

# Automatyka przemysłowa

Wykład 5

*Elementy wykonawcze*

2023-05-26

Piotr Felisiak



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Politechnika Wrocławska

# Elementy wykonawcze

- W nieco ograniczonym sensie, element wykonawczy (ang. *actuator*) to urządzenie, które wykorzystuje pewien rodzaj energii i wytwarza wymaganą siłę lub moment obrotowy, zapewniając ruch obiektowi lub uruchamiając jakieś urządzenie.
- Na podstawie zasady działania, można wyróżnić elementy wykonawcze:
  - Termiczne
  - Elektryczne
  - Hydrauliczne
  - Pneumatyczne
  - Mikroelektromechaniczne (MEMS)

# Elementy wykonawcze



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



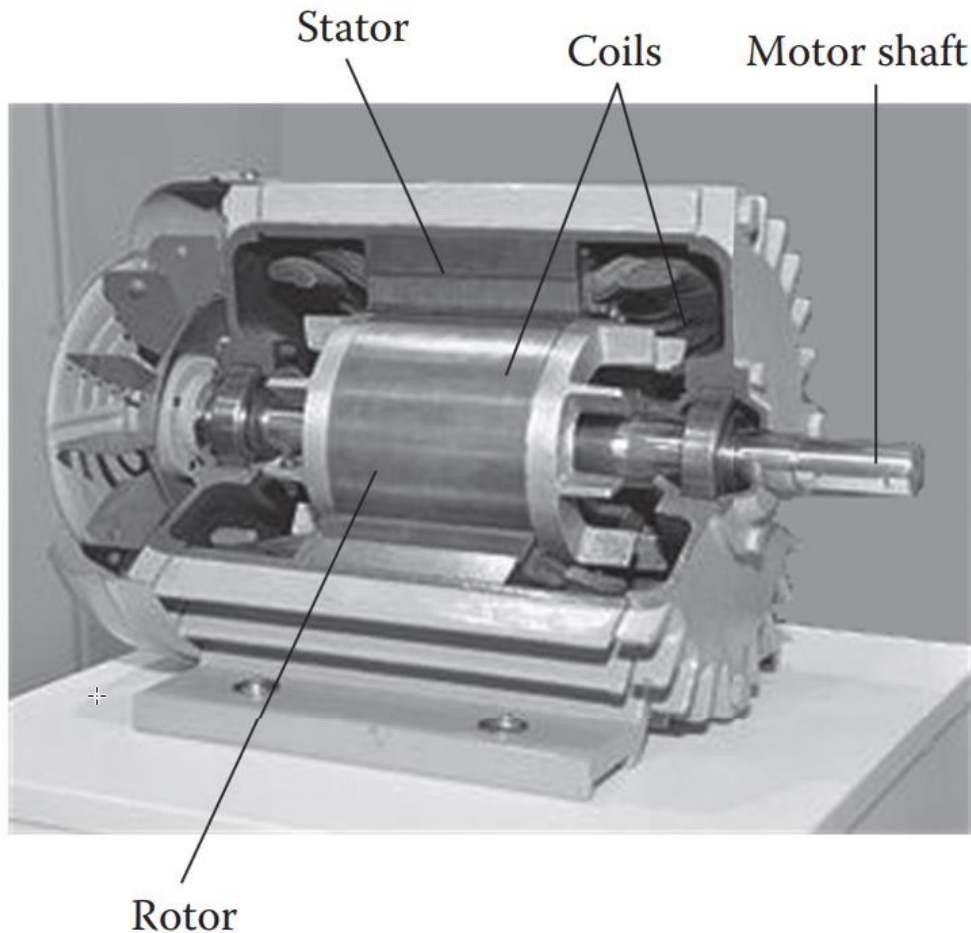
(f)

Rys. Różne typy elementów wykonawczych w automatyce przemysłowej, (a) serwomotor, (b) silnik prądu stałego, (c) silnik krokowy, (d) silnik liniowy, (e) siłownik pneumatyczny, (f) siłownik elektromagnetyczny [1]

# Silniki elektryczne

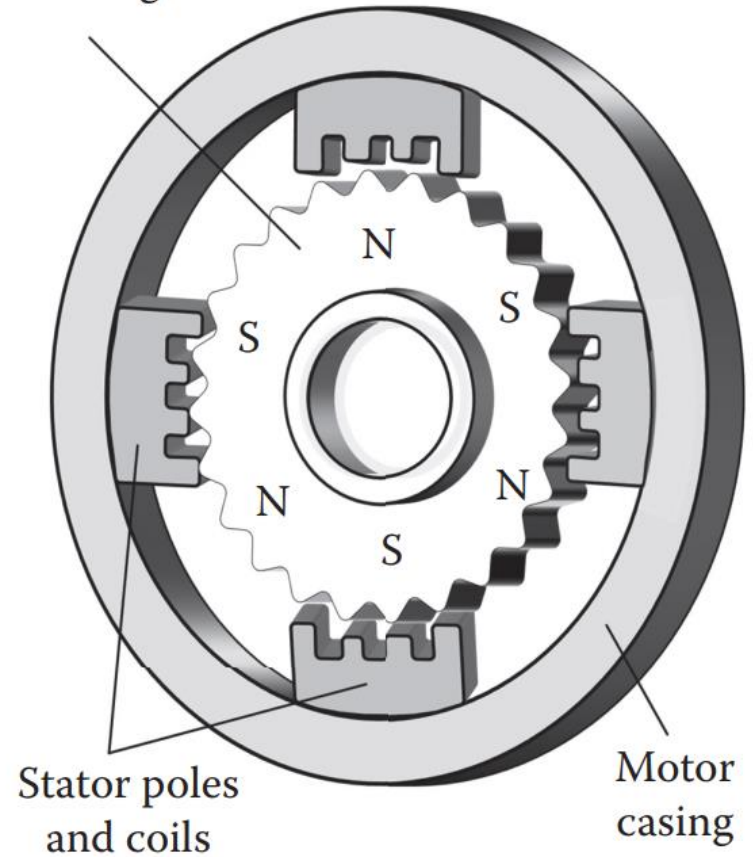
- Silniki elektryczne wykorzystują interakcję dwóch pól magnetycznych w celu wytworzenia momentu obrotowego na elemencie obrotowym zwanym *wirnikiem* (ang. *rotor*). wewnątrz stacjonarnej obudowy zwanej *stojanem* (ang. *stator*).
- Silniki indukcyjne prądu przemiennego są najczęściej stosowanymi silnikami w branży automatyki w porównaniu z silnikami prądu stałego, głównie ze względu na ich wydajność i mniejsze wymagania konserwacyjne. Jest to prostsze rozwiązanie w zastosowaniach takich jak obrabiarki, wentylatory, pompy, sprężarki, przenośniki, wytłaczarki i różne inne złożone maszyny.

# Silniki elektryczne



(a)

Teethed north and south magnetic rotor



(b)

Rys. Widok wewnętrzny silnika AC a) i silnika krokowego (b) [1]

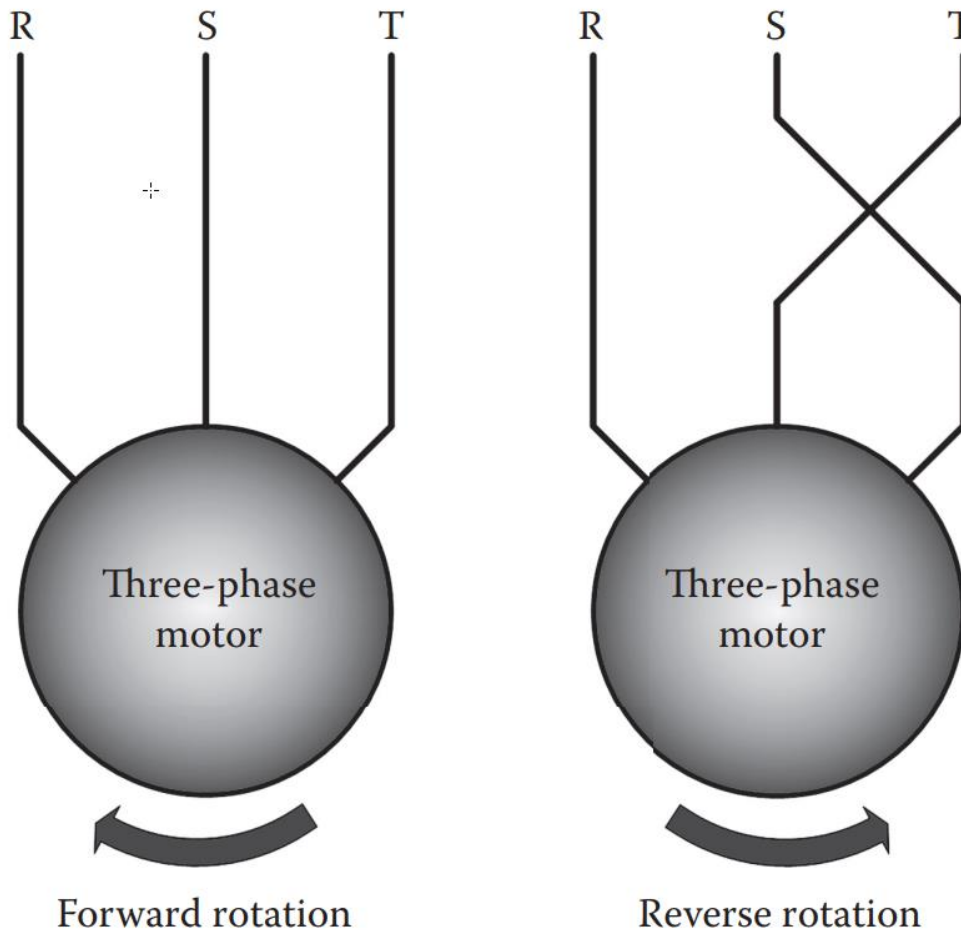
# Silniki prądu stałego (DC)

- Większość silników prądu stałego działa dzięki prądowi elektrycznemu przepływającemu przez szereg cewek na wirniku (w zależności od liczby biegunów w silniku), które są umieszczone między biegunami magnesu stałego lub elektromagnesu stojana. Oddziaływanie dwóch pól magnetycznych, jednego wytwarzanego przez wirnik, a drugiego przez stojan, powoduje obracanie się wału wirnika.
- Aby odwrócić kierunek obrotów, konieczna jest zmiana biegunowości napięcia zasilania na uzwojeniu stojana lub uzwojeniu rotora, ale nie na obu, ponieważ nie spowoduje to zmiany kierunku obrotów.

# Silniki prądu przemiennego (AC)

- W przypadku silników indukcyjnych AC trójfazowych tylko stojan posiada cewki, które wytwarzają wirujące pole magnetyczne. To pole indukuje prąd przemienny w wirniku, który składa się z cylindrycznego laminowanego rdzenia ze szczelinami, które mogą mieścić przewodniki z prętów miedzianych lub aluminiowych. Ponieważ przewodniki te są bezpośrednio zwarte przez pierścień końcowy, tworzą uzwojenie wirnika, które przecina wirujące pole magnetyczne stojana, i który to wirnik wytwarza własne pole magnetyczne. Przyciąganie i odpychanie między tymi dwoma polami magnetycznymi (wirnika i stojana), zgodnie z prawem Lenz'a, powoduje obrót wirnika.

# Silniki prądu przemiennego (AC)



Rys. Obroty do przodu i do tyłu silnika trójfazowego [1]



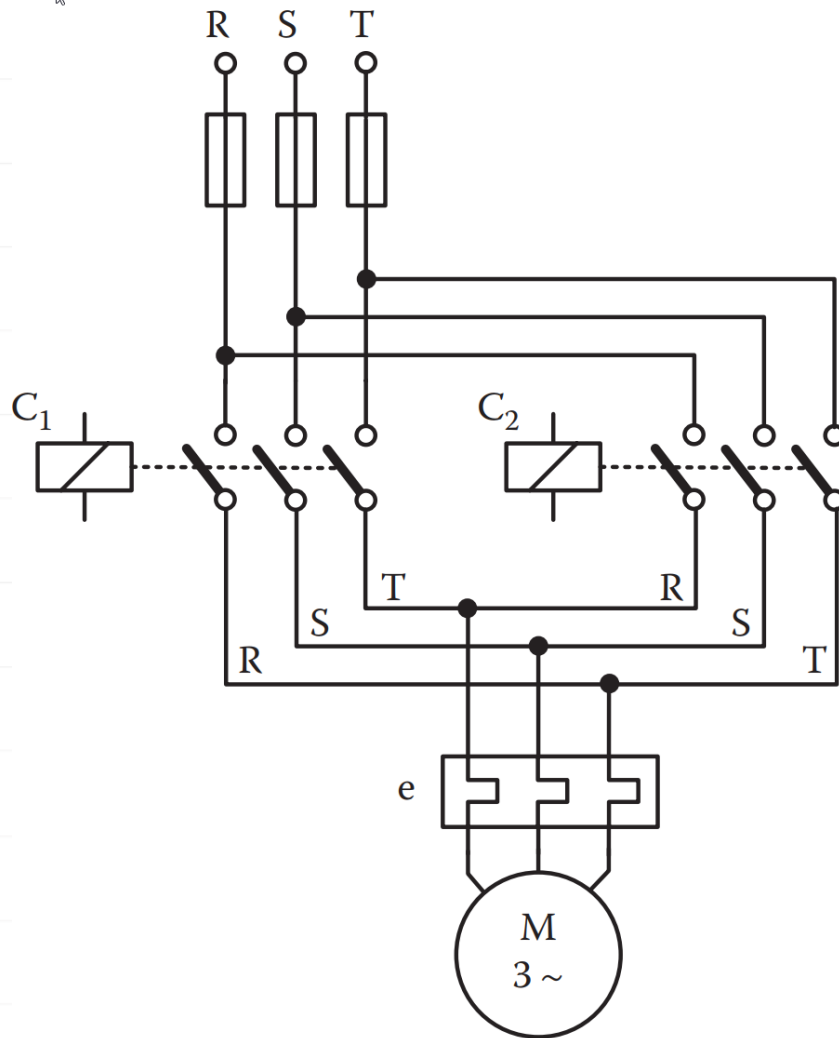
# Silniki krokowe

- Silniki krokowe działają na zasadzie podobnej do silników prądu stałego i mogą obracać się w bardzo małych dyskretnych krokach. Oferują wysoką precyzję obrotu.
- Kroki silnika krokowego reprezentują dyskretne ruchy kątowe w okolicach  $2^\circ$  lub  $1^\circ$  lub nawet mniej, które są wykonywane kolejno dzięki serii impulsów cyfrowych.
- Silnik krokowy nie gubi kroków w normalnych warunkach obciążenia mechanicznego, natomiast końcowe położenie wirnika jest określone liczbą wykonanych kroków i wyraża całkowite przemieszczenie kątowe. Implikuje to brak konieczności stosowania enkoderów (otwarta pętla).
- Są zasilane i sterowane poprzez specjalny układ elektroniczny (ang. *driver*)
- Istnieje wiele rodzajów silników krokowych:
  - unipolarne, bipolarne,
  - jednofazowe, dwufazowe, wielofazowe,
  - inne

# Serwomotory

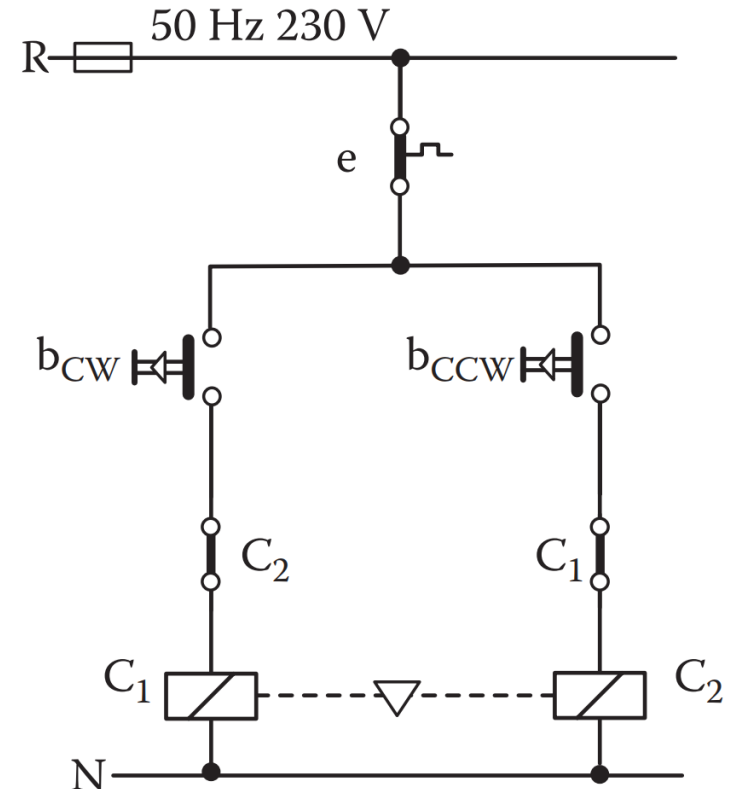
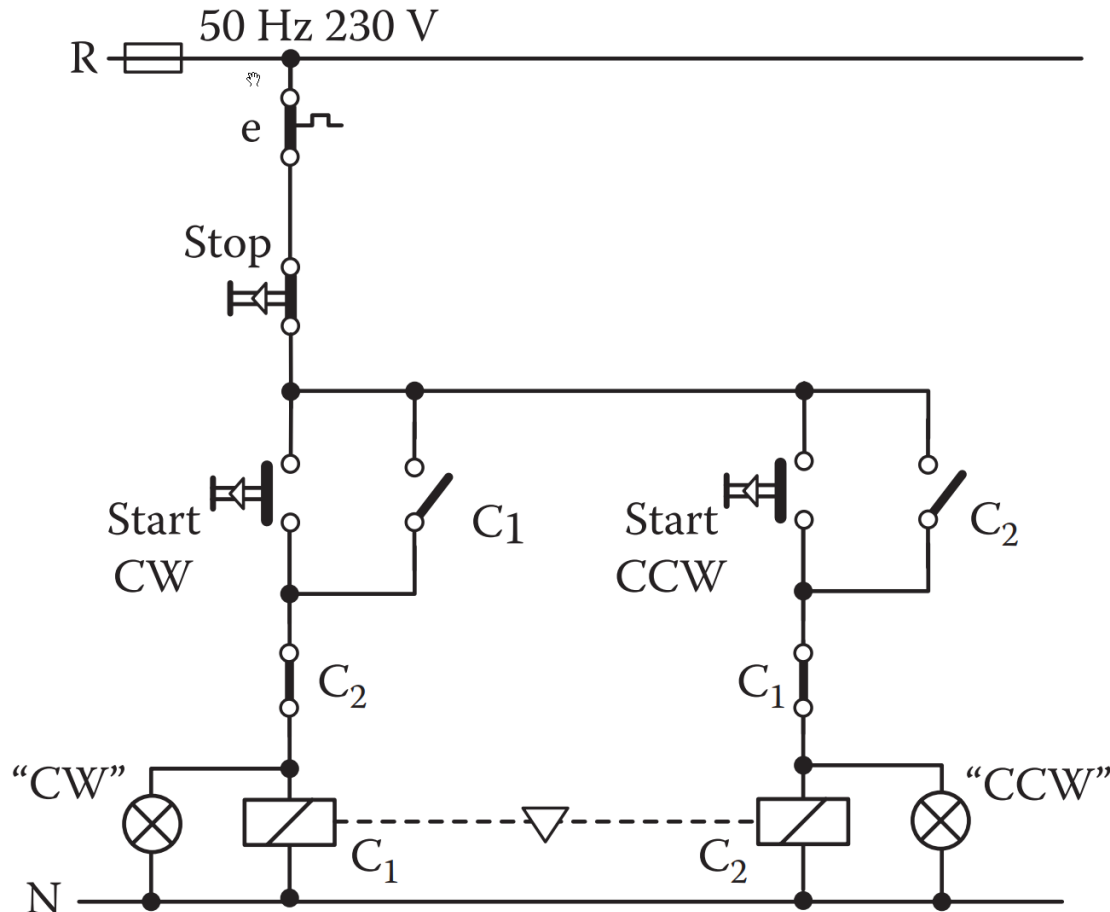
- Właściwe rozwiązanie w przypadku potrzeby precyzyjnego sterowania i jednocześnie dużego momentu obrotowego.
- Serwomotor składa się z silnika elektrycznego AC lub DC (szczotkowego lub bezszczotkowego), urządzenia dostarczającego sprzężenie zwrotne poprzez pomiar położenia i prędkości kątowej (np. enkoder) i elektronicznego regulatora.

# Silniki prądu przemiennego (AC)



Rys. Obwód mocy silnika z dwoma kierunkami obrotów [1]

# Silniki prądu przemiennego (AC)

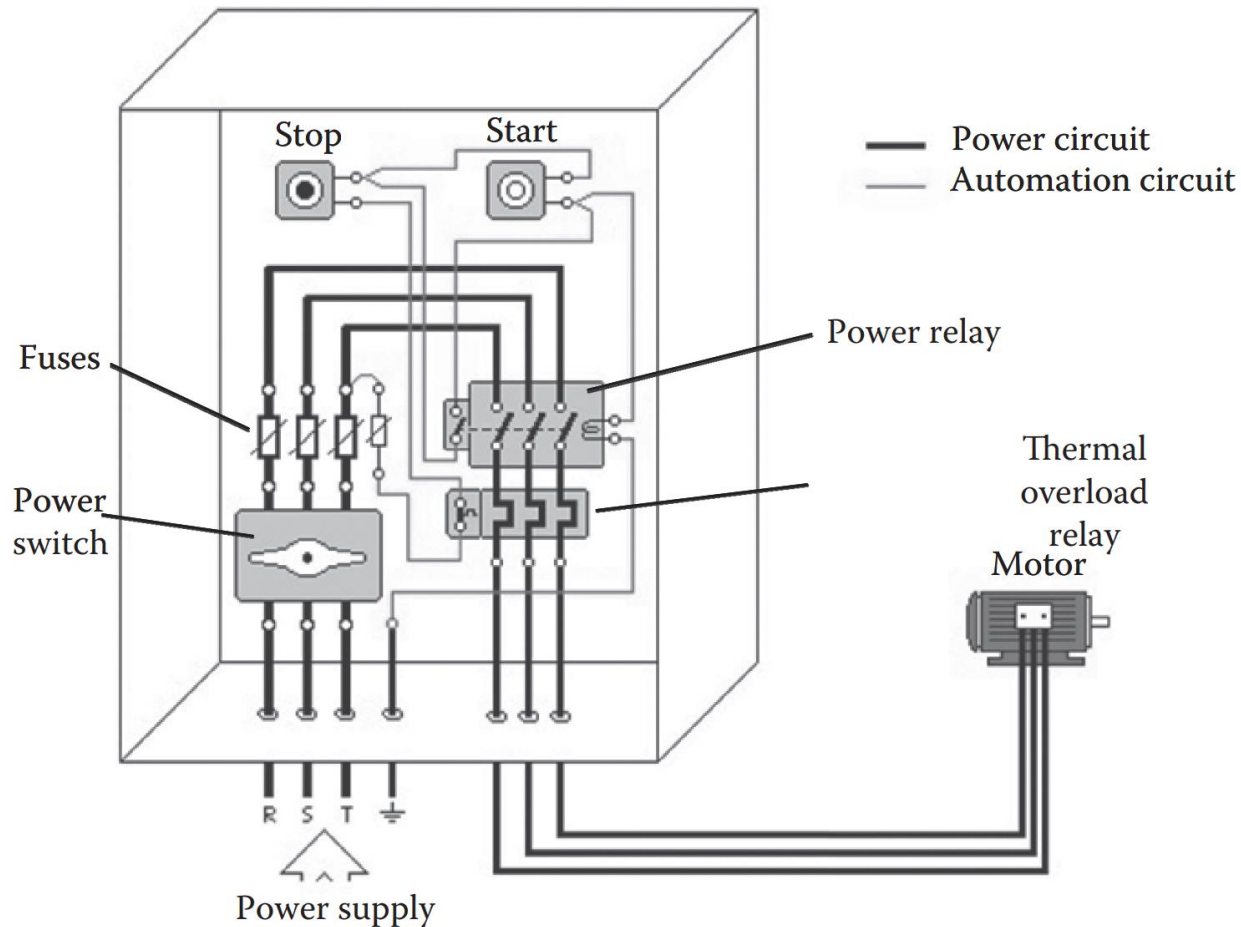


(a)

(b)

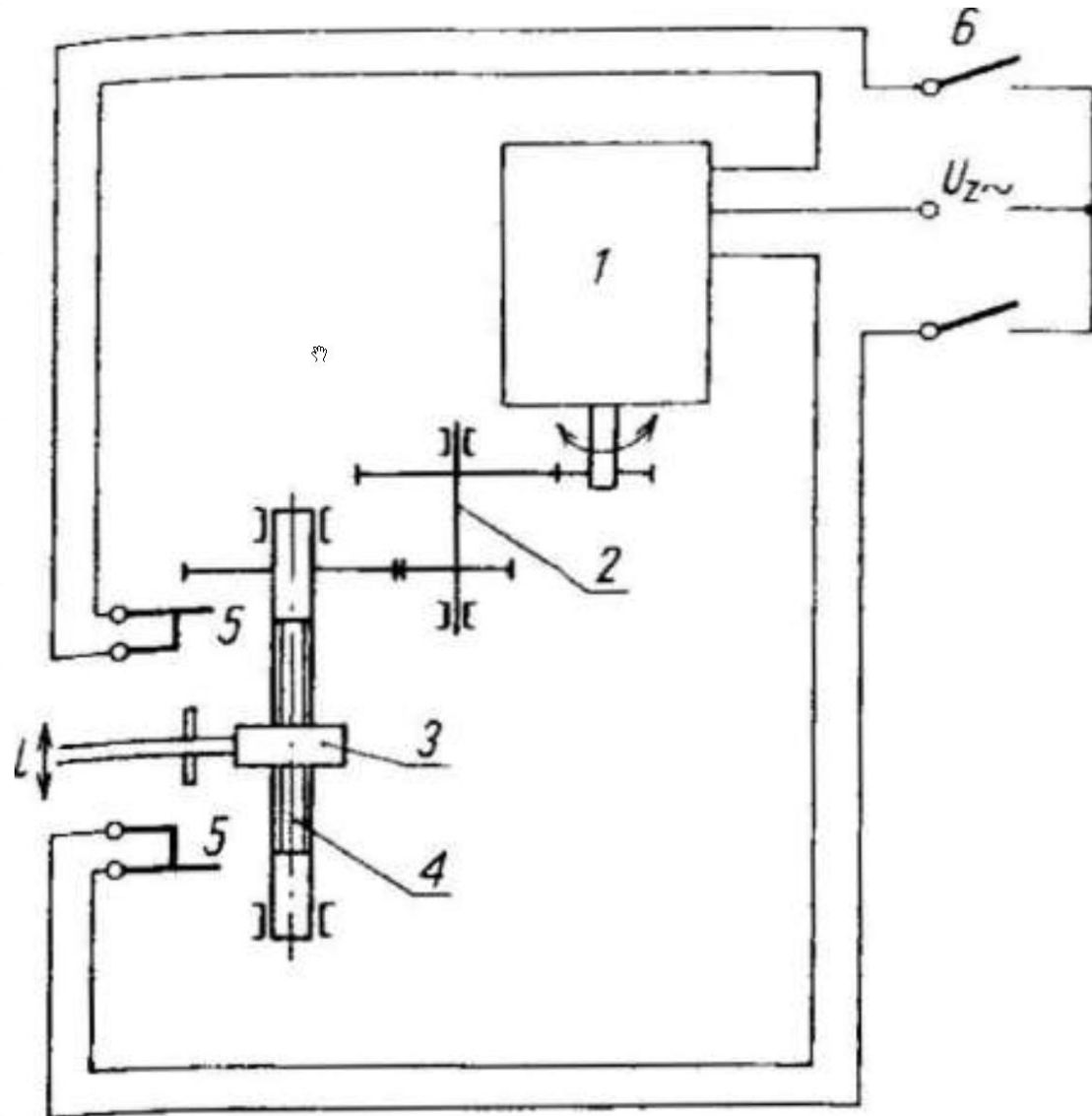
Rys. Obwody automatyki do (a) ciągłej lub (b) chwilowej pracy silnika z dwoma kierunkami obrotów [1]

# Silniki prądu przemiennego (AC)



Rys. Przykład realizacji rozdzielnic przemysłowej obejmującej obwody zasilania i automatyki [1]

# Siłowniki elektryczne

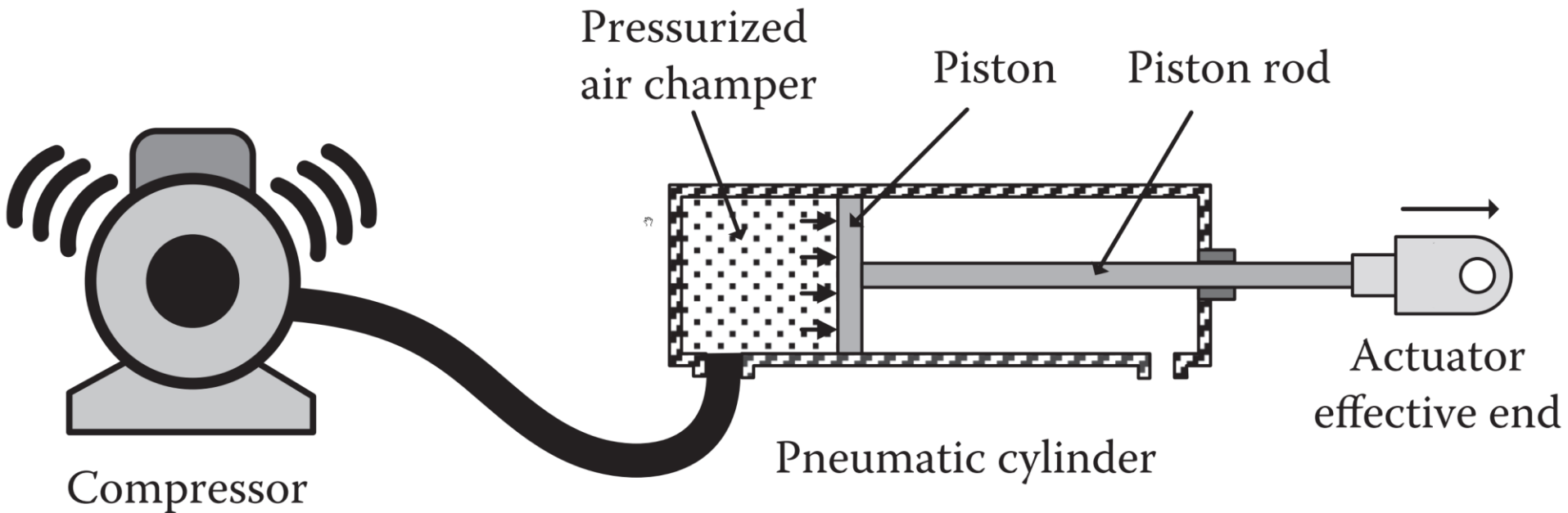


Rys. Siłownik elektryczny silnikowy: 1 - silnik, 2 - przekładnia zębata, 2 - nakrętka, 4 - śruba, 5 - wyłącznik krańcowy, 6 - styki przekaźników załączających silnik [2]

# Siłowniki pneumatyczne

- Przetwarza i przekazuje energię pneumatyczną na energię ruchu mechanicznego
- Ponieważ powietrze jest wysoce ściśliwe, siłowniki pneumatyczne są zwykle używane do przemieszczania stosunkowo lekkich obiektów i nie nadają się do dokładnej kontroli położenia (w kontraście do siłowników hydraulicznych)
- Wystarcza im prosta, dyskretna logika sterowania
- Zastosowania takie jak: pchanie przedmiotu na przenośniku, transport elementu maszyny pomiędzy kilkoma blisko położonymi stanowiskami montażowymi, podawanie kleju po prostej ścieżce po powierzchni itp.

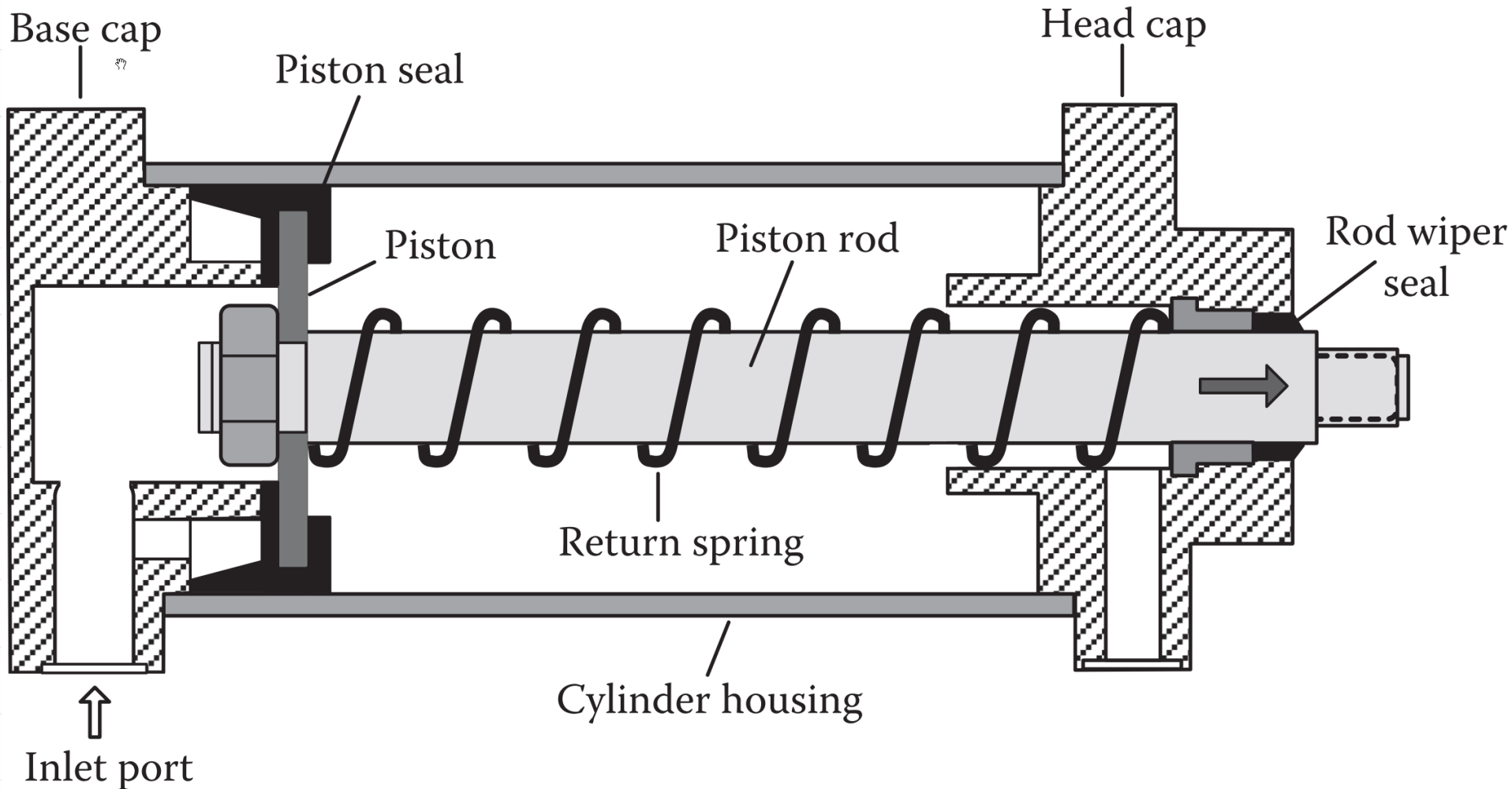
# Siłowniki pneumatyczne



Rys. Cylinder pneumatyczny jako siłownik liniowy [1]

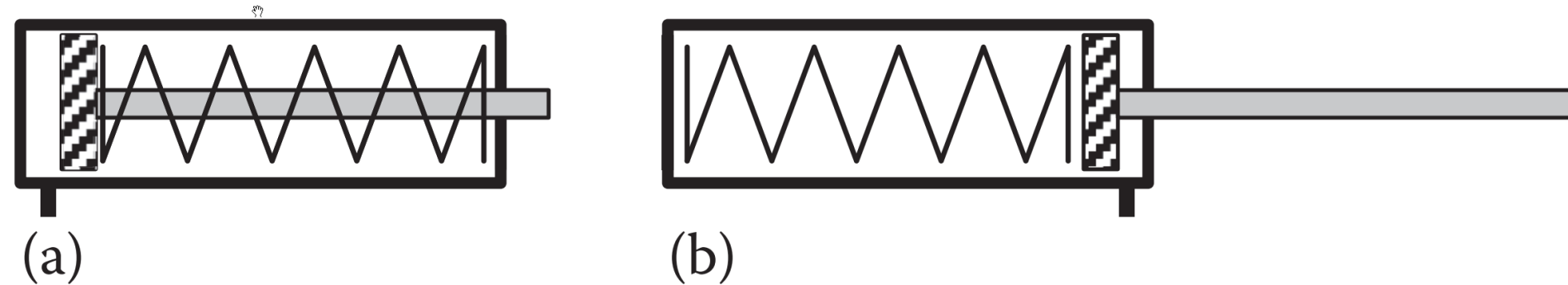


# Siłowniki pneumatyczne jednostronnego działania



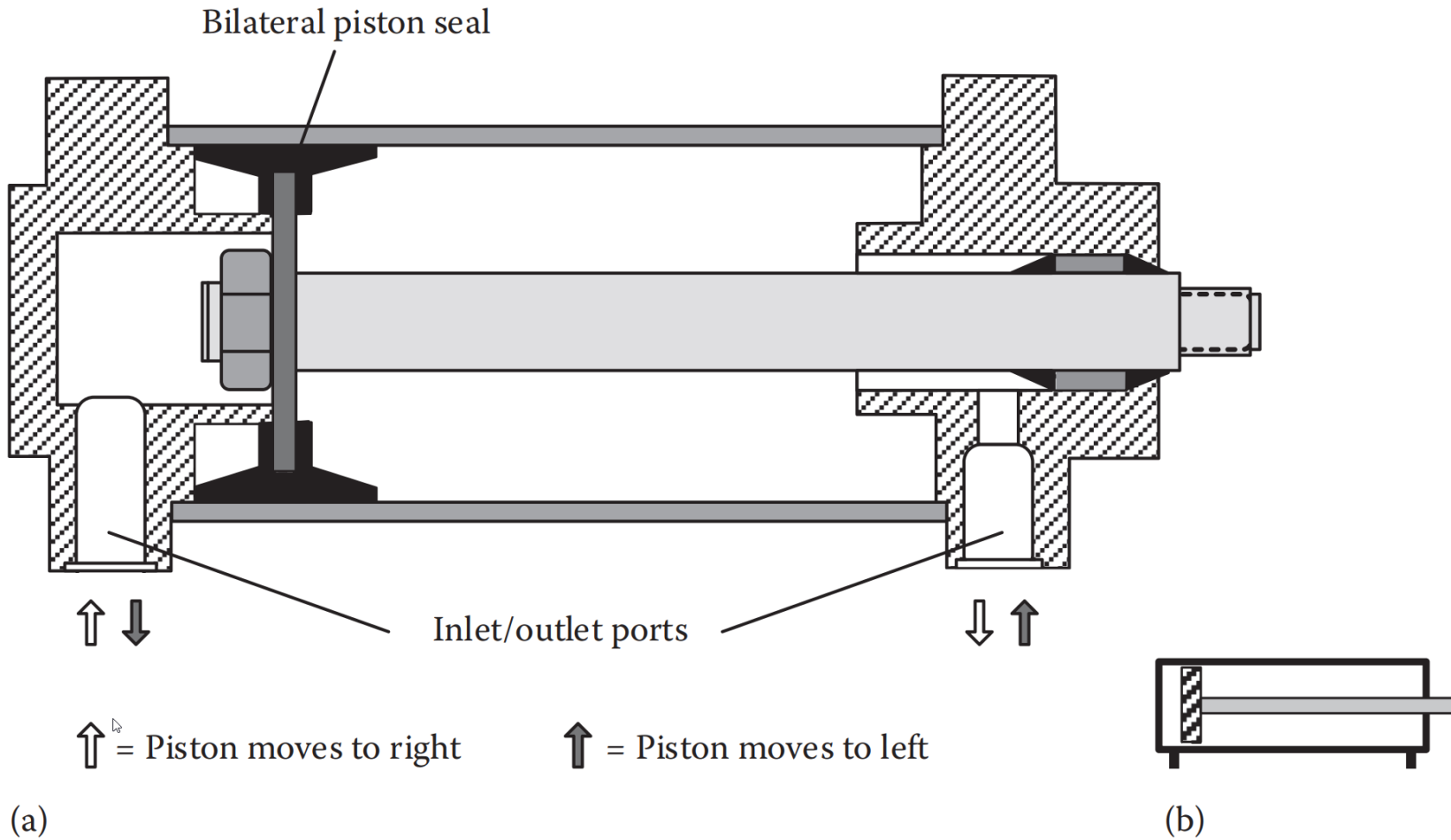
Rys. Przekrój siłownika jednostronnego działania [1]

# Siłowniki pneumatyczne jednostronnego działania



Rys. Symbole pneumatyczne siłownika jednostronnego działania: (a) tłoczek normalnie wsunięty i (b) tłoczek normalnie wysunięty [1]

# Siłowniki pneumatyczne dwustronnego działania

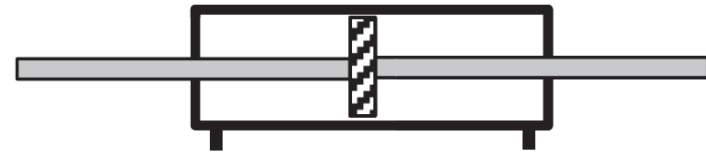


Rys. Przekrój cylindra dwustronnego działania (a)  
i symbol pneumatyczny (b) [1]

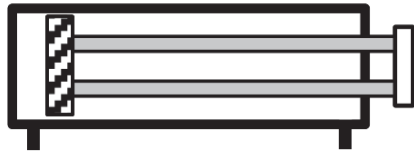
# Siłowniki pneumatyczne specjalne



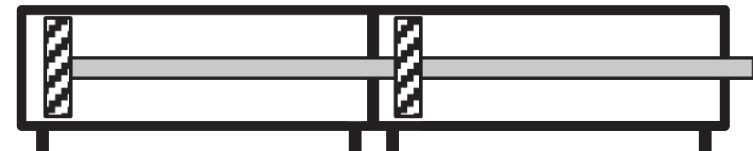
Double-acting cylinder with adjustable cushioning at both ends



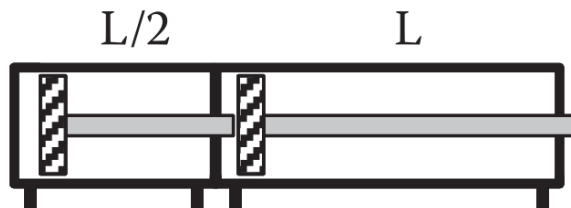
Double-acting, double rod end cylinder (without cushioning)



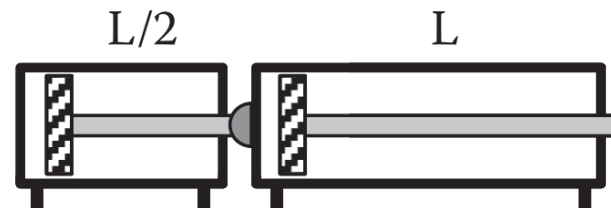
Non-rotating rod cylinder (twin rod)



Tandem cylinder



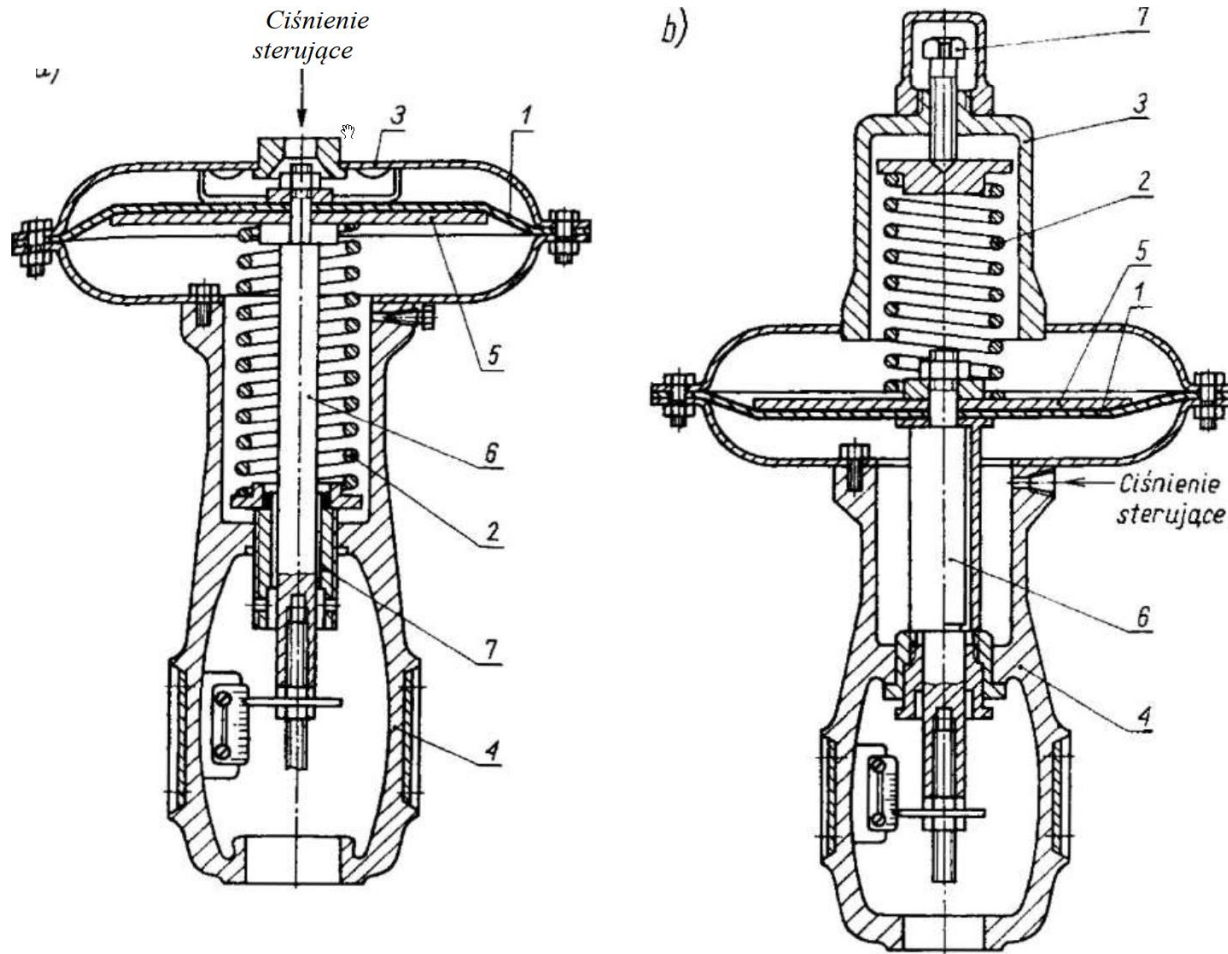
Multiple position cylinder  
(0, L/2, L)



Multiple position cylinder, outer connection  
(0, L/2, L, 3L/2)

Rys. Różne rodzaje siłowników pneumatycznych do szczególnych zastosowań [1]

# Siłowniki pneumatyczne membranowe



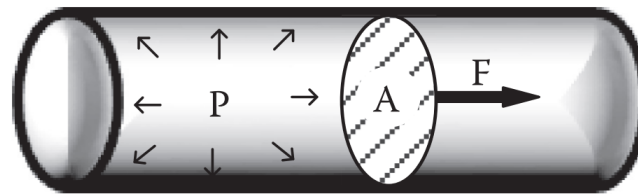
Rys. Siłowniki pneumatyczne membranowe o działaniu:  
a) prostym b) odwrotnym [2]

# Siłowniki pneumatyczne - obliczenia

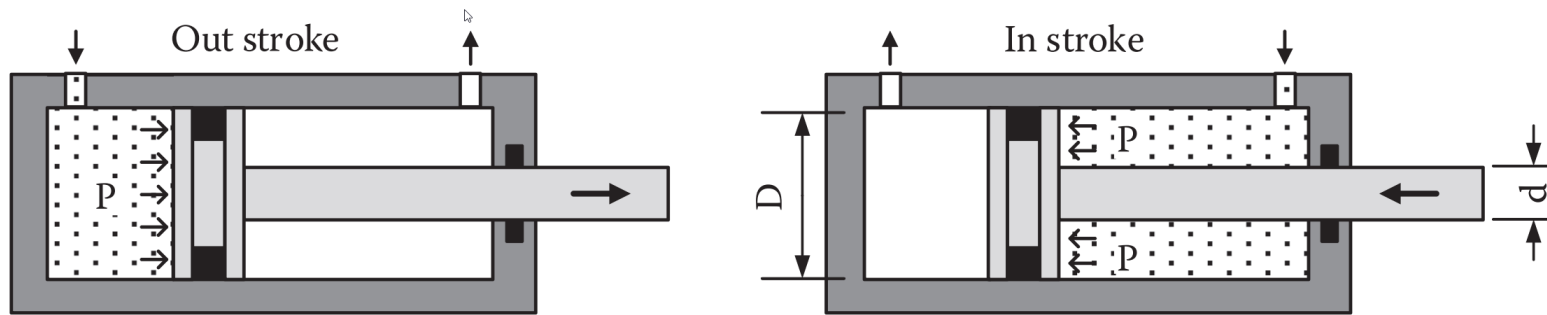
$$F = AP$$

$$F_{real} = F - F_{friction} - F_{spring}$$

$$F_{friction} = 5 \dots 20 \% F$$



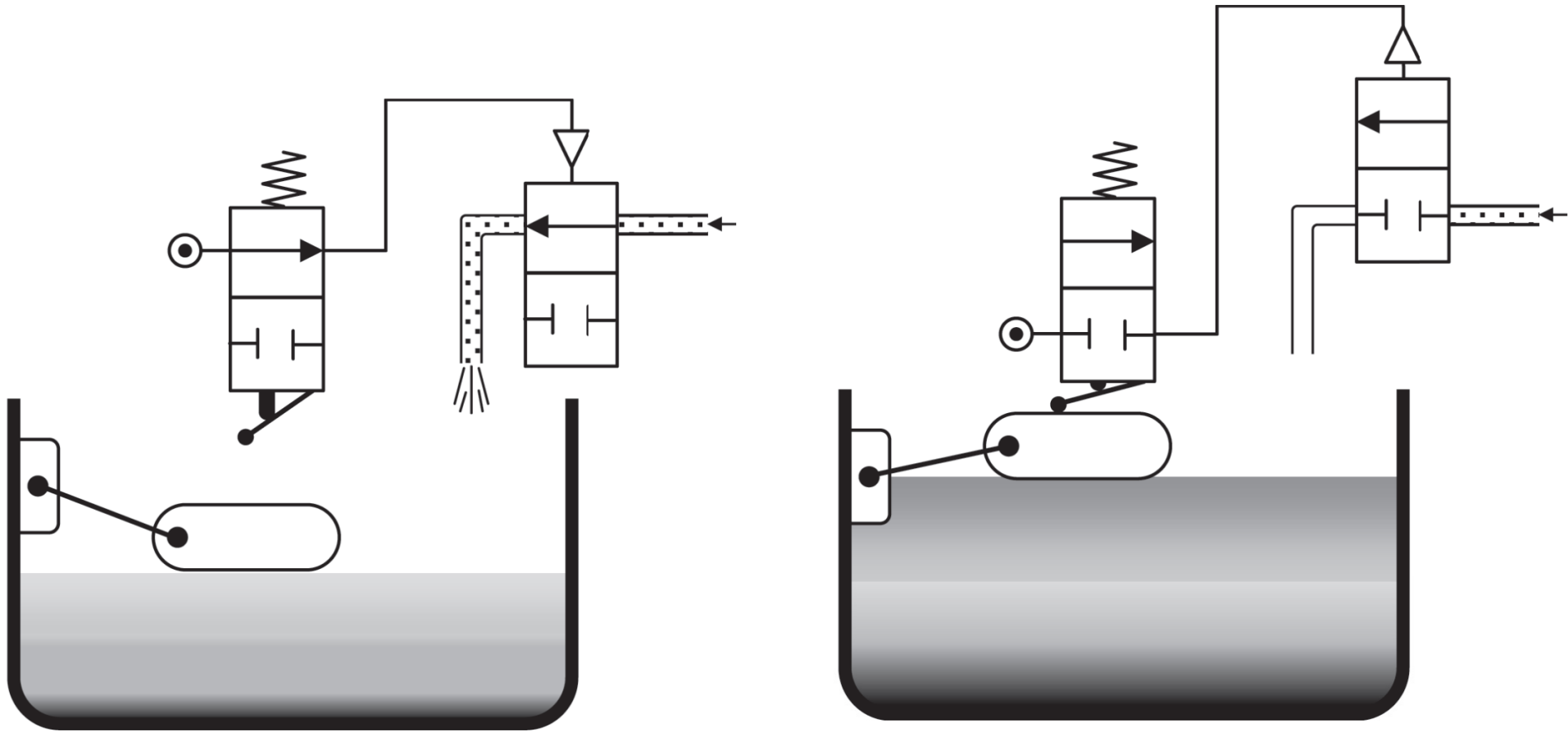
(a)



(b)

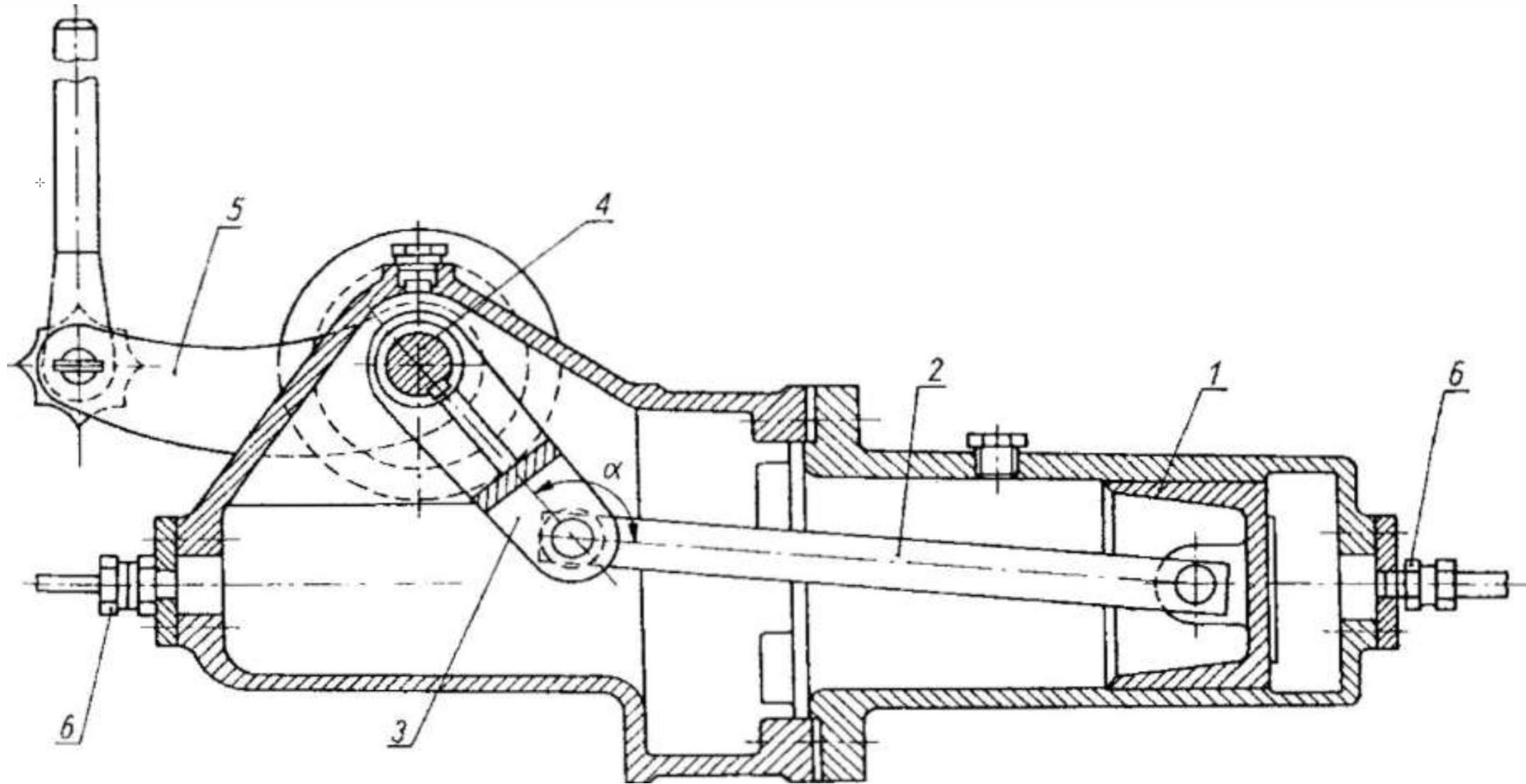
Rys. Obliczenie siły przyłożonej przez siłownik pneumatyczny (a) oraz różnicy między siłą przyłożoną podczas wysunięcia i wsunięcia siłownika dwustronnego działania (b) [1]

# Siłowniki pneumatyczne – przykład zastosowania



Rys. Czysto pneumatyczny układ do automatycznego napełniania zbiornika [1]

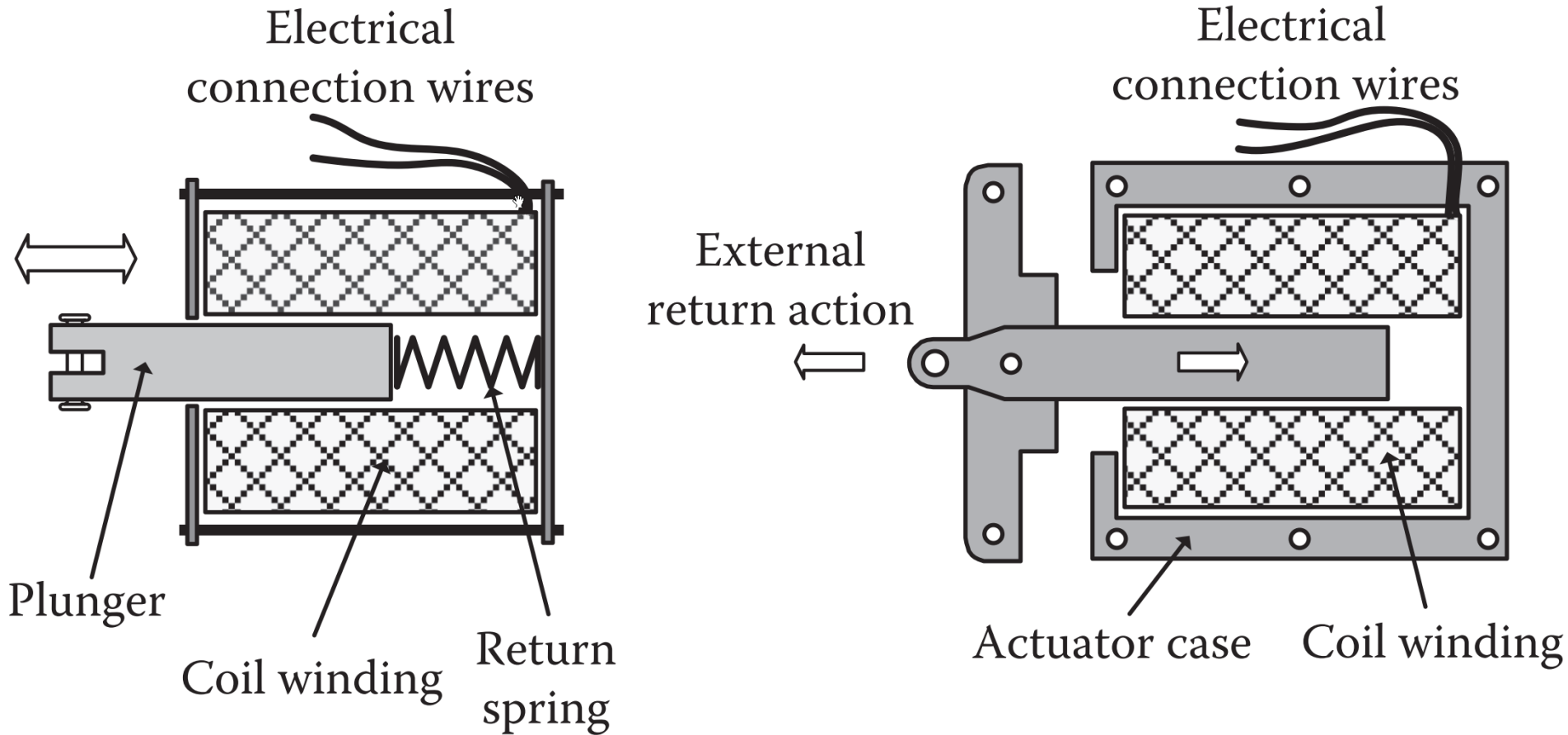
# Siłowniki hydrauliczne



Rys. Siłownik hydrauliczny tłokowy: 1 - tłok, 2 - korbowód, 3 - korba, 4 - oś, 5 - korba zewnętrzna, 6 - doprowadzenie ciśnieniowych przewodów sterujących [2]

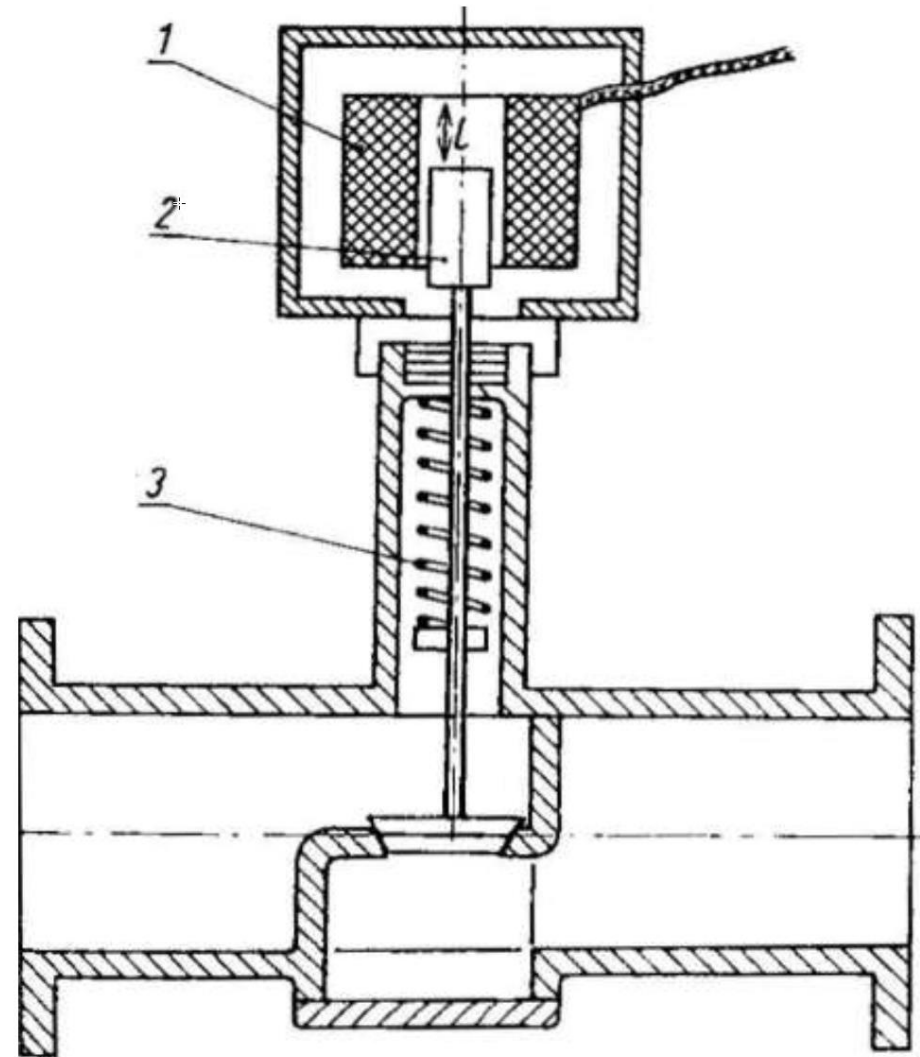


# Siłowniki elektromagnetyczne



Rys. Siłowniki elektromagnetyczne ogólnego przeznaczenia ze sprężyną powrotną lub bez [1]

# Siłowniki elektromagnetyczne

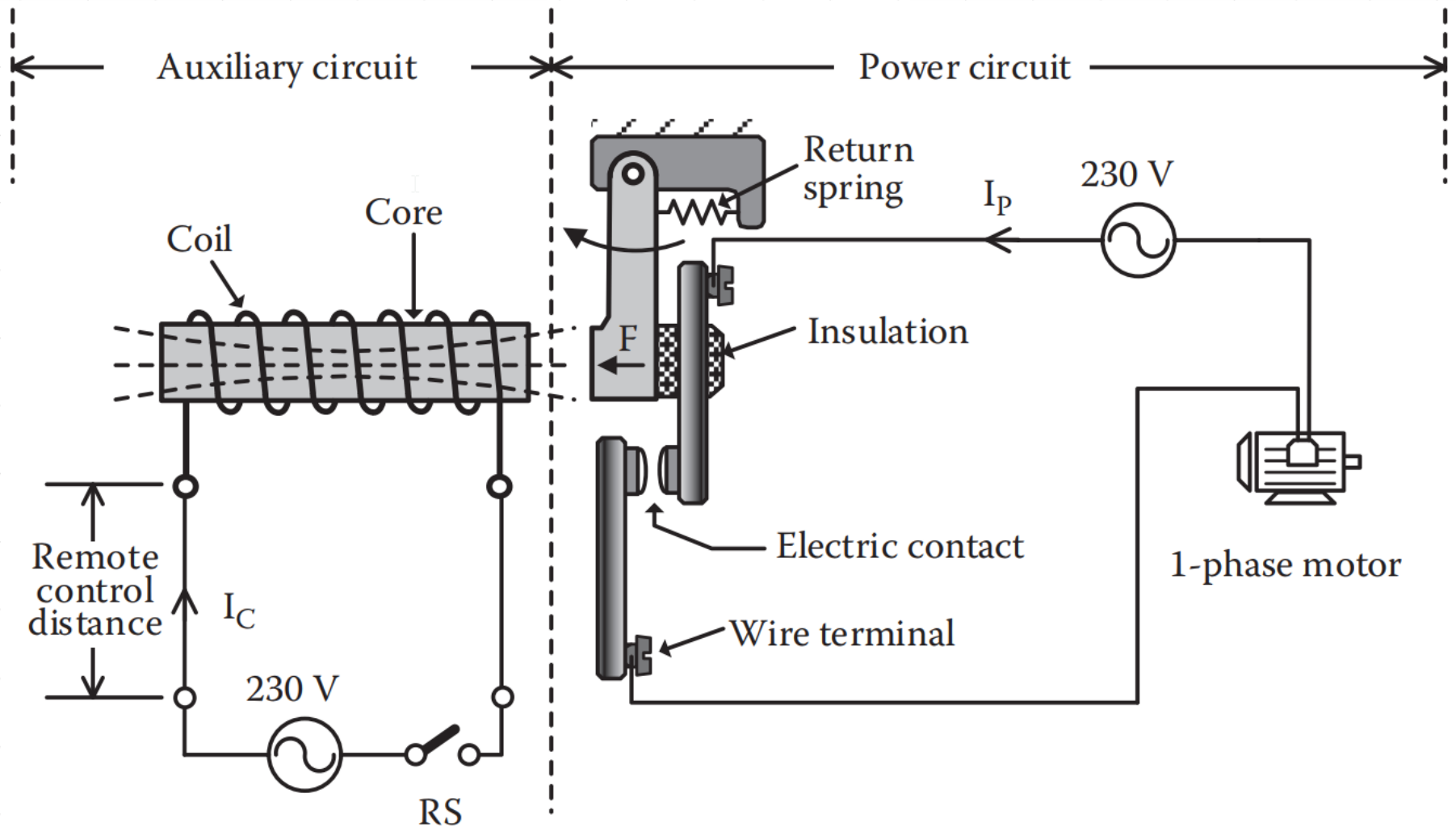


Rys. Siłownik elektromagnetyczny:  
1 - uzwojenie, 2 - rdzeń,  
3 - sprężyna zwrotna [2]

# Przełączniki

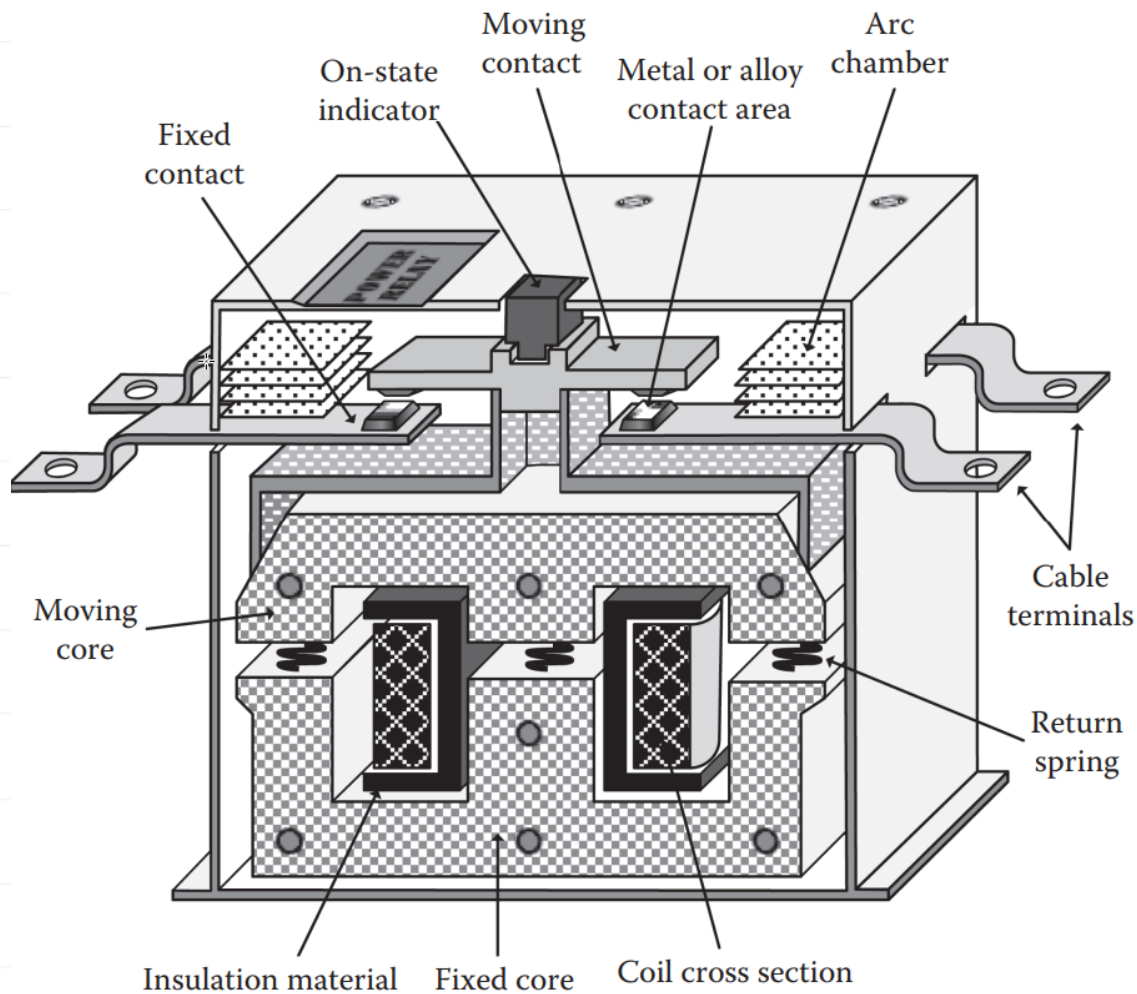
- Mogą być postrzegane jako dwustanowe elementy wykonawcze, gdzie energia elektryczna jest zamieniana na mechaniczną w celu zmiany stanu zestyków, zazwyczaj zestyków przełącznych
- Jest to wyłącznik lub przełącznik sterowany dwustanowym sygnałem elektrycznym

# Przełączniki – zasada działania



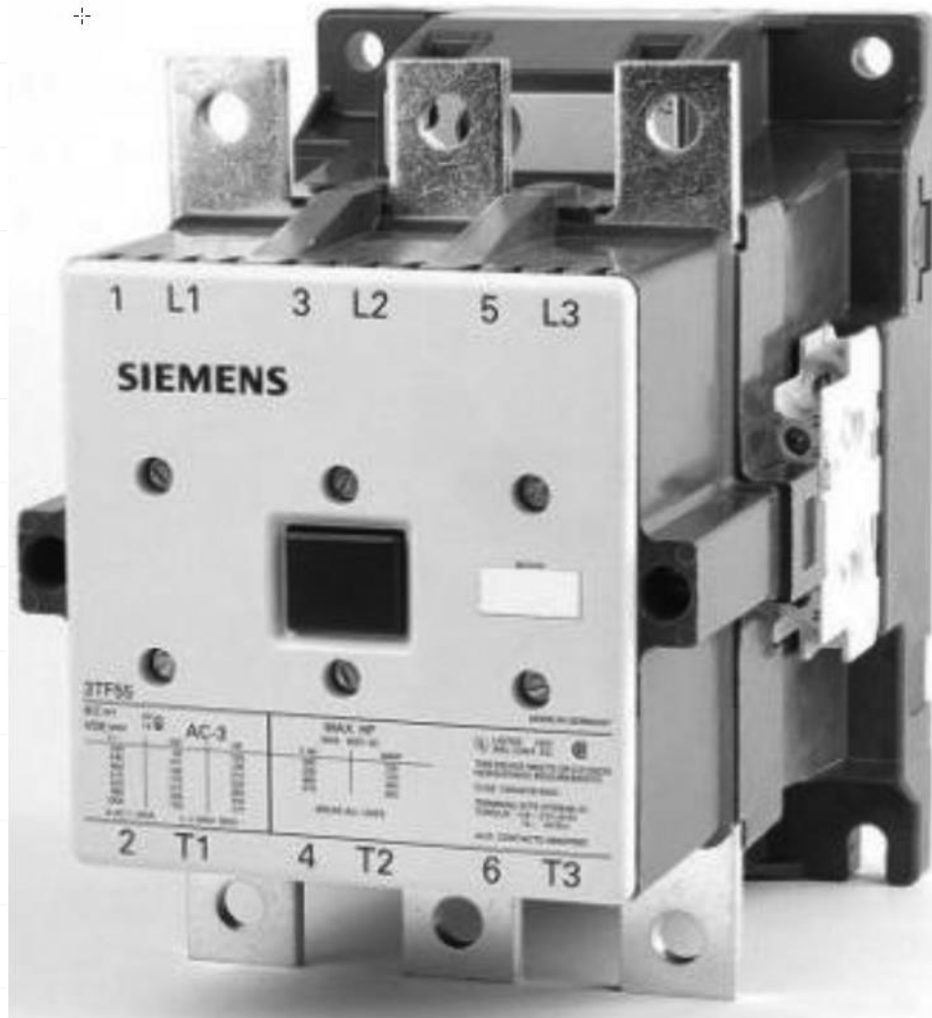
Rys. Uproszczona budowa przełącznika (narysowana nieco źle) [1]

# Przełączniki (dużych) mocy



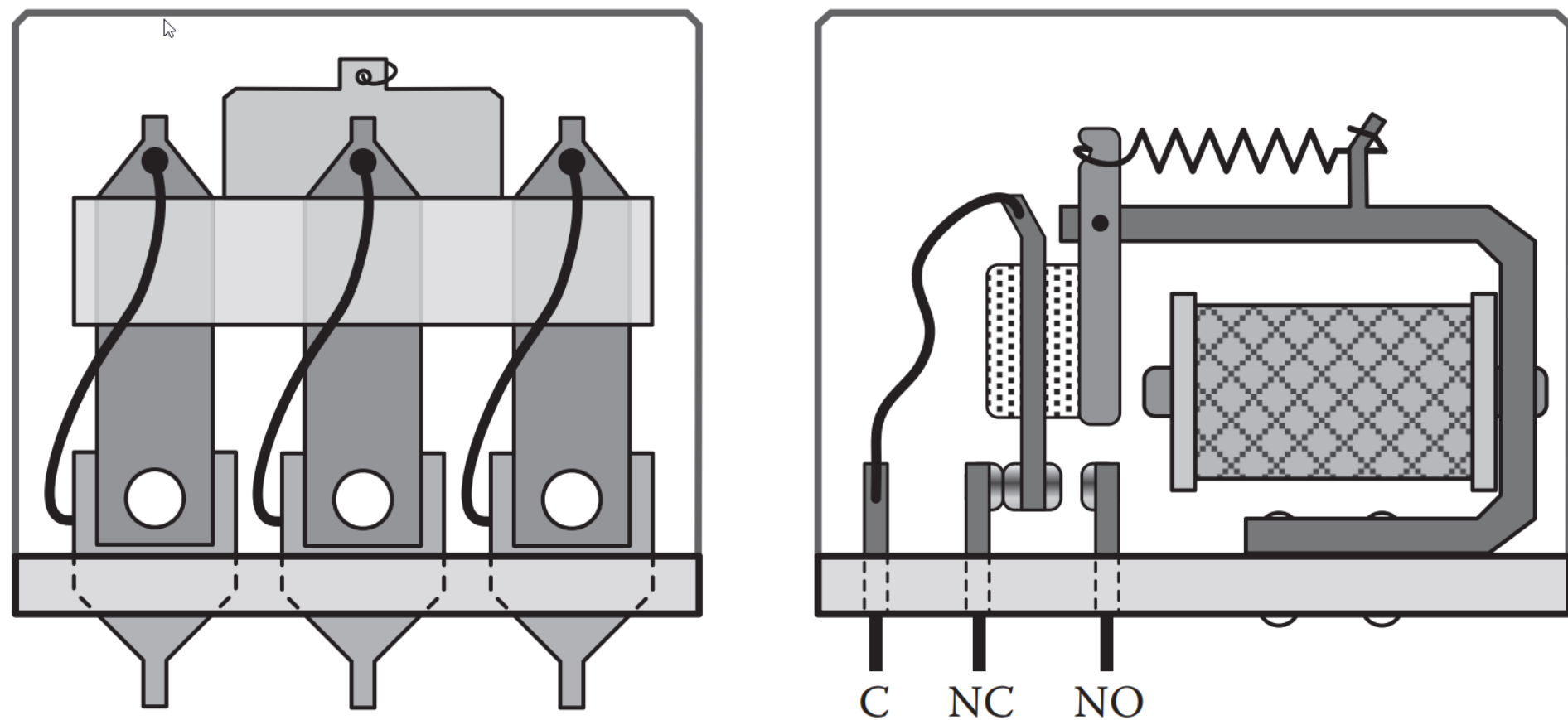
Rys. Typowa struktura wewnętrzna przełącznika mocy [1]

# Przełączniki mocy



Rys. Typowy widok zewnętrzny przełącznika mocy [1]

# Przełączniki ogólnego przeznaczenia



Rys. Dwa wewnętrzne widoki z boku przełącznika ogólnego przeznaczenia [1]

# Przełączniki ogólnego przeznaczenia



(a)



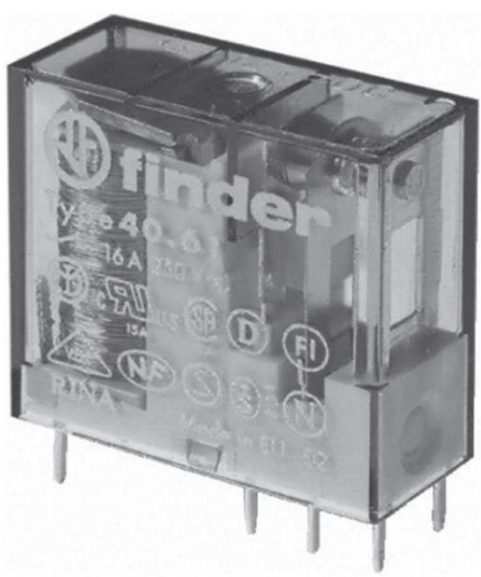


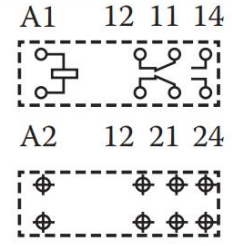


(b)

Rys. Typowa postać przełącznika ogólnego zastosowania bez (a) i z (b) podstawą montażową [1]

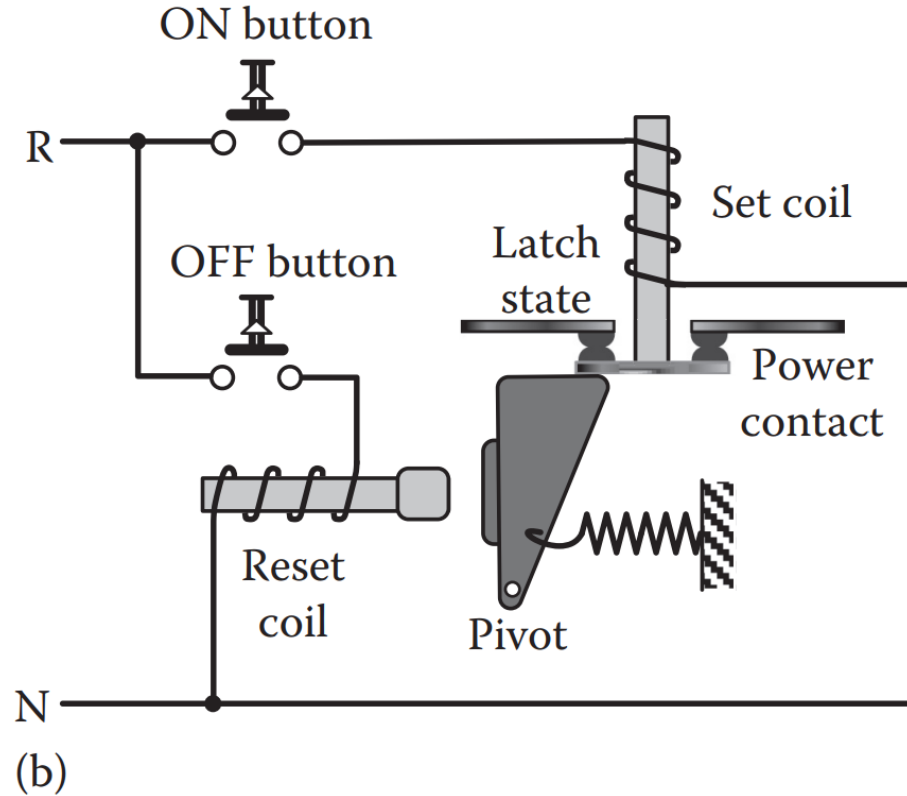
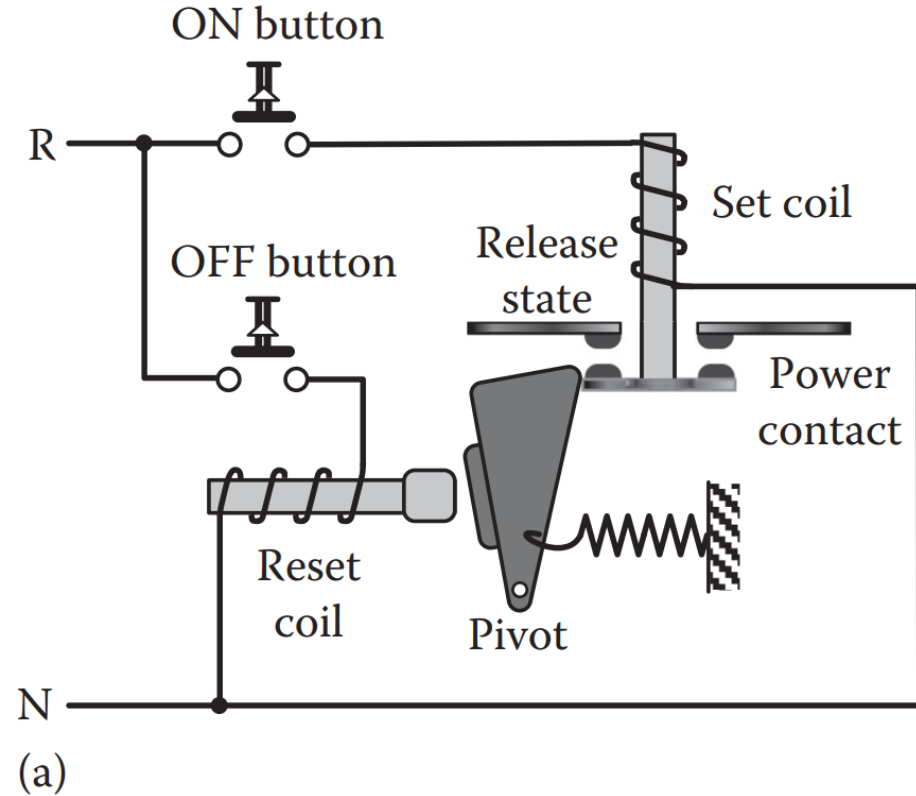


# Przełączniki ogólnego przeznaczenia

		
<p>Plug-in socket mounting</p>	<p>Plug-in socket mounting</p>	<p>PCB mounting</p>
		

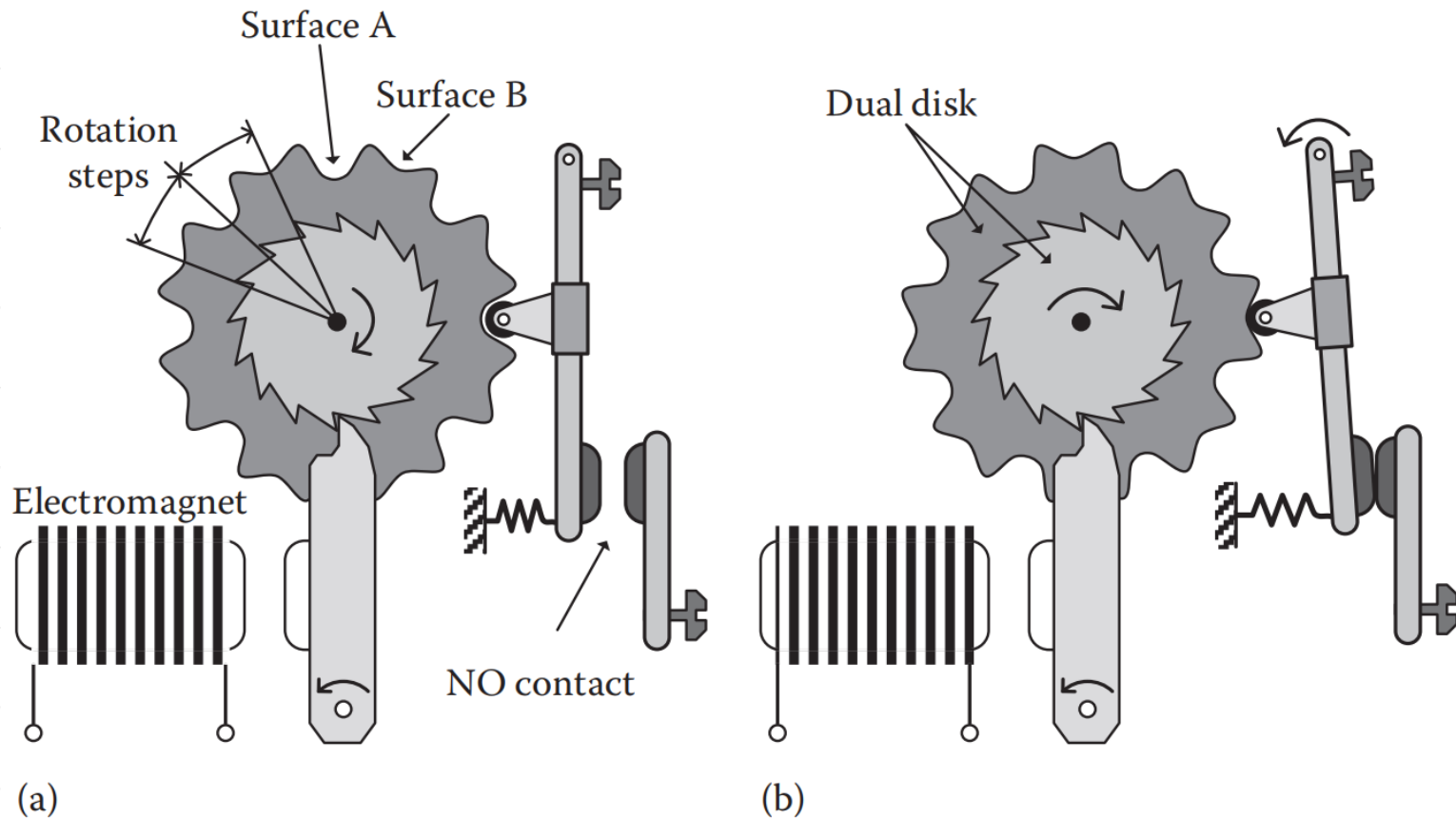
Rys. Typowa postać przełączników ogólnego zastosowania [1]

# Przełączniki zatraskowe



Rys. Schemat ideowy przełącznika zatraskowego: (a) przełącznik wyzwolony i obwód mocy otwarty, oraz (b) przełącznik ustawiony - zatrzaśnięty i obwód mocy zamknięty [1]

# Impulsowe przekaźniki bistabilne

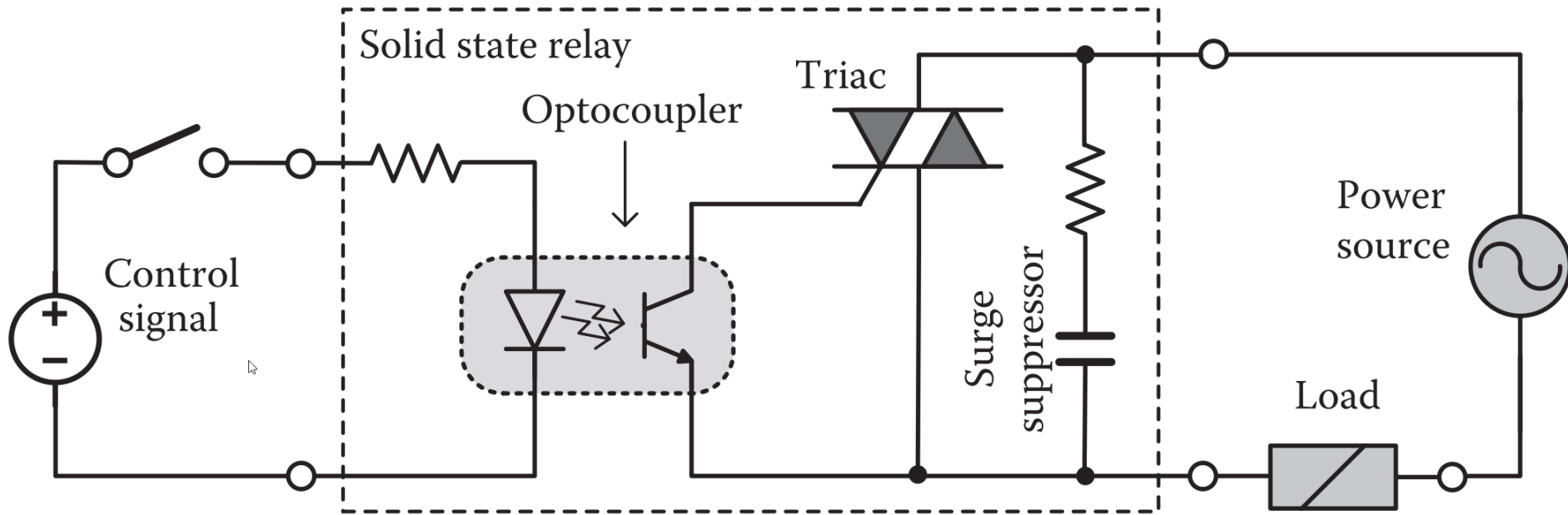


Rys. Typowa struktura wewnętrzna impulsowego przekaźnika bistabilnego w dwóch możliwych stanach: (a) ruchomy styk przed powierzchnią dysku typu A oraz (b) po jednym impulsie ruchomy styk znajduje się przed powierzchnią dysku typu B i styk elektryczny zamyka się [1]

# Przełączniki półprzewodnikowe

- Zawierają transoptor typu półprzewodnikowego do galwanicznego oddzielania obwodu wejściowego od obwodu wyjściowego.
- Są zwykle wyposażone w radiator.
- Brak elementów ruchomych, zapewniają operacje przełączania z dużą szybkością lub wysoką częstotliwością i generują niski poziom hałasu.
- Nie wytwarzają łuków elektrycznych i dlatego nadają się do użytku w obszarach niebezpiecznych (Ex), są zatem niezbędne i prawnie nakazane w przemyśle takim jak chemiczny, petrochemiczny, wydobywczy, etc.

# Przełączniki półprzewodnikowe

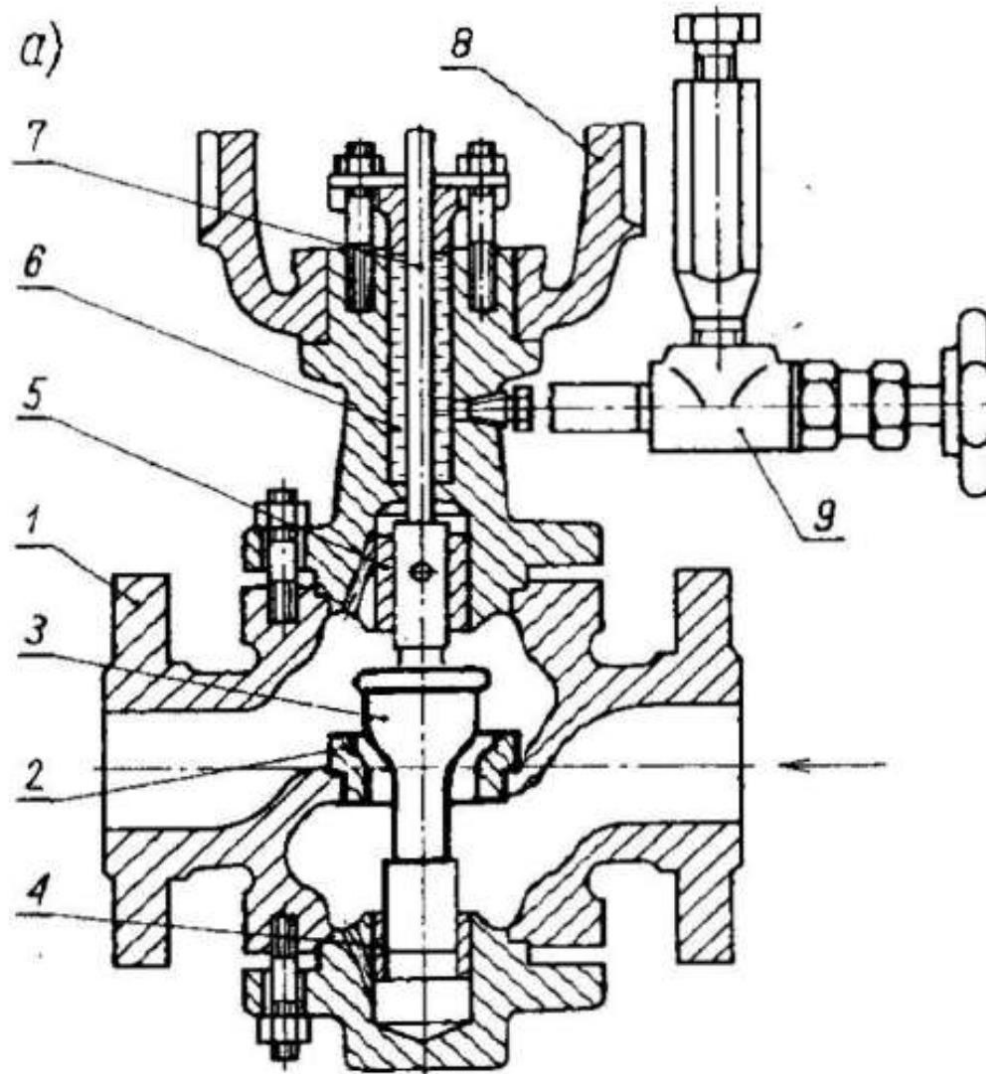


Rys. Uproszczony obwód fotosprężonego przełącznika półprzewodnikowego [1]

# Elementy nastawcze - zawory

- Elementy nastawcze umożliwiają w układach sterowania oddziaływanie na przepływ energii lub materiału do lub od obiektu regulacji.
- Najczęściej stosowanym rodzajem urządzeń nastawczych są zawory.
- Zawory można podzielić na:
  - Jednogniazdowe
  - Dwugniazdowe
  - Przeponowe
  - Kulowe

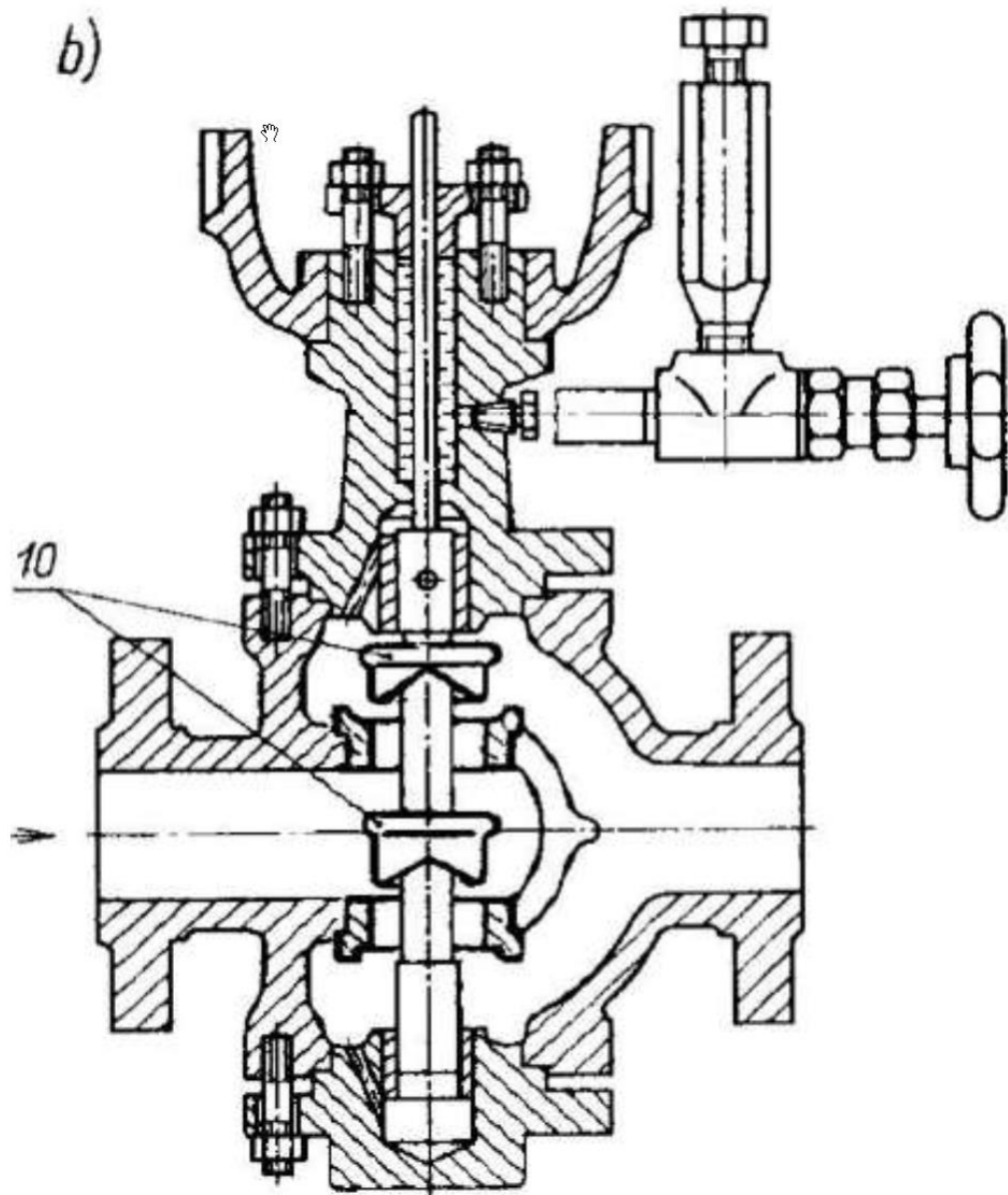
# Zawory



Rys. Przekrój zaworu regulacyjnego jednogniazdowego: 1 - korpus, 2 - gniazdo, 3 - grzybek, 4 - prowadnica dolna, 5 - prowadnica górna, 6 - dławnica, 7 - wrzeciono, 8 - część korpusu siłownika, 9 - smarownica [2]



# Zawory



Rys. Przekrój zaworu regulacyjnego dwugniazdowego: 10 - podwójny grzybek [2]



# Zawory

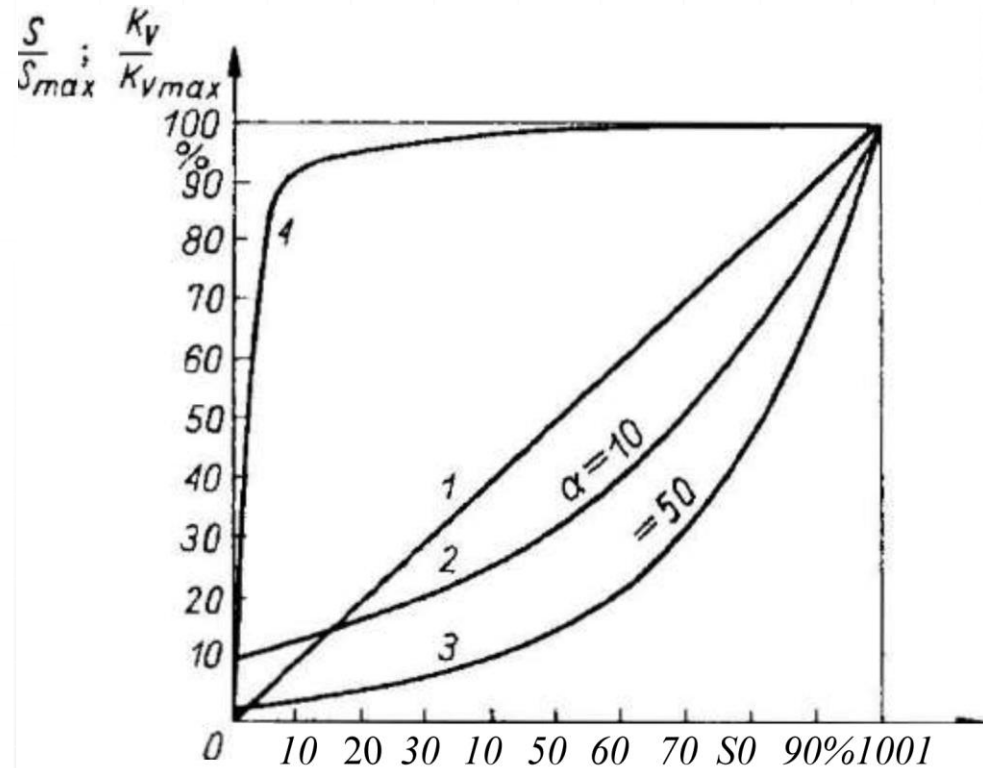


Rys. Wygląd zewnętrzny zaworu regulacyjnego [3]

# Charakterystyki zaworów

$$Q = K_v \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}}$$

$Q$  = strumień ( $\text{m}^3/\text{h}$ ),  $K_v$  = współczynnik normalny przepływu ( $\text{m}^3/\text{h}$ ),  $\Delta p$  = spadek ciśnienia na zaworze ( $\text{kPa}/100$ ),  $\rho$  = gęstość płynu ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )



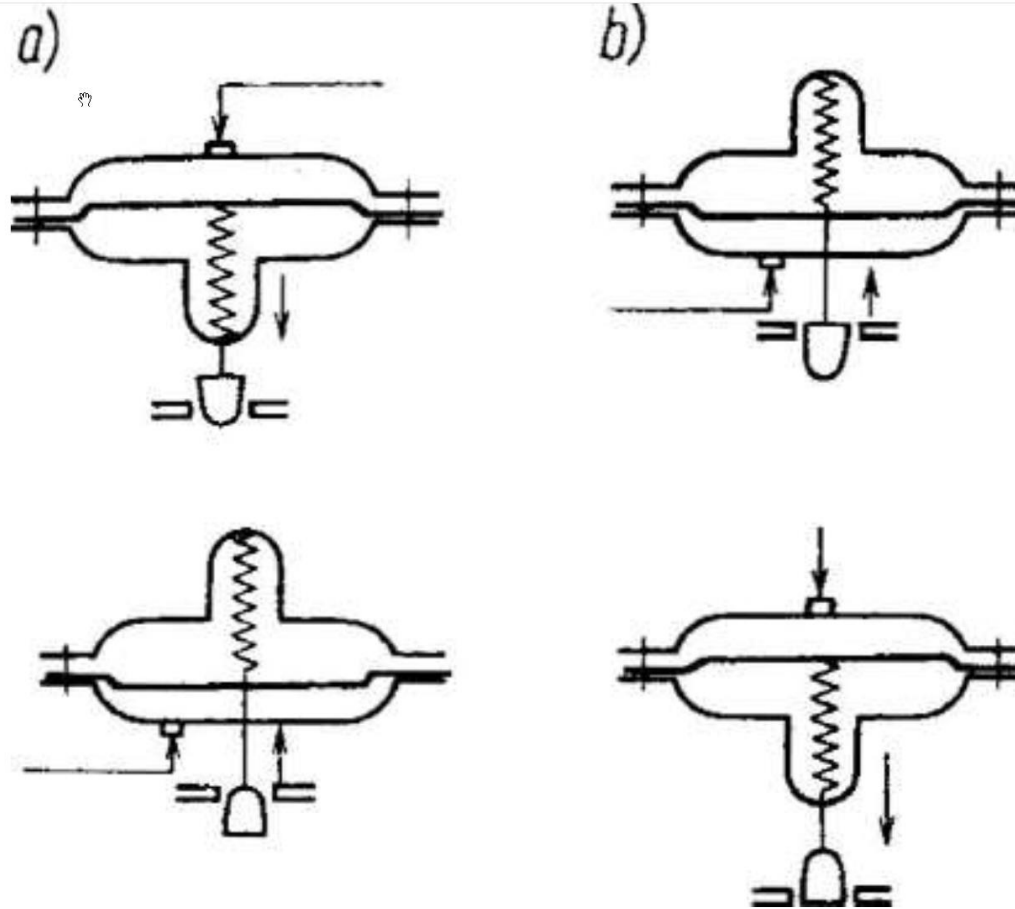
Rys. Charakterystyki otwarcia zaworu:

1 - liniowego,

2, 3 - stałoprocentowego,

4 - szybko otwierającego [2]

# Zawory z siłownikiem



Rys. Schemat połączenia siłownika pneumatycznego membranowego z zaworem:  
a) ciśnienie zamyka; b) ciśnienie otwiera [2]

# Literatura

**[1]** Stamatiios Manesis, George Nikolakopoulos, *Introduction to Industrial Automation*, Taylor & Francis Group, 2018

**[2]** Jerzy Kostro, Elementy, urządzenia i układy automatyki, WSiP, Warszawa, wydanie dziewiąte (2007)

**[3]** Domena publiczna