



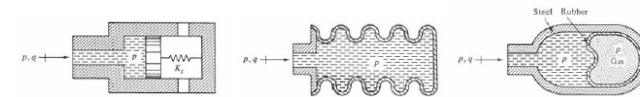
## Wprowadzenie do mechatroniki

### Urządzenia nastawcze – aktory płynowe i piezoelektryczne

dr inż. Roland PAWLICZEK

### Aktory płynowe

- Aktory płynowe - **hydrauliczne i pneumatyczne** urządzenia nastawcze.
- Do wywoływania sił i ruchów wykorzystuje się ciekłe lub gazowe nośniki energii.
- Główne zastosowanie: **przetworniki liniowe**.
- **Uwaga:** trudność w wykonaniu precyzyjnych zadań pozycjonowania z powodu ścisłości cieczy lub gazów.
- Zaletą jest uzyskiwanie dużych mocy.
- Ponieważ moc płynowa zależy od ciśnienia i strumienia objętości cieczy, w konstrukcjach przetworników płynowych konieczne są urządzenia do wytwarzania i ciśnienia i magazynowania ośrodka ciśnieniowego.



### Aktory płynowe - zastosowania

#### Zastosowania w przemyśle maszynowym:

- sterowanie sekwencyjne – operacje typu włącz-wyłącz, otwórz-zamknij,
- urządzenia uchwytowe w obrabiarkach,
- elementy ruchome w urządzeniach dużych mocy – siłowniki koparek, podnośników, dźwigów, itp.

#### Zastosowania w przemyśle samochodowym:

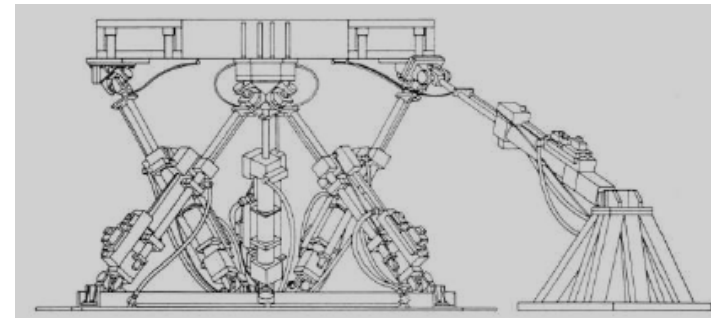
- wspomaganie układu kierowniczego i hamulcowego,
- hydrauliczny układ hamulcowy,
- układy przewietrzania – klimatyzacja.

#### Zastosowania w przemyśle lotniczym:

- system sterowania lotem (podnoszenie-opuszczanie lotek, ruch sterów kierunkowych, itp.),
- hydrauliczne układy hamulcowe,
- systemy klimatyzacyjne.

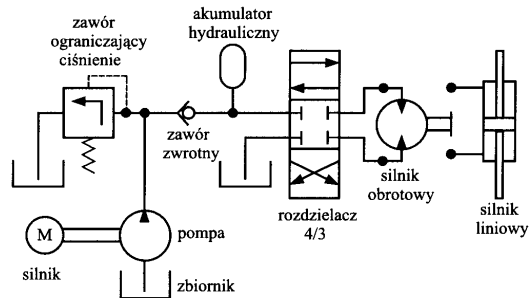
### Aktory płynowe - zastosowania

#### Symulator lotów.



## Aktory płynowe

### Podstawowa struktura systemu hydraulicznego:

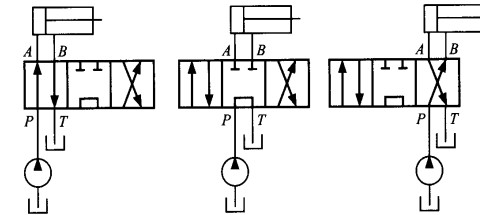


- Układy hydrauliczne zwykle buduje się w **układzie zamkniętym**.
- W zastosowaniach mechatronicznych aktory płynowe stosuje się jako człony nastawcze i serwomotory.

## Aktory płynowe

### Przetworniki mechaniczno - hydrauliczne

Zastosowanie: zawory sterujące i wspomagające



### Zawór rozdzielający (Rozdzielacz 4/3):

A, B - przyłączenia robocze

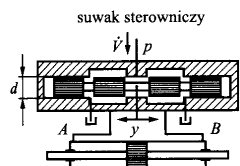
P - przyłącze ciśnieniowe, pompa

T - przyłącze odpływowe, zbiornik

Sterowanie rozdzielaczem może się odbywać mechanicznie, elektromechanicznie, magnetycznie.

## Aktory płynowe

### Sterowanie zaworami rozdzielającymi



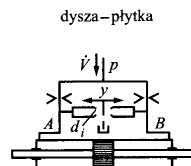
przesuwanie suwaka przez magnes proporcjonalny

$$d = 4...12 \text{ mm}$$

$$y_{\max} = \pm 1... \pm 4 \text{ mm}$$

$$p = \dots 350 \text{ bar}$$

$$\dot{V} = 5...200 \text{ l/min}$$



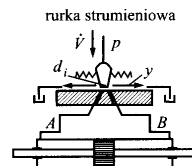
przesuwanie płytki przez silnik wychyłny lub cewkę

$$d_i = 0,25...0,5 \text{ mm}$$

$$y_{\max} = \pm 60... \pm 75 \text{ }\mu\text{m}$$

$$p = \dots 350 \text{ bar}$$

$$\dot{V} = 0,3...2,5 \text{ l/min}$$



przesuwanie rurki strumieniowej przez silnik wychyłny

$$d_i = 0,12...0,2 \text{ mm}$$

$$y_{\max} = \dots \pm 0,47 \text{ mm}$$

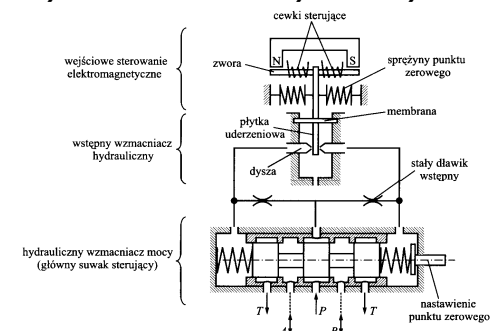
$$p = \dots 210 \text{ bar}$$

$$\dot{V} = 0,1...2,5 \text{ l/min}$$

Niskie moce wyjściowe na odpowiednio małych drogach  $y$  pozwalają uzyskać na wyjściu duże moce wyjściowe rozdzielacza.

## Aktory płynowe

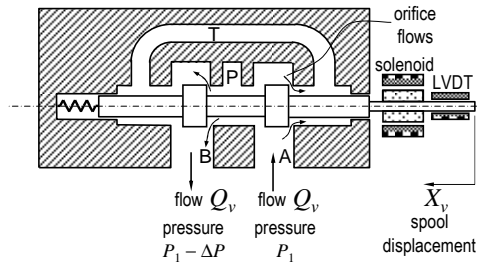
### Dwustopniowy serwowzawór elektrohydrauliczny



**Część sterownicza** - nastawnik energii, pracuje przy stałym ciśnieniu. Czas reakcji dobry - małe masy przemieszczane na krótkich drogach. Wadą są straty na dławieniu w układzie sterowania.

## Aktory płynowe

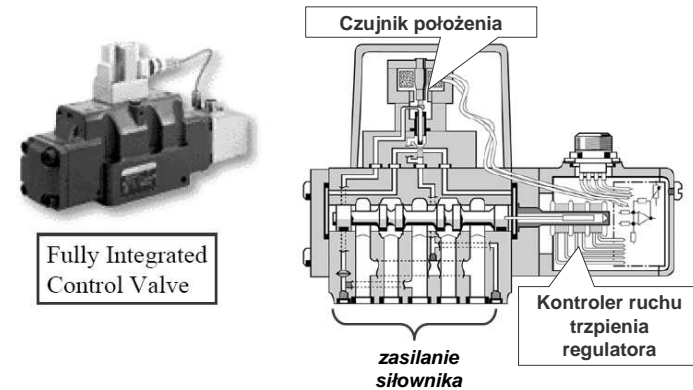
### Sterowany zawór proporcjonalny



**Część sterownicza** - solenoidowy kontroler i czujnik LDTV

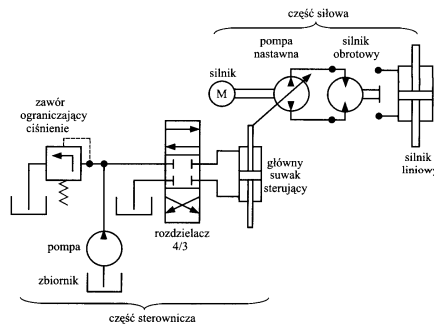
## Aktory płynowe

### Zintegrowany zawór sterujący



## Aktory płynowe

### Sterowanie wyporowe



**Część sterownicza** - nastawnik energii powoduje ruch suwaka sterującego, a ten zmienia parametry przepływu w części siłowej aktora. Czas reakcji długi - poruszane są duże masy przemieszczane na stosunkowo długich drogach.

## Porównanie aktorów elektrycznych i płynowych

- Przy tych samych gabarytach aktory płynowe mogą dostarczać moc wielokrotnie większą np. w przemyśle maszynowym do 5x a w przemyśle lotniczym nawet do 30 razy większą.
- Przetworniki hydrauliczne pozwalają na uzyskanie większych sił.
- Silniki elektryczne charakteryzują się dużą bezwładnością - nie mogą więc pracować z dużymi przyspieszeniami - w przypadku aktorów płynowych duża ich moc daje lepszą dynamikę pracy.
- Rozpraszanie ciepła - przepływ cieczy w układach hydraulicznych ułatwia odprowadzenia ciepła z obszaru pracy. W przypadku przetworników elektro-mechanicznych ten proces jest ograniczony, a np. zwarta budowa silnika elektrycznego utrudnia proces cyrkulacji powietrza.
- Przegrzanie układów elektrycznych i elektronicznych jest najczęstszą przyczyną ich awarii.

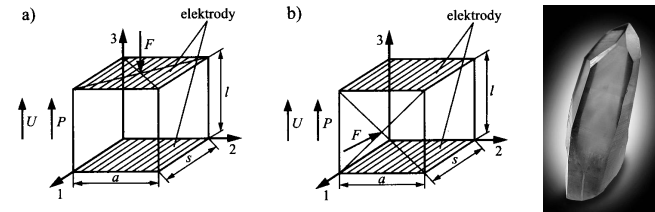
### Porównanie aktorów elektrycznych i płynowych

- W opisie matematycznym układy hydrauliczne cechują się większą nieliniowością równań, a co za tym idzie większe są trudności przy obliczeniach symulacyjnych.
- Energia elektryczna jest „czystsza” ekologicznie. Łatwiej się ją transportuje (sieci elektryczne). Wadą zasilania energią elektryczną jest wpływ zewnętrznych pól magnetycznych na proces pomiaru i przetwarzania danych procesowych.
- Układy hydrauliczne są niebezpieczne dla środowiska (oleje, płyny chłodnicze, itp.), część z nich jest łatwopalna. Układy hydrauliczne wymagają zasilaczy, które są bardzo hałaśliwe.

### Aktory piezoelektryczne

**Piezoelektryczność** – Powstawanie na przeciwległych ścianach niektórych kryształów ładunków elektrycznych o przeciwnych znakach wywołane na skutek ściskania lub rozciągania kryształów (**proste zjawisko piezoelektryczne**).

Po przyłożeniu zewnętrznego pola elektrycznego kryształ odkształca się (**odwrotne zjawisko piezoelektryczne - podłużne lub poprzeczne**).

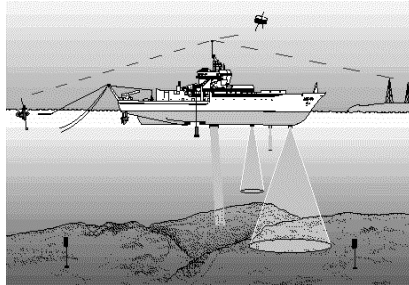


**Materiały:** kwarc, tytanian baru, sól Seignette'a (**winian sodowo - potasowy**, używany np. do produkcji napojów orzeźwiających i przy srebrzeniu luster)

### Aktory piezoelektryczne

Zjawisko piezoelektryczności zostało odkryte w 1880 roku przez Pierre'a i Jacques'a Curie. Zauważyli oni, że kwarc zmienia swoje wymiary pod wpływem działania pola elektrycznego na odwrót, generuje ładunek elektryczny na skutek deformacji mechanicznej.

Po raz pierwszy zjawisko to zostało wykorzystane praktycznie w 1920 roku przez Langevina, który wykonał kwarcowy nadajnik i odbiornik dźwięków podwodnych - pierwszy sonar.



### Aktory piezoelektryczne

#### Podstawy przetworników piezoelektrycznych

Przyjmując do analizy tylko jeden kierunek polaryzacji lub działania siły, oraz oznaczając:

- S** – deformacje mechaniczne,
- D** – indukcję elektrostatyczną,
- T** – naprężenia mechaniczne,
- E** – natężenie pola elektrycznego

efekt piezoelektryczny można opisać jako:

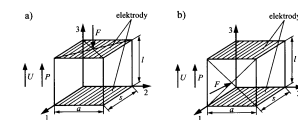
$$S = s_E T + dE$$

$$D = dT + \epsilon_T E$$

gdzie:  $\epsilon_T$  – przenikalność przy  $T = \text{const}$

$s_E$  – stała sprężystości przy  $E = \text{const}$

$d$  – stała piezoelektryczna



### Aktory piezoelektryczne

#### Stała piezoelektryczna

- dla  $E = 0$  (stan zwarcia elementu piezoelektrycznego)

$$D = dT \quad \rightarrow \quad d = \frac{D}{T}$$

stała  $d$  jest gęstością ładunku na jednostkę naprężenia mechanicznego

- dla  $T = 0$  (brak obciążenia mechanicznego)

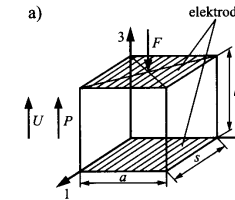
$$S = dE \quad \rightarrow \quad d = \frac{S}{E}$$

stała  $d$  jest wydłużeniem mechanicznym na jednostkę pola elektrycznego

### Aktory piezoelektryczne

#### Siła piezoelektryczna dla efektu wzdluznego:

Przy braku obciążenia zewnętrznego ( $T = 0$ ) i przyłożeniu napięcia  $U = E \cdot l$  mamy:



$$\frac{\Delta l}{l} = d_{33}E \quad \text{lub} \quad \Delta l = d_{33}U$$

### Aktory piezoelektryczne

#### Siła piezoelektryczna, cd.:

Jeżeli siła  $F$  działa w podanym kierunku to:

$$\Delta l = -\frac{l}{E_{33}as} F + d_{33}U$$

Podstawiając jako:

$$\frac{E_{33}as}{s} = c_{33}$$

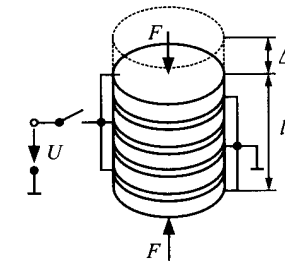
otrzymujemy siłę  $F$

$$F = -c_{33}\Delta l + c_{33}d_{33}U$$

### Aktory piezoelektryczne – rodzaje wykonania

#### Konstrukcja stosowa.

Wykorzystuje efekt podłużny. Aktywny składa się z  $n$  cienkich tarcz piezoceramicznego materiału, między którymi znajdują się elektrody doprowadzające napięcie. Im cieńsze tarcze, tym większe jest natężenie pola  $E$ , tym większa względna zmiana długości. Całkowita droga nastawiana zależy od liczby zastosowanych tarcz.

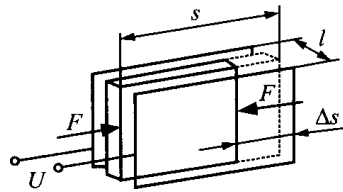


$$\Delta l = nd_{33}U$$

### Aktory piezoelektryczne – rodzaje wykonania

#### Konstrukcja pasmowa.

Wykorzystuje efekt poprzeczny. Aktor składa się z cienkich pasm piezoceramicznego materiału, które na końcach połączone są końcówkami montażowymi przenoszącymi napięcie na wszystkie pasma. Droga nastawiania zależy od długości pasm.



$$\Delta s = \frac{s}{l} d_{31} U$$

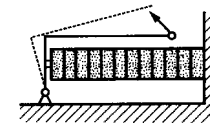
### Aktory piezoelektryczne – rodzaje wykonania

#### Konstrukcja hybrydowa.

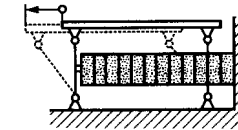
Łączy w sobie efekt piezoelektryczny i mechaniczne przełożenie dźwigniowe. pozwala to zwiększyć drogę nastawiania.

Konstrukcja wymaga konieczności kasowania luzów w przegubach, gdyż powoduje to zmniejszenie dokładności działania aktora.

Droga nastawiania zależy od długości pasm.



konstrukcja stosowa z dźwignią



konstrukcja stosowa ze zintegrowaną przewodnicą liniową

### Aktory piezoelektryczne

#### Zalety:

krótkie czasy reakcji  
duże siły nastawcze  
wysoka czułość  
brak zużycia

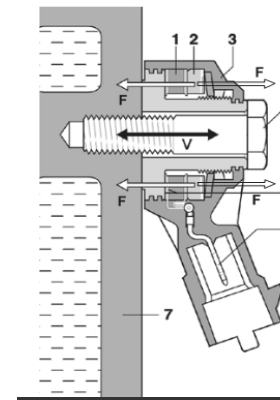
#### Wady:

małe drogi nastawcze: 70 do 200 [μm]  
wysokie napięcie wejściowe: 800 do 1500 [V]  
niewielka moc wyjściowa

#### Zastosowania:

w głowicach drukarek  
mikroprzełączniki

### Aktory piezoelektryczne



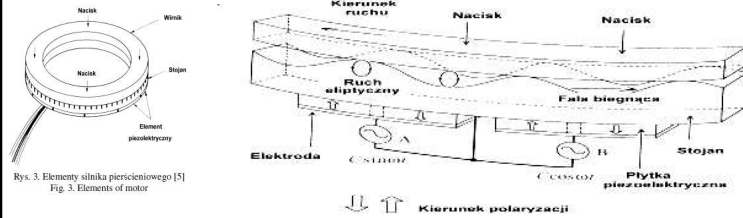
Rys. 11-11. Piezoelektryczny czujnik spalania stukowego (widok)

Rys. 11-9. Budowa czujnika spalania stukowego [11]

1 – element piezoelektryczny, 2 – masa drgająca obciążająca element piezoelektryczny, 3 – obudowa, 4 – śruba mocująca, 5 – tuleja dystansowa, 6 – styk elektryczny, 7 – kadłub silnika  
F – siły pochodzące od drgań kadłuba silnika działające na czujnik i masę 2,  
v – kierunek przeniesienia drgań

## Aktory piezoelektryczne

### Silnik z falą biegnącą



Rys. 3. Elementy silnika pierścieniowego [5]  
Fig. 3. Elements of motor

Andrzej KOŁODKO - ANALIZA SILNIKA PIEZOELEKTRYCZNEGO Z FALĄ BIEGNĄCĄ, Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Nr 50 Politechniki Wrocławskiej  
SASHIDA T., KENJO T., An introduction to ultrasonic motor, Monographs in Electrical and Electronic Engineering 28, Oxford, Clarendon Press, 1993.

## Porównanie aktorów różnego rodzaju

Dobór odpowiedniego typu aktora do postawionego zadania.

**Kryteria doboru: siły nastawcze, drogi nastawcze, czas nastawczy**  
1 - silnik prądu stałego z wrzecionem, 2 - silnik krokowy z wrzecionem, 3 - elektromagnes, 4 - aktor hydrauliczny, 5 - aktor pneumatyczny, 6 - aktor piezoelektryczny

