

**Zagadnienia z przedmiotu**  
**EKSPLOATACJA SYSTEMÓW MECHATRONICZNYCH W ROLNICTWIE**  
**26,27-05-2020 r.**

Proszę zapoznać się z zagadnieniami. Następnie proszę sporządzić krótką notatkę do podanych niżej punktów. Wykonaną pracę proszę przesłać na mój adres mailowy w formie skan lub zdjęcie. Wykonana praca będzie podstawą obecności, będzie oceniana. W razie pytań lub jakichkolwiek trudności proszę o kontakt mailowy lub telefoniczny ( tel. 530 630 395). Jeśli ktoś ma zaległe pracę proszę również w miarę możliwości przesłać.

*Temat: Układy hydrauliczne*

- 1. Prawo Pascala*
- 2. Lepkość cieczy i harakter oleju hydraulicznego*
- 3. Natężenie przepływu cieczy w przewodach zasilających.*

*Efekty pracy ( skany lub zdjęcia) proszę przesłać na mój adres mailowy:*

*[szpilapiotr@radymno.edu.pl](mailto:szpilapiotr@radymno.edu.pl)*

*Termin: 02 -06-2020 r*

*Pozdrawiam serdecznie*

*Piotr Szpila*

## Układy hydrauliczne

Układy hydrauliczne, jako jedne z niewielu systemów przenoszenia energii charakteryzują się wyjątkowo korzystnym współczynnikiem masy do wytworzonej siły. Przekazywanie energii przez ciecz jest związane również z wyjątkową odpornością systemów i układów hydraulicznych na przeciążenia. Jest to niezwykle ważna cecha, umożliwiająca ich stosowanie w warunkach, kiedy elementy robocze narażone są na mało przewidywalne zakłócenia z wiązane ze wzrostem oporów ruchu. Szybki wzrost udziału elektronicznych systemów sterowania pozwala na tworzenie kombinacji elektro-hydraulicznych elementów wykonawczych o z jednej strony wysokich właściwościach dynamicznych, z drugiej o dużej precyzji działania.

Układy hydrauliki siłowej wykorzystywane są powszechnie jako elementy wykonawcze w systemach mechatronicznych. Przy rozpatrywaniu wszystkich układów hydraulicznych zakłada się, że ciecz jest medium nieściśliwym. Urządzenia hydrauliki siłowej wykorzystują kilka zasad, które krótko zostaną opisane poniżej.

**Prawo Pascala** mówi, że ciśnienie cieczy zamkniętej w naczyniu działa we wszystkich kierunkach jednakowo. Na rysunku przedstawiono schemat podnośnika hydraulicznego wykorzystującego Prawo Pascala do przekładni

hydraulicznej. Według prawa Pascala ciśnienie w naczyniach połączonych musi być takie same, czyli:  $p_1 = p_2$

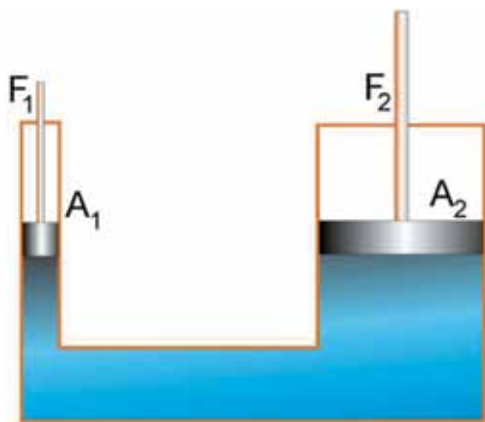
ponieważ wartość ciśnienia cieczy jest opisana wzorem ogólnym:  $p = \frac{F}{A}$ ; gdzie  $F$  – jest wartością siły, zaś  $A$  – jest powierzchnia pod tłokiem.

W takim przypadku równanie opisujące prawo Pascala przyjmie postać:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

Wobec tego jeżeli z jednej strony będziemy działali siłą  $F_1$  na tłok o powierzchni  $A_1$ , to drugi tłok będzie wytwarzał siłę opisaną zależnością:

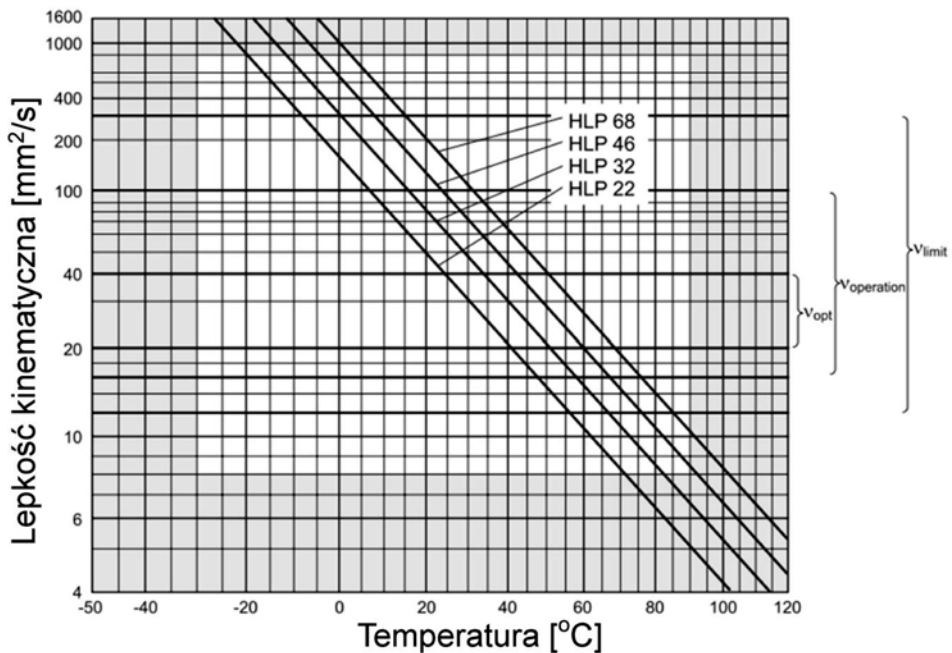
$$F_2 = F_1 \cdot \frac{A_2}{A_1};$$



Zasada działania dźwigni hydrostatycznej.

### Lepkość cieczy i charakter oleju hydraulicznego

Ciecz wykorzystywana w układach hydraulicznych musi charakteryzować się pewnymi cechami umożliwiającymi poprawną pracę układów, w których jest wykorzystywana. Jej podstawowym zadaniem jest przeniesienie energii ale olej hydrauliczny chroni powierzchnie współpracujące przed korozją, zbyt szybkim zużyciem i zapewnia odprowadzenie ciepła. Jednym z parametrów cieczy hydraulicznych jest ich lepkość. Lepkość jest miarą tarcia wewnętrznego pomiędzy cząsteczkami cieczy. W pomiarach parametrów cieczy wykorzystywana jest lepkość dynamiczna  $\mu$ , której jednostką jest  $kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ . Pochodną lepkości dynamicznej jest lepkość kinematyczna  $\nu$ , zdefiniowana, jako iloraz lepkości dynamicznej i gęstości cieczy  $\rho$ . Opisaną równaniem:  $\nu = \frac{\mu}{\rho}$  jednostką lepkości kinematycznej jest  $(m^2 \cdot s^{-1})$ .



**wykres zmian wartości lepkości kinematycznej mineralnego oleju hydraulicznego.**

Na rysunku przedstawiono, wykres zmian lepkości kinetycznej oleju w funkcji temperatury. Ze względu na silny związek pomiędzy lepkością kinematyczną i temperaturą należy ściśle przestrzegać stosowania zalecanych przez producentów hydrauliki siłowej materiałów eksploatacyjnych. Zbyt niska lepkość oleju może doprowadzić do tarcia półsuchego suchego pomiędzy współpracującymi elementami. Minimalna zalecana przez producentów lepkość oleju wynosi  $v=8 \text{ mm}^2/\text{s}$ . W tych warunkach praca powinna być prowadzona przy obniżonym o 50% ciśnieniu nominalnym. Najwyższa lepkość podczas rozruchu urządzeń nie powinna przekraczać  $v = 1000 \text{ mm}^2/\text{s}$ . Zwykle producenci cieczy roboczych tak dobierają składniki uszlachetniające, aby optymalna lepkość oleju wynosząca 20-40  $\text{mm}^2/\text{s}$  była osiągnięta w temperaturze od 20°C do 70°C.

**Czystość cieczy roboczej.** W czasie pracy urządzeń hydraulicznych do oleju dostają się zanieczyszczenia powstające w wyniku zużywania się elementów roboczych ale również powstające w wyniku naturalnego zużycia oleju lub jego pracy w nieodpowiednich warunkach. Zadaniem systemu filtracji jest wychwycenie tych zanieczyszczeń. Producenci elementów hydrauliki siłowej zawsze, obok parametrów technicznych oleju podają dopuszczalną zawartość zanieczyszczeń w cieczy roboczej. Zawartość zanieczyszczeń w cieczy roboczej

opisana jest przez normę czystości cieczy ISO 4406-1999. Norma ta podaje dopuszczalną zawartość zanieczyszczeń przewidywanych dla danego urządzenia. Zalecenia podawane są, jako kod 3 cyfrowy oddzielony ukośnikiem (np. 22/18/13 ISO 4406).

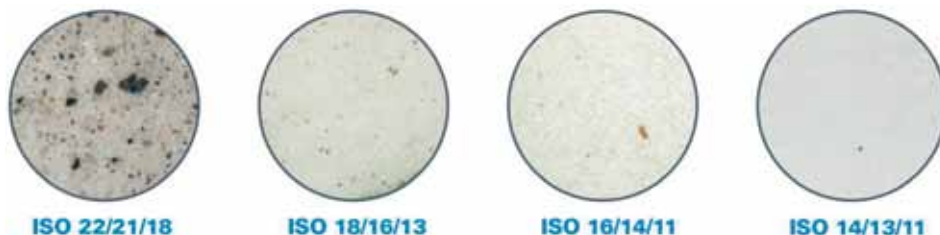
**Klasyfikacja i kodyfikacja zanieczyszczeń oleju zgodnie z norma ISO 4406:1999**

ISO 4406:1999 Tablica Kodowania		
Kod	Graniczna liczba cząsteczek na cm <sup>3</sup>	
	Zawiera więcej sztuk zanieczyszczeń niż	Zawiera mniej sztuk zanieczyszczeń niż
24	80000	16000
23	40000	80000
22	20000	40000
21	10000	20000
20	5000	10000
19	2500	5000
18	1300	2500
17	640	1300
16	320	640
15	160	320
14	80	160
13	40	80
12	20	40
11	10	20
10	5	10
9	2,5	5
8	1,3	2,5
7	0,64	1,3
6	0,32	0,64

Kolejne liczby oznaczają przynależność do określonej kategorii czystości przez nie przekraczanie zakładanej liczby zanieczyszczeń. Kolejne pozycje oznaczają cząstki o średnicy większej od: 4µm, 6µm, 14µm. Rozmiary cząstek zanieczyszczeń ujęte w normie zostały wybrane ze względu na ich potencjalne niszczące oddziaływanie na dwie przemieszczające się powierzchnie oddzielone filmem olejowym.

**Przykład.** Producent podał poziom czystości oleju dopuszczonego do pracy z pompami jako: 22/18/13 ISO4406. Podać jaka jest maksymalna liczba

zanieczyszczeń znajdujących się w oleju o określonej średnicy. Z tabeli można odczytać, że dla zanieczyszczeń o średnicy większej niż  $4\mu\text{m}$ , poziom zanieczyszczeń znajduje się w grupie 22. Maksymalna liczba zanieczyszczeń odczytana z tabeli wynosi  $40000 \text{ szt./cm}^3$ . Liczba zanieczyszczeń przekraczających  $6\mu\text{m}$  (grupa 18) nie powinna być wyższa niż  $2500 \text{ szt./cm}^3$ . Zanieczyszczenia o średnicy powyżej  $14\mu\text{m}$  (13 grupa) nie powinny przekraczać  $80 \text{ szt./cm}^3$ .



**Przykład wielkości zanieczyszczeń jakie mogą się znajdować w układzie hydraulicznym przy spełnianiu wybranego poziomu czystości cieczy.**

## **Natężenie przepływu cieczy w przewodach zasilających. Lepkość cieczy**

Przepływ cieczy w przewodach hydraulicznych jest ograniczona z jednej strony przez lepkość cieczy, z drugiej strony przez wymuszenie jakim jest różnica ciśnienia pomiędzy pompą a odbiornikiem jakim jest silnik hydrauliczny. Ciecz w przewodzie może przepływać w sposób uwarstwiony (laminarny) lub zakłócony (turbulentny). Przejście z przepływu laminarnego w turbulentny zależy od geometrii przekroju wewnętrznego kanału, nierównomierności występujących na powierzchniach wewnętrznych przewodów, szybkości przepływu oraz rodzaju cieczy. Charakter przepływu może być stwierdzony przez obliczenie wartości liczby Reynolds'a, wyrażającej proporcję pomiędzy siłami bezwładności i siłami lepkości badanej cieczy.

**Liczba Reynolds'a**, dla której przepływ staje się turbulentny nosi nazwę krytycznej. Dla przepływu cieczy przez przewodu o przekroju kołowym krytyczna wartość liczby Reynoldsa wynosi  $Re_k=2300^3$ , dla  $Re_e < 2000$  przepływ cieczy nosi cechy przepływu laminarnego<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> HOF, B., JUEL, A. & MULLIN, T. 2003. Scaling of the turbulence transition threshold in a pipe. Phys. Rev. Lett., 91, 244502.

<sup>4</sup> KUCUR, M. & UZAL, E. 2007. Controlling critical Reynolds number of parallel plate flow by boundary input. Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal, 79, 507–510.

Liczba Reynoldsa może być wyznaczona ze wzoru:

$$Re = \frac{\rho \cdot V_{sr} \cdot D}{\mu}$$

Gdzie  $V_{sr}$  jest średnią prędkością przepływu cieczy i może być wyznaczona ze wzoru:

$$V_{sr} = \frac{Q}{A}$$

Z wzorów przedstawionych powyżej, wynika wyjściowa zależność pozwalająca na wyznaczenie liczby Reynoldsa:

$$Re = \frac{\rho \cdot Q \cdot D}{\mu \cdot A}$$

### **Natężenie przepływu oleju w przewodzie poziomym.**

Założenia wstępne analizy przepływu przez wąż hydrauliczny: przepływ jest stały bez zmian ciśnienia wejściowego, efekty wejściowe są pomijalne (brak danych dotyczących otworu wejściowego), wąż hydrauliczny nie zawiera elementów zakłócających takich jak: kryzy, zawory, złączki (brak danych). Jeżeli założymy ciągłość strumienia cieczy, to rozkład jej prędkości wewnątrz przewodu o przekroju kołowym przedstawiony został na rysunku. Dla istniejących warunków przepływu cieczy  $p_1 > p_2$ , profil rozkładu prędkości jest paraboliczny. Gradient zmian wartości wektora prędkości zależy od tarcia cieczy o ścianki wewnętrzne przewodu.



**Rozkład prędkości przepływu cieczy wewnątrz przewodu o przekroju kołowym dla przepływu laminarnego.**

Dla cieczy ciągłej i nieściśliwej jej ruch opisany jest równaniem:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0;$$

Jeżeli założymy, że mamy do czynienia z przepływem laminarnym o przepływie równoległym do osi przewodu, w którym  $\frac{\partial v_y}{\partial y} = 0$  oraz  $\frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$ . Prędkość przepływu cieczy  $v_x$  zależy tylko od odległości  $r$  od osi przewodu

(założenia Hagen'a Poiseuille'a<sup>5</sup>). W tych warunkach uproszczone równanie Navier-Stokes'a ma postać:

$$\frac{\partial^2 v_x}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \left( \frac{\partial v_x}{\partial r} \right) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial v_x}{\partial r} \right) = \frac{1}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x}$$

Równanie różniczkowe zupełnej opisujące prędkość cieczy  $v_x$  wewnątrz przewodu jest zależne od odległości od osi symetrii przewodu ( $r$ ) i wartość ciśnienia  $p$  jest funkcją zależną od odległości  $x$  (długości przewodu). Rozwiązując równanie (2) otrzymujemy wzór opisujący prędkość cieczy w zależności od odległości od środka osi przepływu:

$$v_x = \frac{r^2}{4\mu} \frac{\partial p}{\partial x} + a$$

gdzie  $a = -\left(\frac{D}{2}\right)^2 \left(\frac{\partial p}{\partial x}\right) \left(\frac{1}{4\mu}\right)$

Zatem dla przepływu Poiseuille'a prędkość przepływu cieczy w odległości  $r$  od osi przewodu wynosi:

$$v_x = \frac{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - r^2}{4\mu} \left(-\frac{\partial p}{\partial x}\right)$$

Objętościowe natężenie przepływu  $Q$  można wyznaczyć przez całkowanie (sumowanie) wartości prędkości przepływu w dziedzinie odległości  $r$  od środka przepływu:

$$Q = \int_0^{\frac{D}{2}} v_x(2\pi r) dr = \frac{\pi}{2\mu} \left(-\frac{\partial p}{\partial x}\right) \int_0^{\frac{D}{2}} r \left(\left(\frac{D}{2}\right)^2 - r^2\right) dr = \frac{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^4}{8\mu} \left(-\frac{\partial p}{\partial x}\right) = \frac{\pi D^4}{128\mu} \left(-\frac{\partial p}{\partial x}\right)$$

Jeżeli wyrażenie  $\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{p_2 - p_1}{L}$  to równanie (5) przyjmie postać:

$$Q = \frac{(p_1 - p_2) \cdot \pi \cdot D^4}{128 \cdot \mu \cdot L}$$

Otrzymane równanie (6) opisuje prawo przepływu Hagen-Poiseuill. Warto zauważyć, że w myśl równania średnica wewnętrzna przewodu jest silniejszym determinantem ograniczającym objętościowe natężenie przepływu, niż sama długość przewodu.

W przypadku przewodu umocowanego pod pewnym kątem do poziomu, wypływ cieczy wspomagany jest lub ograniczany przez działającą siłę grawitacji. Wartość zależy w głównej mierze od gęstości cieczy  $\rho$  oraz kąta pochylenia przewodu  $\alpha$ .



Wielkość wyptywu cieczy w przypadku spadku(pochylenia) przewodu w kierunku wyptywu, moze byc opisana zaleznoscia:

$$Q = \frac{((p_2 - p_1) + \rho \cdot g \cdot L \cdot \sin \alpha) \cdot \pi \cdot D^4}{128 \cdot \mu \cdot L};$$