

Laboratorium

Hydrostatyczne Układy Napędowe

Instrukcja do ćwiczenia nr 8

Badanie charakterystyk mikropompy zębatej

Opracowanie: Z.Kudźma, P. Osiński J. Rutański, M. Stosiak

Wprowadzenie do mikrohydrauliki

W ostatnich latach zauważa się tendencję do miniaturyzacji elementów i układów hydraulicznych, powstaje nowa dziedzina napędów – mikrohydraulika. W napędach hydrostatycznych klasycznych stosuje się odpowiednie typy szeregi wielkości nominalnych WN i tak dla zaworów wielkością nominalną jest średnica nominalna otworów przepływowych. Wszystkie elementy hydrauliczne o średnicach nominalnych mniejszych od 6 mm [WN < 6 mm] zalicza się do mikrohydrauliki. Wielkością nominalną [WN] dla mikropomp zębatych, jest geometryczna objętość robocza $V_g < 1,2 \text{ [cm}^3\text{/obr]}$.

Obszarami zastosowań mikrohydrauliki są te dziedziny, które wymagają przeniesienia dużej mocy, zapewnienia płynności ruchów przy znacznym ograniczeniu wymiarów geometrycznych. Postępujący rozwój elementów i układów mikrohydraulicznych powoduje, że co raz częściej układy mikrohydrauliczne wypierają układy pneumatyczne czy elektromechaniczne. Ponadto miniaturyzacja pozwala również mikrohydraulicie zastąpić klasyczną hydraulikę wszędzie tam gdzie ze względu wymiarów czy masy nie może być ona zastosowana. Dzieje się tak, między innymi w inżynierii i technice medycznej np. w napędach stołów operacyjnych i roentgenowskich, foteli dentystycznych, w motoryzacji np. w serwomechanizmach wspomagających układy kierownicze i hamulcowe, w automatyzacji skrzyni biegów, w zawieszaniach hydropneumatycznych, w konstrukcji foteli kierowcy, w urządzeniach podnośnikowych, w przemyśle lotniczym, a także chemicznym i spożywczym do dokładnego dozowania strumienia płynu.

Klasyfikacji przepływów, a co za tym idzie określenia obszaru zastosowań mikrohydrauliki można dokonać według kryterium:

przepływy bardzo małe	$< 2 \text{ cm}^3/\text{s}$	$(< 120 \text{ cm}^3/\text{min})$
przepływy małe	$2 - 50 \text{ cm}^3/\text{s}$	$(120 - 3000 \text{ cm}^3/\text{min})$
przepływy średnie	$50 - 500 \text{ cm}^3/\text{s}$	$(3 - 30 \text{ dm}^3/\text{min})$
przepływy duże	$500 - 2000 \text{ cm}^3/\text{s}$	$(30 - 120 \text{ dm}^3/\text{min})$
przepływy bardzo duże	$> 2000 \text{ cm}^3/\text{s}$	$(> 120 \text{ dm}^3/\text{min})$

W napędach hydraulicznych przyjęło się, że do grupy elementów mikrohydraulicznych zaliczane są dwa pierwsze o zakresie przepływu do $50 \text{ cm}^3/\text{s}$,

Na bazie artykułu: Kudźma Z., Łomotowski G., Osiński P., Rutański J., Stosiak M., Wilczyński J. *Badania właściwości hydraulicznych i wibroakustycznych wykonanych prototypów.* . Praca zbiorowa pod redakcją Kolek W: Podstawy projektowania, modelowania, eksploatacji elementów i układów mikrohydraulicznych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2012.

Przedmiotem ćwiczenia jest doświadczalne określenie charakterystyk statycznych mikropompy zębatej o wydajności właściwej $< 1,2 \text{ cm}^3/\text{obr}$.

Wiadomości podstawowe

Podstawowym źródłem energii ciśnienia w układzie hydrostatycznym jest pompa. Jej rola w układzie hydraulicznym polega na zamianie energii mechanicznej doprowadzonej przez silnik napędowy (np. spalinowy, elektryczny lub inny) – na energię ciśnienia określonej ilości czynnika roboczego w jednostce czasu.

Ze względu na rolę jaką ma pompa spełniać w układzie – stawiane są jej następujące wymagania:

- wysokie ciśnienie robocze, duża sprawność, zdolność samozasysania czynnika roboczego, nieznacznie zmieniająca się wydajność w całym zakresie zmian ciśnienia, duża trwałość.

Wymagania te mogą być spełnione tylko w konstrukcjach o dużej szczelności wewnętrznej, a więc przez pompy wyporowe. Z pośród licznej grupy pomp wyporowych najszersze zastosowanie posiada pompa zębata.

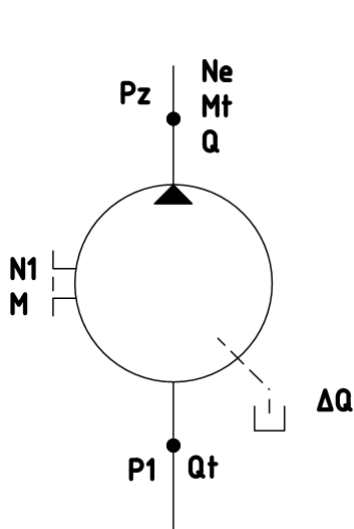
Podstawowymi parametrami pompy są: wydajność, ciśnienie tłoczenia i ssania, zakres obrotów. Do zalet pomp zębatych można zaliczyć:

- niski koszt wykonania, mały ciężar, zwartą budowę, dużą trwałość, małą wrażliwość na zanieczyszczenia czynnika roboczego, możliwość łączenia ich w prosty sposób w pompy wielostrumieniowe.

Do ujemnych cech można zaliczyć: dużą hałaśliwość i pulsację ciśnienia.

Wydajność pompy: *(podane zależności są w postaci powszechnie stosowanej w praktyce warsztatowej, w sprawozdaniu należy to przedstawić zgodnie z układem SJ).*

Teoretyczna wydajność pomp wyporowych Q_t zależy od wydajności właściwej q i obrotów n związanych zależnością:



$$Q_t = q \cdot n \left[\frac{dm^3}{min} \right] \quad (1)$$

gdzie: $q \left[\frac{dm^3}{obr} \right]$ – wydajność właściwa pompy,

nazywana również wydajnością jednostkową lub objętością geometryczną – wyraża teoretyczną objętość czynnika roboczego podawanego przez pompę w czasie jednego obrotu wałka;

$n \left[\frac{obr}{min} \right]$ – liczba obrotów wałka pompy na minutę.

Przykład przeliczenie w układzie SI $Q_t = \frac{q \cdot n}{10^3 \cdot 60} \left[\frac{m^3}{s} \right]$ (2)

gdzie: q [dm^3 /obr]; n [min^{-1}]

Moc pompy:

Moc efektywną pompy N_e określa zależność:

$$N_e = \frac{Q \cdot \Delta p}{60} [kW] \quad (3)$$

gdzie: Q $\left[\frac{dm^3}{min} \right]$ Δp [MPa]; różnica ciśnień pomiędzy króćcem ssawnym a tłocznym

można przyjąć:

$$\Delta p = p_z - p_1 = p_z = p_t \text{ jeśli } p_z \gg p_1; \Delta p = p_z \approx p_t - \text{ ciśnienie tłoczenia}$$

Sprawność objętościowa (wolumetryczna):

Sprawność objętościową określa zależność:

$$\eta_v = \frac{Q}{Q_t} \quad (4)$$

Q – wydajność rzeczywista (pomierzona)

Sprawność całkowita:

$$\eta_c = \frac{N_e}{N_w} = \eta_v \cdot \eta_{hm} \quad (5)$$

gdzie: η_c – sprawność całkowita

η_v – sprawność objętościowa

η_{hm} – sprawność hydrauliczno-mechaniczna

Moc wejściowa N_w

$$N_w = M \cdot \omega \cdot 10^{-3} [kW] \quad (6)$$

gdzie: M [Nm] – moment obrotowy na wale pompy,

ω [$\frac{1}{s}$] – prędkość kątowna wału pompy

Sprawność całkowita:

$$\eta_c = \frac{N_e}{N_w} = \frac{Q \cdot \Delta p \cdot 10^3}{60 \cdot M \cdot \omega} \quad (7)$$

gdzie: Q [$\frac{dm^3}{min}$] – wydajność pompy rzeczywista,

Δp [MPa] – różnica ciśnień między króćcem ssawnym a tłocznym pompy, utożsamiane z wartością ciśnienia tłoczenia p_t .

1.Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest eksperymentalne określenie charakterystyk statycznych mikropompy zębatej. Charakterystyki wyznacza się przy zachowaniu stałych wartości ciśnienia ssania oraz lepkości czynnika roboczego.

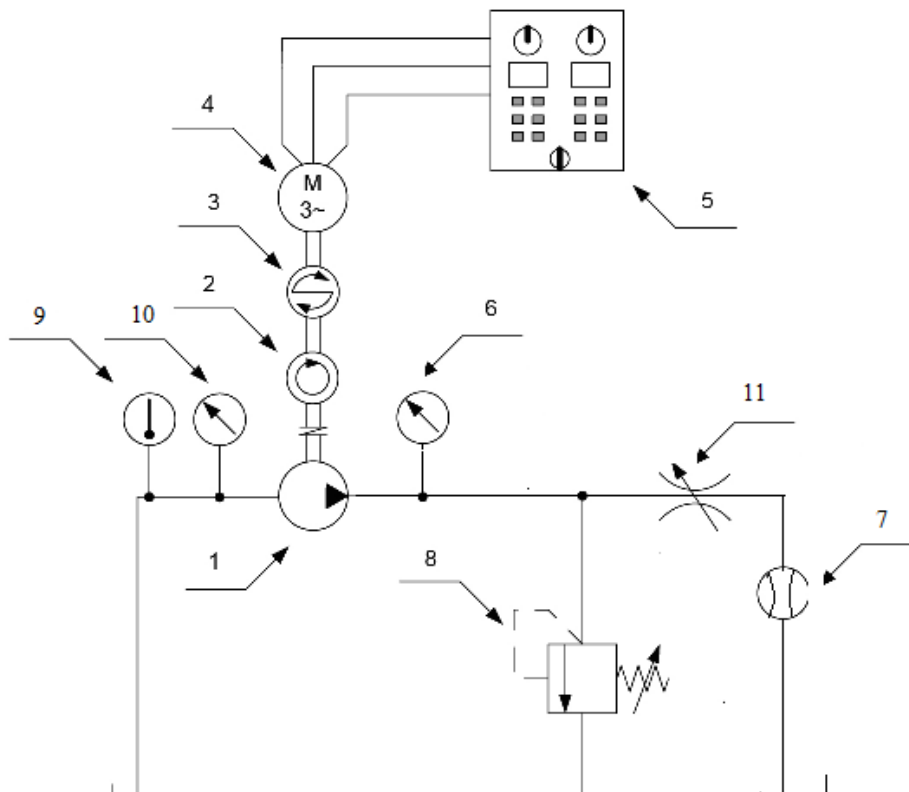
1. Schemat układu pomiarowego i sposób przeprowadzania ćwiczenia

Schemat uniwersalnego stanowiska pomiarowego do wyznaczania charakterystyk statycznych i dynamicznych elementów mikrohydraulicznych przedstawiono na rys. 2. Stanowisko pozwala na określenie charakterystyki nie tylko generatora, ale również pozostałych elementów takich jak rozdzielacze, zawory zwrotne, dławiące, itp. W skład zestawu wchodzi pompa wporowa 1, która napędzana jest przez silnik 3-fazowy z chłodzeniem obcym (typ silnika *Slh80-B2/PO* o mocy 0,75 kW 10 wyprodukowany przez firmę Besel S.A.). Pompa wporowa jest elementem wymiennym i w zależności od potrzeb może być zamontowana dowolna jednostka wporowa o wydajności właściwej od 0,1 do 1,2 dm³/obr. Prędkość obrotowa silnika może być zmieniana płynnie dzięki zastosowaniu szafy sterującej z wbudowanym falownikiem *SS-01/07-10/PWR 11*. Układ ten pozwala na nastawę prędkości obrotowej silnika w zakresie od 0 do 1750 obr/min.

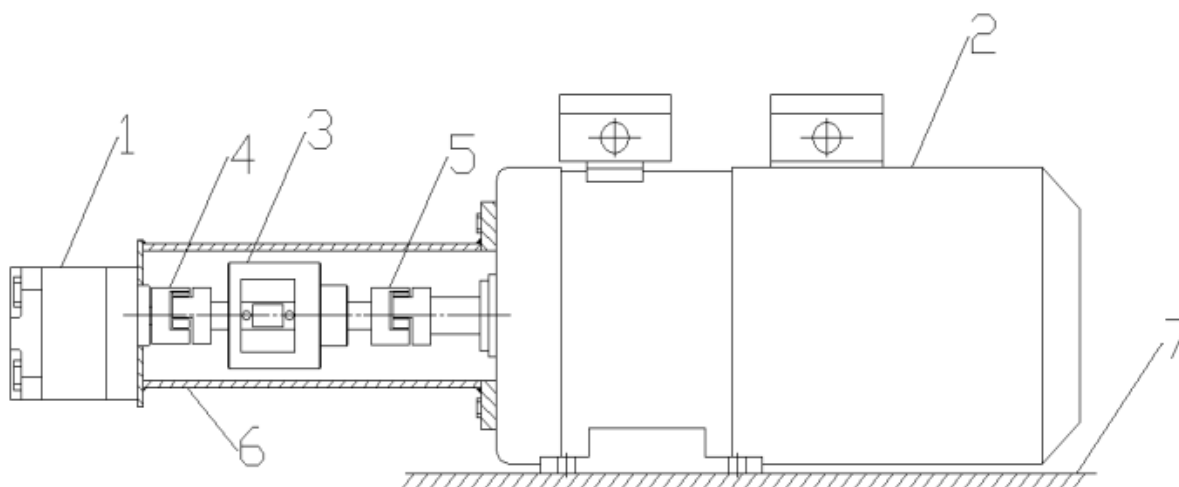
Zainstalowana pompa 1 jest zabezpieczona przed przeciążeniem przez nastawny zawór bezpieczeństwa 8. Obciążenie jednostki wporowej realizowane jest przez zawór dławiący 11. Wydajność rzeczywista Q_{rz} mierzona jest za pomocą przepływomierza typu *K-SCVF-002-10-07X* firmy Parker 6 o zakresie pomiarowym 0,01–2,0 dm³/min. Manometr 6 pozwala na odczyty ciśnienia tłocznego pompy. Moment M na wale pompy mierzony jest za pomocą

momentomierza *MT5Nm-N24* o zakresie pomiarowym ± 5 Nm 9 podłączonego do miernika *MW2006-2*. Prędkość obrotowa n pompy 1 kontrolowana jest na wałku momentomierza za pomocą czujnika magnetycznego. Momentomierz zamontowano zgodnie z rys. 3 na wałku silnika napędowego, za pomocą sprzęgła podatnego *ROTEX GS* firmy KTR 5. Zestaw pomiarowy pozwalał na rejestrowanie momentu obrotowego na wale silnika, oraz jego prędkości obrotowej w czasie rzeczywistym. Wskazania są wyświetlane na mierniku *MW2006-2*. Moment napędowy jest przekazywany na badaną pompę 1 przez sprzęgło podatne *ROTEX GS* produkcji KTR 4..

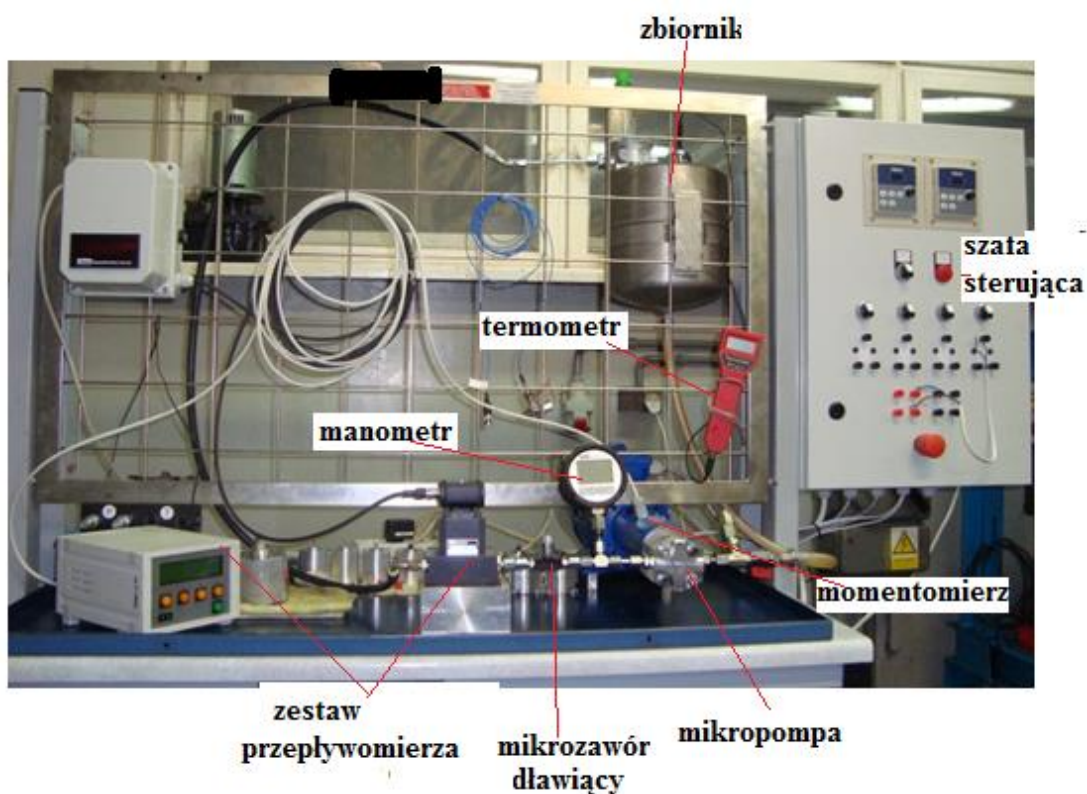
Badania przeprowadza się po uruchomieniu próbnym stanowiska. Podczas tego ruchu należy sprawdzić działanie pompy, zaworu bezpieczeństwa oraz wskazania wszystkich przyrządów pomiarowych. Po ustaleniu się właściwych parametrów eksploatacyjnych pompy można przystąpić do przeprowadzania pomiarów wielkości charakteryzujących pompę 1. Pomiar rozpoczyna się od nastawienia określonych prędkości kątowych wałka pompy ($n = 900, 1000, 1200$ obr/min). Obciążenia pompy realizować dla $p_t = 0/2/4/6/8/10/12/14/16/18$ MPa. Po ustabilizowaniu się warunków pracy pompy należy odczytać wskazania na miernikach wielkości mierzonych. Dla każdego punktu pomiarowego należy przeprowadzić do pięciu pomiarów wielkości mierzonych. Badania charakterystyk statycznych przeprowadza się dla stałej wartości temperatury czynnika roboczego 323 K.



Rys.2 Schemat hydrauliczny układu badawczego. 1 – mikropompa zębata, 2 – obrotomierz, 3 – momentomierz, 4 – silnik elektryczny, 5 – szafa sterująca, 6 – manometr, 7 – przepływomierz, 8 – zawór bezpieczeństwa, 9 – termometr, 10 – manowakuometr, 11 – zawór dławiący.



Rys.3. Zespół pompujący z momentomierzem: 1 –mikro pompa zębata, 2 –trzy-fazowy silnik napędowy z chłodzeniem obcym, 3 – momentomierz MT5Nm-N24, 4,5 – sprzęgła podatne ROTEX GS, 6 – obudowa, 7 – podstawa



Rys. 4 Fotografia stanowiska badawczego.

5. Wzory [praktyczne] dotyczące pomp wyporowych i materiały dodatkowe

Wydajność pompy

$$Q = \varepsilon \times q \times n \times \eta_v / 1000$$

gdzie: Q - wydajność [dm³/min]

q - wydajność jednostkowa [cm³/obr]

n - prędkość [obr/min]

η_v - sprawność wolumetryczna

ε parametr nastawy pompy, $0 < \varepsilon < 1$ dla pompy stałej wydajności =1.

Moment na wale pompy:

$$M = q \times p / 63 \times \eta_{hm}$$

gdzie: M - moment [Nm]

q - wydajność jednostkowa [cm³/obr]

p - ciśnienie [bar]

η_{hm} - sprawność hydrauliczno-mechaniczna

Moc do napędu pompy

$$N = Q \times p / 600 \times \eta_c$$

gdzie: N - moc [kW]

Q - wydajność [dm³/min]

p - ciśnienie [bar]

η_c - sprawność całkowita

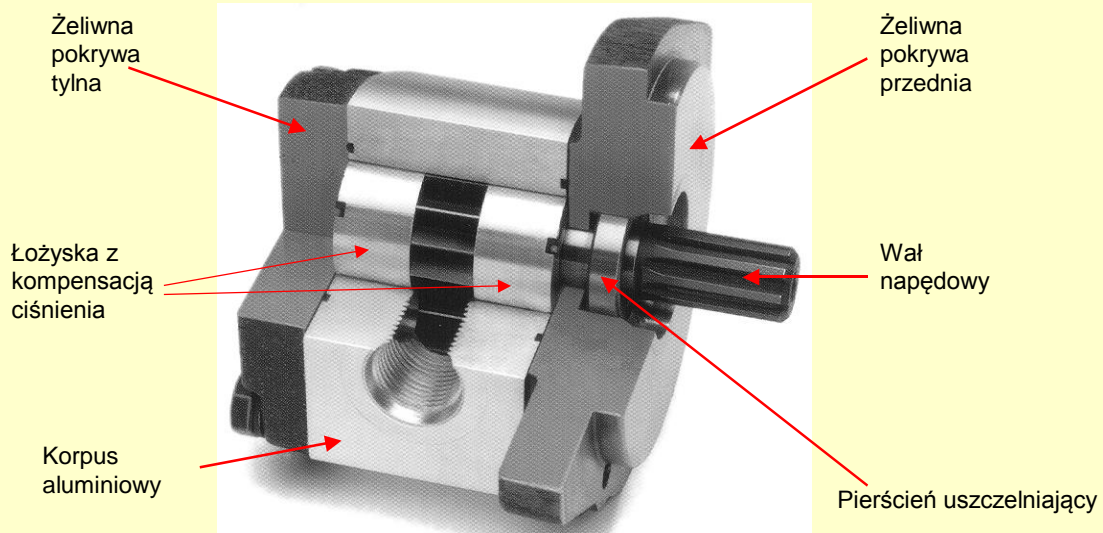
Sprawność całkowita

Sprawność całkowita uwzględnia straty energii wynikające ze strat objętościowych oraz hydrauliczno-mechanicznych i wyraża się wzorem:

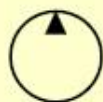
$$\eta_c = \eta_v \times \eta_{hm}$$



Pompa zębata



61



Pompa zębata



Pompy PZ3 PZ3 Pumps		grupa group	I						II						III									
Geometryczna objętość robocza Geometric displacement		V_g [cm ³]	1	1.4	2.5	4	6.3	4	6.3	8	10	12.5	16	20	12.5	16	20	25	32	40	50	63		
Wydajność nominalna przy p_n i n_n Minimum capacity at p_n and n_n		Q_{min} [l/min]	1.2	2.0	3.4	5.4	8.5	5.1	8.2	10.8	13.5	16.0	21.0	26.0	16.8	21.6	27.0	33.7	43.2	54.0	70.0	84.6		
Ciśnienie: Pressure:	nom	p_n [MPa]	20		16		12.5		20		16		12.5		20		16		12.5					
	max	p_{max} [Mpa]	25		20		15		25		20		15		25		20		15					
Prędkość obrotowa: Rotational speed:	nominal [rot/min]	n_n [obr/min]	1700																					
	min [rot/min]	n_{min} [obr/min]	900						600						600						580			
	max [rot/min]	n_{max} [obr/min]	4000				3000		4000				3000		2500		3000				2200		2000	
Ciśnienie na wejściu Inlet pressure		p_i [MPa]	-0.03 - +0.40																					
Kierunek obrotów Direction of rotation		lewy lub prawy w zależności od zamówienia counterclockwise or clockwise (according to order)																						
Charakter pracy przy: Perf. Charakteristic at:	ciśn. nom. nom pressure	praca ciągła continuous performance																						
	ciśn. max. max pressure	praca krótkotrwała (max. 30 s) intermittent performance (max. 30 s)																						
Zakres lepkości cieczy roboczej Range of visc. of working liquid		mm ² /s	8 - 2000																					
Zalecana ciecz robocza Recommended working liquid		olej mineralny o dobrych właściwościach smarowych i lepkości 37 - 115 mm ² /s w danej temp. pracy mineral oil of good lubricating ability and viscosity 37 - 115 mm ² /s at a given working temp.																						
Nominalna dokładność filtrowania cieczy roboczej Nominal filtration of working liquid		µm	25																					
Zakres temperatury cieczy roboczej Range of temp. of working liquid		°K(°C)	253 - 333 (-20 - +60)																					
Moc maksymalna przy p_n i n_n Maximum power at p_n and n_n		(N)kW	0.91	1.33	1.76	2.13	3.35	2.42	3.65	4.53	5.60	6.66	7.20	7.30	7.00	9.00	11.2	14.1	14.4	18.8	18.0	21.6		
Masa Weight		kg	1.3	1.3	1.4	1.5	1.7	2.9	3.1	3.1	3.2	3.3	3.5	3.7	4.4	6.6	6.7	6.9	7.2	7.5	7.7	8.8		

Dane pompy zębatej PZ3 – przykład karty katalogowej.

Co to jest pompa?

Pompa jest elementem służącym do zmiany energii mechanicznej, doprowadzonej od silnika napędowego (elektrycznego lub spalinowego), na energię ciśnienia zakumulowaną w przetłaczanym czynniku roboczym. Pompa jest generatorem strumienia, a na skutek istniejących oporów w odbiorniku zostaje wytworzone ciśnienie. Pompa powinna umożliwiać:

- uzyskanie wysokich ciśnień roboczych z jak najwyższymi sprawnościami,
- zapewnienie odpowiedniej i najmniej zmieniającej się wydajności (pulsacji) w zakresie ciśnień roboczych.