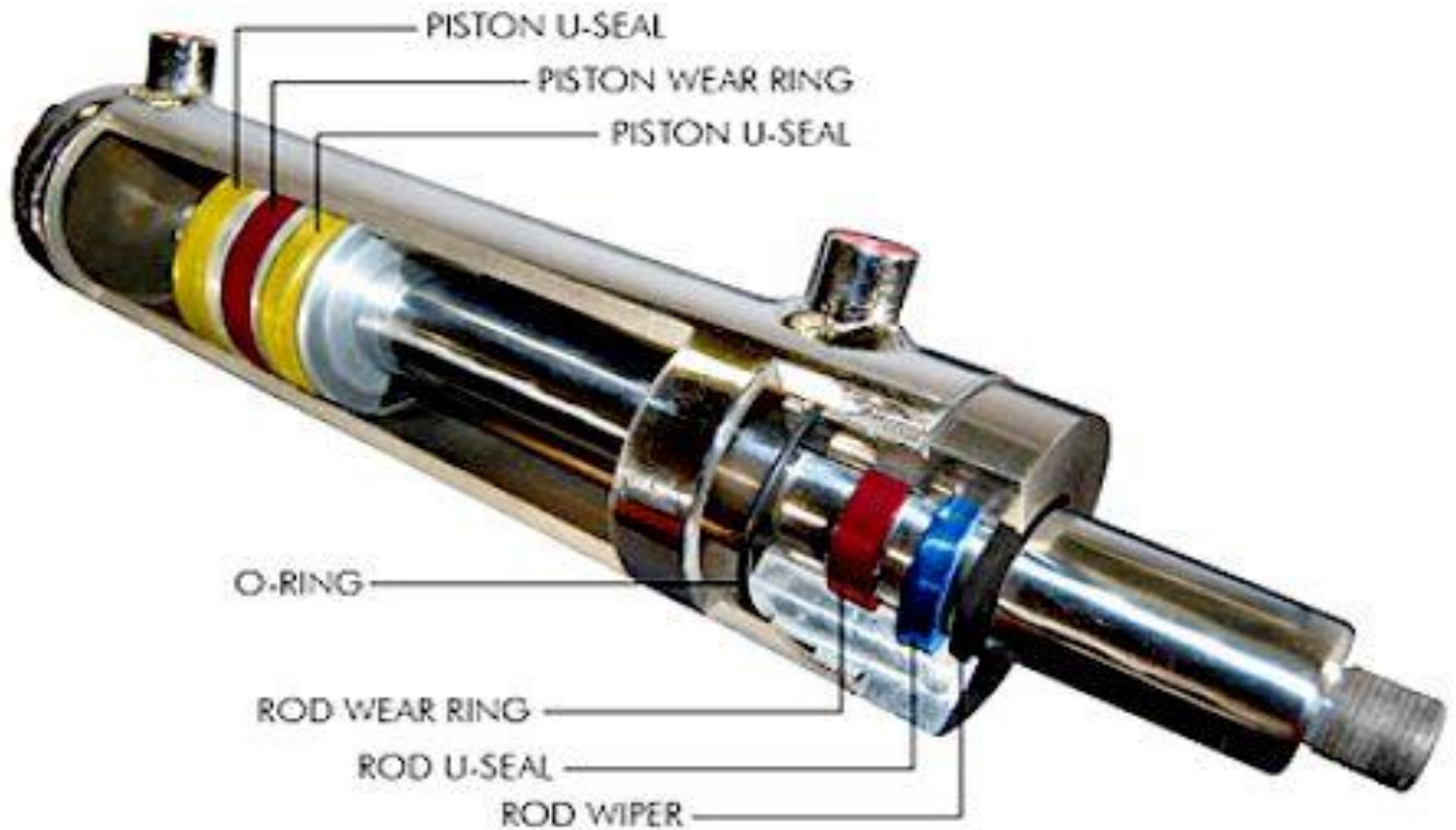


Przykład budowy siłownika hydraulicznego

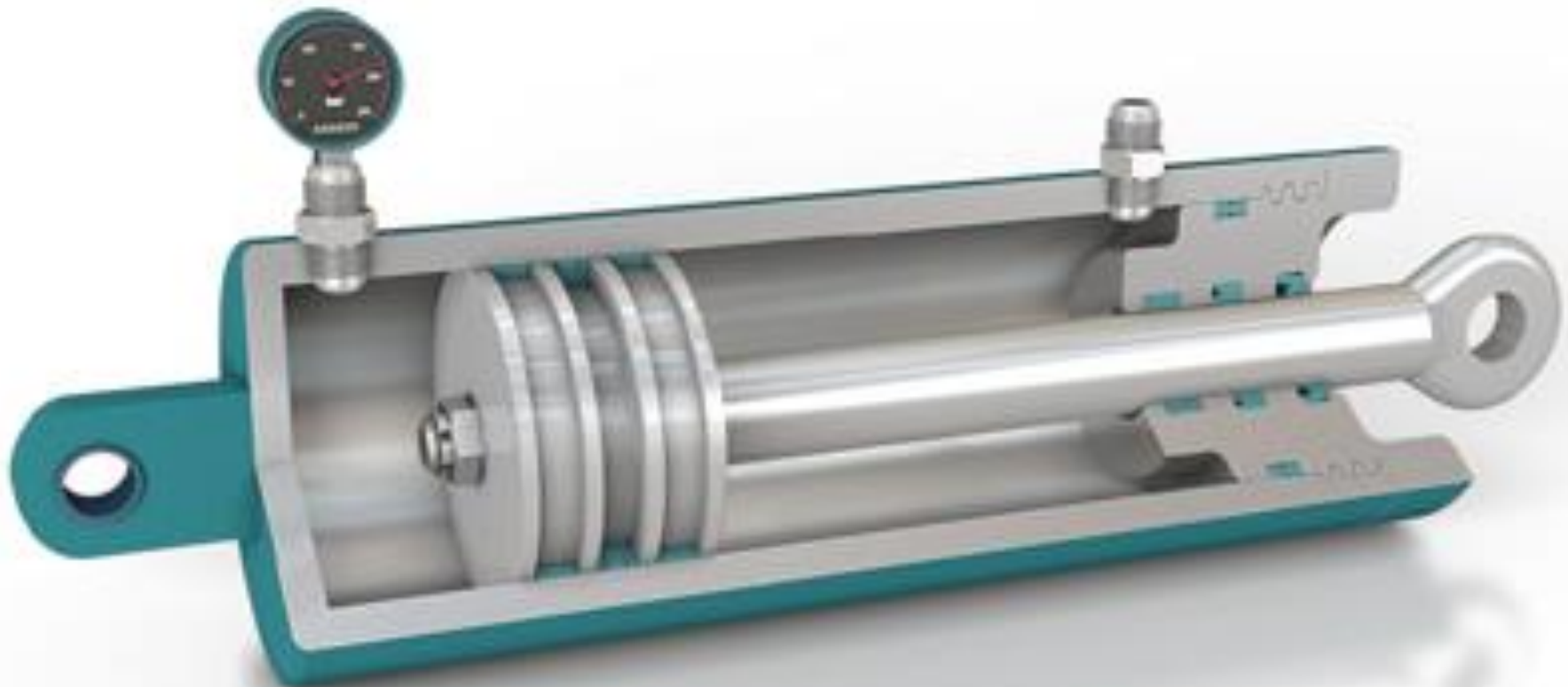


<https://www.mobilehydraulictips.com/hydraulic-cylinders-fail/>

Przykład budowy siłownika

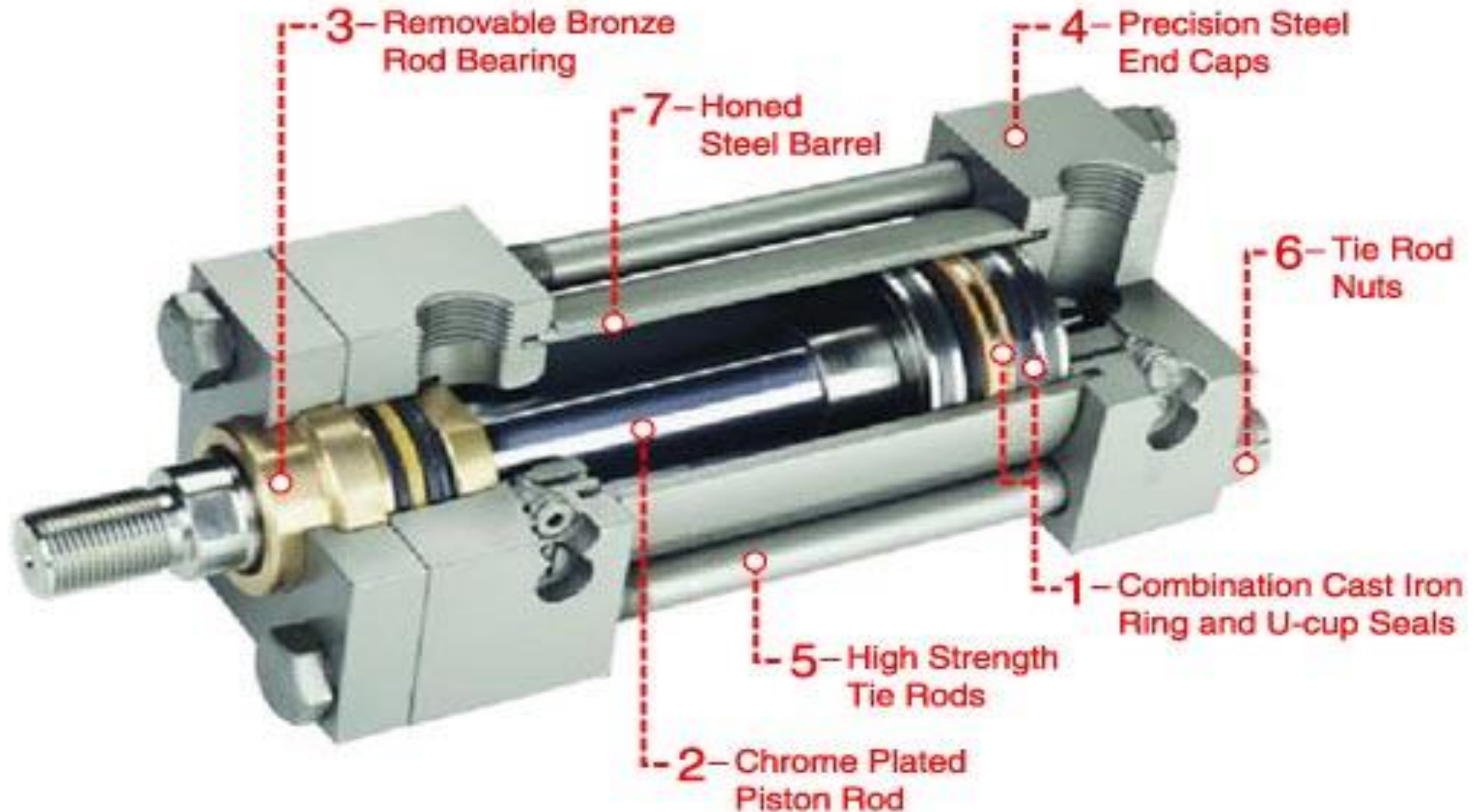


Przykład budowy siłownika hydraulicznego

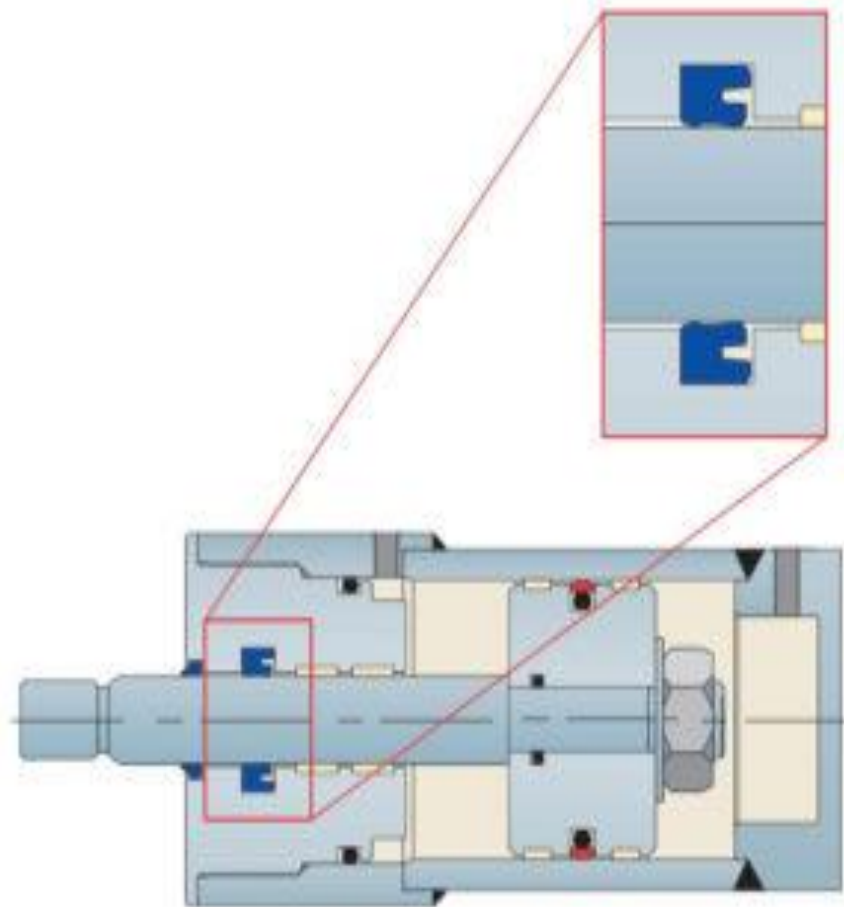
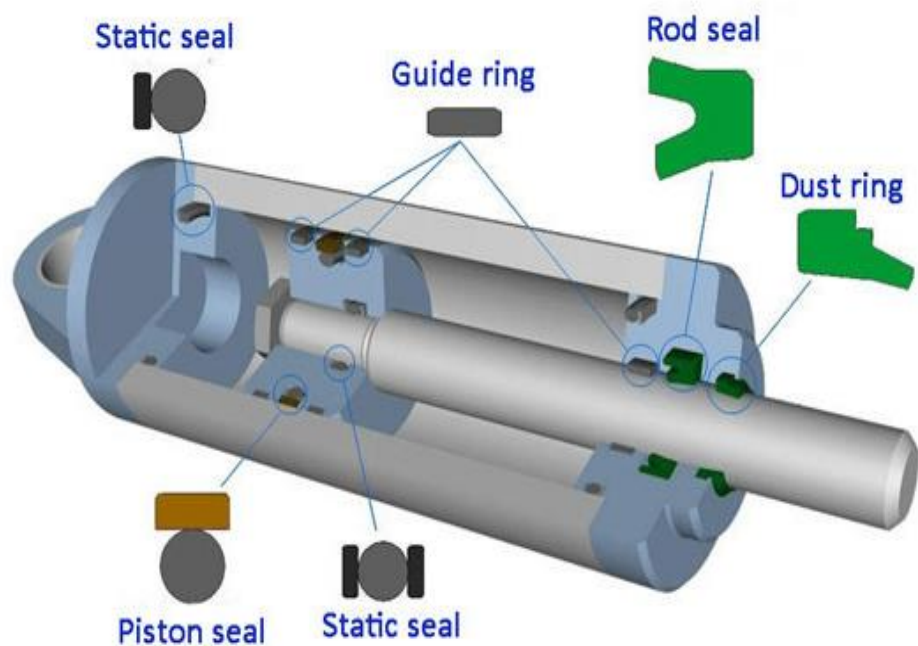


<https://www.tss.trelleborg.com/en/resources/design-support-and-engineering-tools/hydraulic-cylinder-calculator>

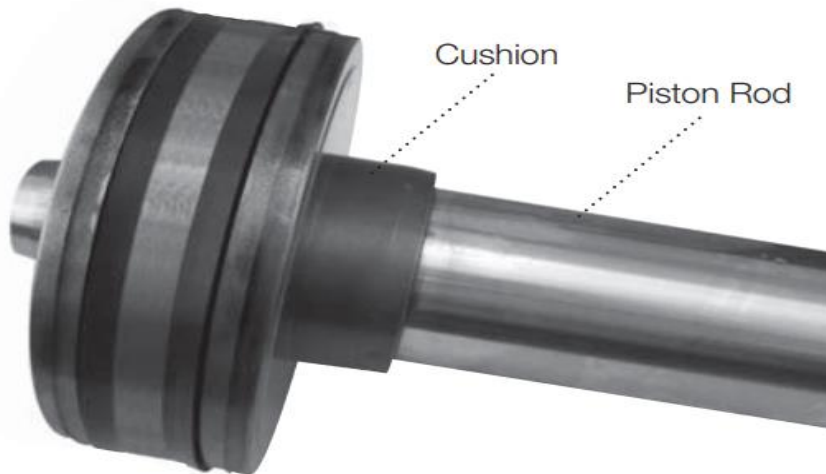
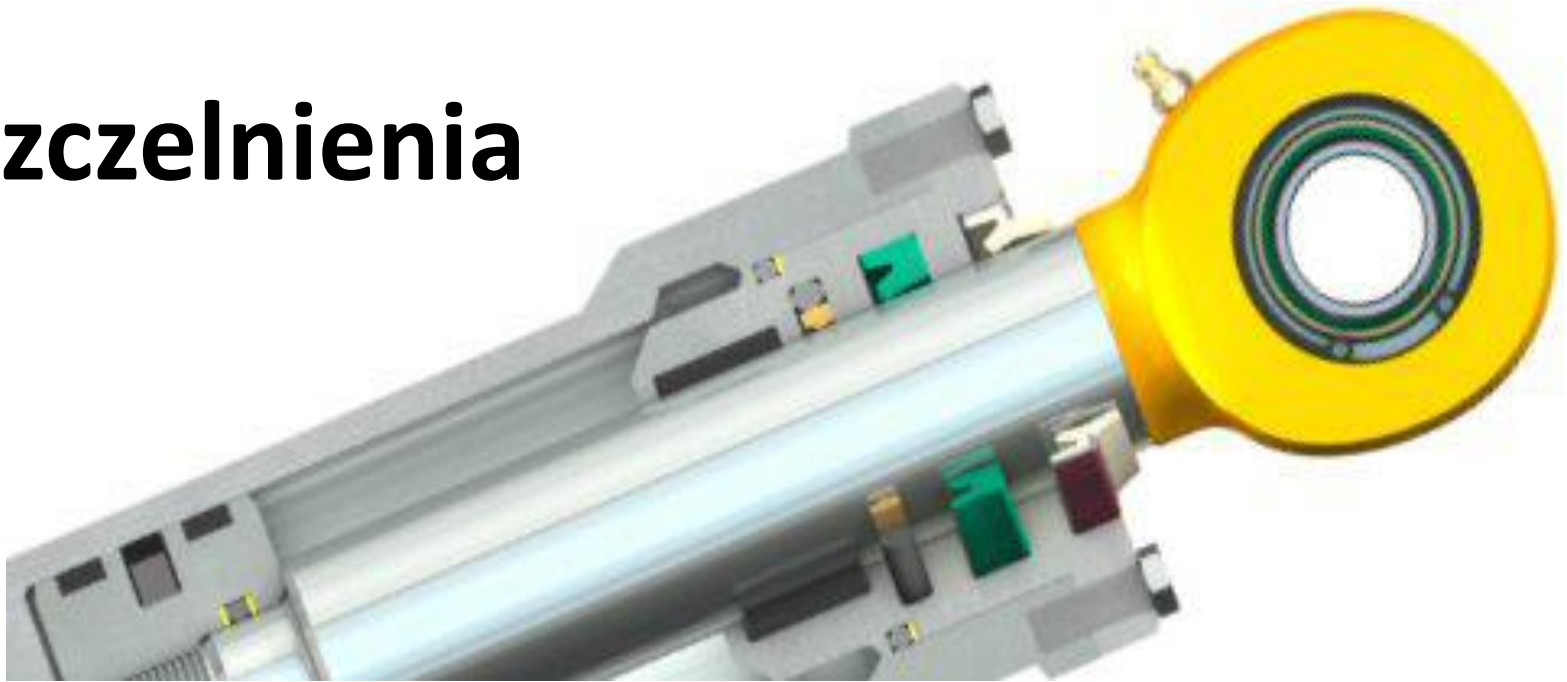
Przykład budowy siłownika hydraulicznego

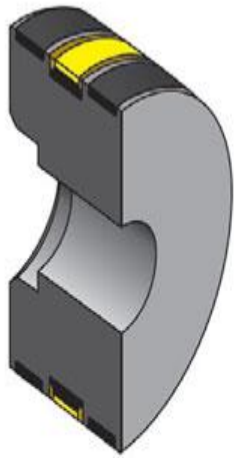


Przykłady uszczelnień

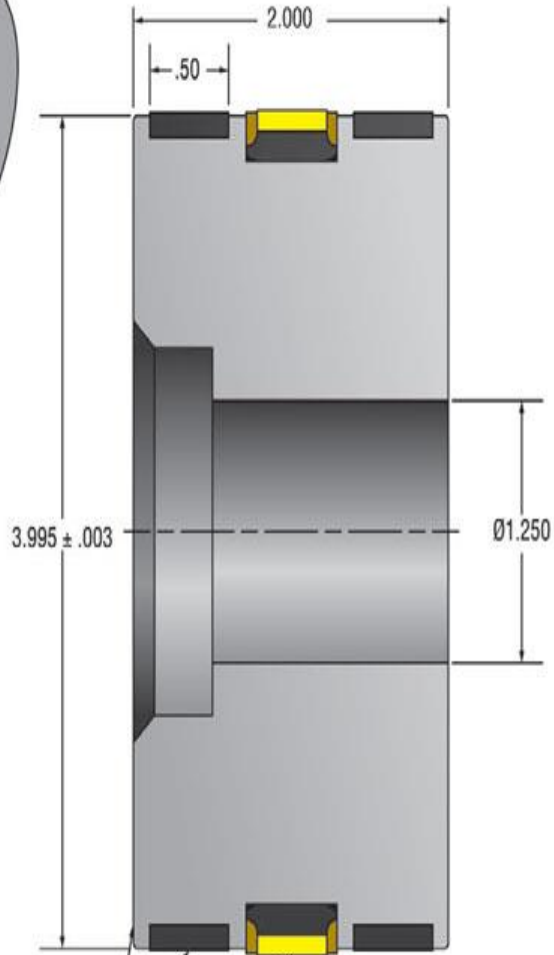


Uszczelnienia



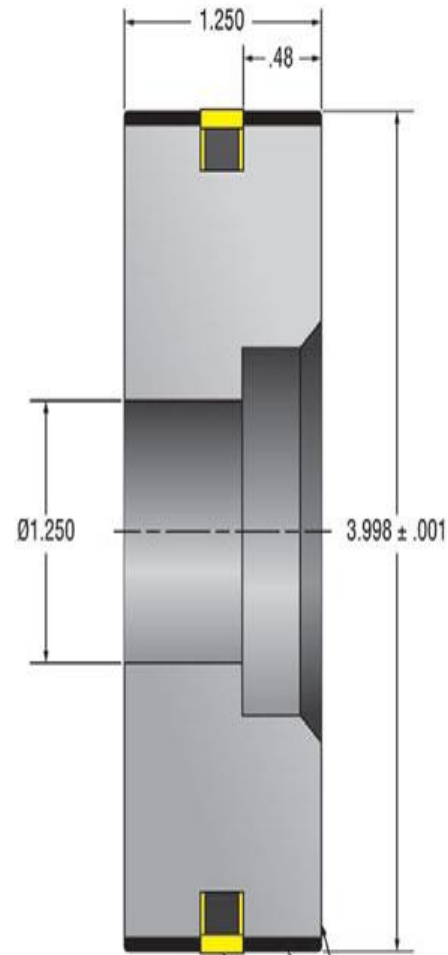


BEFORE:
TRADITIONAL PISTON ASSEMBLY

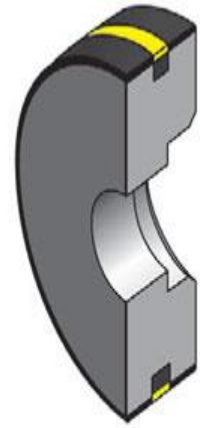


- SAE STEEL
- SPLIT NYLON WEAR BAND
- PTFE T-730 CAPSEAL ASSEMBLY

AFTER:
HALLITE "UNITIZED" PISTON ASSEMBLY



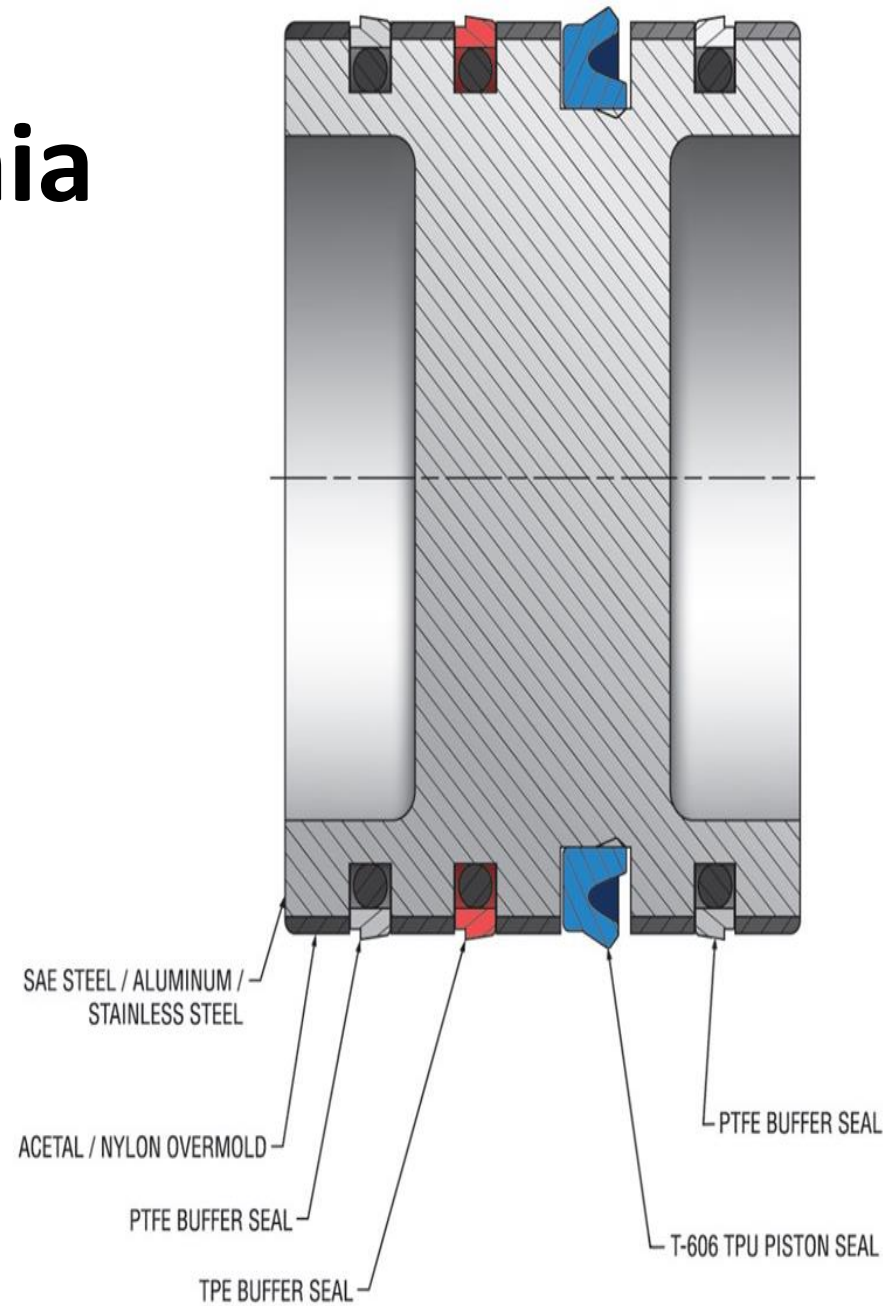
- SAE STEEL
- 533 NYLON OVERMOLD
- G.F PTFE SEAL WITH NITRILE LOADER

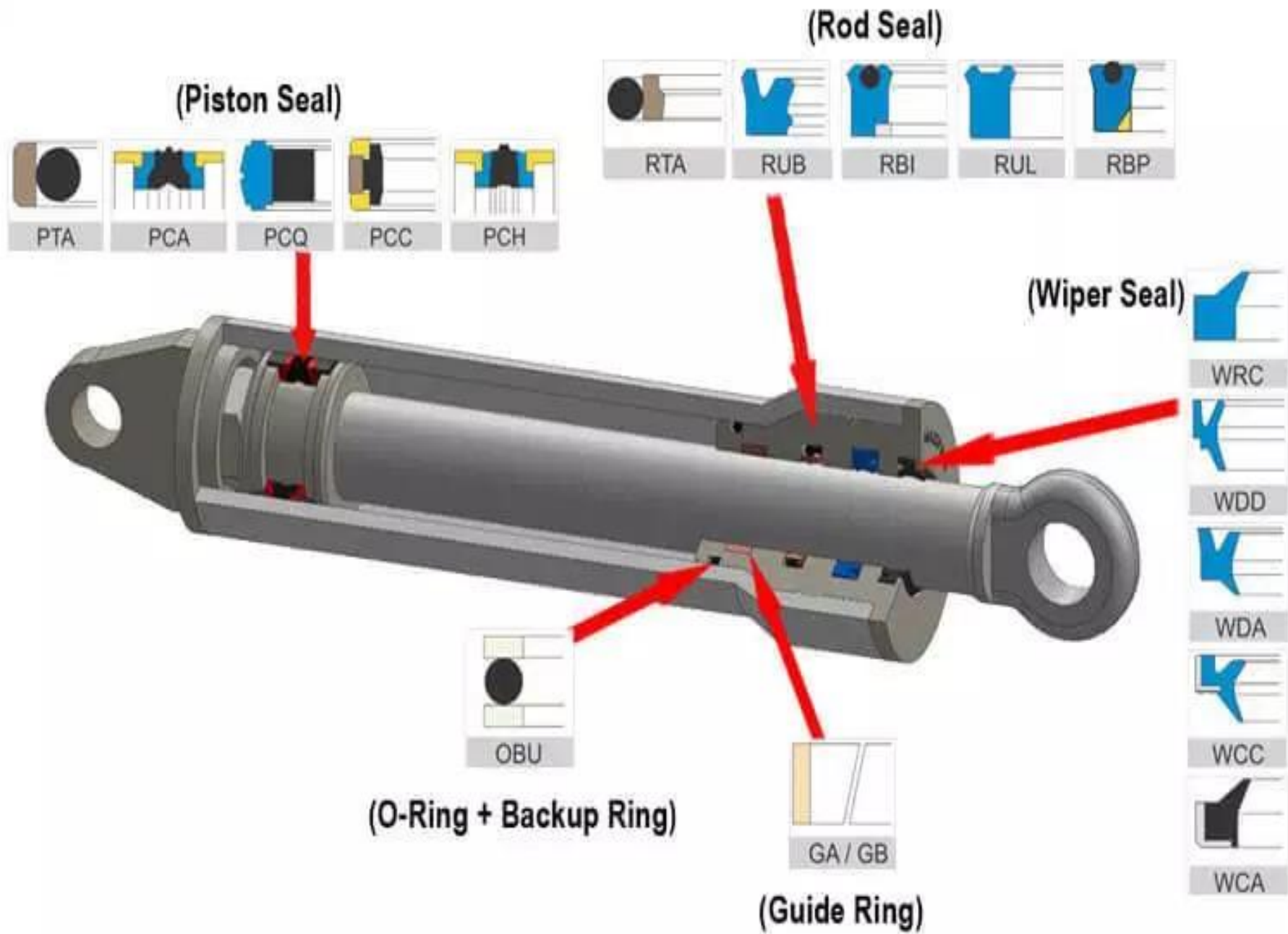


Uszczelnienia

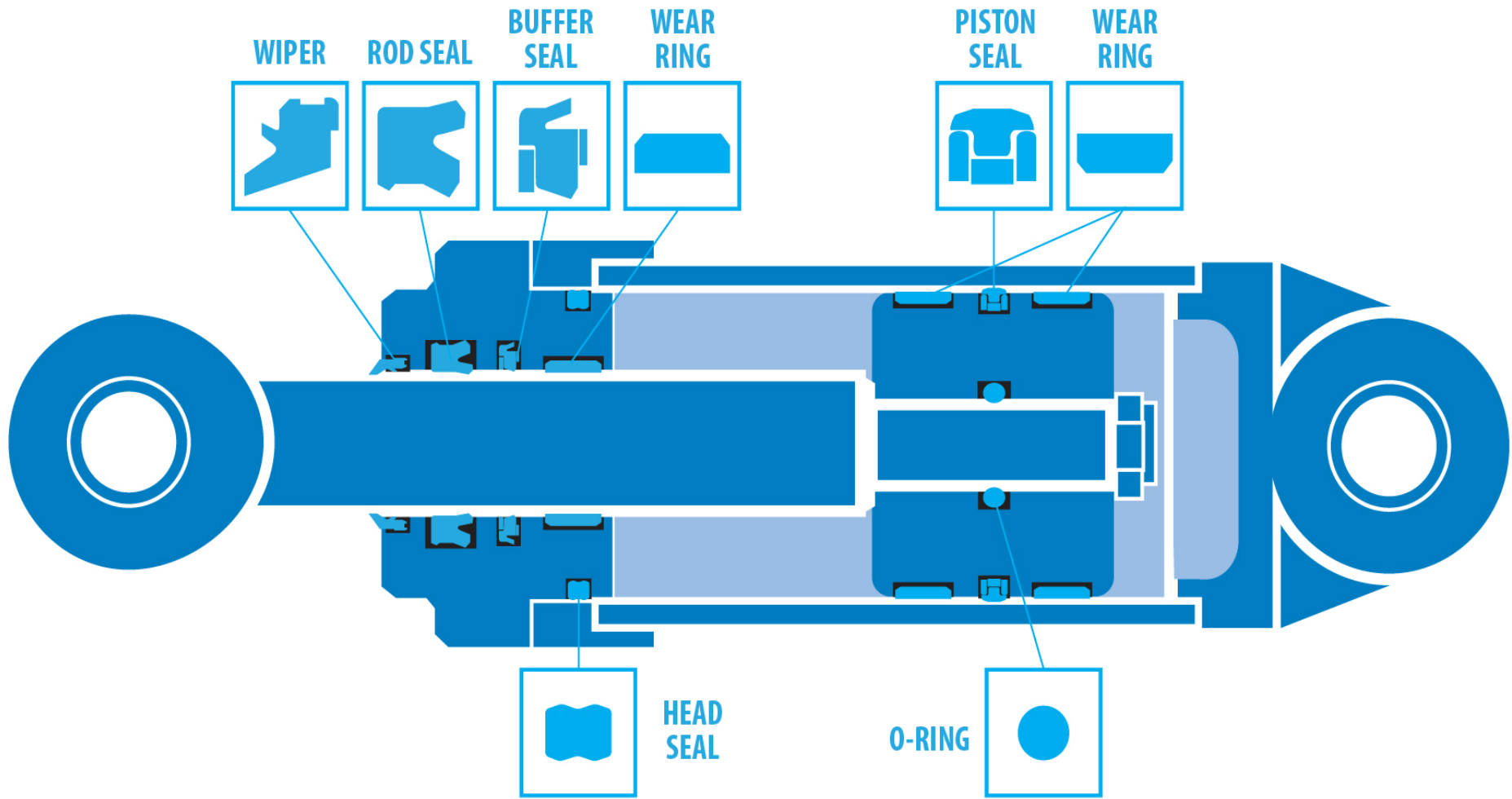


Uszczelnienia



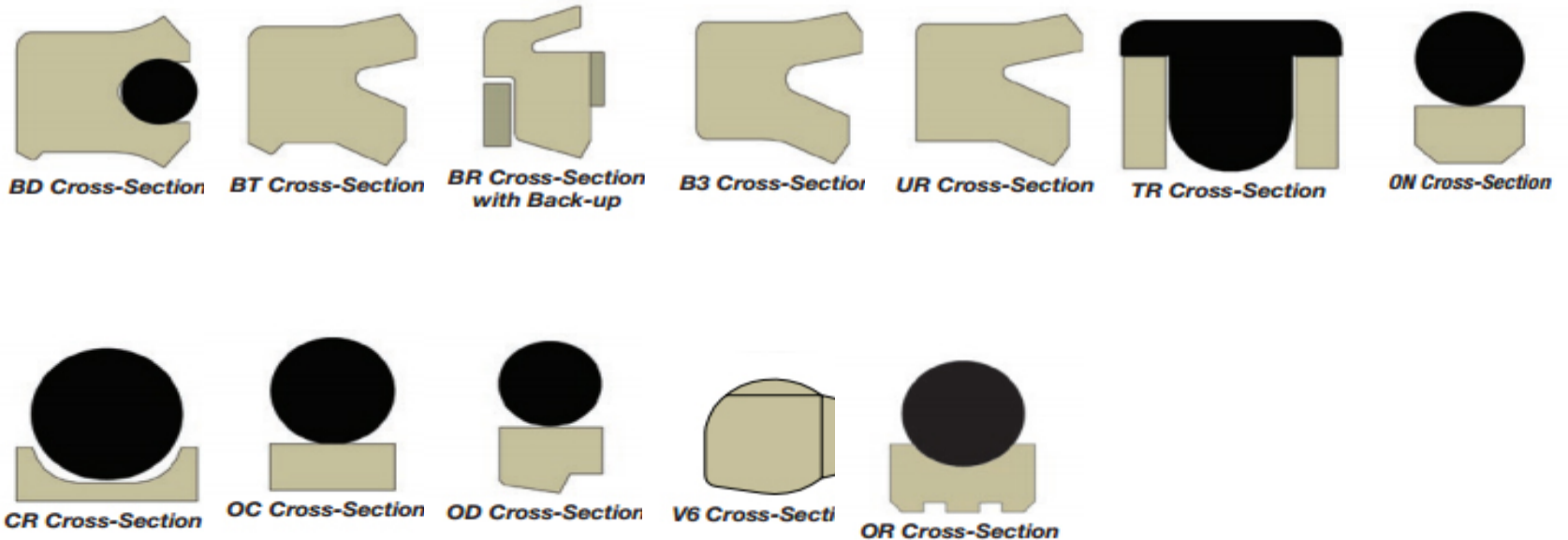


Uszczelnienia siłownika

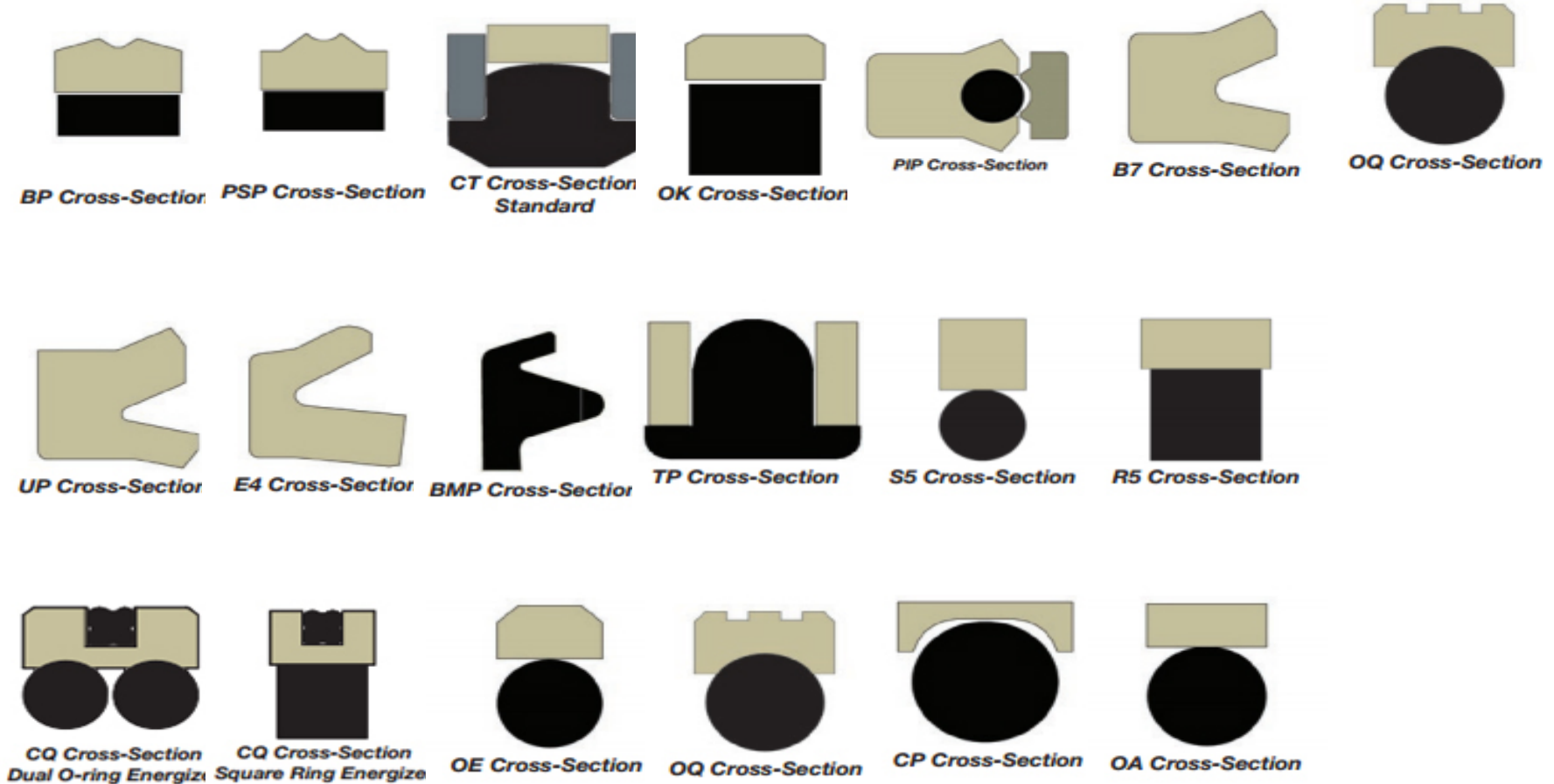


<https://www.espint.com/hydraulic-seals/>

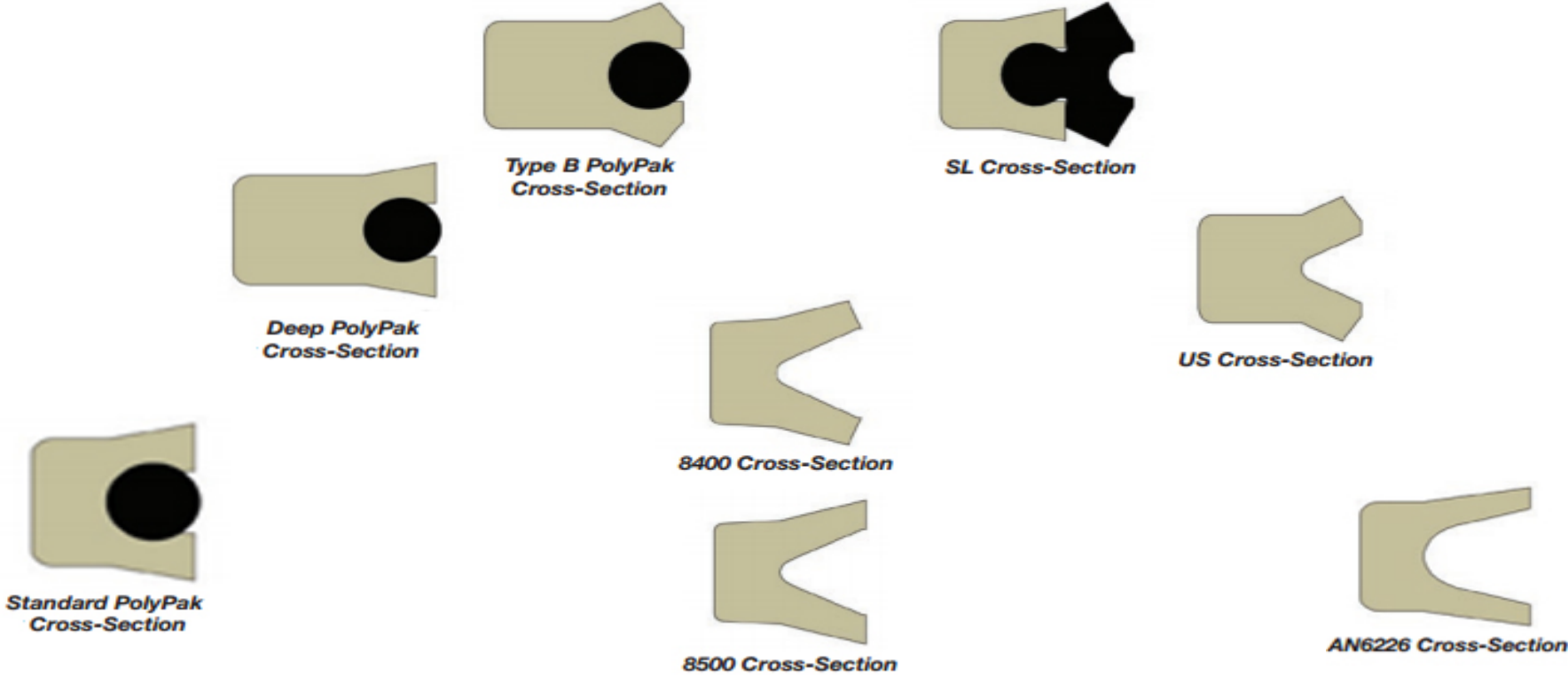
Uszczelnienia prętów / tłoczyska



Uszczelnienia tłoka



Uszczelnienia prętów i tłoków



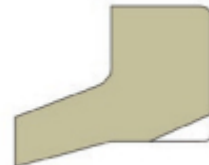
Geometria wycieraczek zapobiegającym uszkodzeniom, które powstają, gdy śladowe ilości brudu lub wody przedostają się do układów zasilania płynem



YD Cross-Section



SHD Cross-Section



SH959 Cross-Section



AH Cross-Section



J Cross-Section



AD Cross-Section

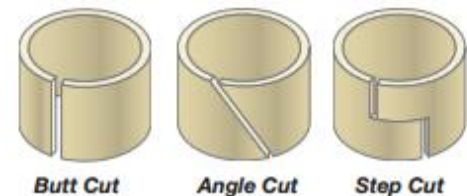
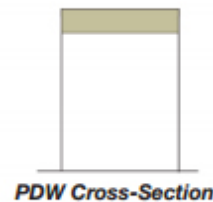
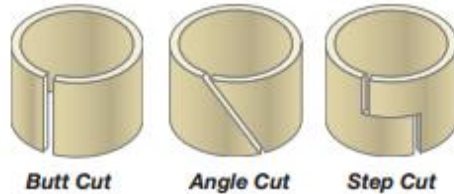
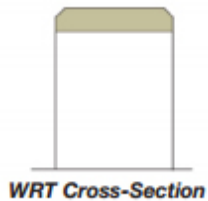
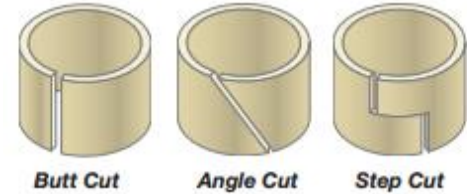
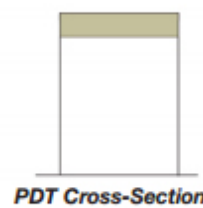
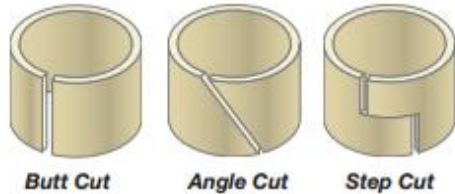
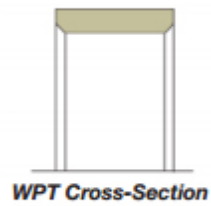


AY Cross-Section

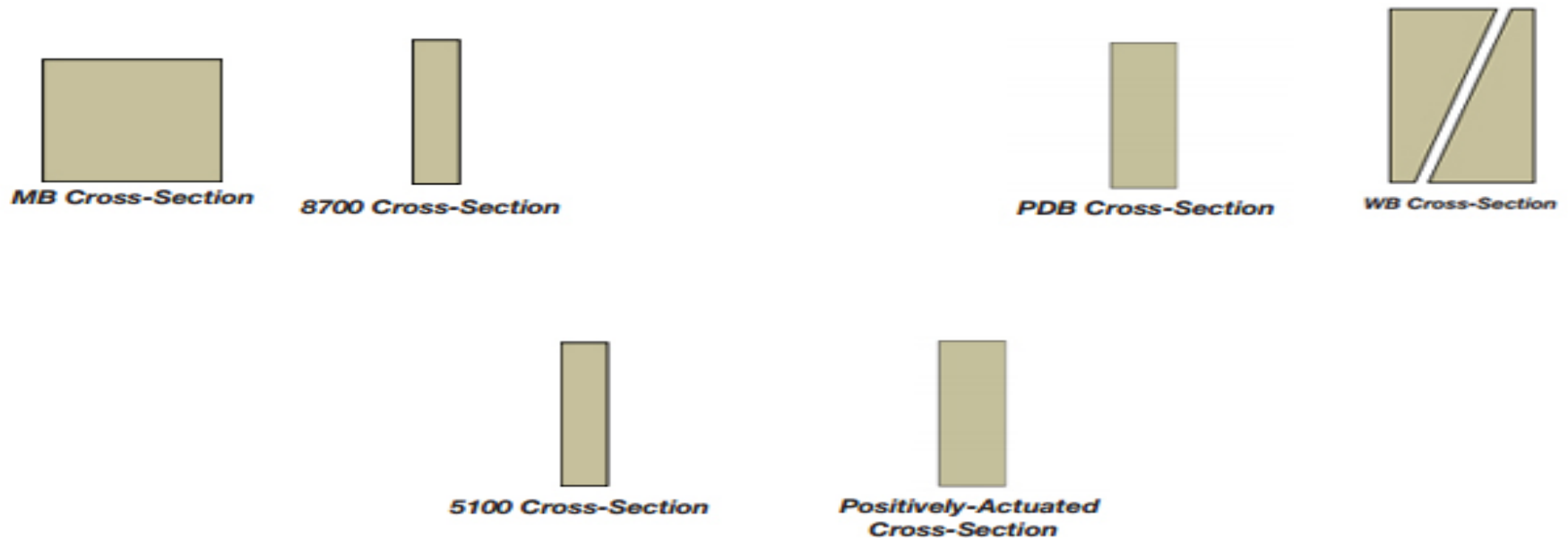


H / 8600 Cross-Section

Uszczelnienia cylindrów hydraulicznych pracujących w najwyższych temperaturach i ciśnieniach do zastosowań pneumatycznych wymagających niskiego tarcia, długiej żywotności i zapewniającym samosmarowanie.



Pierścienie podporowe zapewniające szczelność przy dynamicznych uderzeniach.



O-ring



568 Cross Section



DG Profile Cross Section

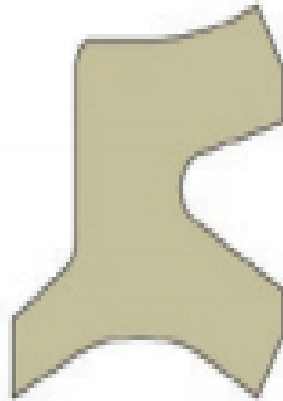


HS Cross Section

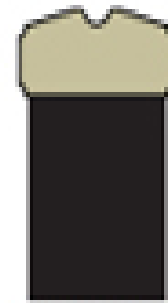
Uszczelnienia prętów / tłoczysk



BT Cross-Section



AY Cross-Section



Metric BP Cross-Section

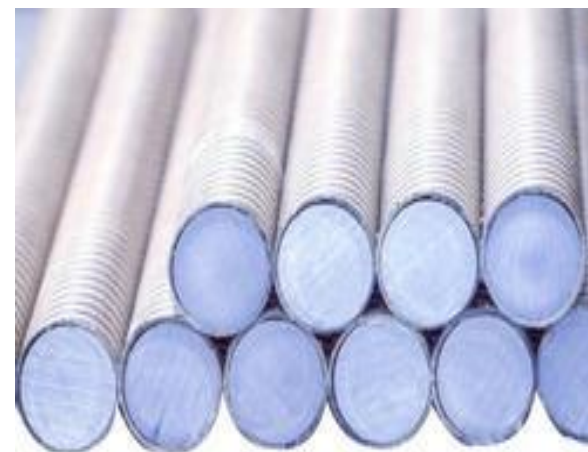
Materiały na toczyska siłowników



Twarde chromowane pręty



Stalowe pręty okrągłe



Chromowany wałek

<http://www.awalhardchrome.com/peeled-ground-steel-rods.html#steel-round-bars>

Obrobione tłoczyska i rury cylindrów



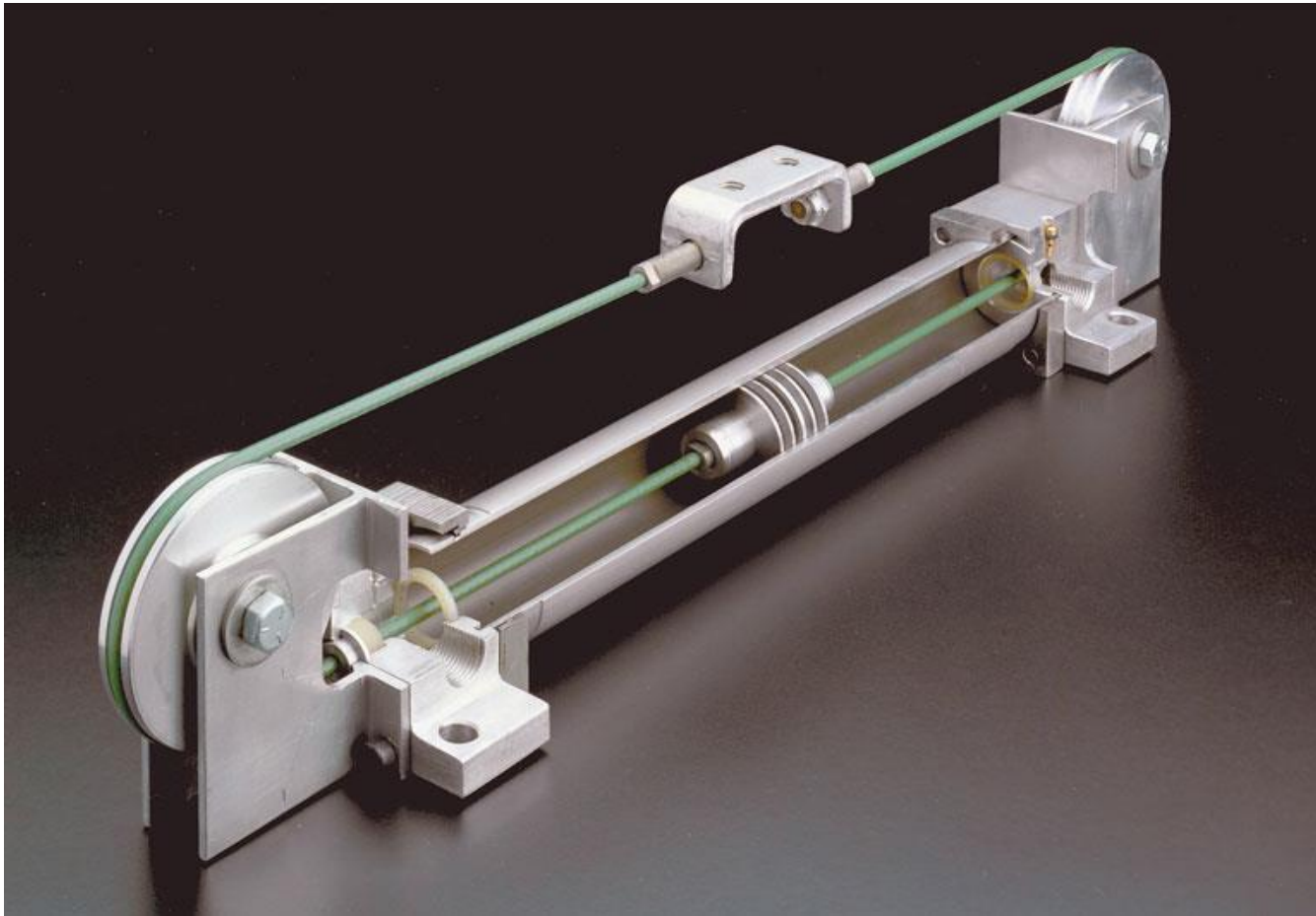
<https://www.hydraulicspneumatics.com/200/TechZone/Cylinders/Article/False/86380/TechZone-Cylinders>

<https://www.hydro.com.pl/produkt/604/rury-chromowane-na-tloczyska>



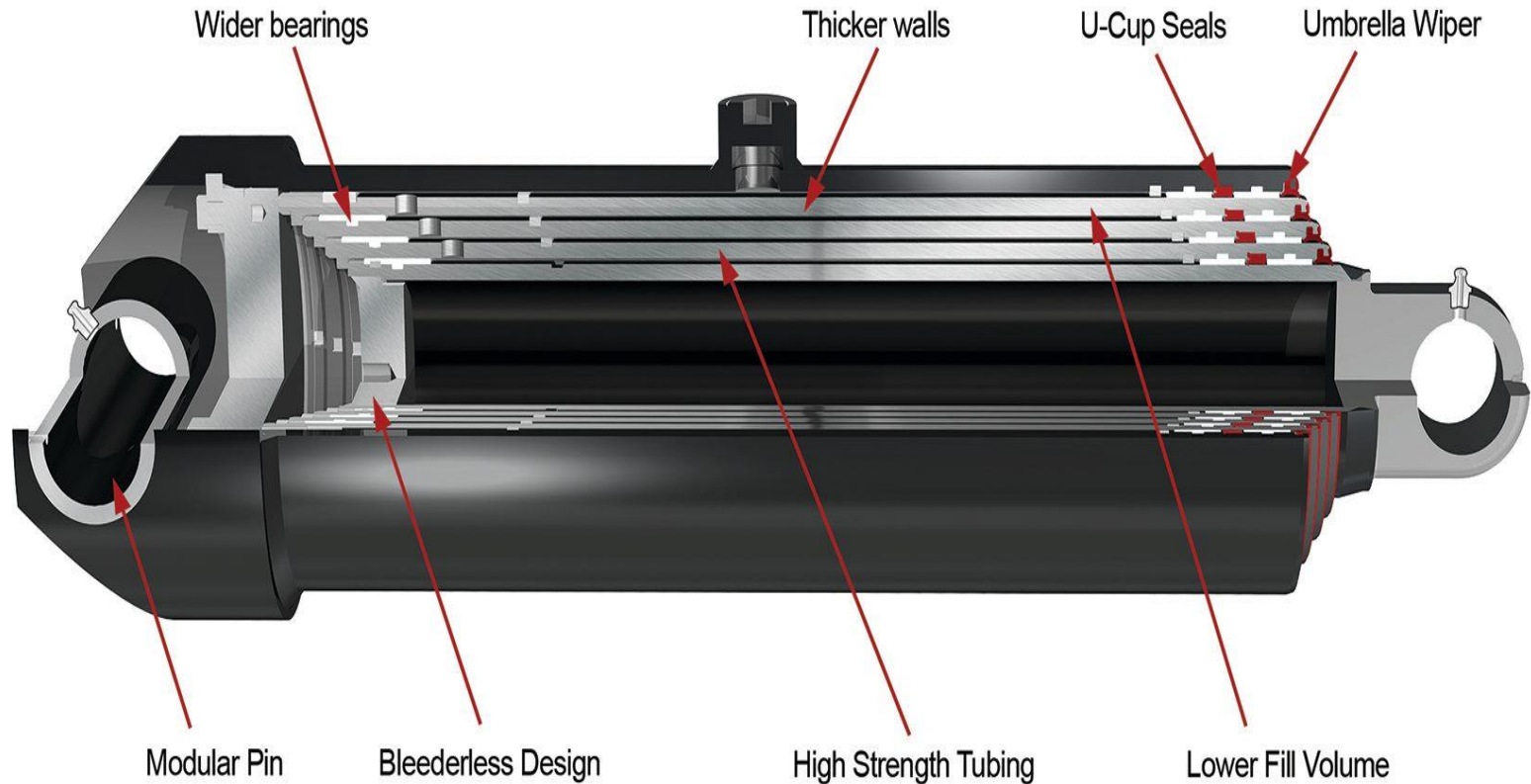
<http://etwinternational.pl/ShowProduct.html?id=1539>

Siłownik liniowy



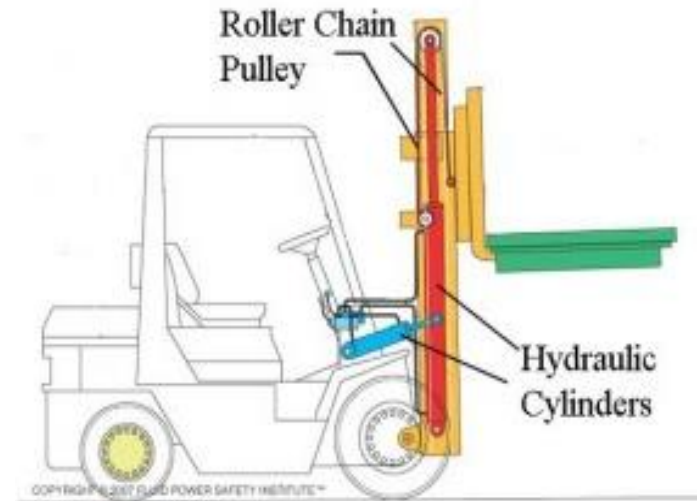
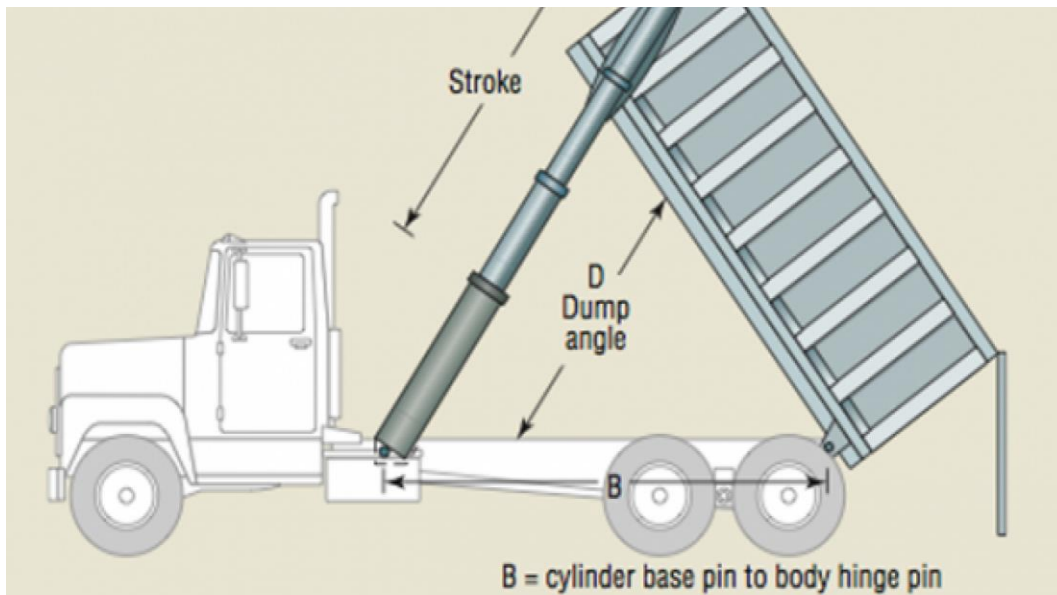
<https://www.hydraulicspneumatics.com/200/TechZone/Cylinders/Article/False/86380/TechZone-Cylinders>

Siłownik teleskopowy



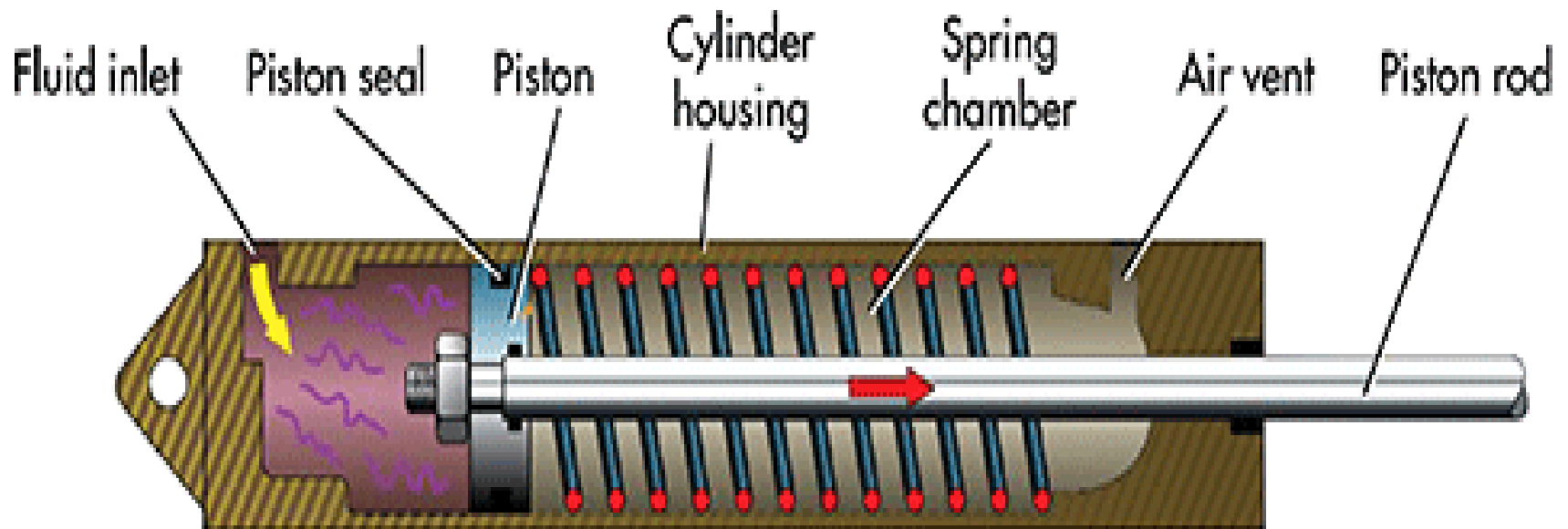
<https://downthelines.com/global-single-acting-hydraulic-cylinder-market-2018-top-manufacturers-caterpillar-us-parker-hannifin-us-actuant-us-eaton-ireland-jiangsu-hengli-hydraulic-china/>

Przykład zastosowania siłownika teleskopowego



Siłownik jednostronnego działania

HYDRAULIC-PNEUMATIC LINEAR ACTUATOR



Przykład budowy siłownika



http://www.eagle-hydraulic.com/standard_cylinders.html

POMPA HYDRAULICZNA

↑ strona

geometryczna pojemność skokowa (Pompa i silnik)

Wydatek pompy

$$Q = \frac{V \cdot n \cdot \eta}{1000} \left[\frac{\text{L}}{\text{min}} \right]$$

$[\text{cm}^3]$

ciśnienie robocze

Moc napędowa
(wymagana moc napędu pompy)

$$P_{an} = \frac{P \cdot Q}{600 \cdot \eta_{ges}} \left[\text{kW} \right]$$

$[\text{bar lub } \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}]$

V - pojemność skokowa $[\text{cm}^3]$

n - prędkość obrotowa $\left[\frac{\text{obr}}{\text{min}} \right] \left[\frac{1}{\text{min}^{-1}} \right]$

sprawność całkowita

$$\eta_{ges} = \eta_{vol} \cdot \eta_{hm}$$

SILNIK HYDRAULICZNY

geometryczna pojemność składowa

Przepływ cieczy $Q = \frac{V \cdot n}{1000 \cdot \eta_{vol}} \left[\frac{L}{min} \right]$

Prędkość obrotowa $n = \frac{Q \cdot \eta_{vol} \cdot 1000}{V} \left[min^{-1} \right]$

Moment obrotowy napędu $M_{ab} = \frac{\Delta p \cdot V \cdot \eta_{hm}}{2 \cdot \pi \cdot 100} \left[daNm \right]$

↓
lub

Moment obrotowy napędu $M_{ab} = 1,59 \cdot V \cdot \Delta p \cdot \eta_{hm} \cdot 10^{-3} \left[daNm \right]$

η_{ges} - sprawność całkowita
0,8 ÷ 0,85

η_{vol} - sprawność objętościowa
0,9 ÷ 0,95

Moc napędu silnika hydraulicznego

wydatek
pompy

$$P_{ab} = \frac{\Delta p \cdot Q \cdot \eta_{ges}}{600} \quad [kW]$$

Δp - różnica ciśnień między wlotem a wylotem w $[bar]$ lub $\left[\frac{daN}{cm^2} \right]$

P_{ab} = Moc napędowa silnika hydraulicznego
[kW]

CYLINDER HYDRAULICZNY

powierzchnia
łłoka

$$A = \frac{d_1^2 \cdot \sqrt{10}}{4 \cdot 100} \quad [\text{cm}^2]$$

d_1 - średnica łłoka [mm]

A - powierzchnia łłoka [cm^2]

$$A = \frac{d_1^2 \cdot 0,785}{100} \quad [\text{cm}^2]$$

Powierzchnia trzonka
łłoka

$$A_{st} = \frac{d_2^2 \cdot 0,785}{100} \quad [\text{cm}^2]$$

Pow. przewłczenia łłoka

$$A_R = A - A_{st}$$

$$A_R = \frac{(d_1^2 - d_2^2) \cdot 0,785}{100} \quad [\text{cm}^2]$$

SIŁY W CYLINDRZE

3 str

SIŁA NACISKU $F_D = \frac{p \cdot d_1^2 \cdot 0,785}{10\ 000} \quad [kN]$



F_D ← SIŁA DOCISKU

SIŁA CIĄGNIĘCIA $F_2 = \frac{p(d_1^2 - d_2^2) \cdot 0,785}{10\ 000} \quad [kN]$



SIŁA TŁOCZYSKA $F_s =$ siła nacisku w równowadze

$F_s = \frac{p \cdot d_2^2 \cdot 0,785}{10\ 000} \quad [kN]$



współczynnik sprawności $0,85 \div 0,95$

siła $F = p \cdot A \quad [daN]$

ciśnienie robocze (teoretyczne bez strat) $p_{th} = \frac{F}{A} \quad [bar] \text{ lub } \left[\frac{daN}{cm^2} \right]$
 pow. czynna tłoka $[cm^2]$

prędkość ruchu tłoka

$V = \frac{h}{t \cdot 1000} \quad \left[\frac{m}{s} \right]$

h - skok w $[m]$

$V = \frac{Q}{A \cdot 6} \quad \left[\frac{L}{min} \right]$

Natężenie przepływu przy uwzględnieniu strat przecieków

KONIECZNE

Nateżenie przepływu

4 str

$$Q_{th} = \frac{a \cdot v \cdot 60}{10} \left[\frac{L}{min} \right]$$

Nateżenie przepływu bez strat przecieków

$$Q_{th} = \frac{V}{t} \cdot 60 \left[\frac{L}{min} \right]$$

$$Q = \frac{Q_{th}}{\eta_{vol.}} \left[\frac{L}{min} \right]$$

η_{vol} - objętość (wolumetry) współczynnik
sprawności uwzględniający przecieki

Objętość skokowa

Natężenie przepływu bez strat przecieków

$$Q_{th} = \frac{V}{t} \cdot 60 \quad \left[\frac{L}{min} \right]$$

$$Q = \frac{Q_{th}}{\eta_{vol.}} \quad \left[\frac{L}{min} \right]$$

$\eta_{vol.}$ - objętość (wolumetry) współczynnik sprawności uwzględniający przecieki

Objętość strąkowa

$$V = \frac{A \cdot h}{10000}$$

$$V = [L] \text{ litry}$$

$$t = [sek] \text{ sekundy}$$

Czas ruchu strąka

$$h = [mm] \text{ strąk}$$

$$t = \frac{A \cdot h \cdot 6}{Q \cdot 1000}$$

Straty ciśnienia w przewodach

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l \cdot \rho \cdot v^2 \cdot 10}{d \cdot 2} \quad [bar]$$

Współczynnik tarcia cieczy w rurę dla przepływu laminarnego

$$\lambda_{lam} = \frac{64}{Re}$$

Współczynnik tarcia cieczy o rurę dla przepływu turbulentnego

$$\lambda_{turb} = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}}$$

liczba Reynoldsa

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \cdot 10^3$$

Q - strumień cieczy w rurociągu
[L/min]

Δp - strata ciśnienia w prostym przewodzie rurowym

λ - współ. tarcia
 l - [m] długość przewodu

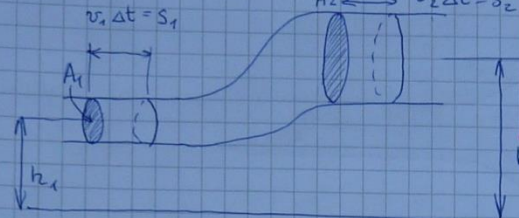
v [m/s] prędkość przepływu

d [mm] średnica rurociągu

ν [mm²/s] lepkość kinematyczna

a)

Równanie BERNOULLIEGO



PRĘDKOŚĆ PRZEPŁYWU (5 str)

$$V = \frac{Q}{6 \cdot d^2 \frac{\pi}{4}} \cdot 10^2$$

$$\frac{v_1^2}{2} + gh_1 + \frac{P_1}{\rho} = \frac{v_2^2}{2} + gh_2 + \frac{P_2}{\rho}$$

$\frac{v_1^2}{2}$ ← prędkość płynu
 gh_1 ← grawitacja
 $\frac{P_1}{\rho}$ ← ciśnienie płynu w rozpatrywanych miejscach
 ρ ← gęstość płynu

Przy pominięciu wysokości odcińków

$$\frac{v_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} = \frac{v_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho}$$

$$\rho + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = const$$

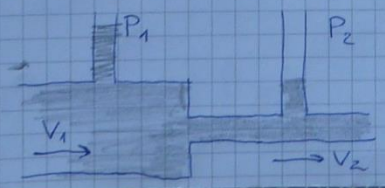
W rurze o mniejszym przekroju ciecz płynie szybciej $v_1 > v_2$ w związku z tym panuje w niej mniejsze ciśnienie niż w rurze o większym przekroju

$$e_m = \frac{v^2}{2} + gh + \frac{P}{\rho} = const$$

e_m - energia jednostki masy płynu

ρ - gęstość płynu

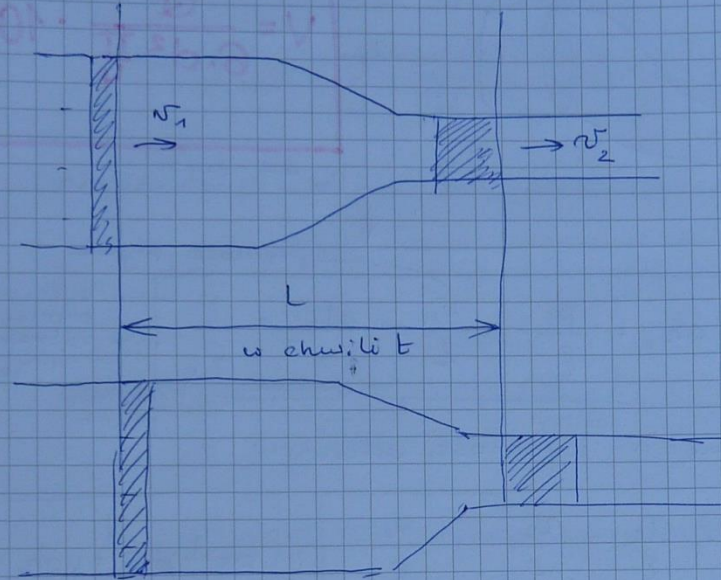
$$\rho = \frac{m}{V} \begin{matrix} \leftarrow \text{masa} \\ \uparrow \text{objętość} \end{matrix} \rightarrow m = \rho V$$



$$P_1 > P_2$$

$$v_1 < v_2$$

b) RÓWNANIE BERU



$$\Delta V = S_1 \Delta x_1 = S_1 v_1 \Delta t = S_2 v_2 \Delta t$$

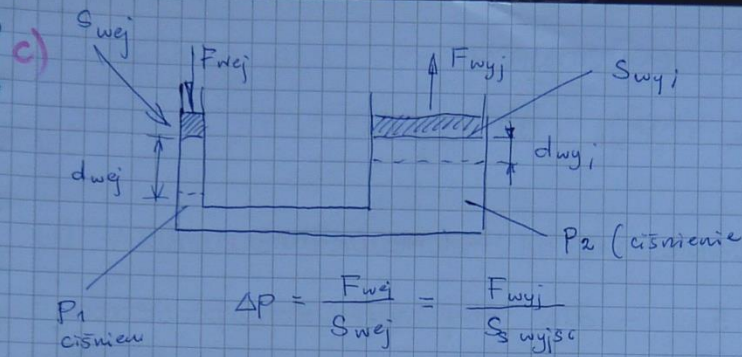
$$S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$$

Strumień objętościowy

$$R_v = S \cdot v = \text{const}$$

Strumień masy

$$R_m = \rho R_v = \rho S v = \text{const}$$



$$\Delta p = \frac{F_{wej}}{S_{wej}} = \frac{F_{wyj}}{S_{wyj}}$$

$$W = F_{wej} \cdot d_{wej} = F_{wyj} \cdot d_{wyj}$$

$$\frac{F_{wej}}{F_{wyj}} = \frac{S_{wej}}{S_{wyj}}$$

$$\Delta p = P_1 - P_2$$

d)

PRAWO PASCALA

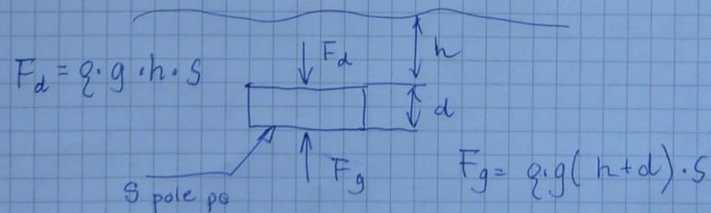
$$P = P_0 + \rho \cdot g \cdot h$$

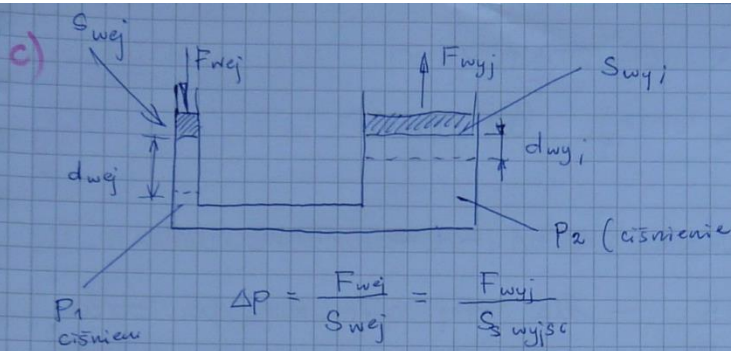
P_0 - ciśnienie zewnętrzne przyłożone do górnej pow. cieczy

ρ - gęstość cieczy

h - odległość od górnej pow.

g - przyspieszenie ziemskie





$$\Delta P = \frac{F_{wej}}{S_{wej}} = \frac{F_{wyj}}{S_{wyj}}$$

$$W = F_{wej} \cdot d_{wej} = F_{wyj} \cdot d_{wyj}$$

$$\frac{F_{wej}}{F_{wyj}} = \frac{S_{wej}}{S_{wyj}}$$

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

d) PRAWO PASCALA

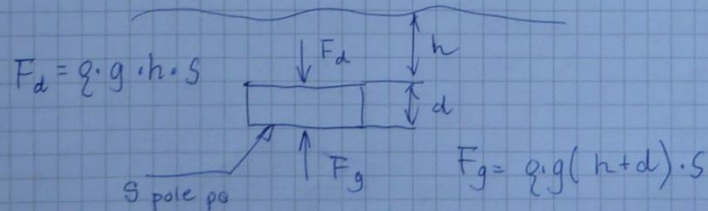
$$P = P_0 + \rho \cdot g \cdot h$$

P_0 - ciśnienie zewnętrzne przyłożone do górnej pow. cieczy

ρ - gęstość cieczy

h - odległość od górnej pow.

g - przyspieszenie ziemskie



PRZYKŁAD

1) obliczanie średnicy tłota

$$F = A \cdot p_{\min} \quad [\text{kG lub N}]$$

$$A = \pi \cdot r^2 \quad [\text{cm}^2]$$

$$F = 2.000 [\text{kG}]$$

$$p_{\min} = 7 [\text{MPa}] = 70 [\text{bar}]$$

$$A = \pi r^2 \cdot p_{\min}$$

$$r = \sqrt{\frac{F}{\pi p_{\min}}} = \sqrt{\frac{2.000}{3,14 \cdot 70}}$$

$$r = 3 [\text{cm}]$$

$$2r = D = 60 [\text{mm}]$$

2) rzeczywista siła w tłoku

$$F = \pi r^2 \cdot p_{\min} = 3,14 \cdot 3^2 \cdot 70 = 2.180 [\text{kG}]$$

$$F = 2.180 [\text{kG}] - \text{wymóg spełniony}$$

3) chłonność robocza cylindra V_r

$$V_r = V_{z_n} + (V_{z_n} - V_{z_p})$$

3a) strona nadtłokowa

$$V_{z_n} = \pi r^2 \cdot H_r = 3,14 \cdot 3,15^2 \cdot 3 = 104 [\text{cm}^3]$$

przyjęto
czas cyklu pracy

$$t_c = 5 [\text{s}]$$

przyjęto
 $v = 4 [\frac{\text{m}}{\text{s}}]$

3b) strona podtokowa

$$V_{zp} = \pi \cdot r^2 \cdot H_r = 3,14 \cdot 1,8^2 \cdot 3 = 30,5 \text{ cm}^3$$

3c) chłonność robocza V_r

$$V_r = V_{zn} + (V_{zn} - V_{zp}) = 104 + (104 - 30)$$
$$V_r = 178 \text{ cm}^3$$

4) Moc silnika pompy hydraulicznej

$$P = \frac{Q \cdot p}{612 \cdot \eta}$$

P [kW] - wymagana moc napędu

p [Pa] - ciśnienie robocze

η [0,8-0,85] sprawność całkowita

$$Q = \left[\frac{\text{dm}^3}{\text{min}} \right] + 1 \left[\frac{\text{dm}^3}{\text{min}} \right] \text{ na ubytki}$$

5) Dobór zbiornika - minimum 5 wydatków pompy

$$V_{zb} = 5 \cdot Q \text{ [L]}$$

← WSTECZ DO PUNKTU 6)

*6) DOBÓR CHŁODNICY

$$P_{str} = P_{cat} \cdot 0,75 \text{ (kW)}$$

7) ODDAWANIE CIEPŁA - CHŁODZENIE

$k=5$ - dla złej cyrkulacji powietrza

$k=10$ - normalna cyrkulacja powietrza

$k=20$ - wymuszona cyrkulacja powietrza

8) STRATA MOCY

$$P_{str} = P_{str \text{ pompy}} + P_{str. \text{ zaworów}} + P_{str. \text{ silnik}} \text{ (kW)}$$

$$P_{str} = P_{cat} \cdot (1 \cdot 0,75 \div 0,75) \text{ [kW]}$$

9) CIEPŁO ODDAWANE PRZEZ ZBIORNIK

ilość ciepła

$$W_A \text{ zbior} = \Delta T \cdot A \cdot k \text{ (kcal/h)}$$

ΔT = różnica temp. w $[\text{°C}]$

A = powierzchnia zbiornika oddająca ciepło $[\text{m}^2]$

k = współczynnik przenikania ciepła
($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}$) lub $[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{°C}]$

$$1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}$$

RÓŻNICA TEMP. pomiędzy olejem i powietrze
wyniesie

$$\Delta T = \frac{P_{\text{str. cat.}} \cdot 860}{A \cdot k} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

10) AKUMULATOR HYDRAULICZNY

$$V_u = V_2 - V_1 =$$

↓
objętość użytkowa $1 \left[\frac{\text{dm}^3}{\text{min}} \right]$

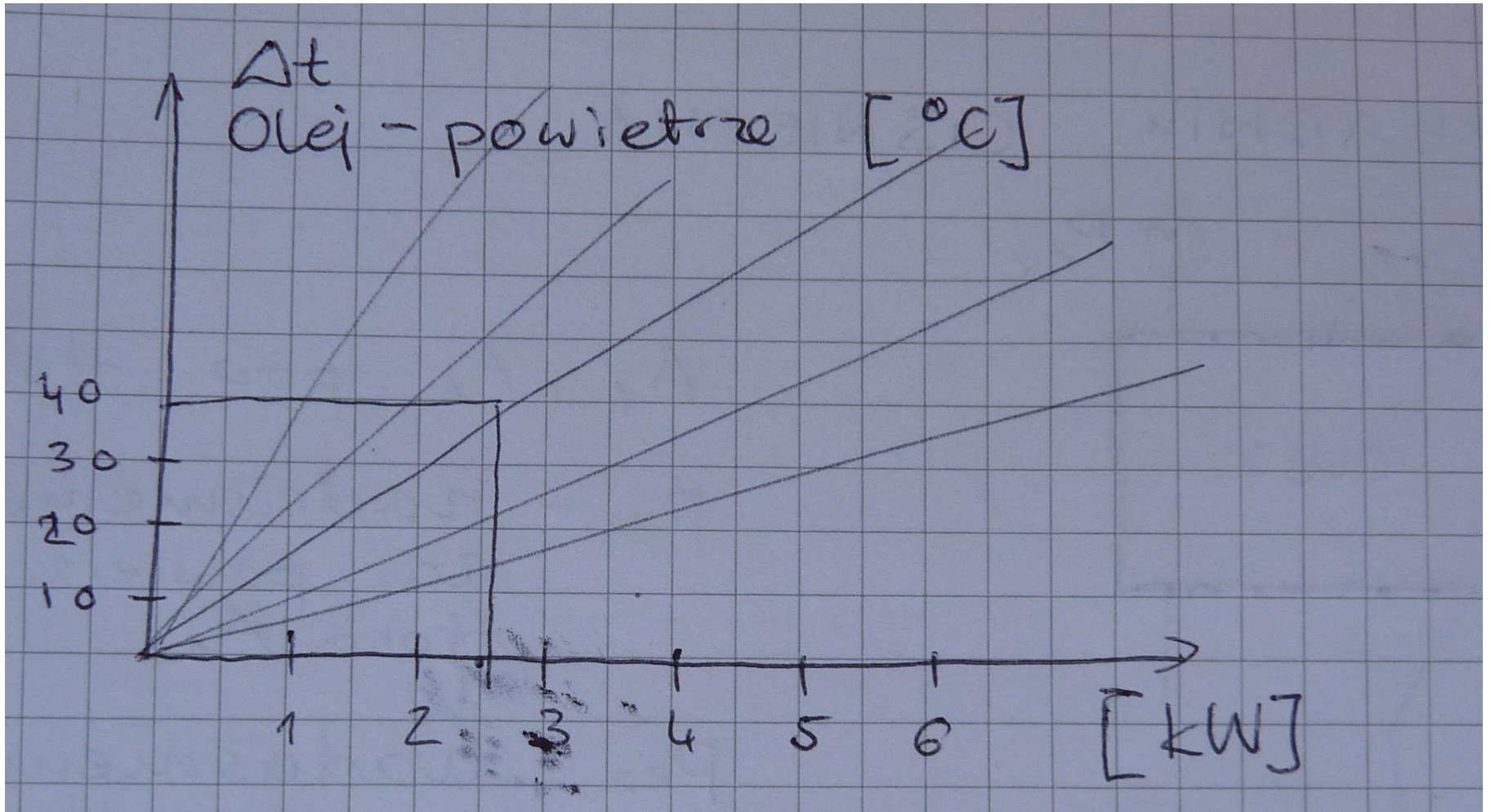
PRZYKŁAD

1) obliczanie średnicy tłoka

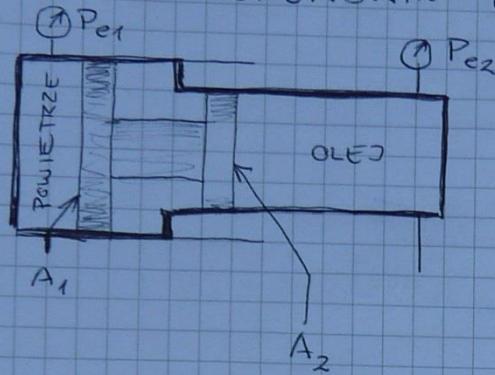
$$F = A \cdot p_{\text{min}} \quad [\text{kG lub N}]$$

$$A = \pi \cdot r^2 \quad [\text{cm}^2]$$

przyjęto
czas cyklu pr
 $t_c = 5 \text{ [s]}$



PRZEKŁADNIK CIŚNIENIA

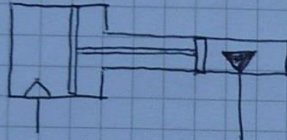


A_1, A_2 pow. tłoków

P_{e1} - nadciśnienie na powierzchni tłoka A_1

P_{e2} - nadciśnienie na pow. tłoka A_2

η - wsp. sprawności



$$P_{e2} = P_{e1} \cdot \frac{A_1}{A_2} \cdot \eta \quad A_1 > A_2$$

np.

$$A_1 = 200 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$A_2 = 5 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$\eta = 0,88$$

$$P_{e1} = 7 \text{ [bar]} = 70 \text{ [N/cm}^2\text{]}$$

$$P_{e2} = P_{e1} \frac{A_1}{A_2} = 70 \left[\frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \right] \cdot \frac{200 \text{ [cm}^2\text{]}}{5 \text{ [cm}^2\text{]}} \cdot 0,88$$

$$P_{e2} = 2464 \left[\frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \right] = 246,4 \text{ [bara]}$$

