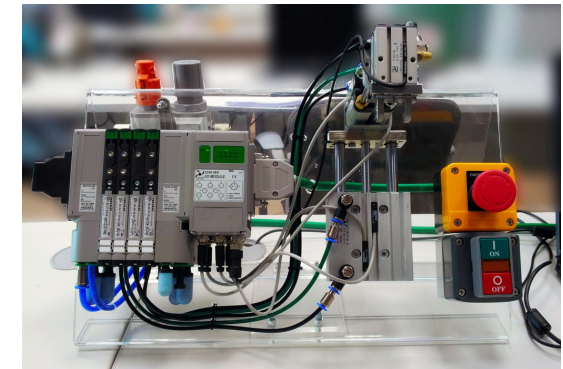
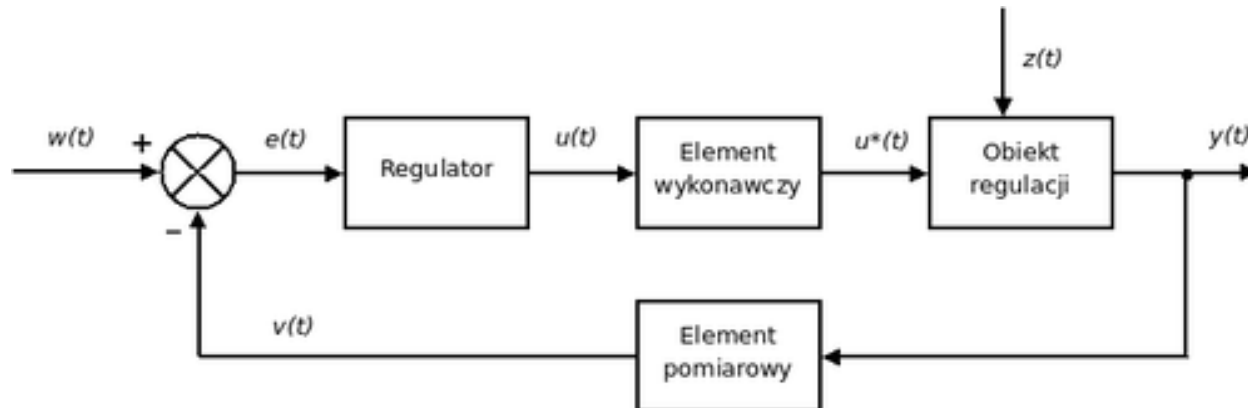
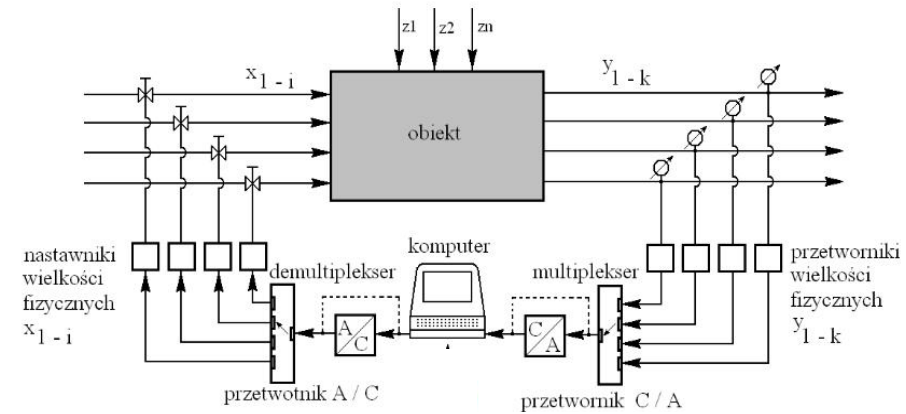
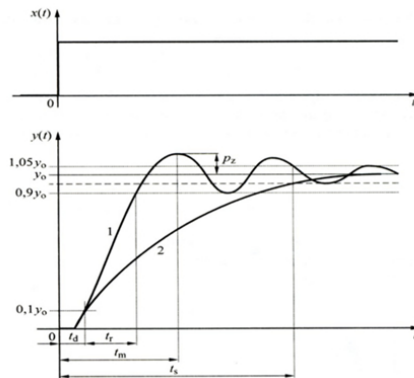
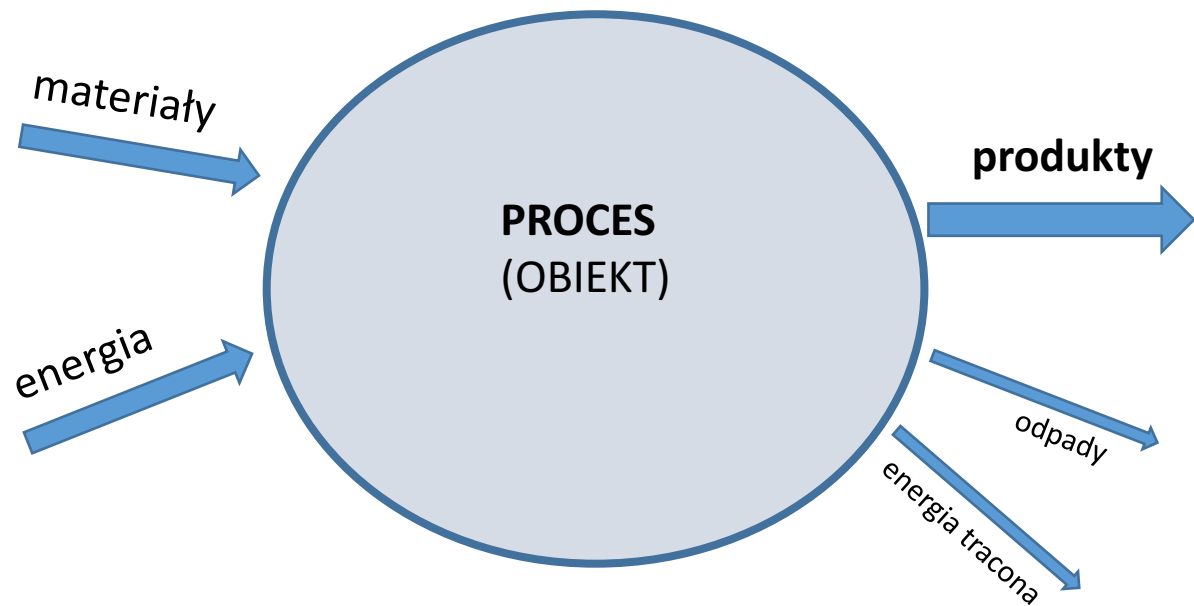


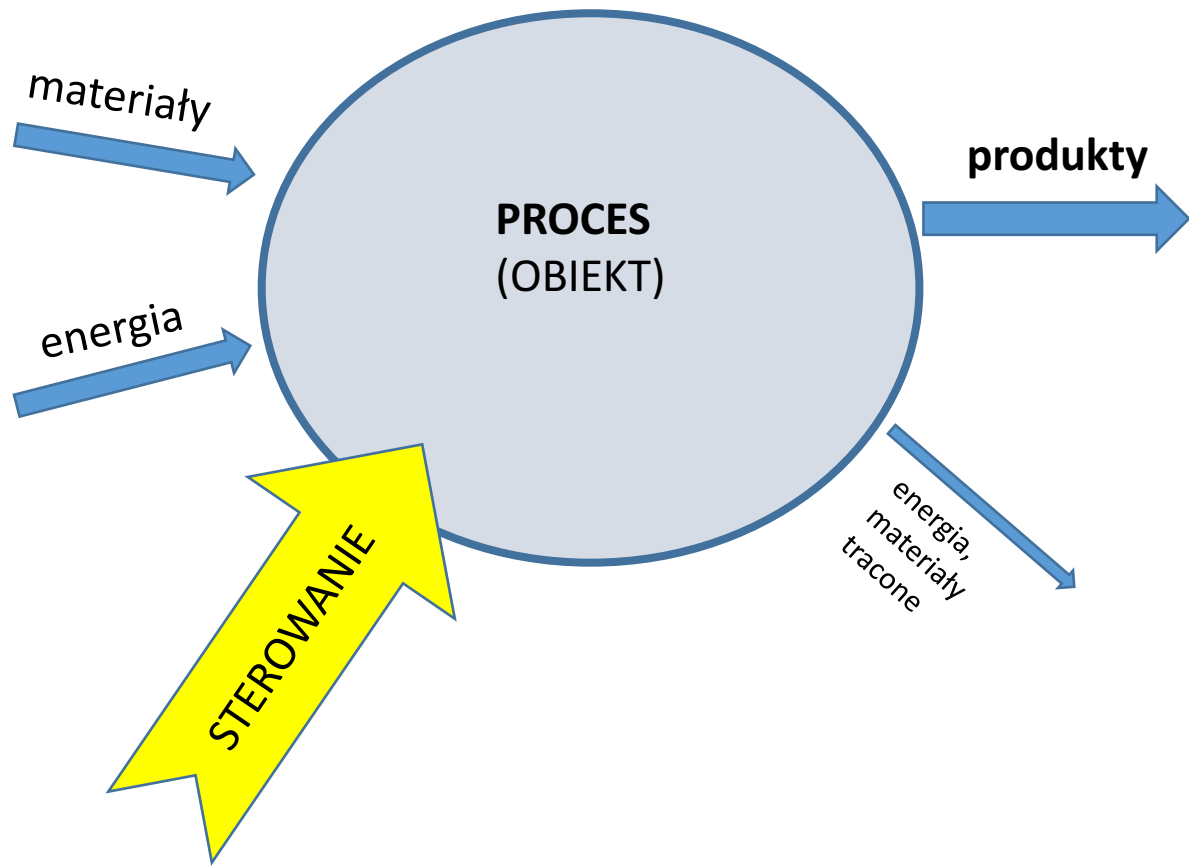
PODSTAWY AUTOMATYKI i ROBOTYKI

dr hab. inż. Cezary Orlikowski

MATERIAŁY POMOCNICZE DO WYKŁADU

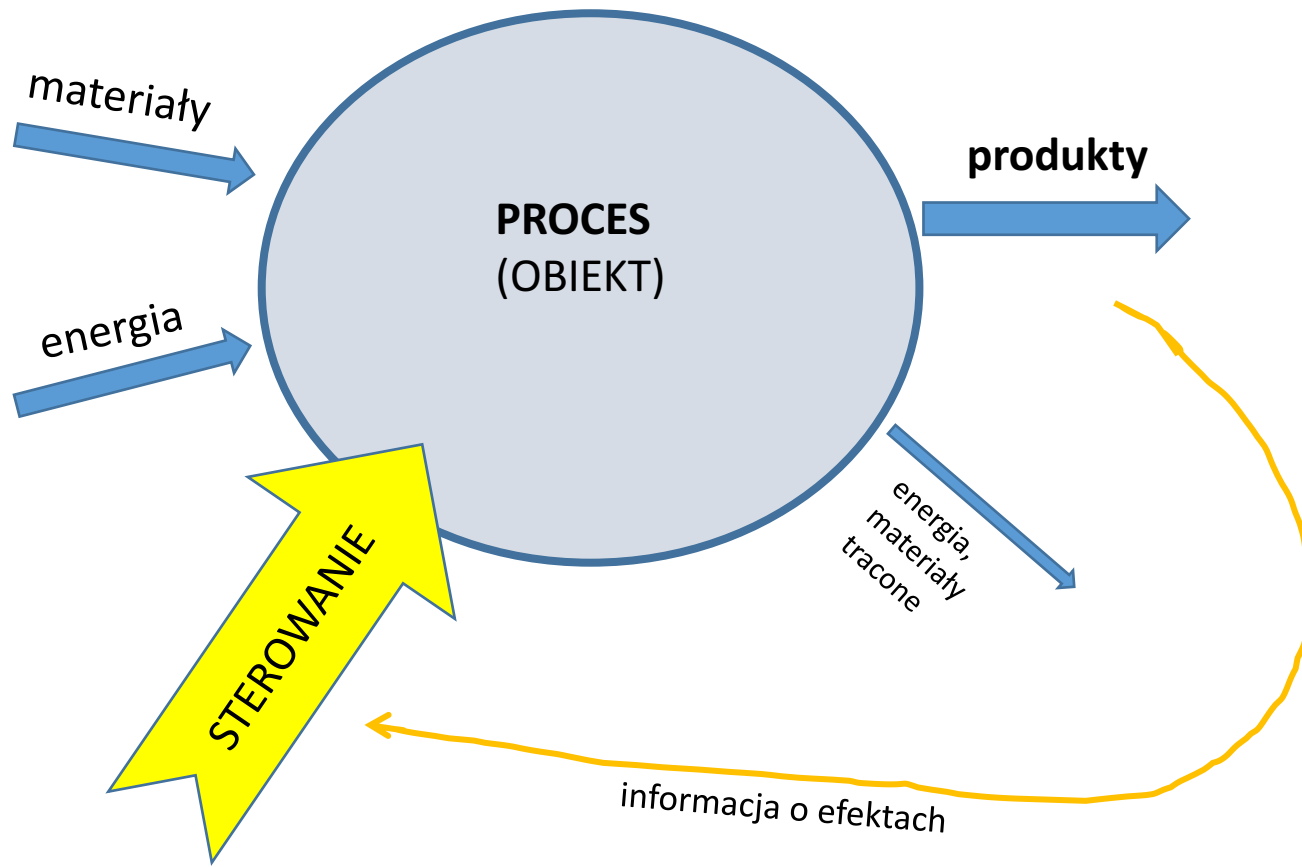






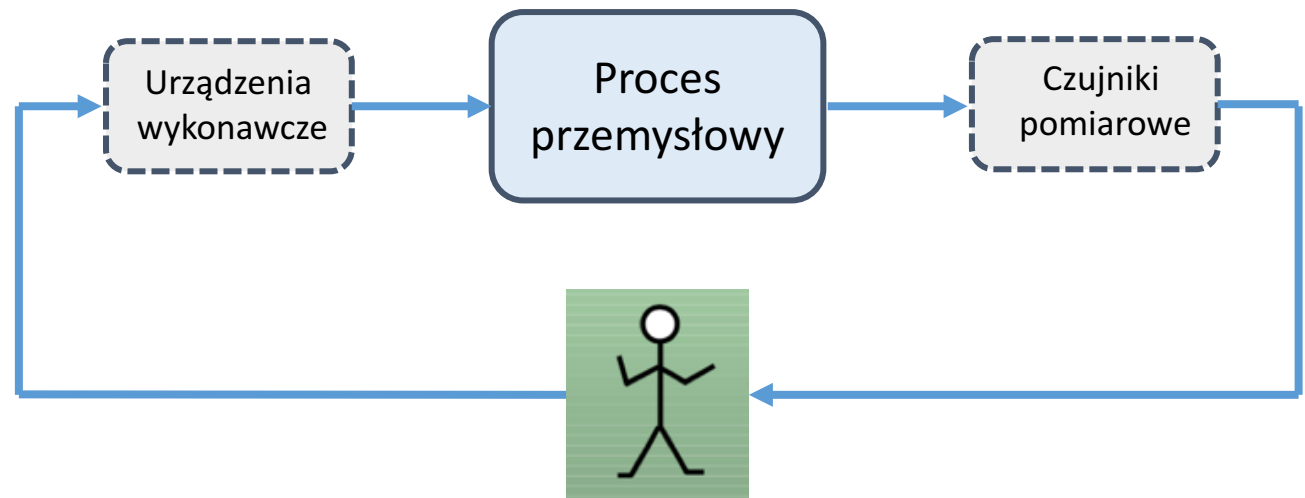
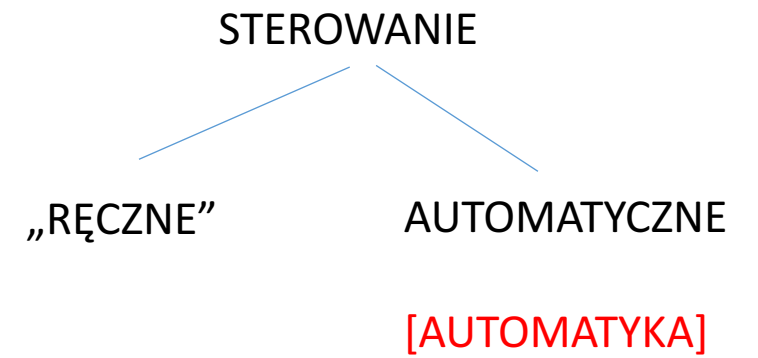
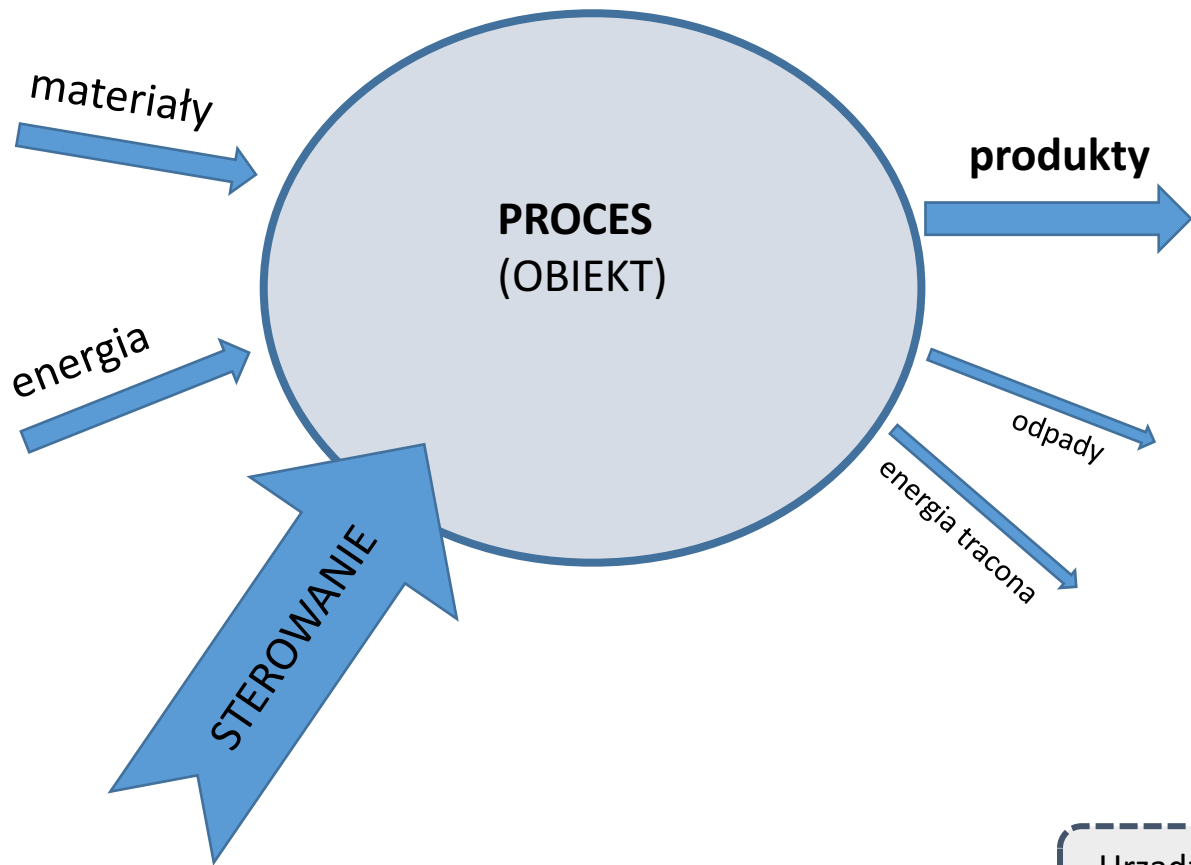
Sterowanie polega na takim oddziaływaniu na dany obiekt (proces) aby osiągnąć określony cel.

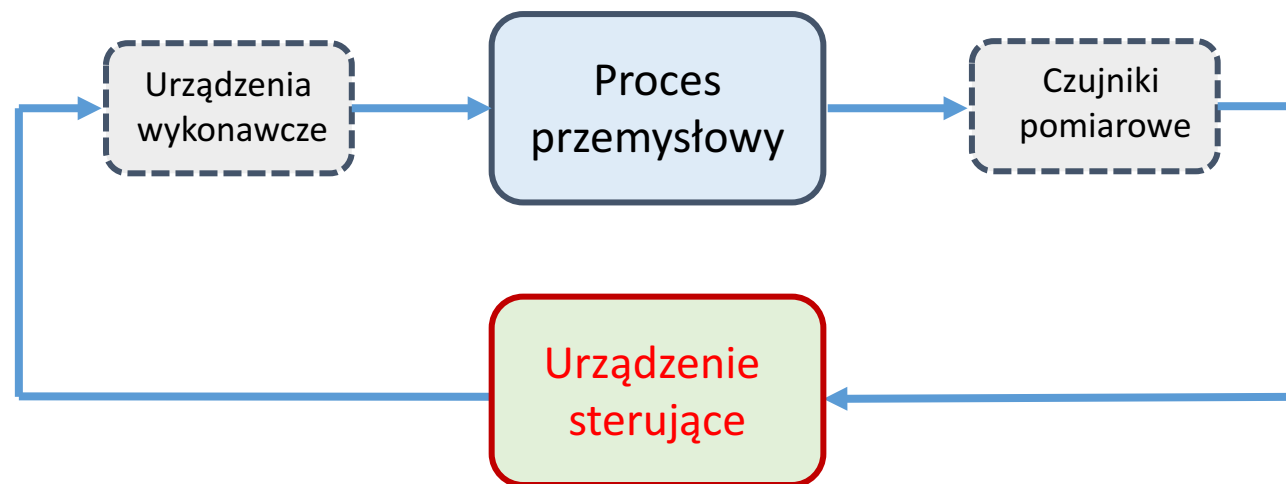
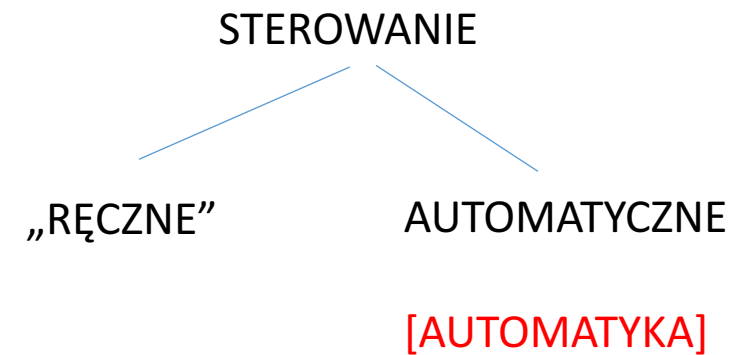
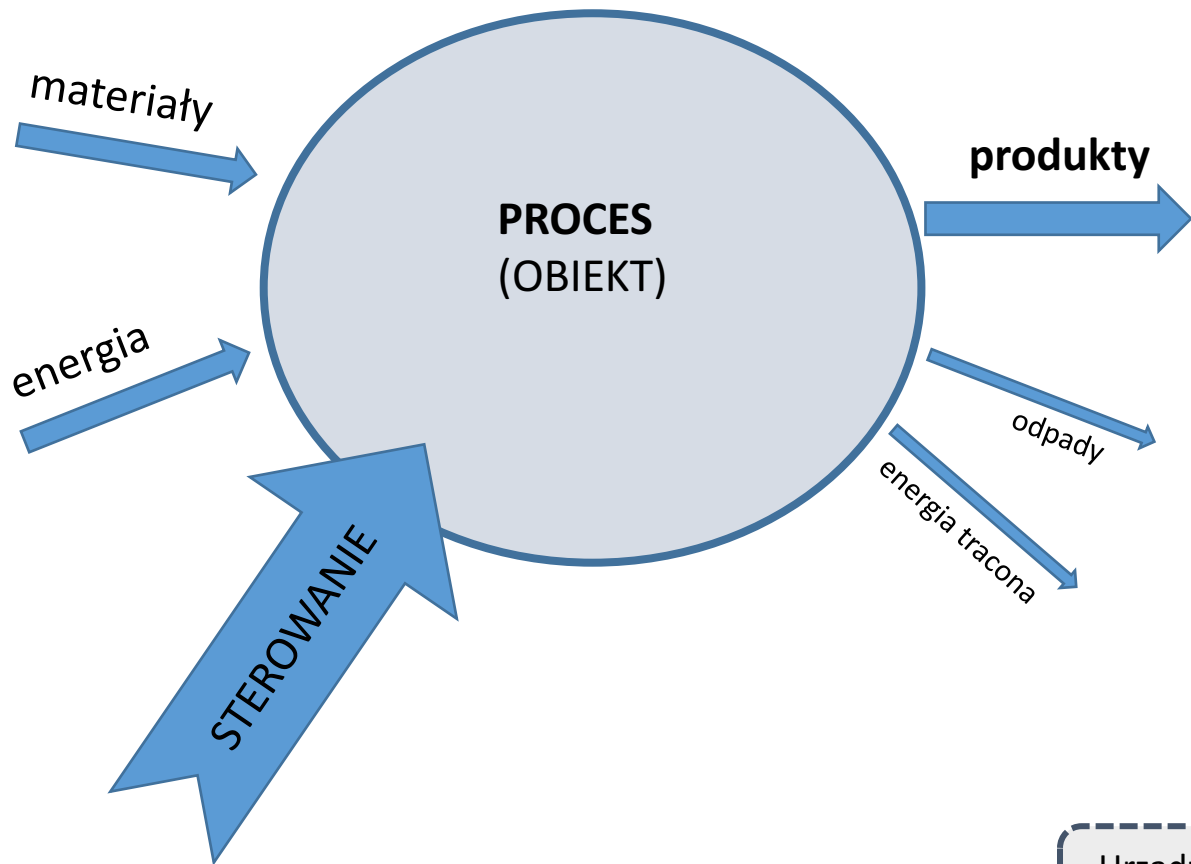
Obiekt, na który oddziałuje się podczas sterowania, nazywany jest *obiektem sterowania*.

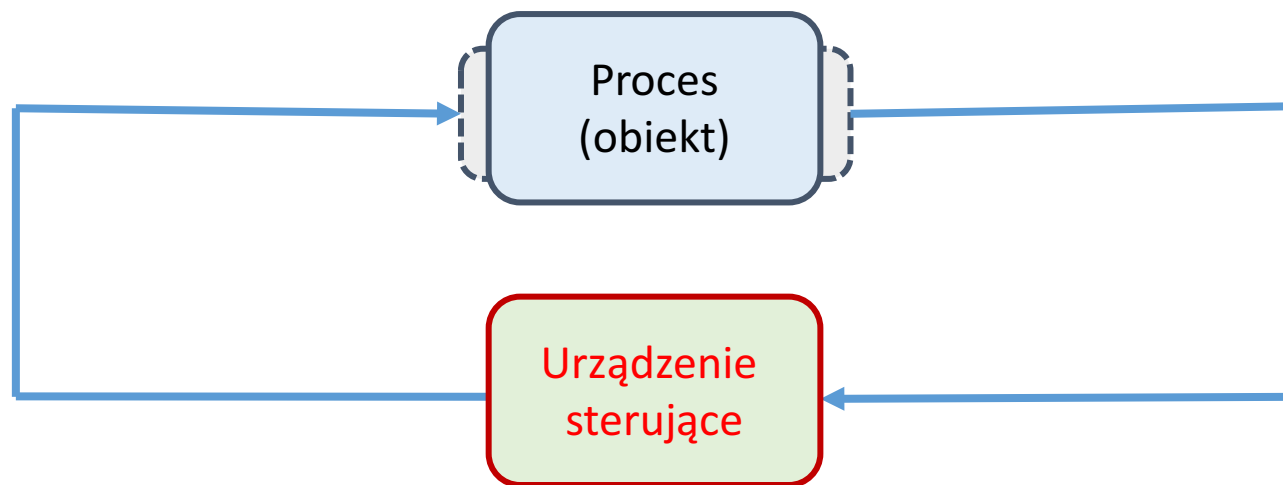
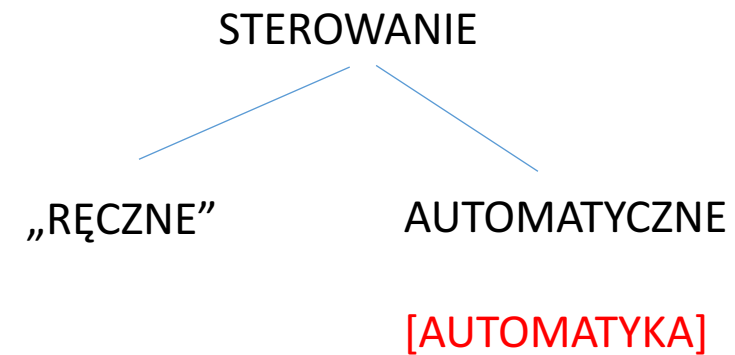
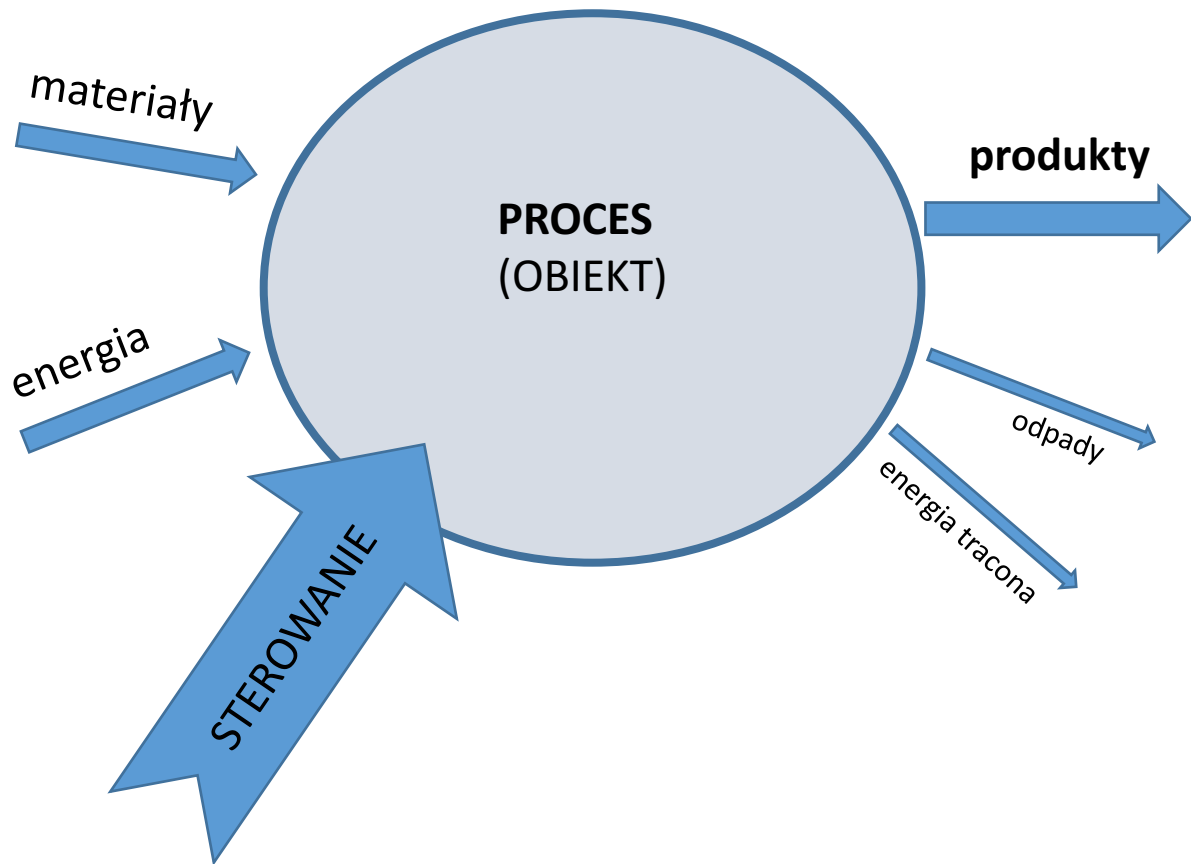


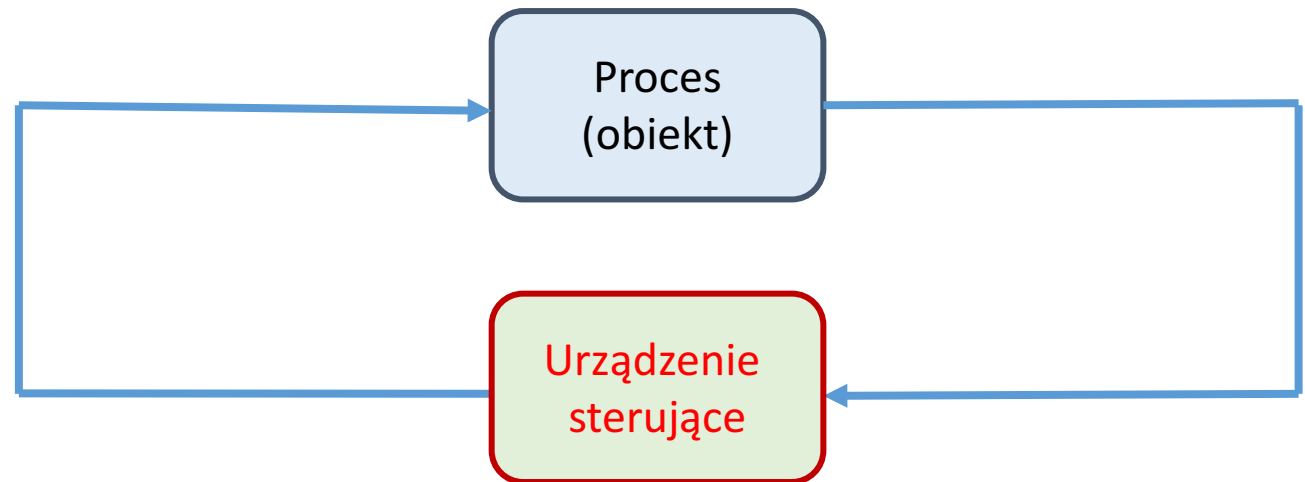
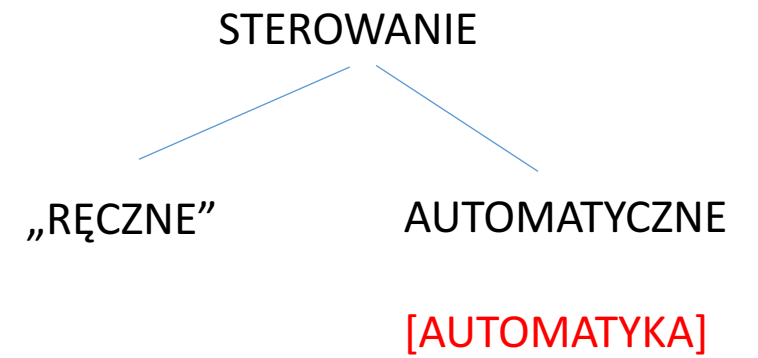
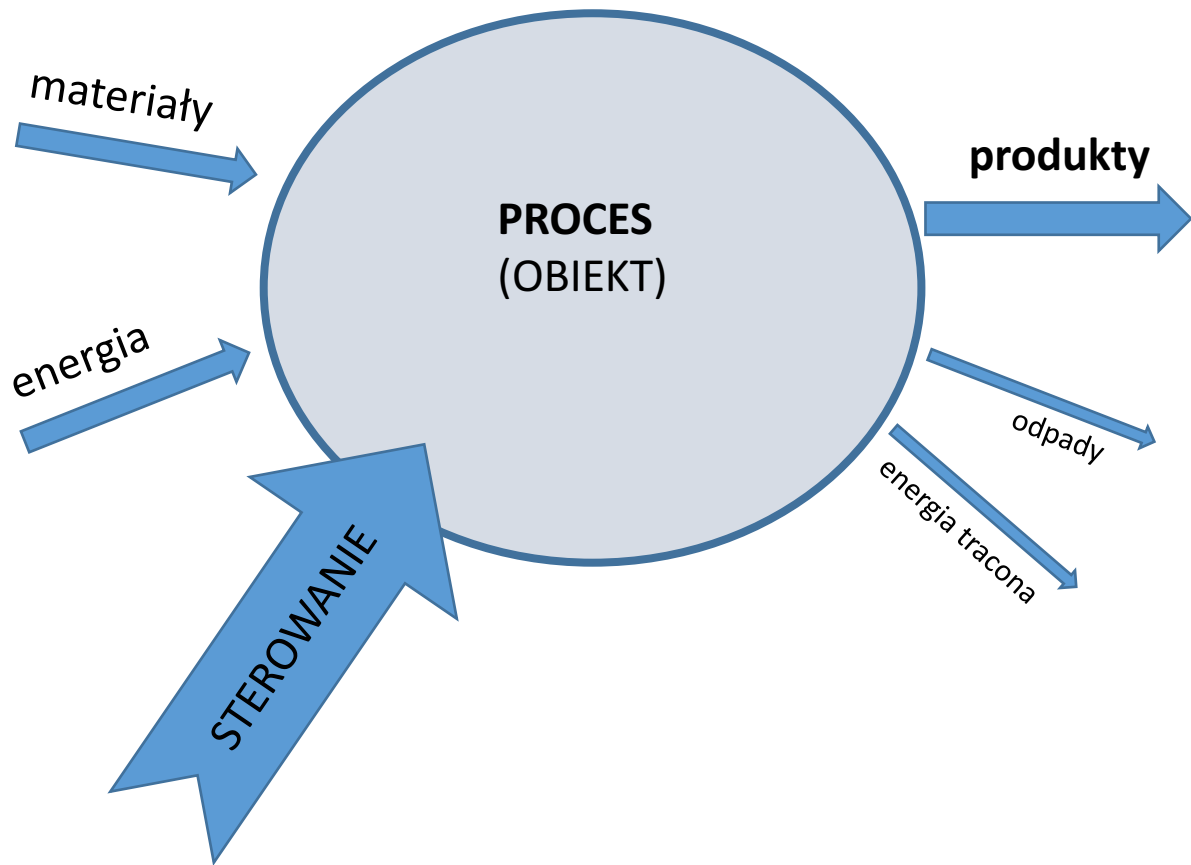
Sterowanie polega na takim oddziaływaniu na dany obiekt (proces) aby osiągnąć określony cel.

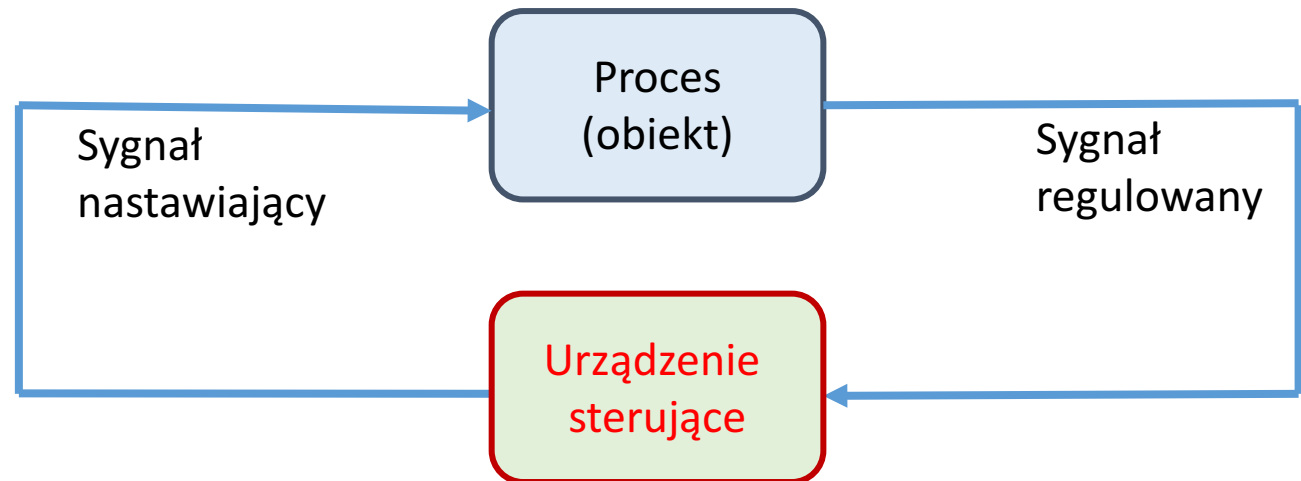
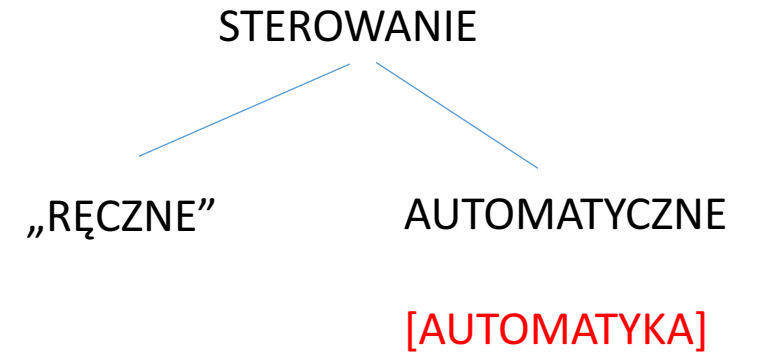
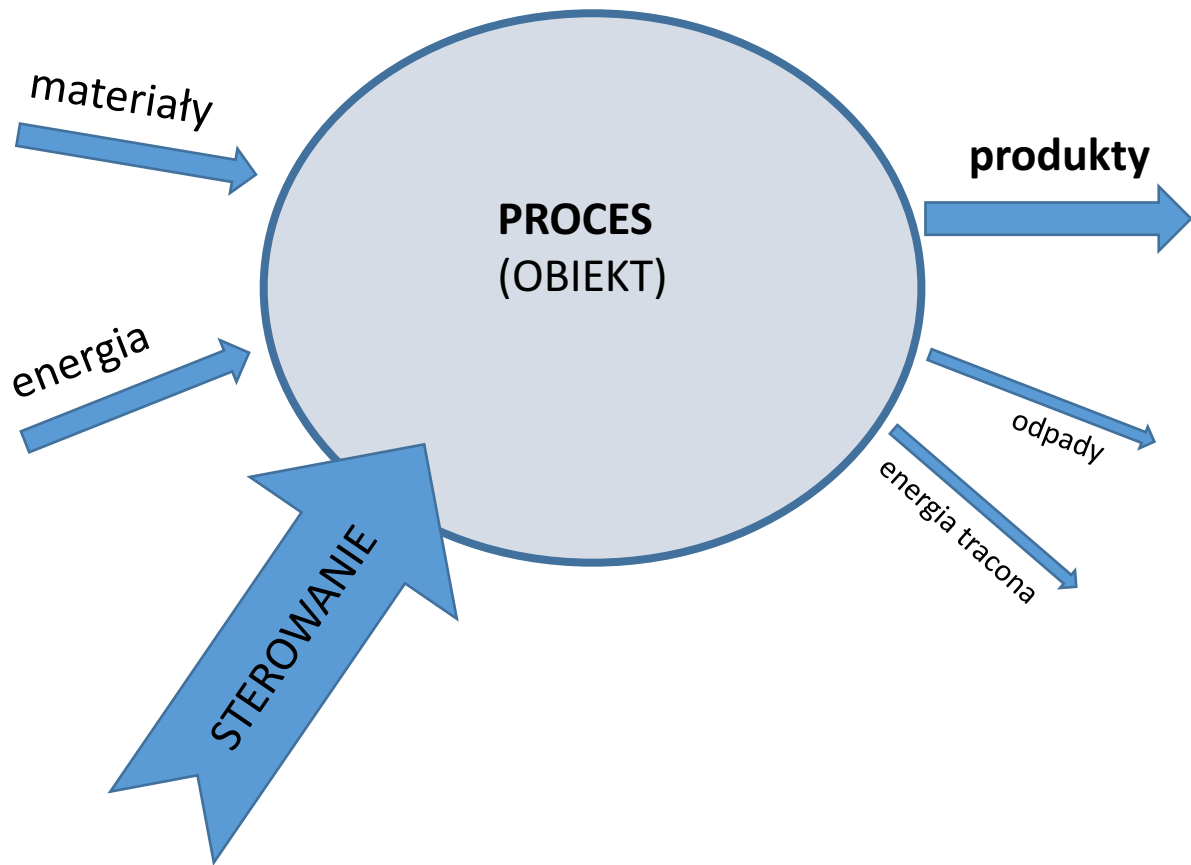
Obiekt, na który oddziałuje się podczas sterowania, nazywany jest *obiekttem sterowania*.

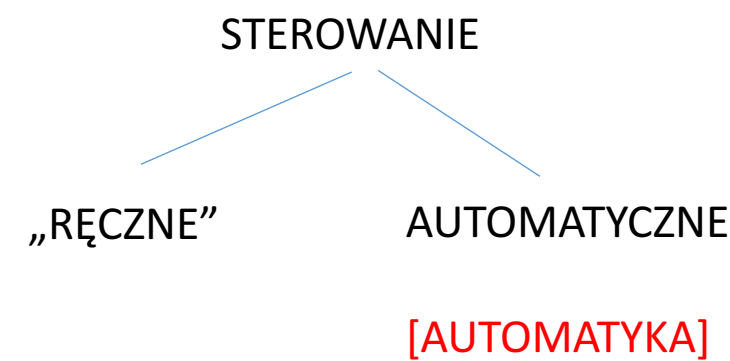
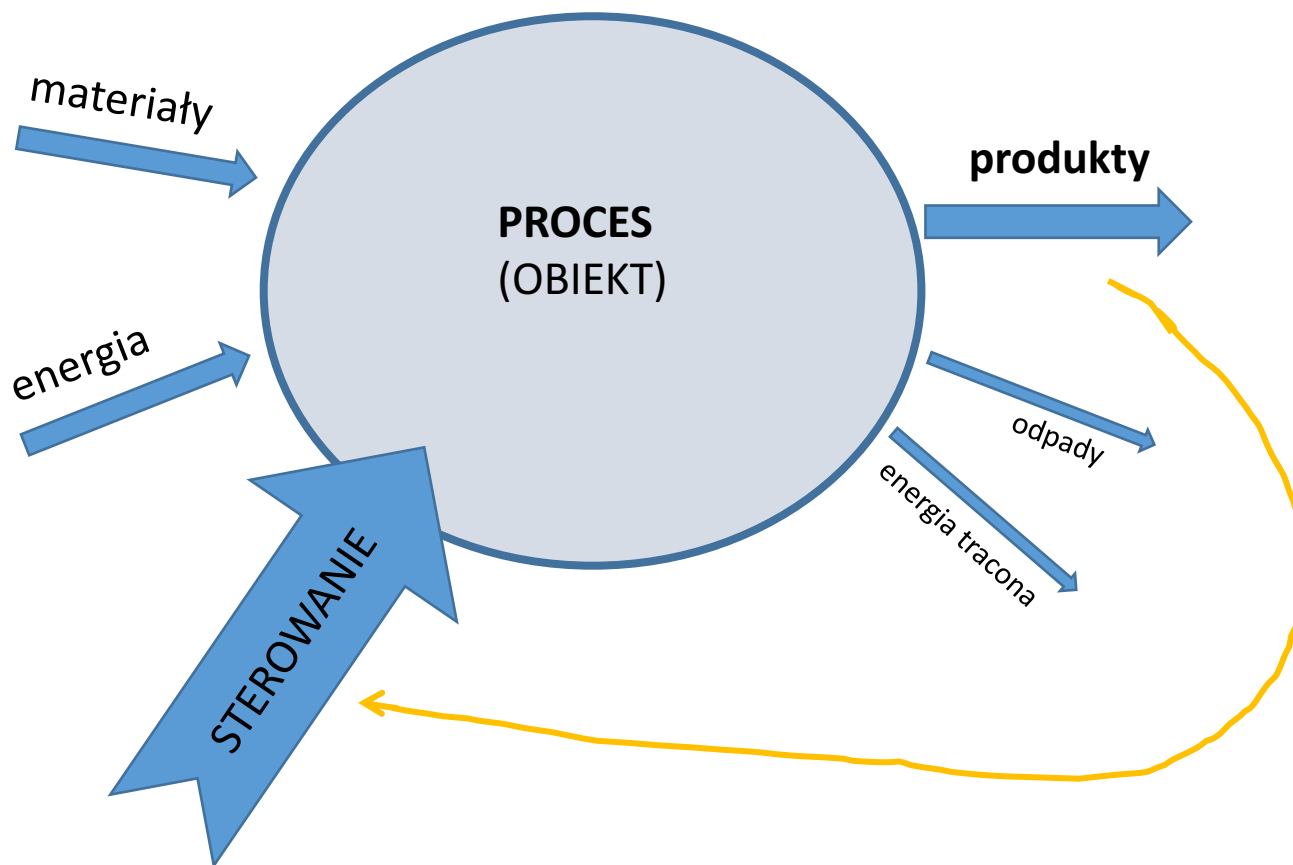




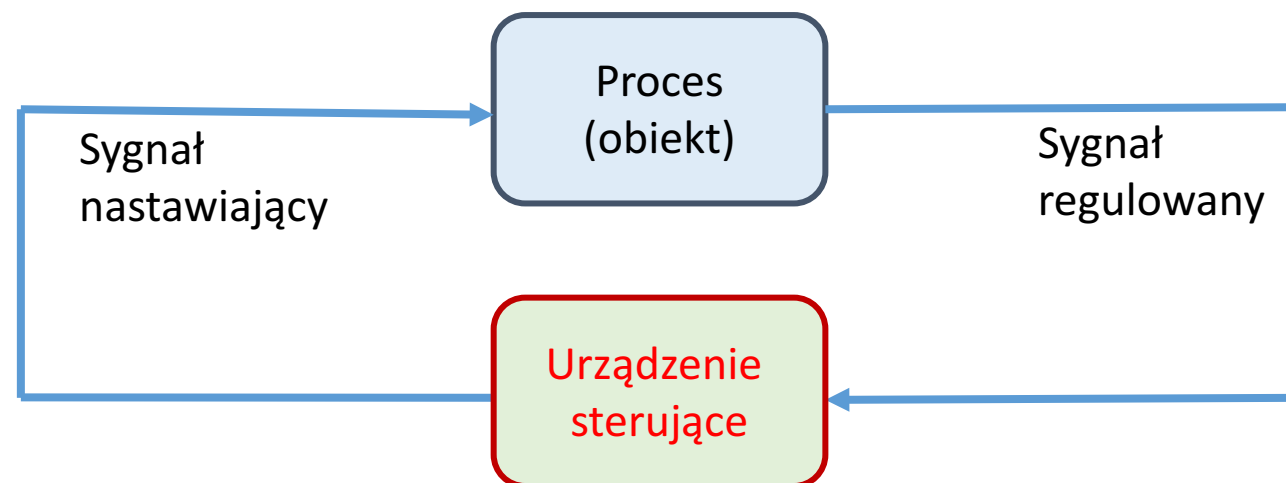








Sygnał – wielkość fizyczna zmieniająca się w czasie. Może być opisany przez podanie pewnej funkcji zależnej od czasu. Sygnał niesie informację (umożliwia przepływ strumienia informacji).



HISTORIA

PROCES PRANIA:



przed mechanizacją



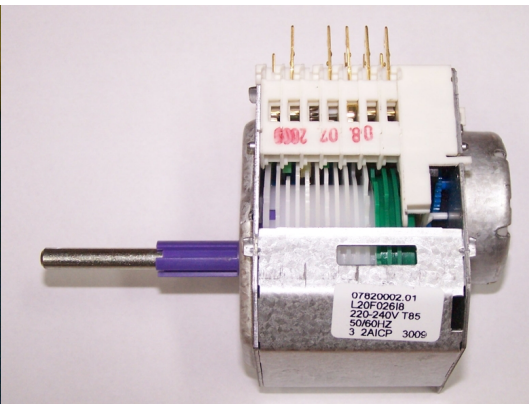
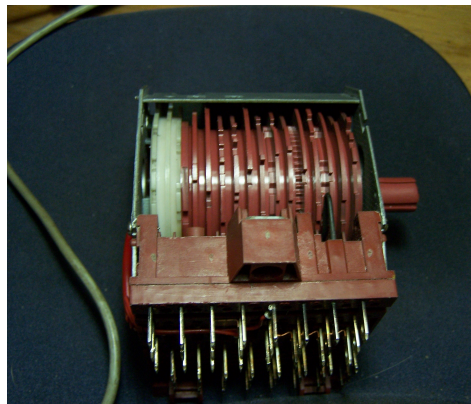
mechanizacja



automatyzacja



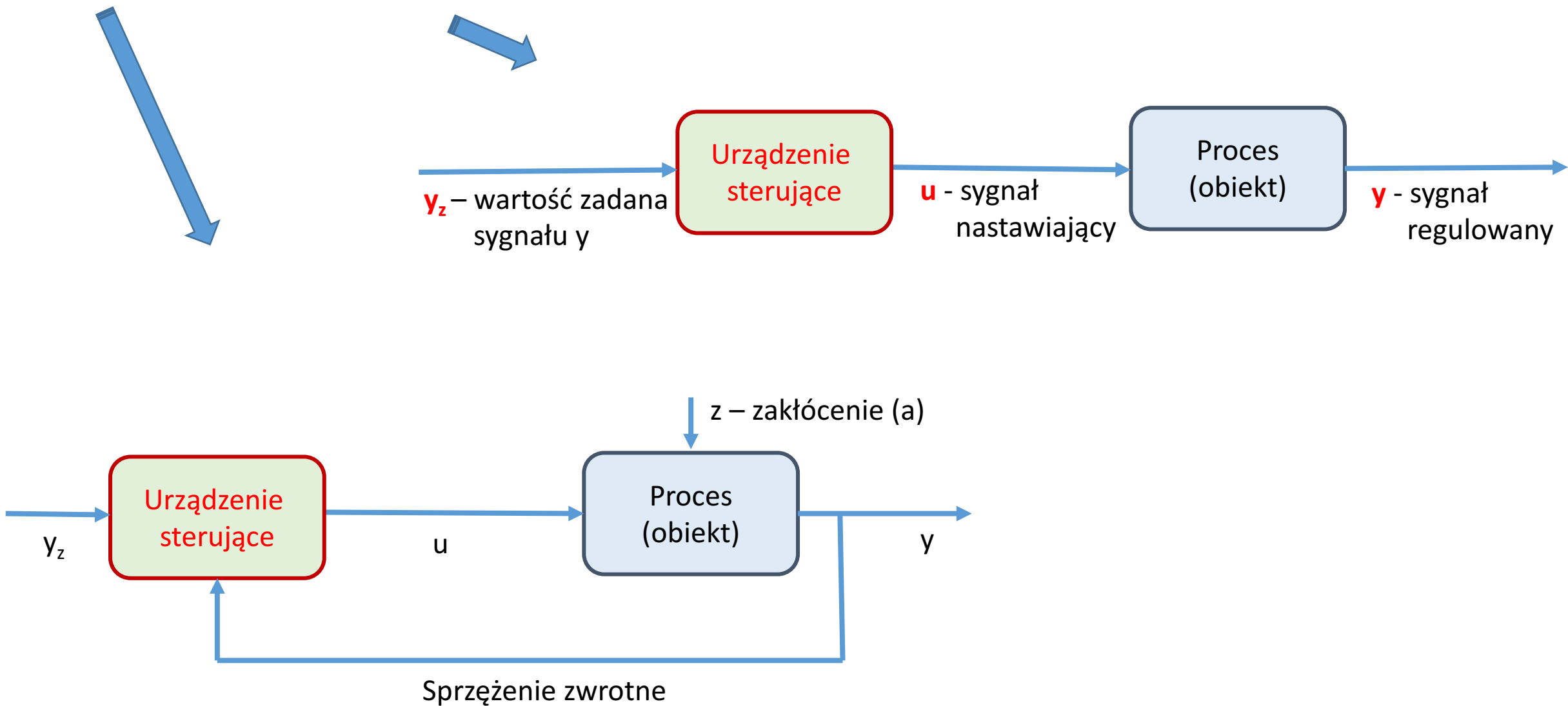
komputeryzacja



UKŁAD STEROWANIA

ZAMKNIĘTY

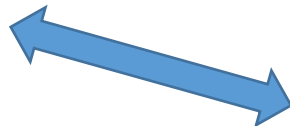
OTWARTY



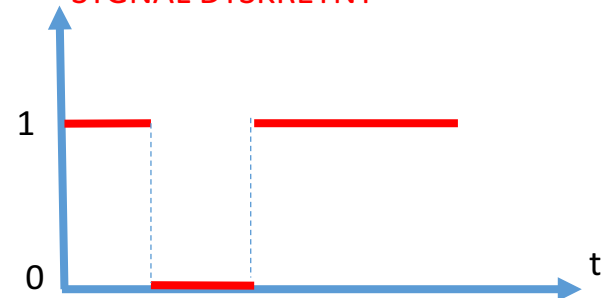
UKŁAD STEROWANIA

CIĄGŁY

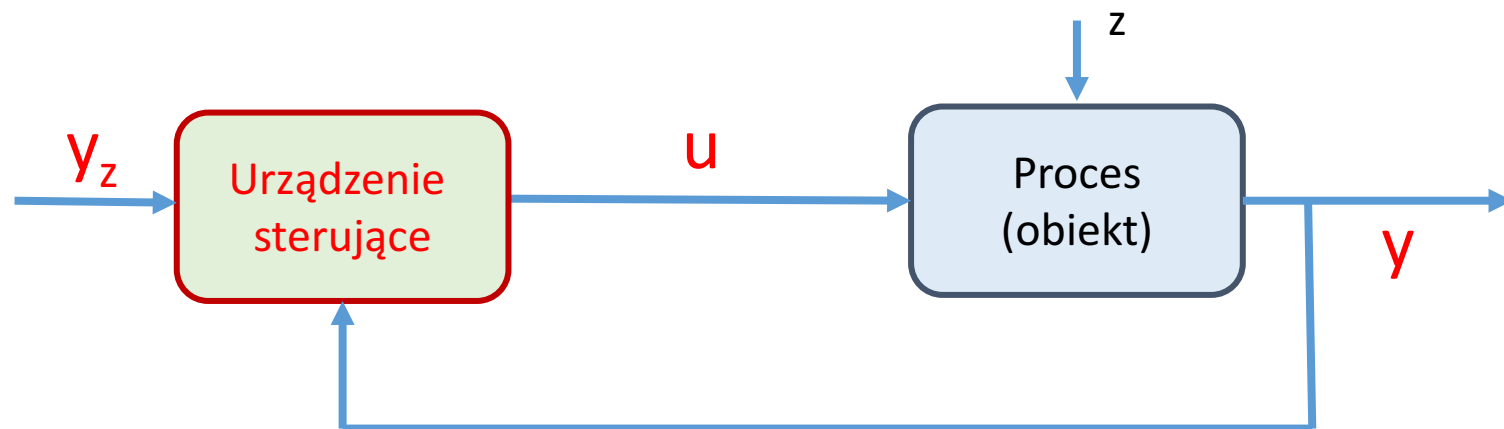
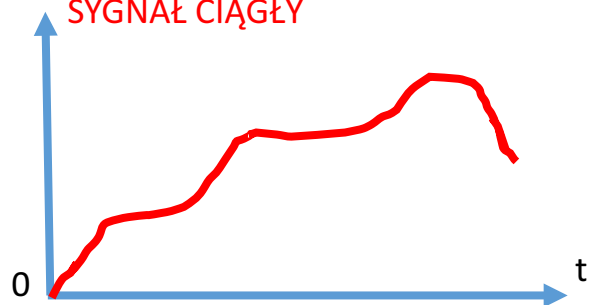
DYSKRETNY



SYGNAŁ DYSKRETNY



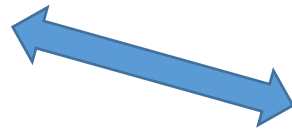
SYGNAŁ CIĄGŁY



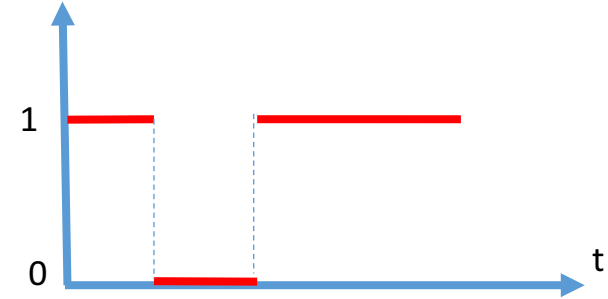
UKŁAD STEROWANIA

CIĄGŁY

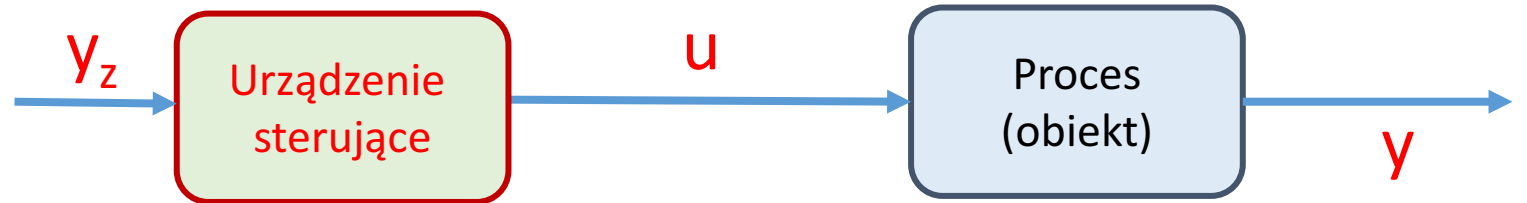
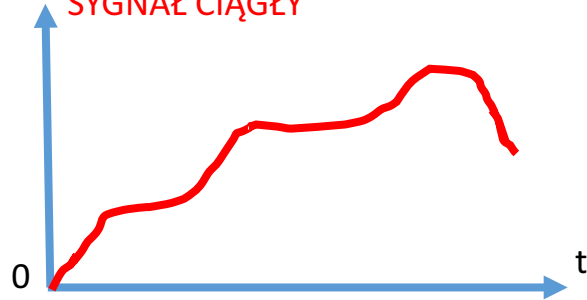
DYSKRETNY



SYGNAŁ DYSKRETNY



SYGNAŁ CIĄGŁY

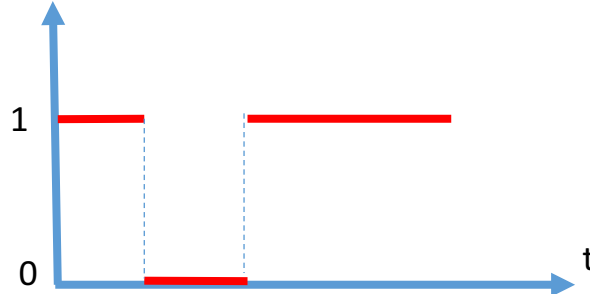


UKŁAD STEROWANIA

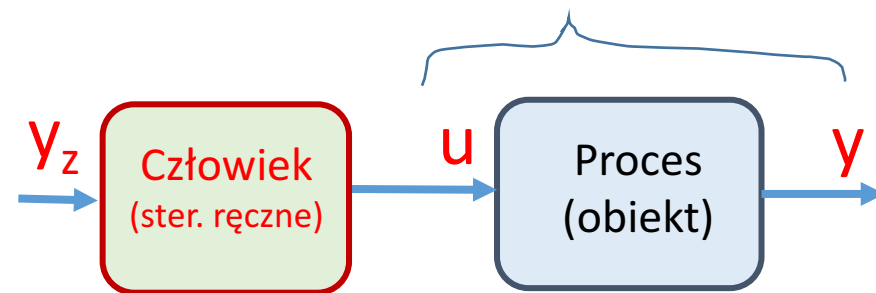
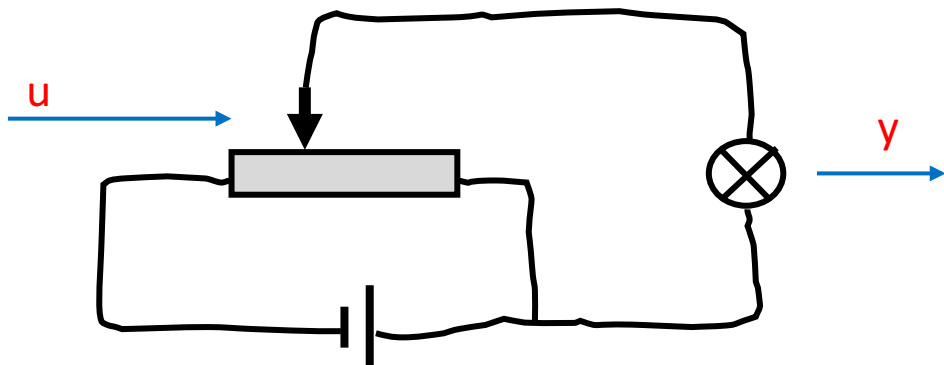
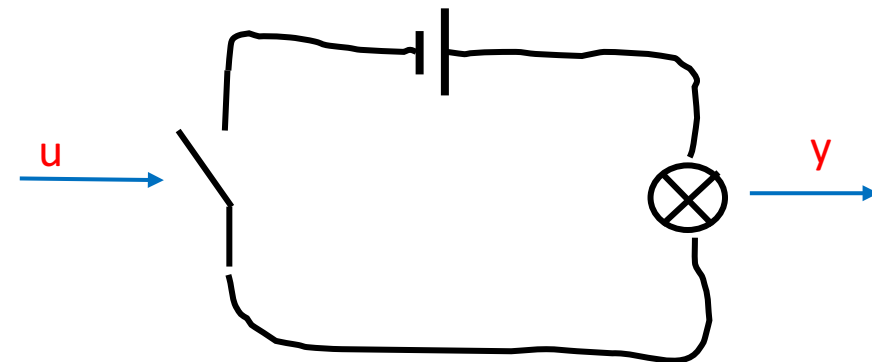
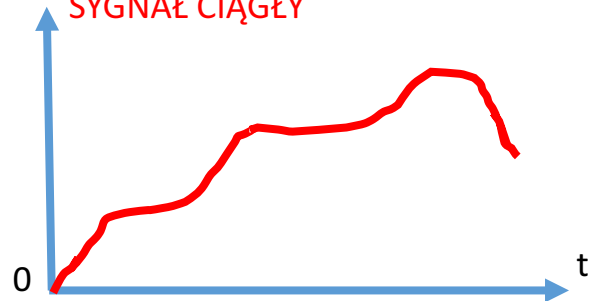
CIĄGŁY

DYSKRETNY

SYGNAŁ DYSKRETNY



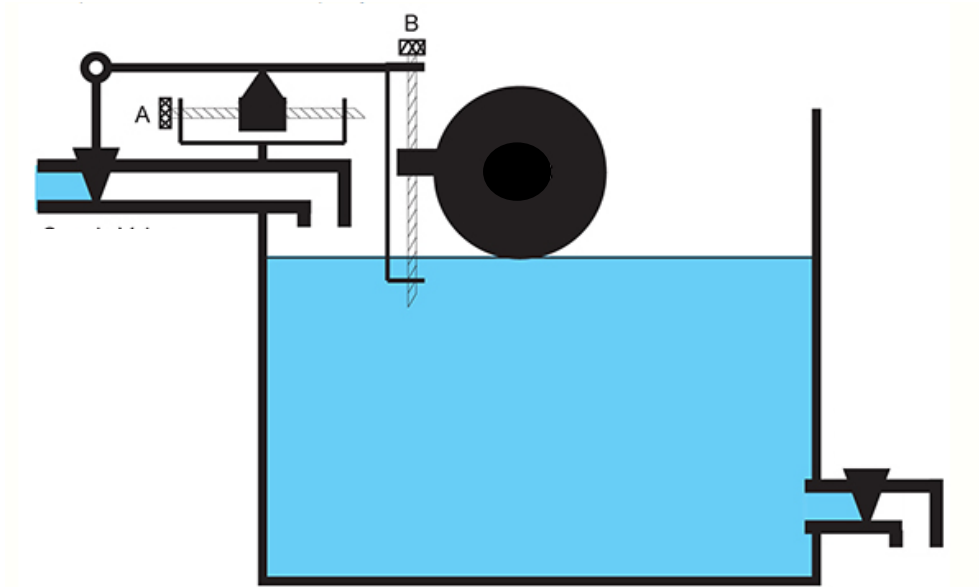
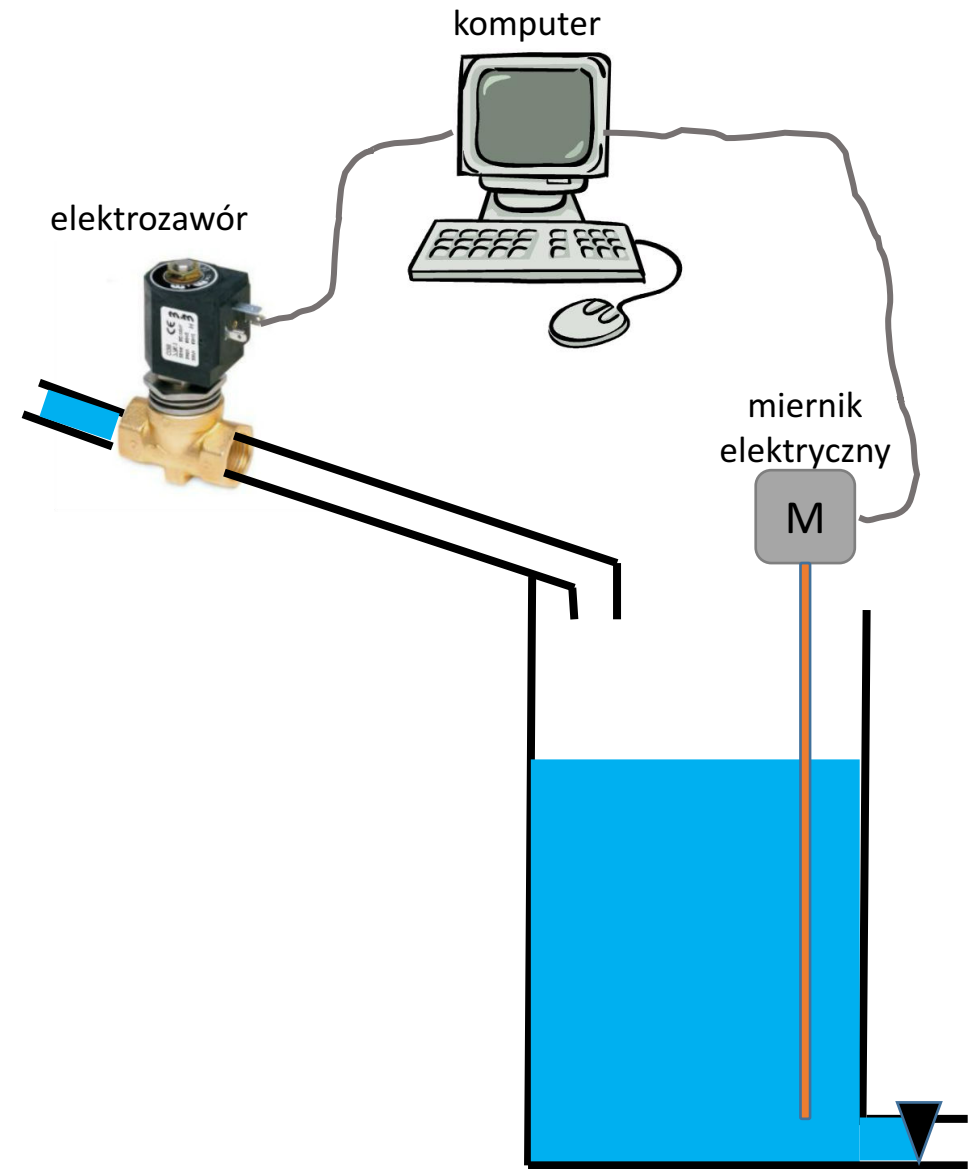
SYGNAŁ CIĄGŁY



UKŁAD STEROWANIA

ANALOGOWY

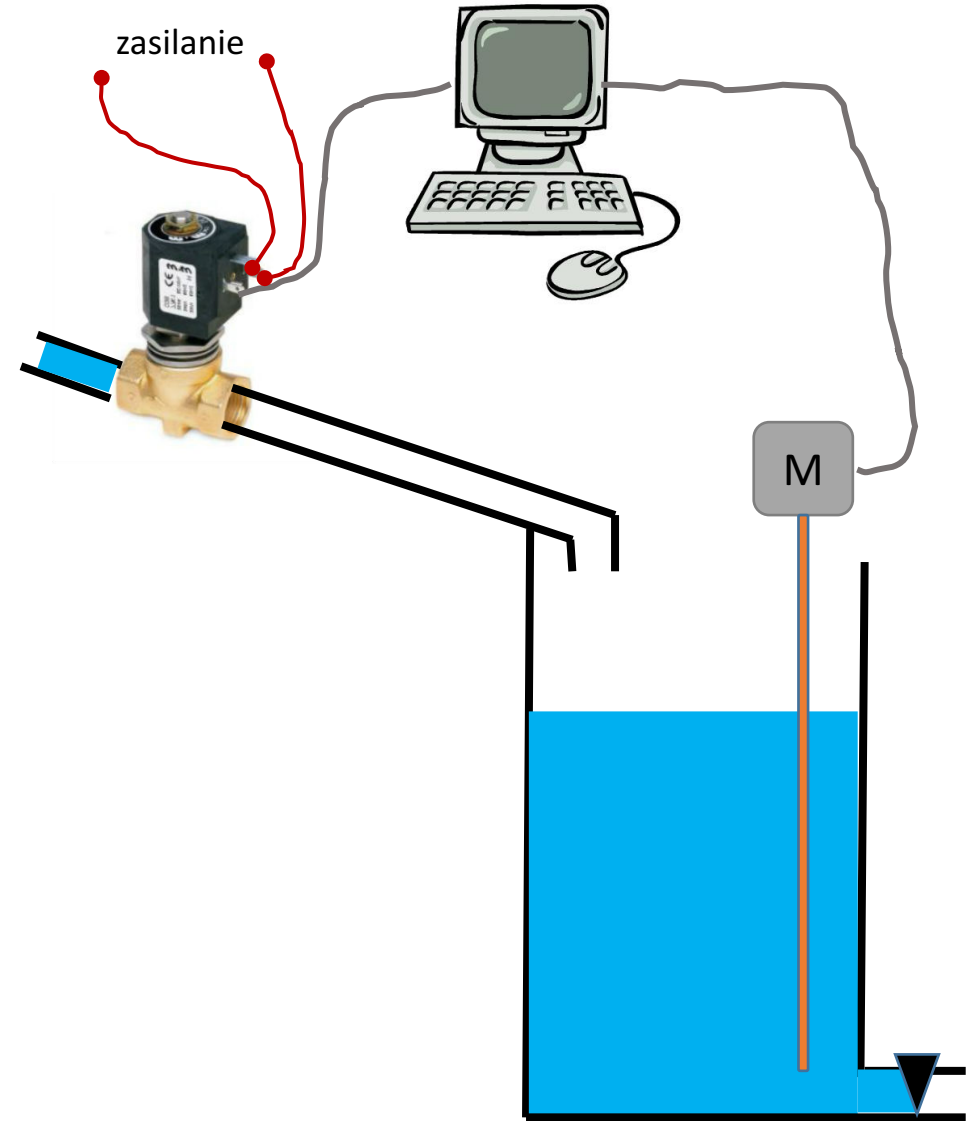
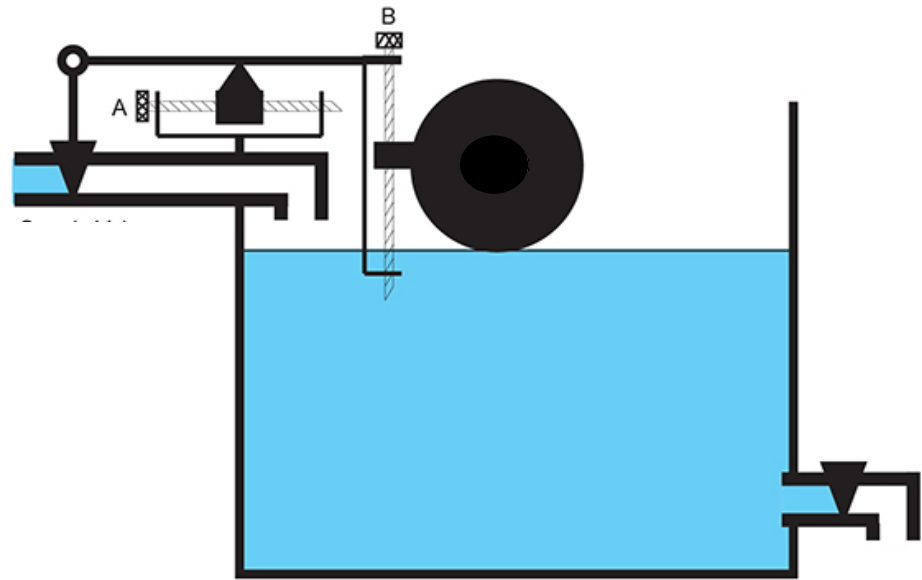
CYFROWY



UKŁAD STEROWANIA

BEZPOŚREDNIEGO
DZIAŁANIA

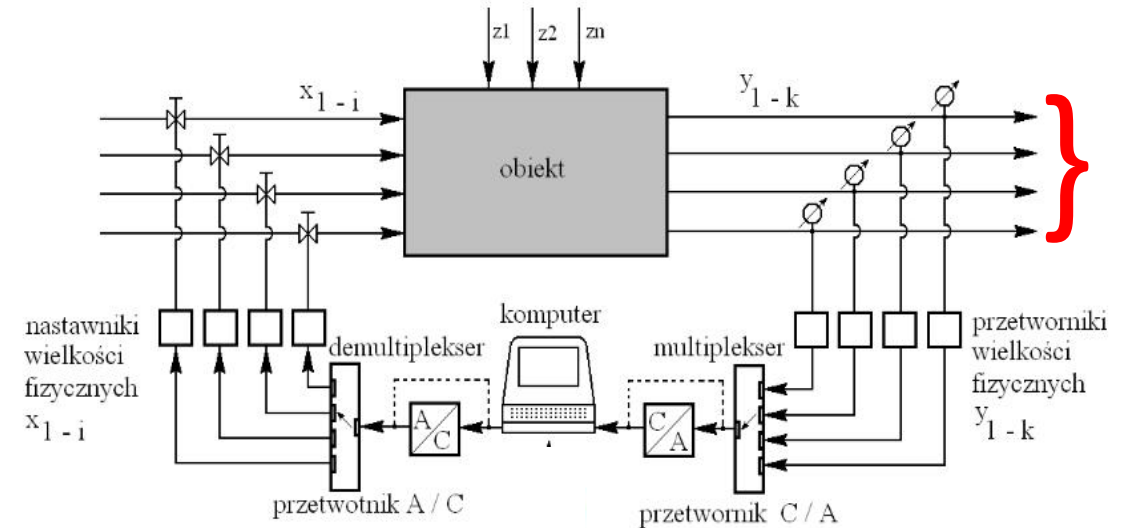
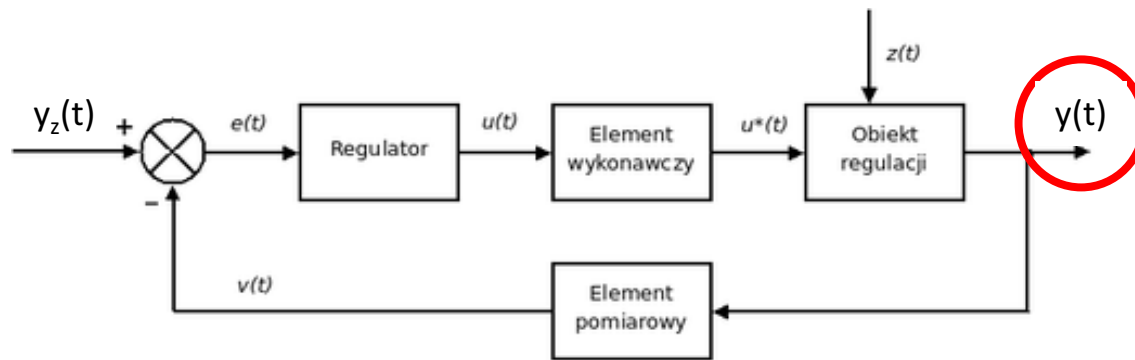
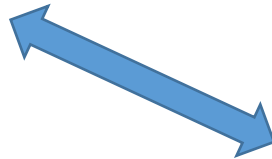
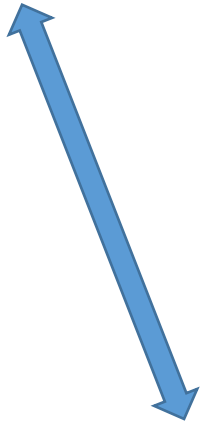
Z ENERGIA
POMOCNICZĄ



UKŁAD STEROWANIA

JEDNOWYMIAROWY

WIELOWYMIAROWY



REALIZOWANE ZADANIA (UKŁADU STEROWANIA)

REG. STAŁOWARTOŚCIOWA

$$y_z = \text{const.}$$

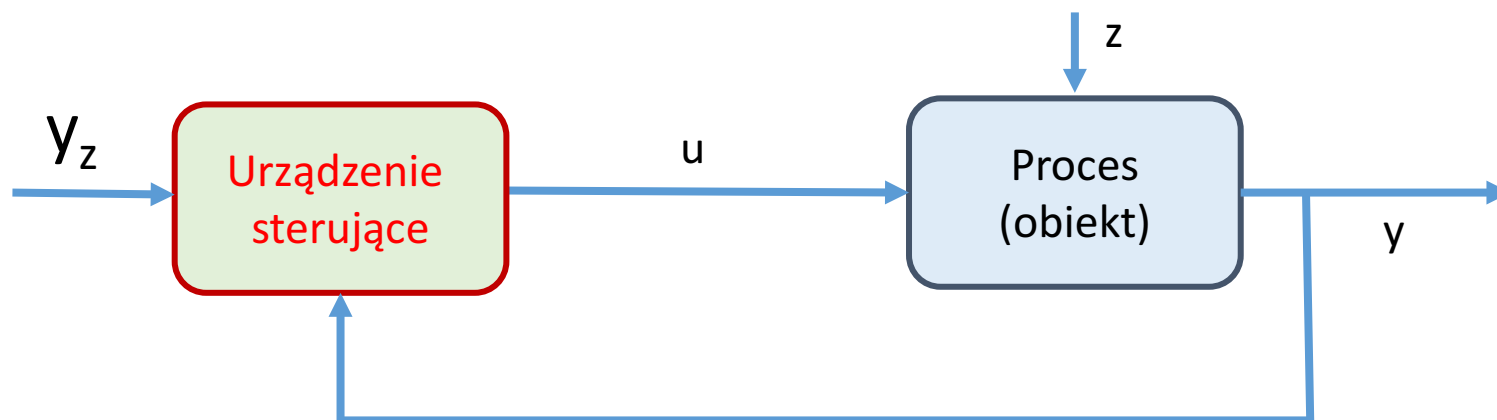
REG. NADAŻNA

$$y_z = \text{var.}$$

REG. PROGRAMOWA

$$y_z = \text{var.}$$

zmiana
zaprogramowana

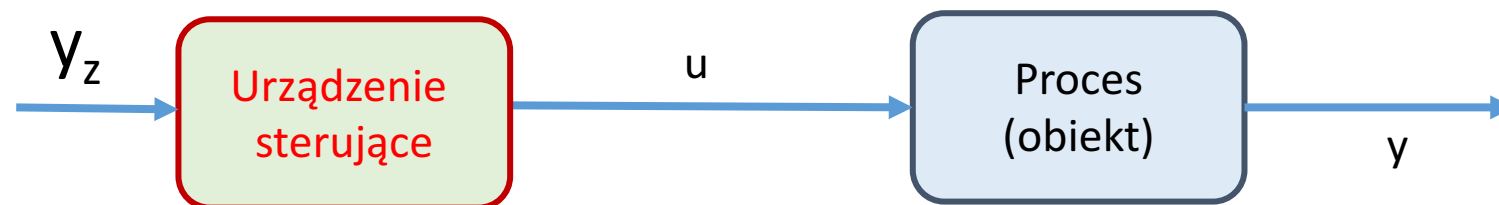


y – sygnał regulowany

y_z - wartość zadana y

u – sygnał nastawiający

z – zakłócenie(a)

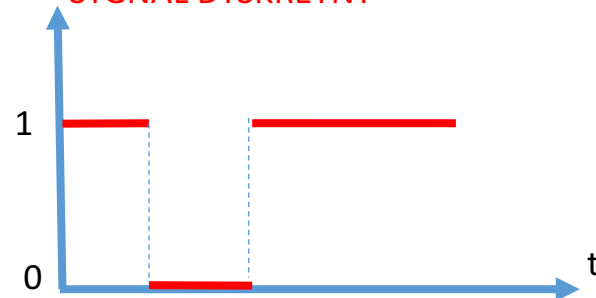


UKŁAD STEROWANIA

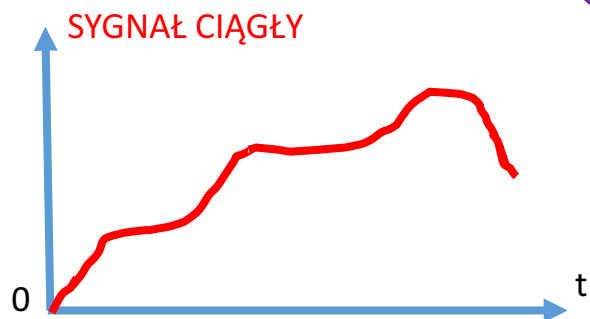
CIĄGŁY

DYSKRETNY

SYGNAŁ DYSKRETNY

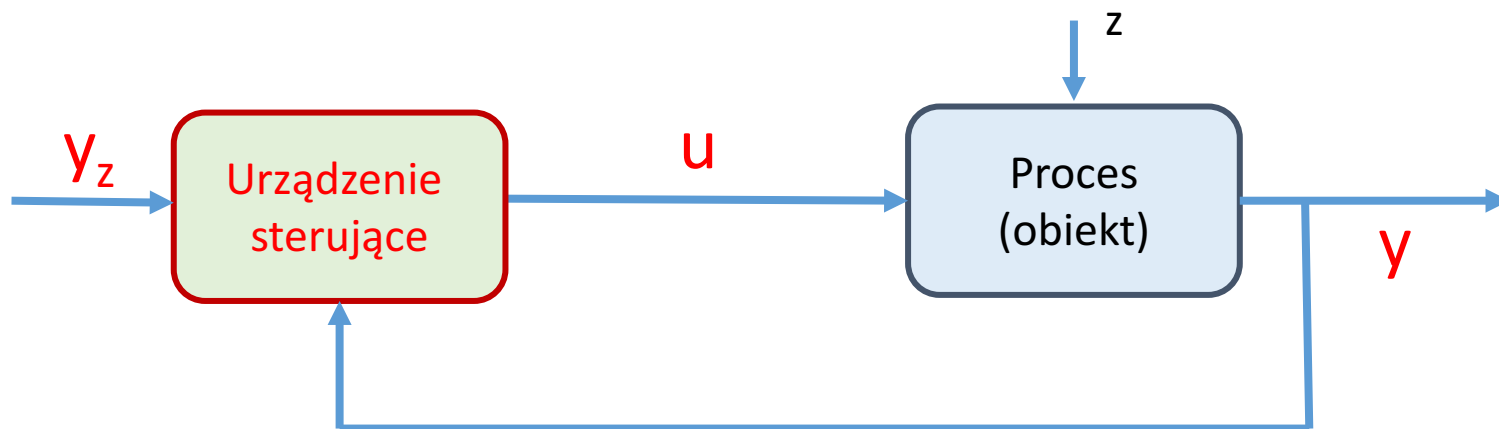


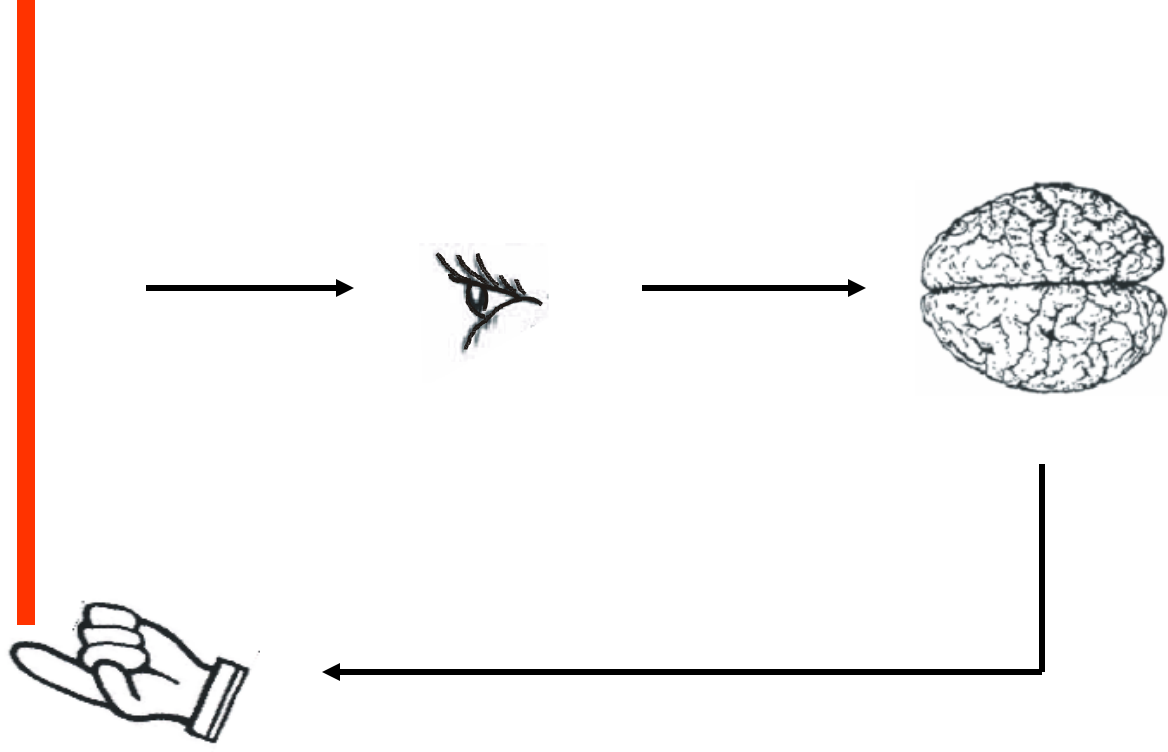
SYGNAŁ CIĄGŁY

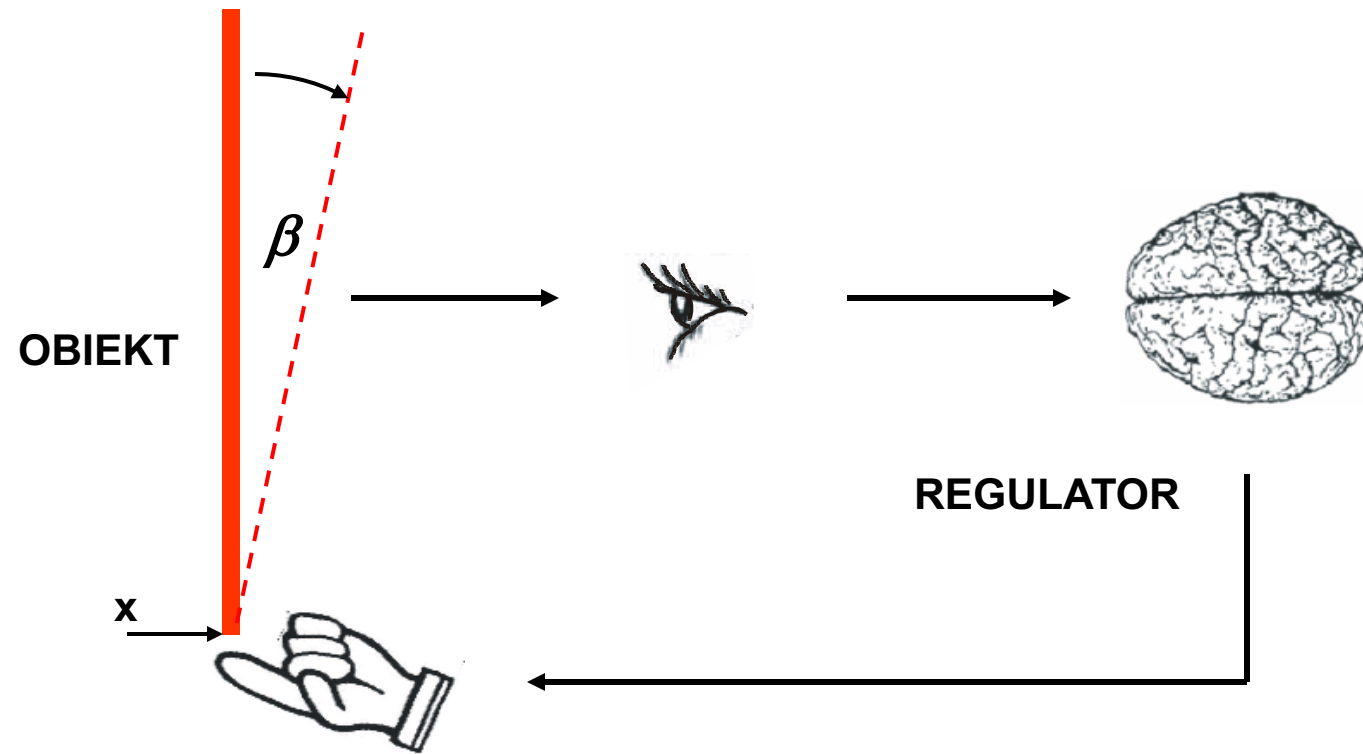


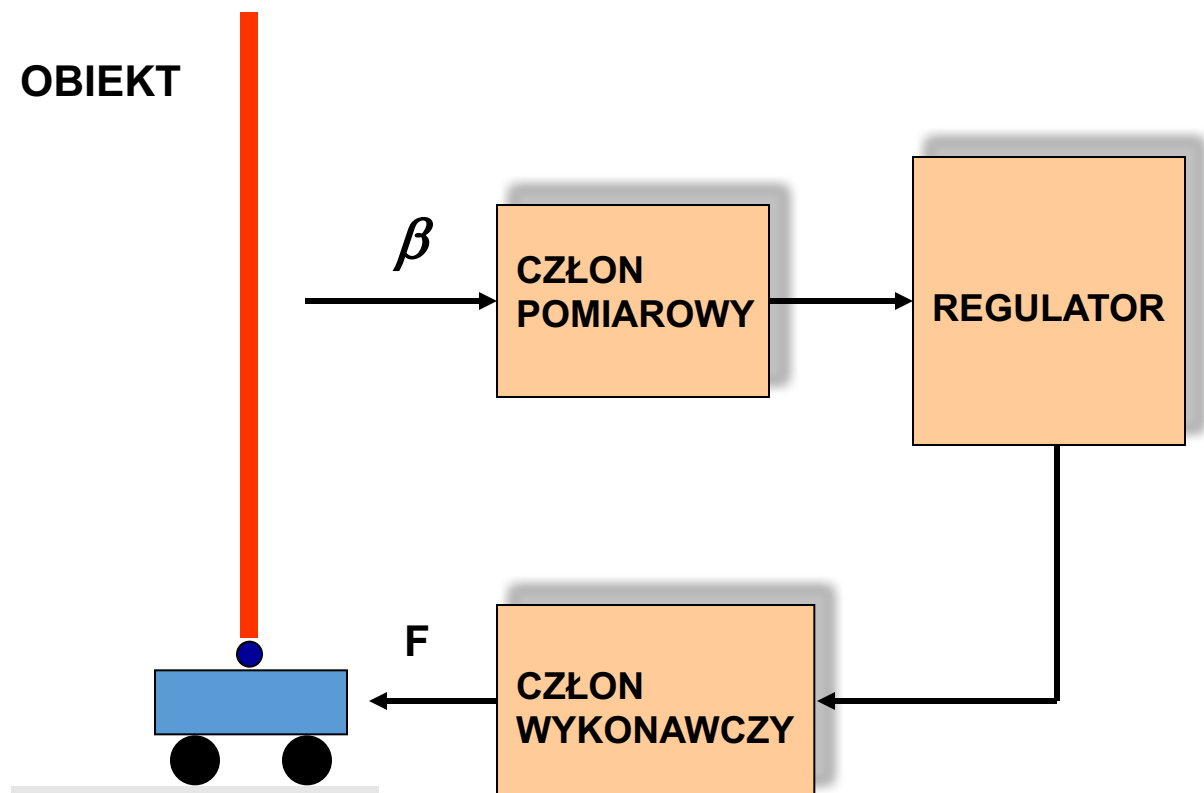
W następnym semestrze

W tym semestrze !

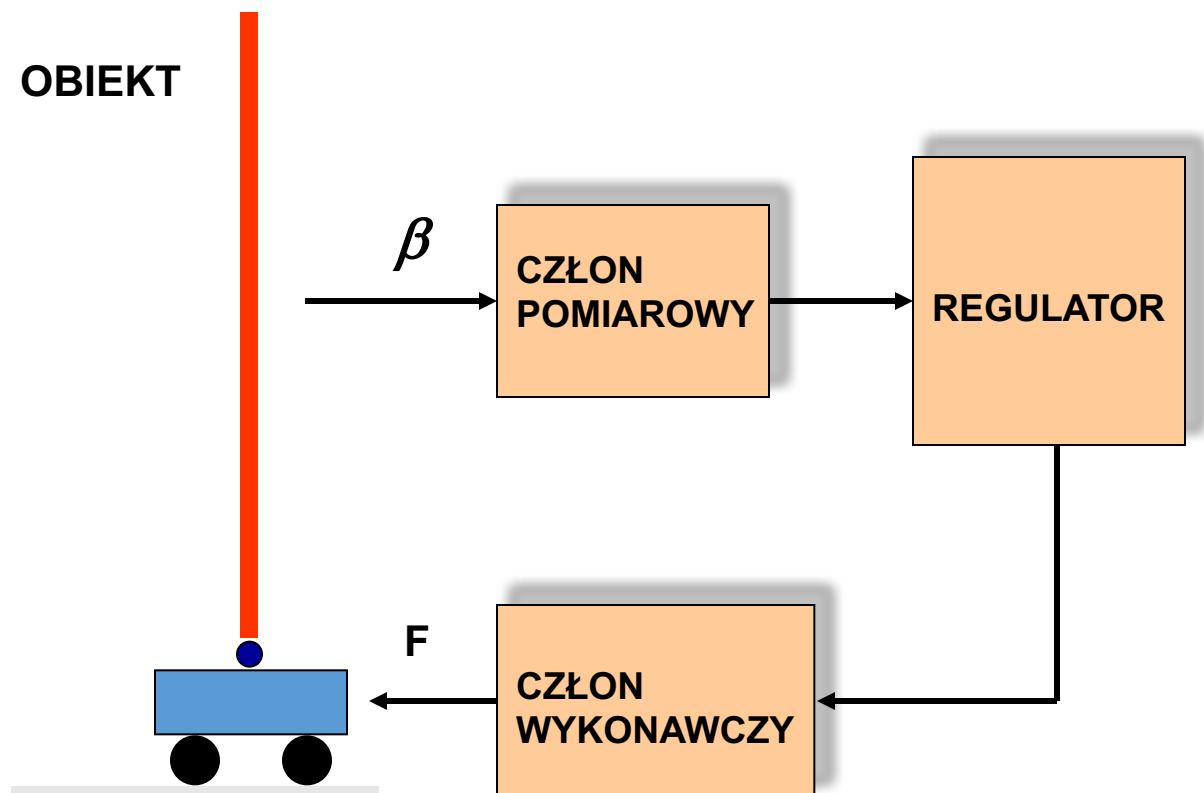


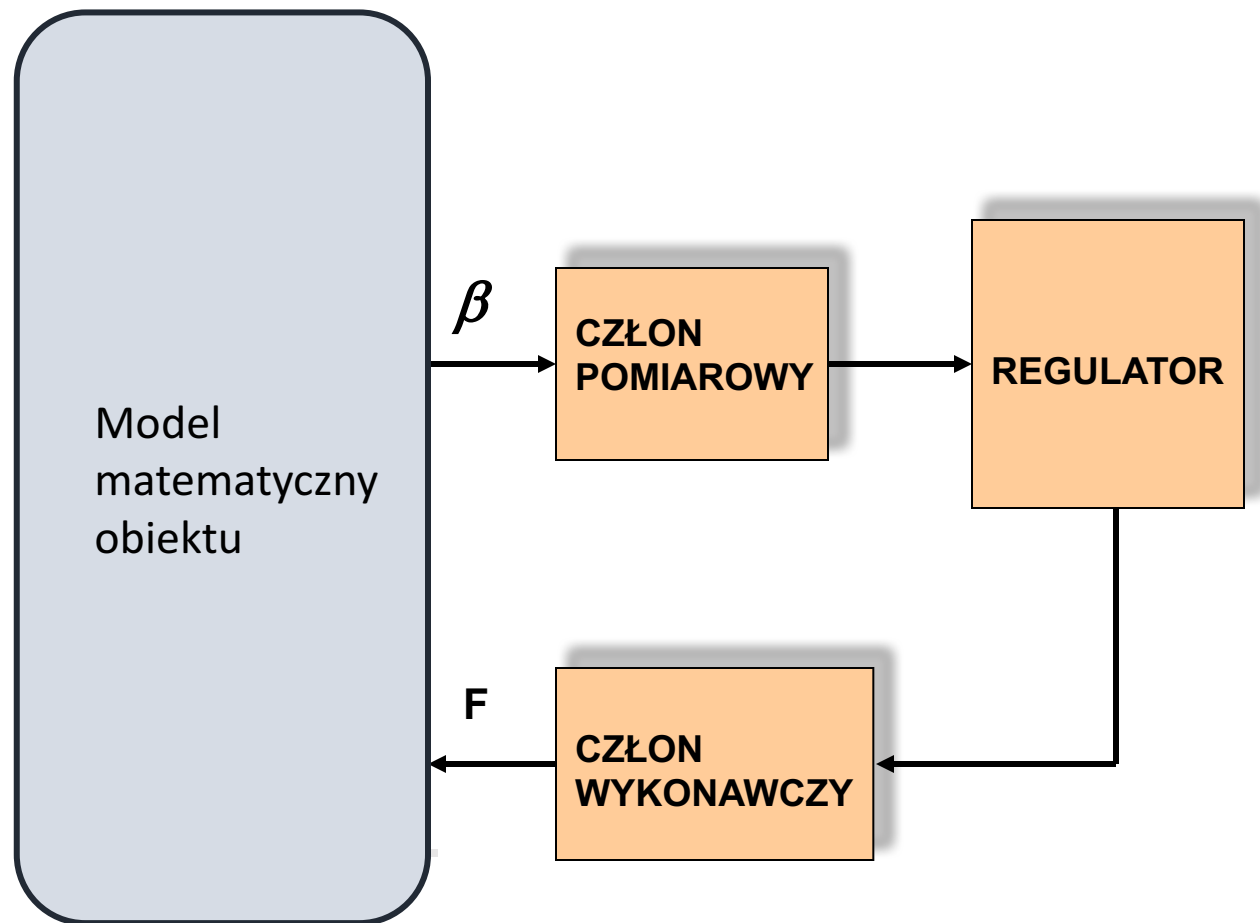


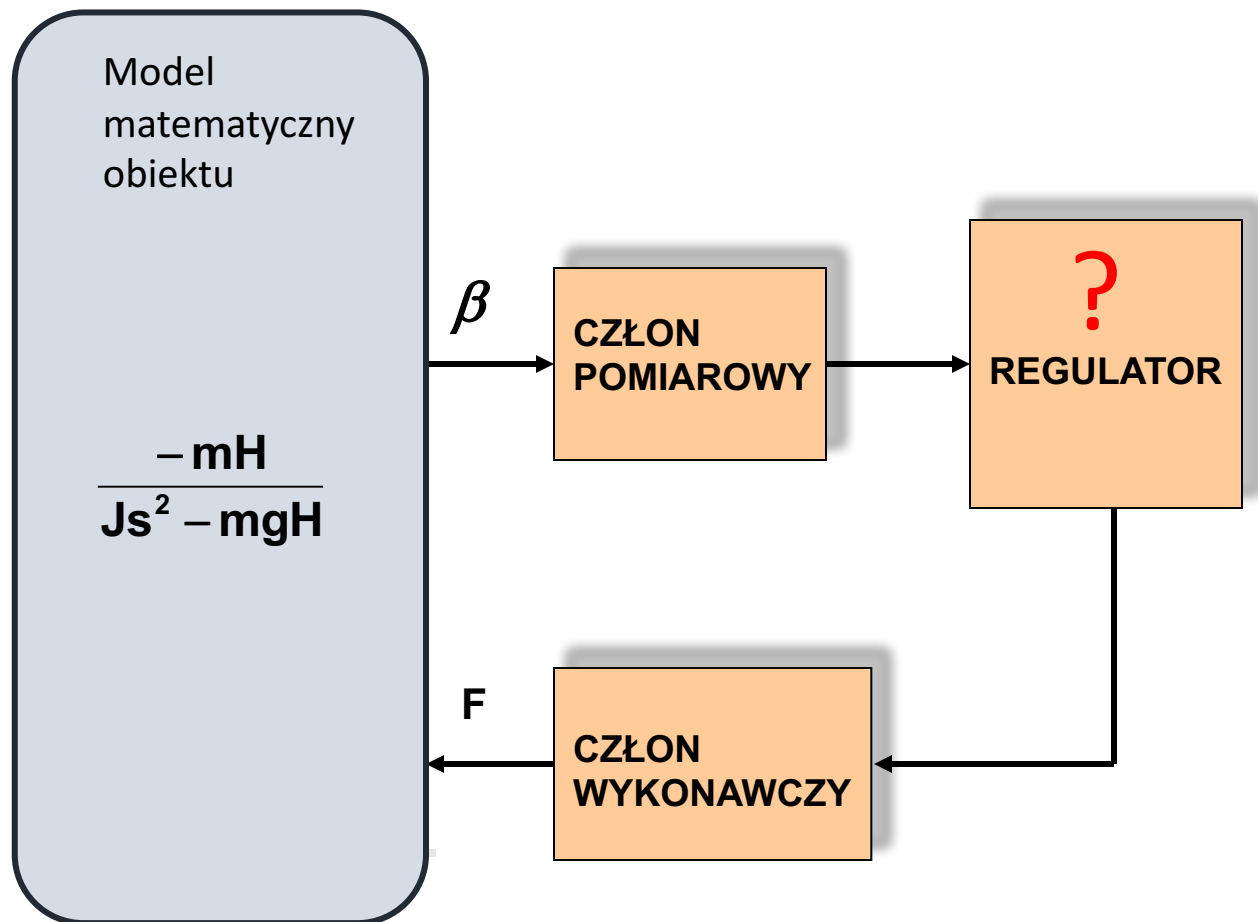








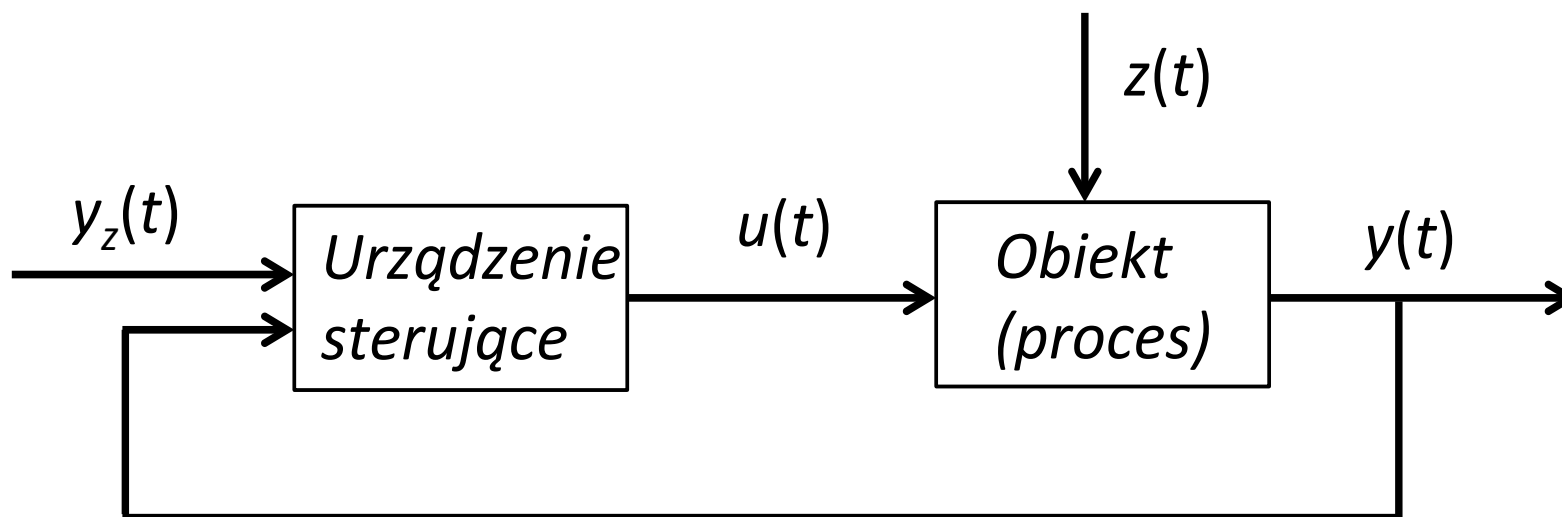




PRZEKSZTAŁCENIE LAPLACEA

$$L[x(t)] = X(s) = \int_0^{\infty} x(t) \cdot e^{-s \cdot t} dt$$

Układ sterowania zamknięty

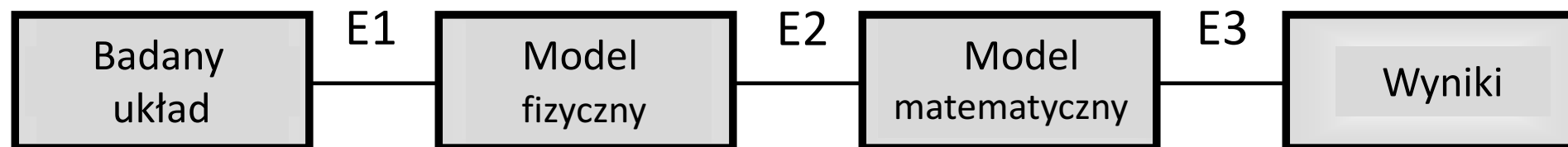
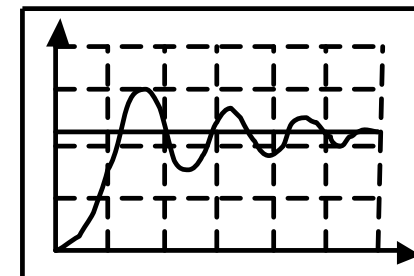
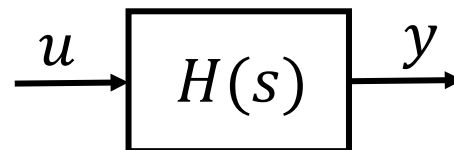
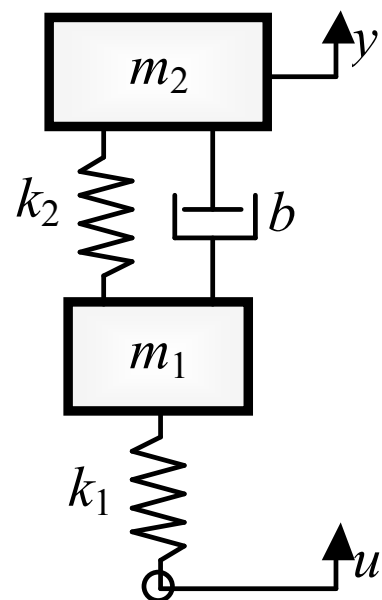
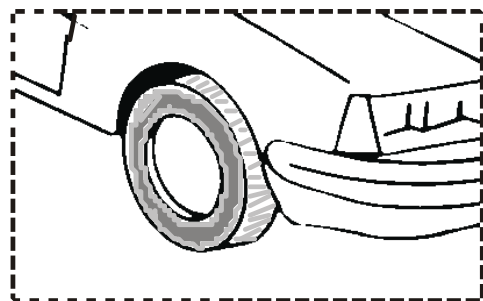


y – sygnał regulowany

u – sygnał nastawiający

z – sygnał(y) zakłócający

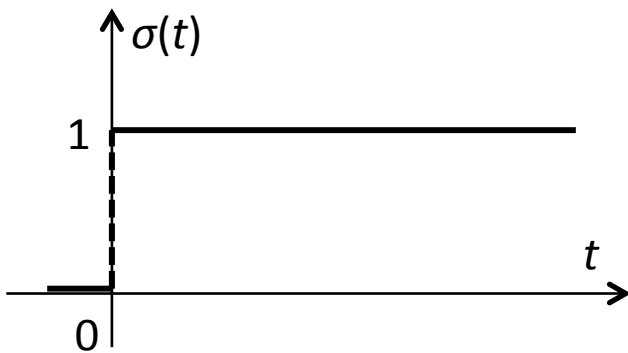
y_z – wartość zadana sygnału y



Funkcje specjalne

1. Skok jednostkowy $\sigma(t)$

$$\sigma(t) = \begin{cases} 0 & \text{dla } t < 0 \\ 1 & \text{dla } t \geq 0 \end{cases}$$

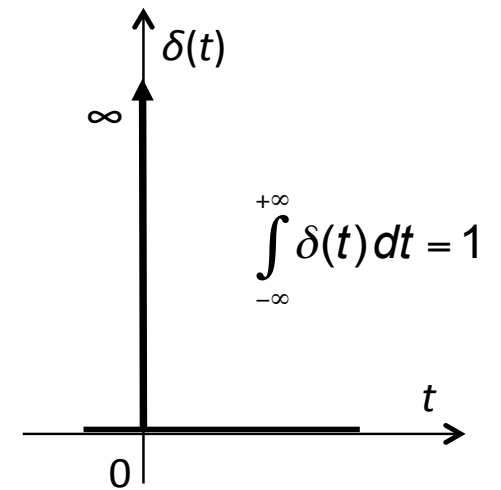


2. Impuls jednostkowy $\delta(t)$

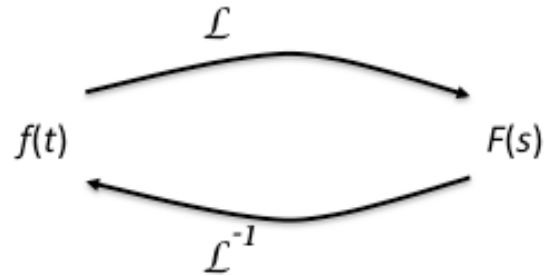
$$\delta(t) = \begin{cases} 0 & \text{dla } t \neq 0 \\ \infty & \text{dla } t = 0 \end{cases}$$

przy czym

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) dt = 1$$



Przekształcenie Laplace'a



$$F(s) = \mathcal{L}f(t) \quad ; \quad f(t) = \mathcal{L}^{-1}F(s)$$

- $f(t)$ - funkcja czasu
- $F(s)$ - transformata Laplace'a funkcji $f(t)$
- $\mathcal{L}$ - operator przekształcenia Laplace'a
- $\mathcal{L}^{-1}$ - odwrotne przekształcenia Laplace'a

Przekształcenie $\mathcal{L}$ przekształca funkcję czasu $f(t)$ zwaną oryginałem w jej transformatę $F(s)$, gdzie s – zmienna przekształcenia $\mathcal{L}$.

Przekształcenie $\mathcal{L}$ jest przekształceniem całkowym zdefiniowanym jak w tabeli, przy czym $f(t)$ musi spełniać warunek

$$f(t) = 0 \text{ dla } t < 0$$

Warunek ten można spełnić mnożąc dowolną funkcję przez $\sigma(t)$, $\sigma = \begin{cases} 0 & \text{dla } t < 0 \\ 1 & \text{dla } t \geq 0 \end{cases}$.

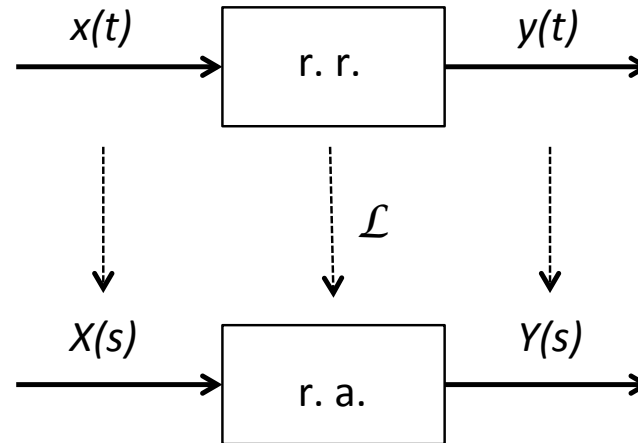
Tablice przekształcenia Laplace’a

Lp.	$f(t)$	$F(s)$
1	$f(t)$	$F(s) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt$
2	$\delta(t)$	1
3	$\sigma(t)$	$\frac{1}{s}$
4	t	$\frac{1}{s^2}$
5	$\frac{t^2}{2}$	$\frac{1}{s^3}$
6	$e^{-\alpha t}$	$\frac{1}{s + \alpha}$
7	$\frac{\sin \alpha t}{\alpha}$	$\frac{1}{s^2 + \alpha^2}$
8	$\sin \alpha t$	$\frac{\alpha}{s^2 + \alpha^2}$
9	$\frac{e^{-\alpha t} \sin \beta t}{\beta}$	$\frac{1}{(s + \alpha)^2 + \beta^2}$
10	$e^{-\alpha t} \sin \beta t$	$\frac{\beta}{(s + \alpha)^2 + \beta^2}$
11	$te^{-\alpha t}$	$\frac{1}{(s + \alpha)^2}$
12	$\frac{1 - e^{-\alpha t}}{\alpha}$	$\frac{1}{s(s + \alpha)}$
13	$\frac{1 - e^{-\alpha t} - \alpha te^{-\alpha t}}{\alpha^2}$	$\frac{1}{s(s + \alpha)^2}$

14	$\frac{1 - \cos \alpha t}{\alpha^2}$	$\frac{1}{s(s^2 + \alpha^2)}$
15	$\frac{e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}}{\beta - \alpha}$	$\frac{1}{(s + \alpha)(s + \beta)}$
16	$\frac{1}{\alpha^2}(e^{-\alpha t} + \alpha t - 1)$	$\frac{1}{s^2(s + \alpha)}$
17	$\frac{1}{\alpha\beta} + \frac{\beta e^{-\alpha t} - \alpha e^{-\beta t}}{\alpha\beta(\alpha - \beta)}$	$\frac{1}{s(s + \alpha)(s + \beta)}$
18	$e^{-\alpha t}(1 - \alpha t)$	$\frac{s}{(s + \alpha)^2}$
19	$\cos \alpha t$	$\frac{s}{s^2 + \alpha^2}$
20	$e^{-\alpha t} \cos \beta t$	$\frac{s + \alpha}{(s + \alpha)^2 + \beta^2}$
21	$f_1(t) + f_2(t)$	$F_1(s) + F_2(s)$
22	$cf(t)$	$cF(s)$
23	$\dot{f}(t)$	$sF(s) - f(0)$
24	$\ddot{f}(t)$	$s^2F(s) - sf(0) - \dot{f}(0)$
25	$\int_0^t f(t) dt$	$\frac{1}{s}F(s)$
26	$f(t - a)$	$F(s)e^{-as}$

Transmitancja

Rozważamy układ fizyczny opisany równaniem (równaniami) różniczkowymi (r. r.). W układzie wyróżniamy sygnał wejściowy $x(t)$ i wyjściowy $y(t)$.



Po transformacji Laplace'a równania różniczkowego, przy zerowych warunkach początkowych, otrzymuje się odpowiadające mu równanie (równania) algebraiczne (r. a.) i transformaty $X(s)$, $Y(s)$ sygnałów wejściowego i wyjściowego.

Z otrzymanego po transformacji Laplace'a równania algebraicznego można wyznaczyć iloraz transformaty sygnału wyjściowego $Y(s)$ do transformaty sygnału wejściowego $X(s)$

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = H(s).$$

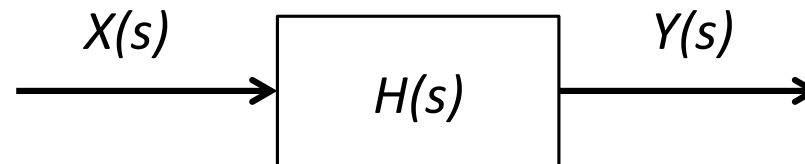
$H(s)$ nazywamy transmitancją układu opisanego wyjściowym równaniem (równaniami) różniczkowym przy wskazanych sygnałach wejściowym i wyjściowym.

Po transformacji Laplace'a równania różniczkowego, przy zerowych warunkach początkowych, otrzymuje się odpowiadające mu równanie (równania) algebraiczne (r. a.) i transformaty $X(s)$, $Y(s)$ sygnałów wejściowego i wyjściowego.

Z otrzymanego po transformacji Laplace'a równania algebraicznego można wyznaczyć iloraz transformaty sygnału wyjściowego $Y(s)$ do transformaty sygnału wejściowego $X(s)$

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = H(s).$$

$H(s)$ nazywamy transmitancją układu opisanego wyjściowym równaniem (równaniami) różniczkowym przy wskazanych sygnałach wejściowym i wyjściowym.



Transmitancja $H(s)$ jest postacią modelu matematycznego układu fizycznego wykorzystywaną w automatyce.

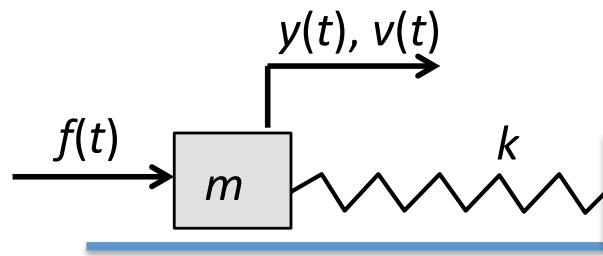
Procedura wyprowadzania transmitancji:

1. dla danego układu fizycznego określić sygnały wejściowy i wyjściowy
2. wyprowadzić odpowiednie równania (równanie) opisujące układ fizyczny; równania mogą zawierać pochodne ale także całki sygnałów
3. dokonać transformacji Laplace'a obydwu stron równania opisującego układ (zarazem sygnałów wejściowego i wyjściowego)

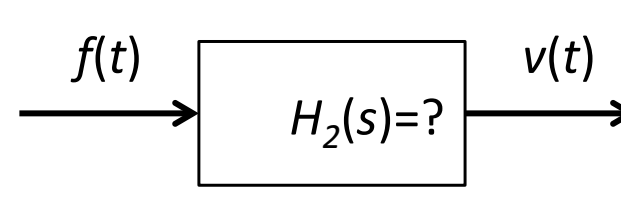
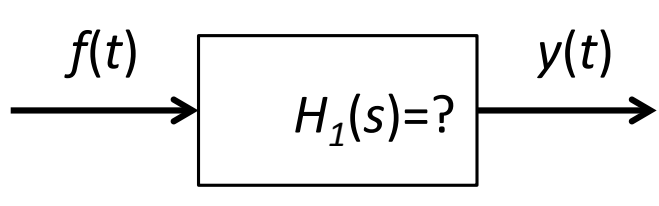
4. wyznaczyć iloraz $H(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}$.

Wyprowadzanie transmitancji – przykład I i II

1)



f – siła
 y – przemieszczenie
 v – prędkość



2)

$$f(t) = f_m(t) + f_k(t)$$

$$f_m(t) = m\ddot{y}(t)$$

$$f_k(t) = ky(t)$$

$$f_m(t) = m\dot{v}(t)$$

$$f_k(t) = k \int_0^t v(t) dt$$

2)

$$f(t) = f_m(t) + f_k(t)$$

$$f_m(t) = m\ddot{y}(t)$$

$$f_k(t) = ky(t)$$

|

$$f_m(t) = m\dot{v}(t)$$

$$f_k(t) = k \int_0^t v(t) dt$$

3)

$$F(s) = F_m(s) + F_k(s)$$

$$F_m(s) = ms^2Y(s)$$

$$F_k(s) = kY(s)$$

|

$$F_m(s) = msV(s)$$

$$F_k(s) = k \frac{1}{s} V(s)$$

3)

$$F(s) = F_m(s) + F_k(s)$$

$$F_m(s) = ms^2 Y(s)$$

$$F_k(s) = kY(s)$$

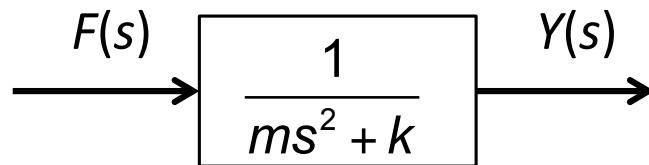
$$F_m(s) = msV(s)$$

$$F_k(s) = k \frac{1}{s} V(s)$$

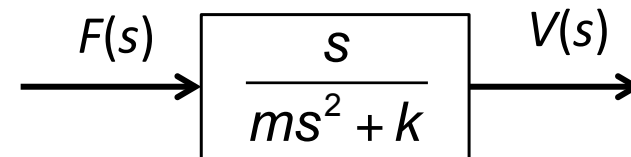
4)

Po eliminacji $F_m(s)$, $F_k(s)$ otrzymuje się

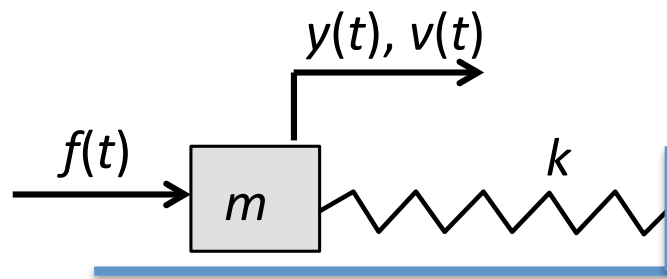
$$H_1(s) = \frac{Y(s)}{F(s)} = \frac{1}{ms^2 + k}$$



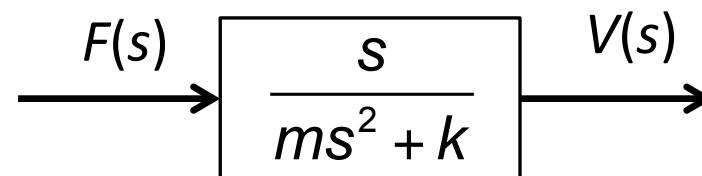
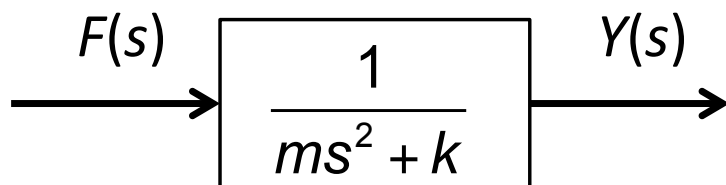
$$H_2(s) = \frac{V(s)}{F(s)} = \frac{s}{ms^2 + k}$$



1)

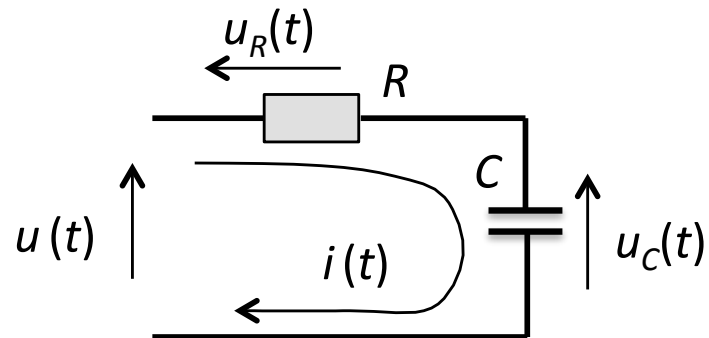


f – siła
 y – przemieszczenie
 v – prędkość

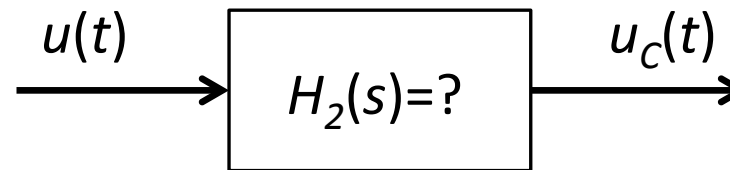
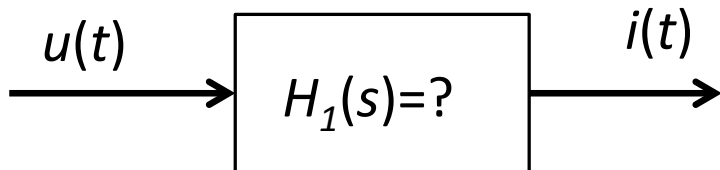


Wyprowadzanie transmitancji – przykład III i IV

1)



u – napięcie
 i – natężenie prądu



2)

$$u(t) = u_R(t) + u_C(t)$$

$$u_R(t) = Ri(t)$$

$$u_C(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt$$

2)

$$u(t) = u_R(t) + u_C(t)$$

$$u_R(t) = Ri(t)$$

$$u_C(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt$$

3)

$$U(s) = U_R(s) + U_C(s)$$

$$U_R(s) = RI(s)$$

$$U_C(s) = \frac{1}{Cs} I(s)$$

3)

$$U(s) = U_R(s) + U_C(s)$$

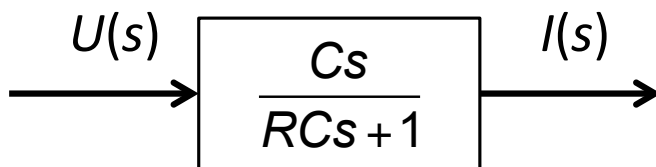
$$U_R(s) = RI(s)$$

$$U_C(s) = \frac{1}{Cs} I(s)$$

4)

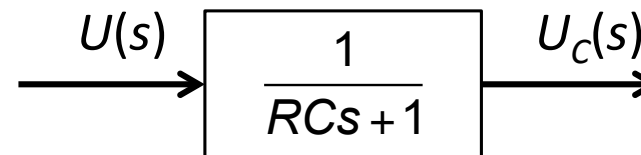
Po eliminacji $U_R(s), U_C(s)$ otrzymuje się

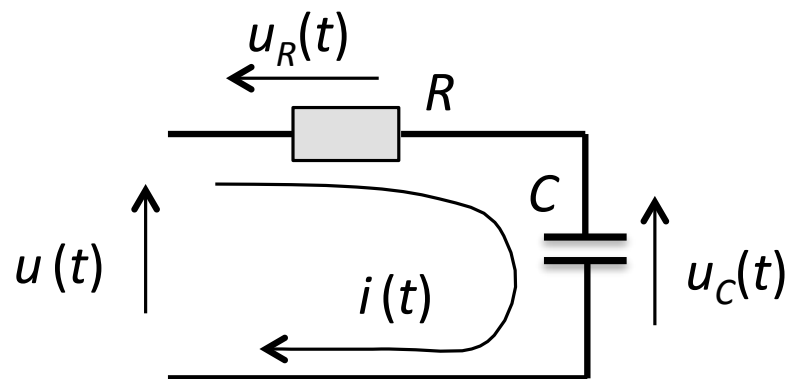
$$H_1(s) = \frac{I(s)}{U(s)} = \frac{Cs}{RCs + 1}$$



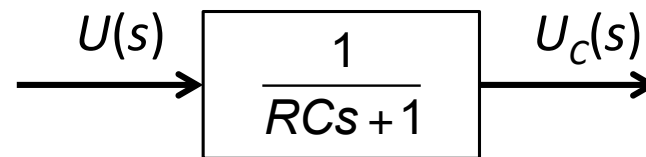
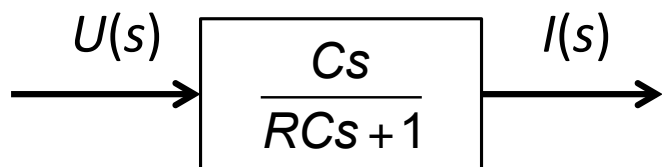
Po eliminacji $U_R(s), I(s)$ otrzymuje się

$$H_2(s) = \frac{U_C(s)}{U(s)} = \frac{1}{RCs + 1}$$

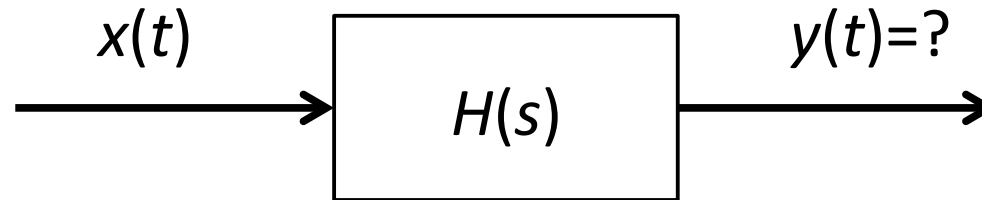




u – napięcie
 i – natężenie prądu



Wyznaczanie odpowiedzi układu o znanej transmitancji i znanym sygnale wejściowym



Procedura

1. Znaleźć transformatę sygnału wejściowego (korzystając z tablic przekształcenia Laplace'a)

$$X(s) = \mathcal{L}x(t)$$

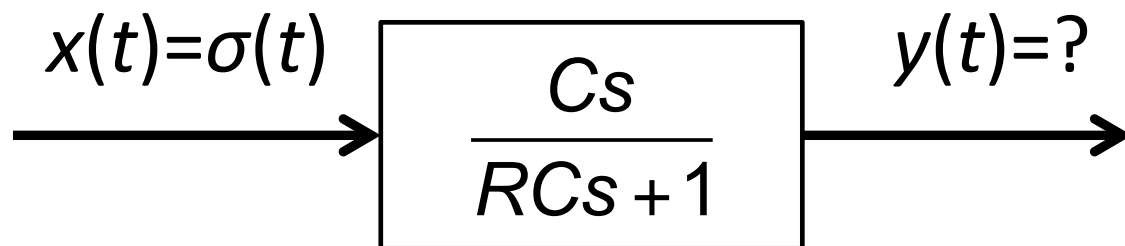
2. Określić transformatę szukanego sygnału wyjściowego (na podstawie definicji transmitancji)

$$Y(s) = X(s)H(s)$$

3. Wyznaczyć odpowiedź układu korzystając z tablic przekształcenia Laplace'a (po ewentualnych przekształceniach algebraicznych)

$$y(t) = \mathcal{L}^{-1} Y(s)$$

Wyznaczanie odpowiedzi układu – przykład I



$$1) \quad X(s) = \mathcal{L}\sigma(t) = \frac{1}{s}$$

$$2) \quad Y(s) = \frac{1}{s} \frac{Cs}{RCs + 1} = \frac{C}{RCs + 1}$$

$$3) \quad y(t) = \mathcal{L}^{-1} \frac{C}{RCs + 1}$$

$$2) \quad Y(s) = \frac{1}{s} \frac{Cs}{RCs+1} = \frac{C}{RCs+1}$$

$$3) \quad y(t) = \mathcal{L}^{-1} \frac{C}{RCs+1}$$

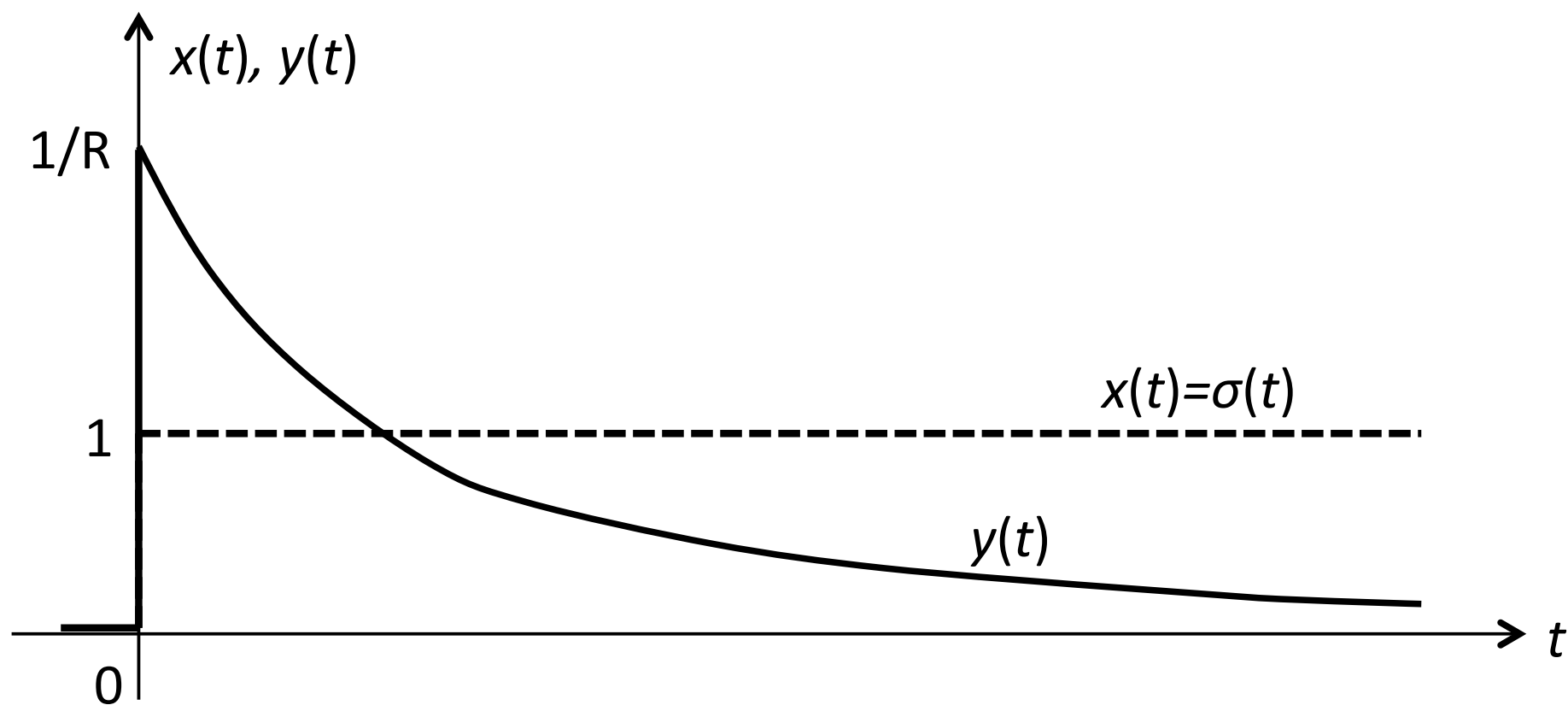
przekształcając

$$Y(s) = \frac{C}{RCs+1} = \frac{\frac{1}{R}}{s + \frac{1}{RC}} = \left(\frac{1}{R} \right) \frac{1}{s + \left(\frac{1}{RC} \right)}$$

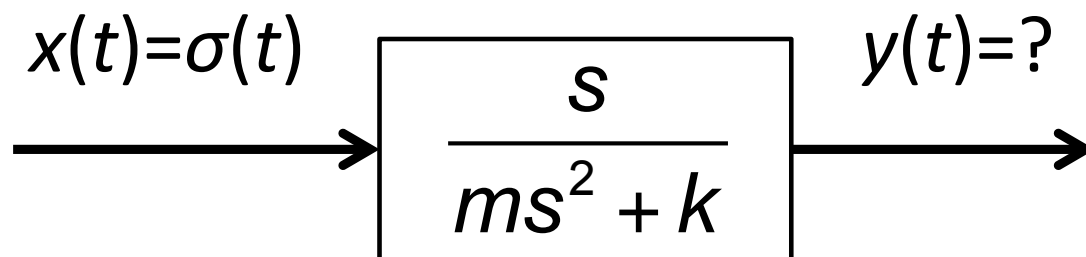
i wykorzystując z tablic: $e^{-at} \leftrightarrow \frac{1}{s+a}$

otrzymujemy $y(t) = \sigma(t) \left(\frac{1}{R} \right) e^{\left(-\frac{1}{RC} \right) t}$

$$y(t) = \sigma(t) \left(\frac{1}{R} \right) e^{\left(-\frac{1}{RC} \right) t}$$



Wyznaczanie odpowiedzi układu – przykład II



1)
$$X(s) = \mathcal{L}\sigma(t) = \frac{1}{s}$$

2)
$$Y(s) = \frac{1}{s} \frac{s}{ms^2 + k} = \frac{1}{ms^2 + k}$$

3)
$$y(t) = \mathcal{L}^{-1} \frac{1}{ms^2 + k}$$

$$\begin{aligned}
 Y(s) &= \frac{1}{ms^2 + k} = \frac{\frac{1}{m}}{s^2 + \frac{k}{m}} = \frac{\frac{1}{m}}{s^2 + \left(\sqrt{\frac{k}{m}}\right)^2} = \\
 &= \frac{\frac{1}{m} \sqrt{\frac{k}{m}} \sqrt{\frac{m}{k}}}{s^2 + \left(\sqrt{\frac{k}{m}}\right)^2} = \frac{1}{\sqrt{mk}} \frac{\sqrt{\frac{k}{m}}}{s^2 + \left(\sqrt{\frac{k}{m}}\right)^2} =
 \end{aligned}$$

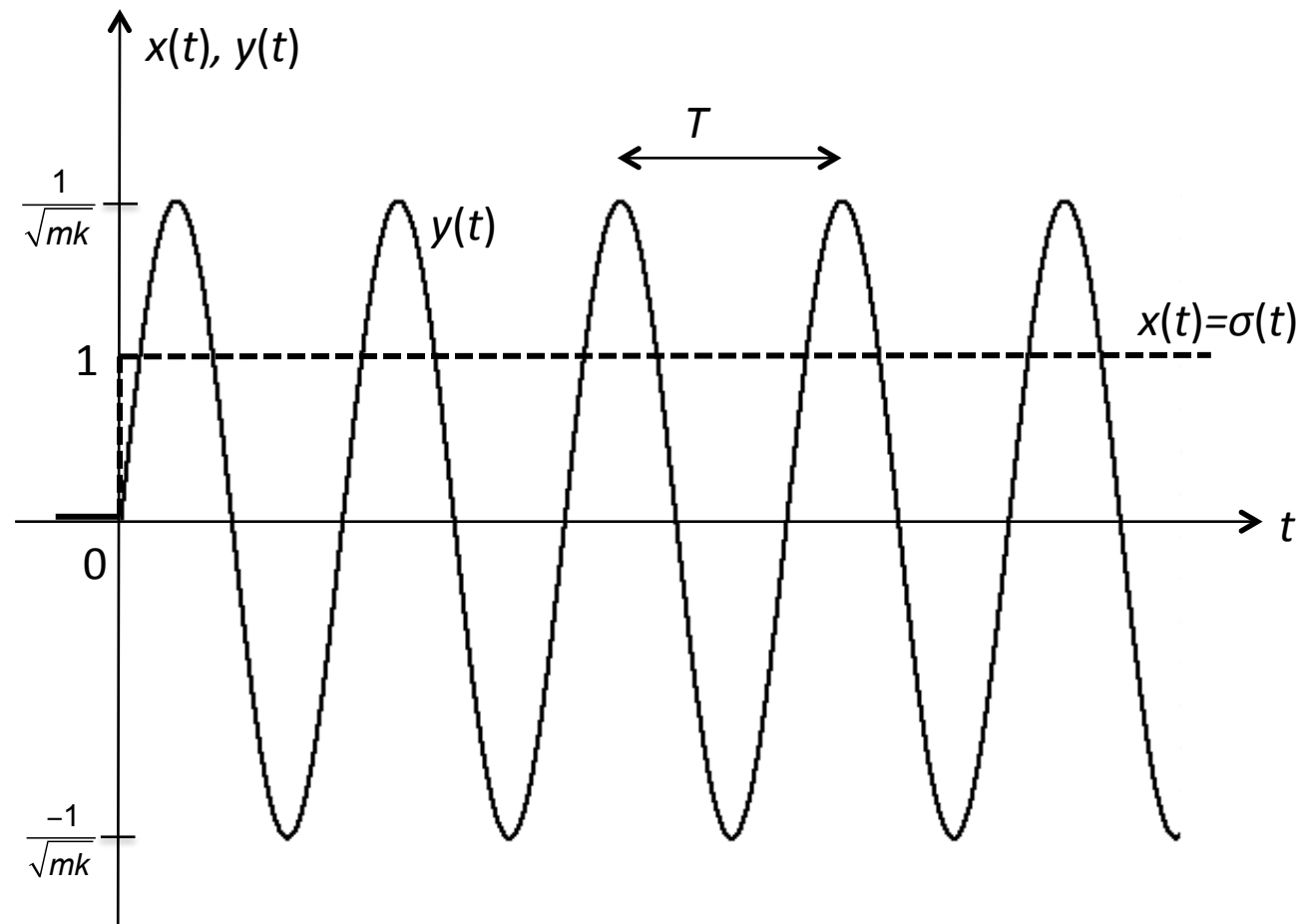
otrzymujemy $y(t) = \sigma(t) \frac{1}{\sqrt{mk}} \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{2\pi}{T}$$

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{k}{m}}}$$

Skorzystamy w tablicach z: $\sin \omega t \leftrightarrow \frac{\omega}{s^2 + \omega^2};$

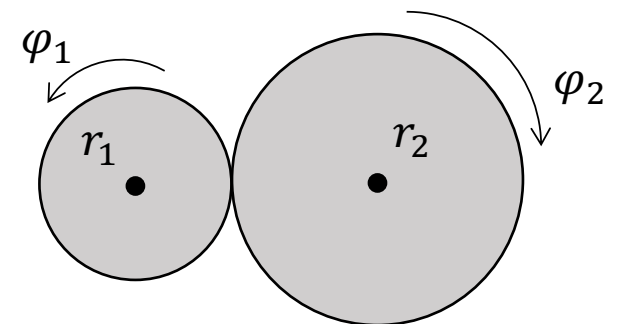
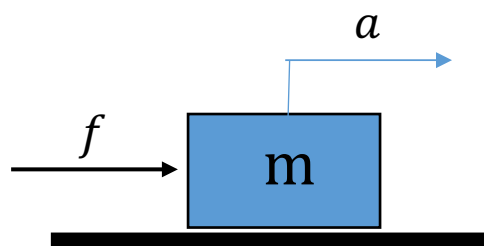
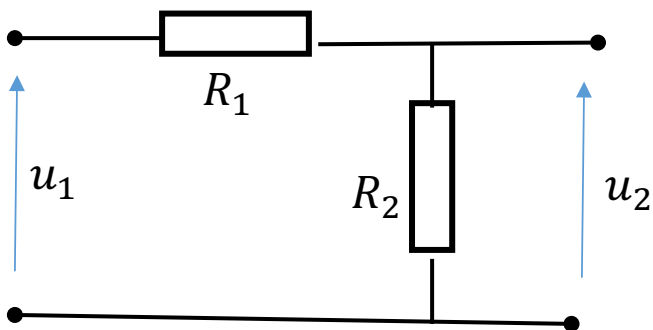
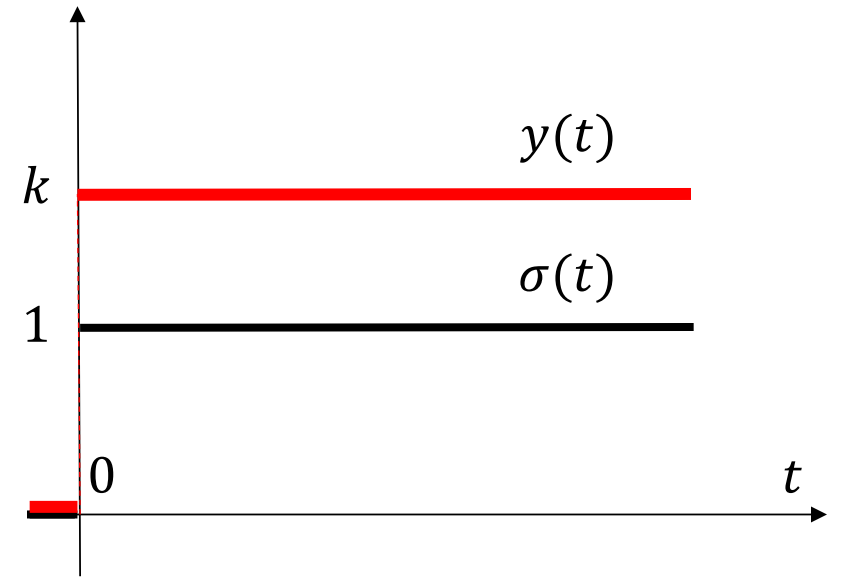
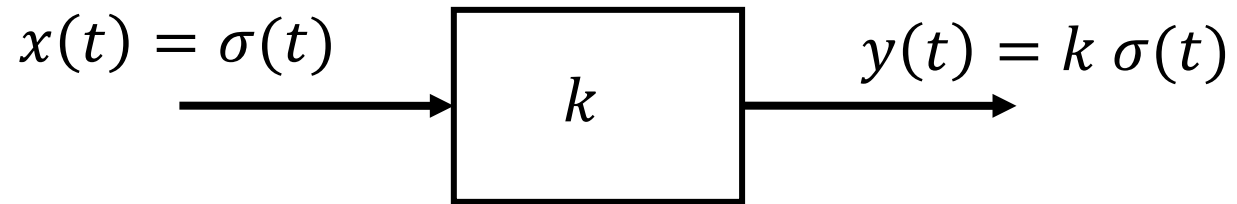
$$y(t) = \sigma(t) \frac{1}{\sqrt{mk}} \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t$$



Człon proporcjonalny

$$H(s) = k$$

k – współczynnik proporcjonalności

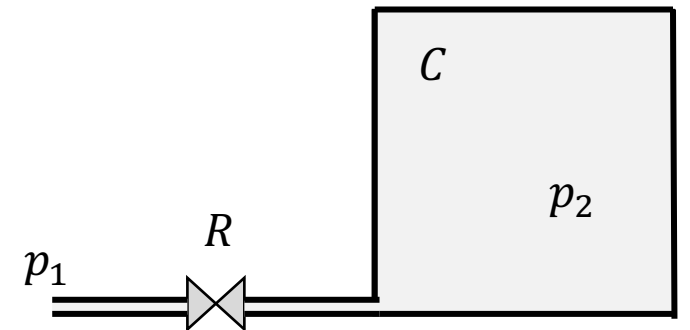
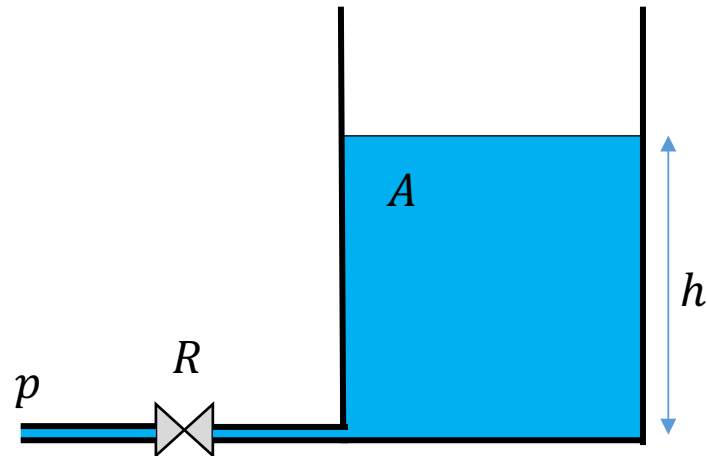
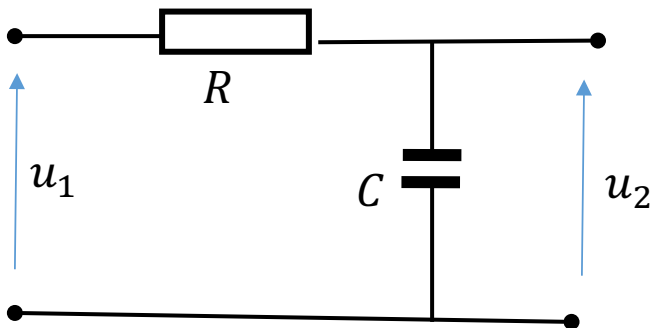
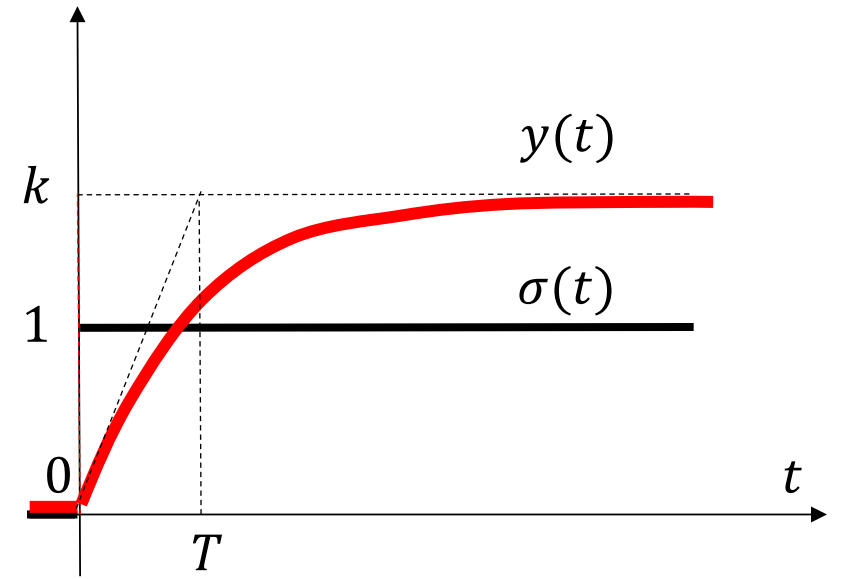
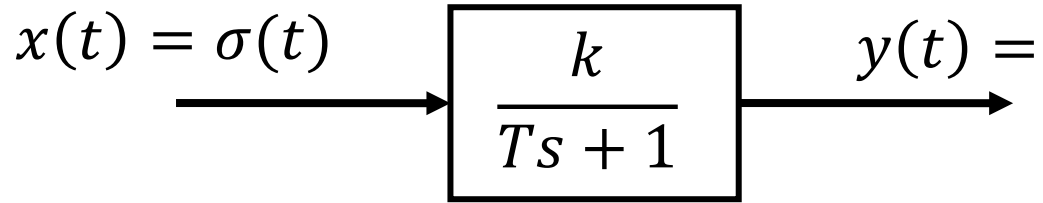


Człon inercyjny (1. rzędu)

$$H(s) = \frac{k}{Ts + 1}$$

k – współczynnik proporcjonalności

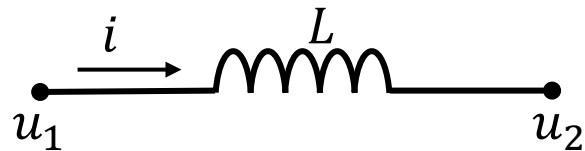
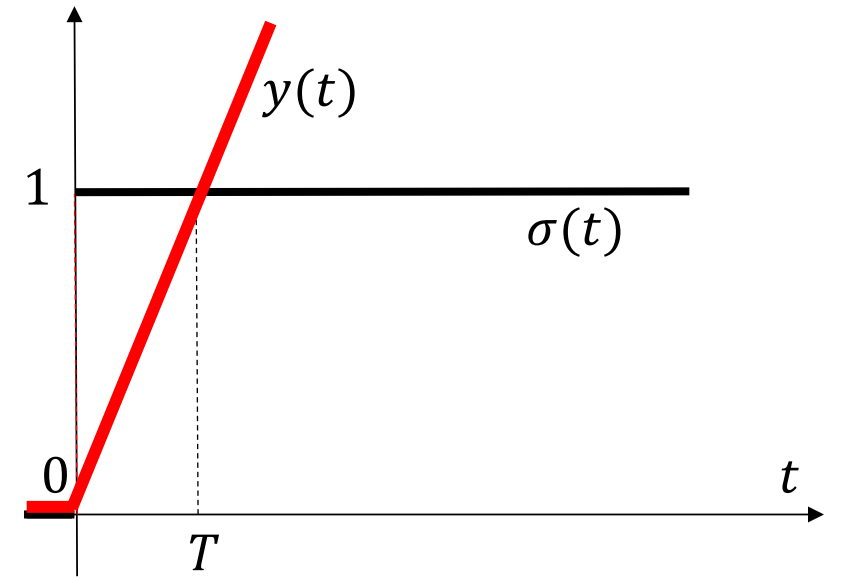
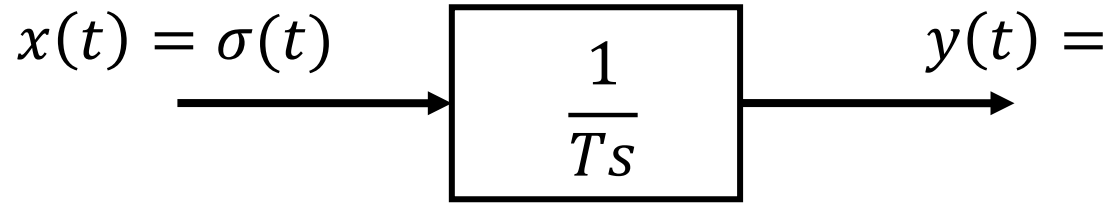
T – stała czasowa



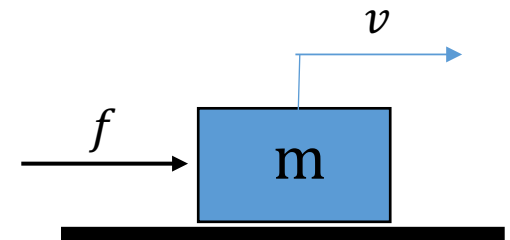
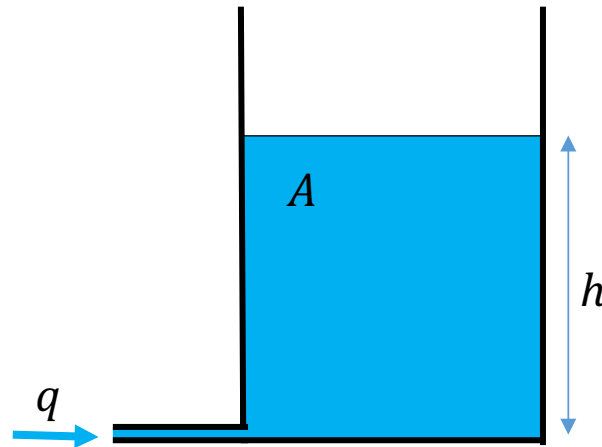
Człon całkujący

$$H(s) = \frac{1}{Ts}$$

T – stała całkowania



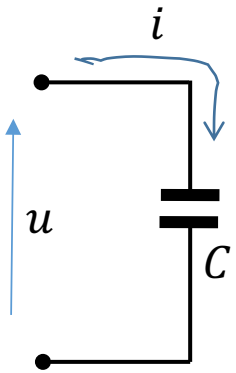
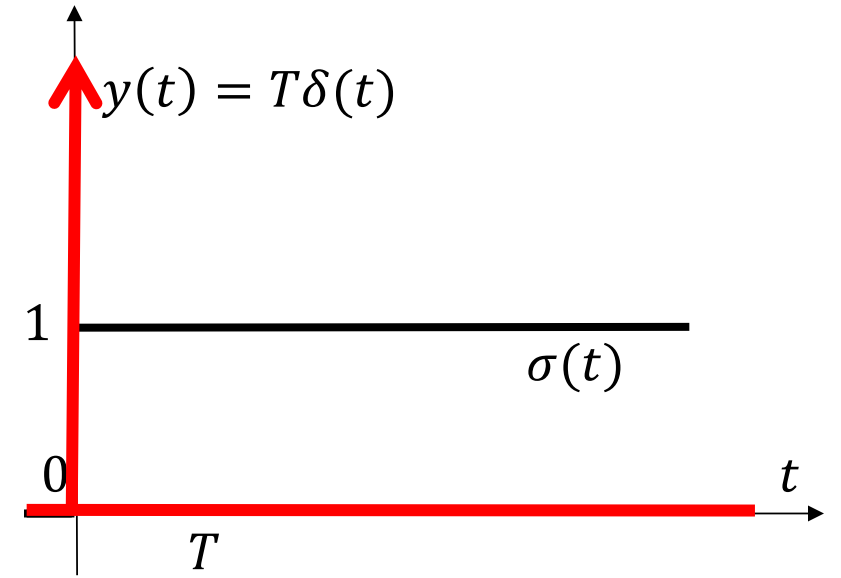
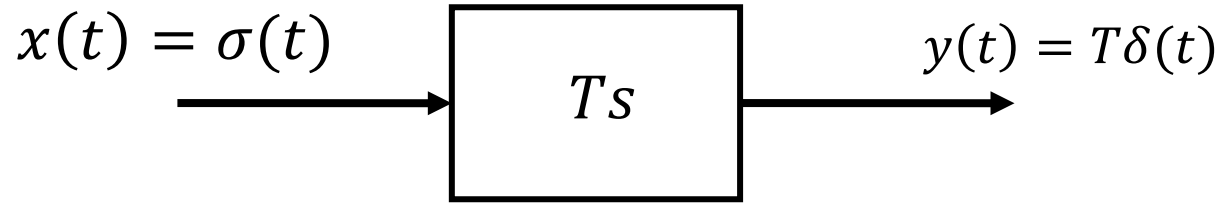
$$i = \frac{1}{LS}(u_1 - u_2)$$



Człon różniczkujący (idealny)

$$H(s) = Ts$$

T – stała różniczkowania



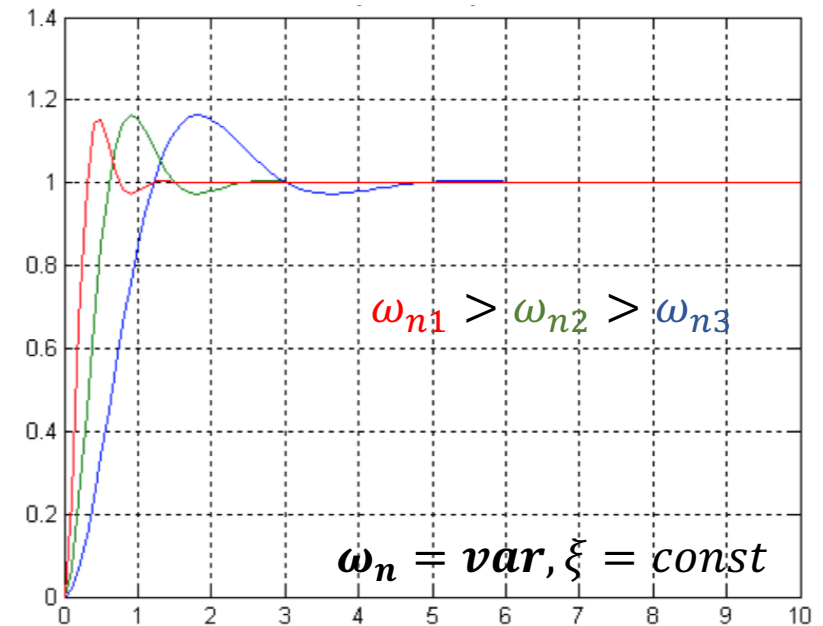
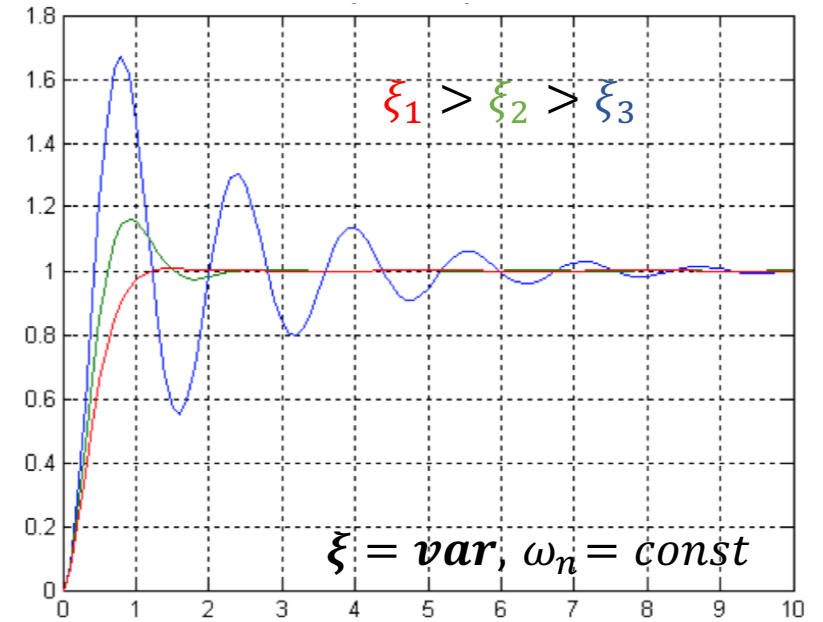
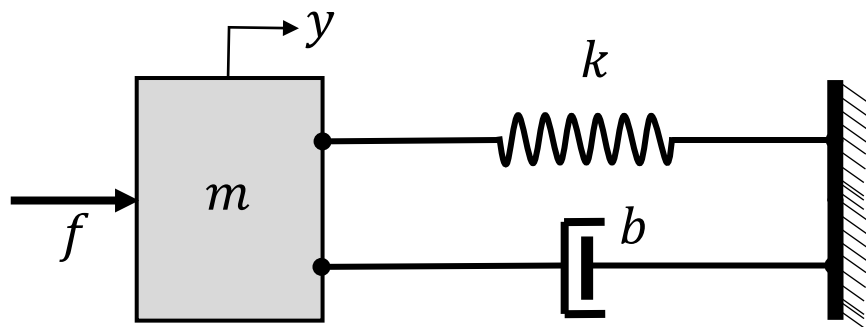
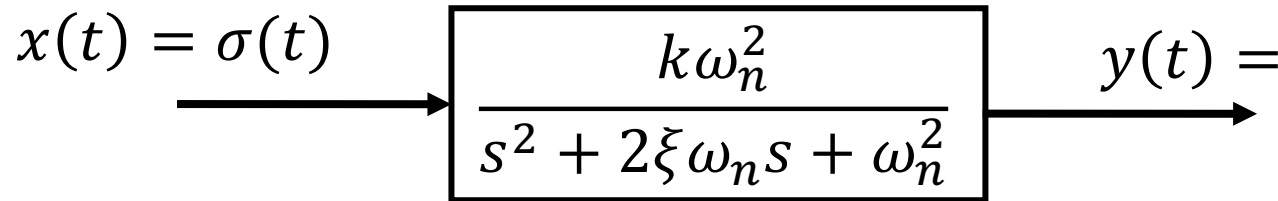
Człon 2. rzędu

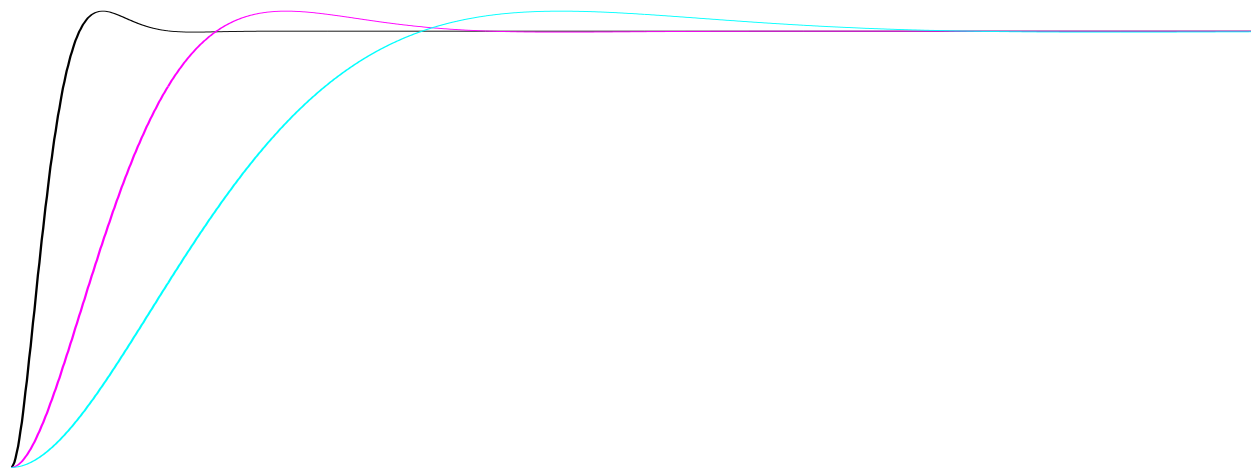
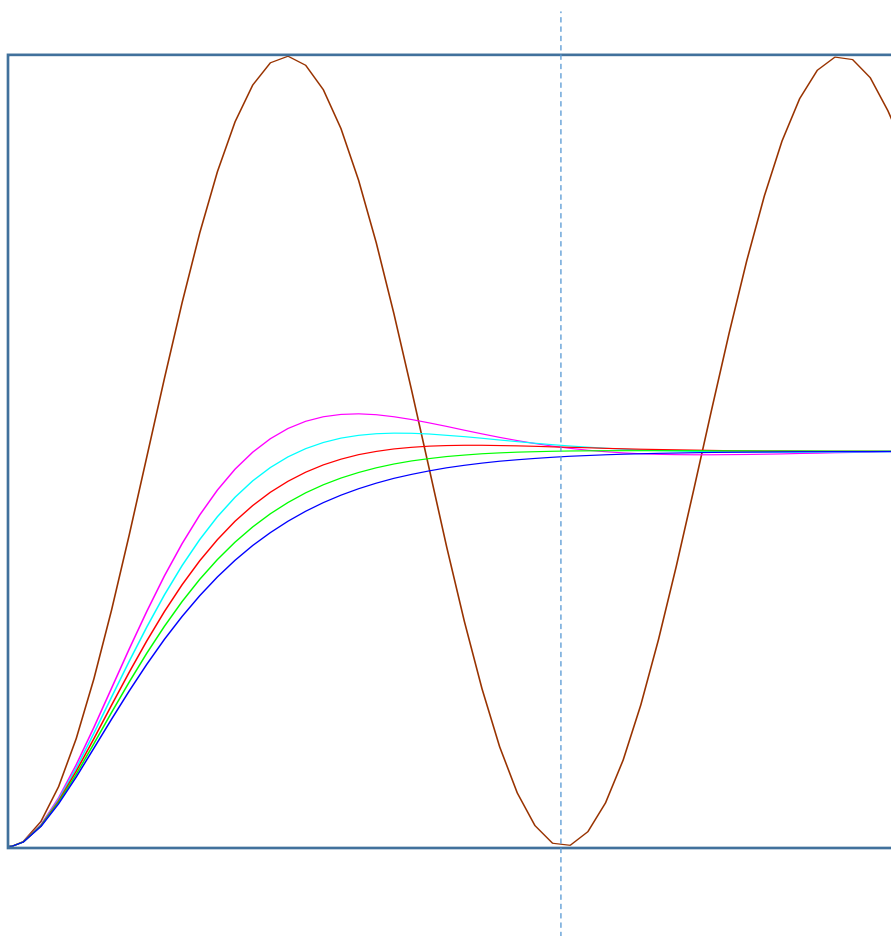
$$H(s) = \frac{k\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$$

k – współczynnik proporcjonalności

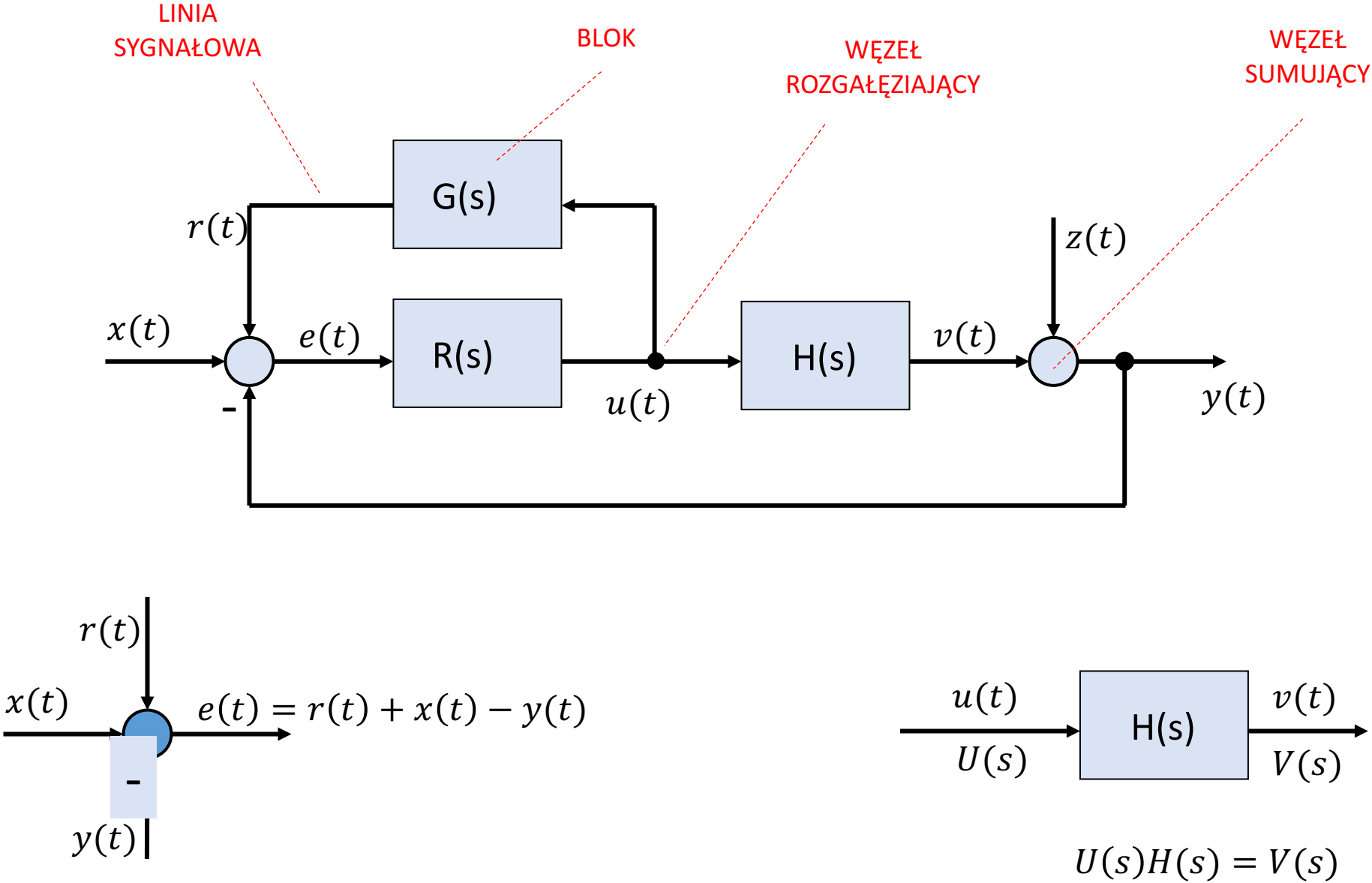
ξ – współczynnik tłumienia

ω_n – częstość drgań nietłumionych



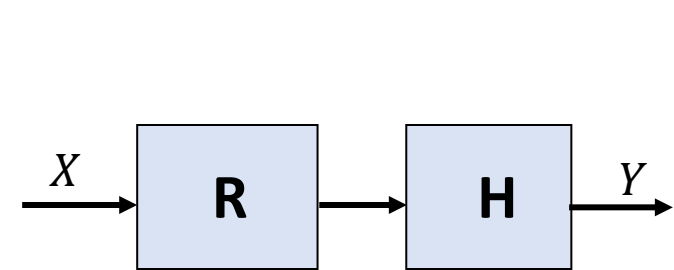


SCHEMATY BLOKOWE

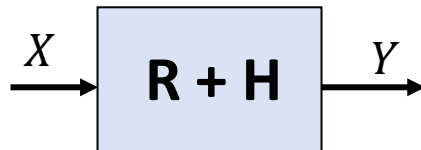
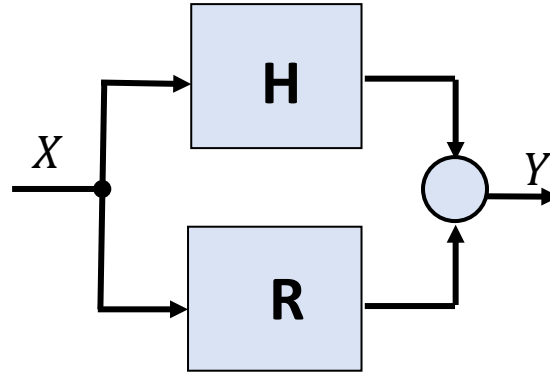


SCHEMATY BLOKOWE

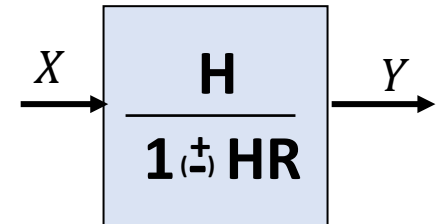
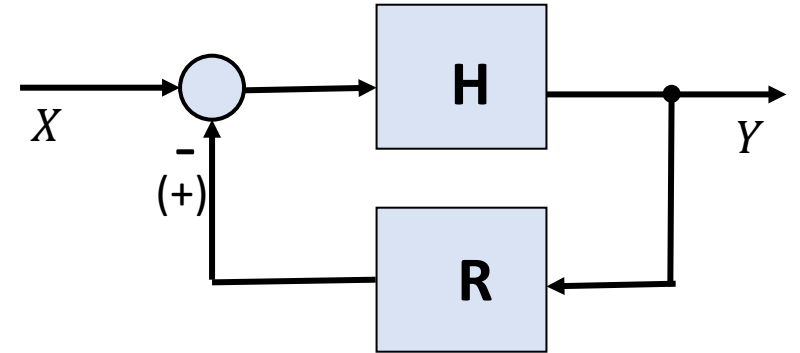
Połączenie szeregowe



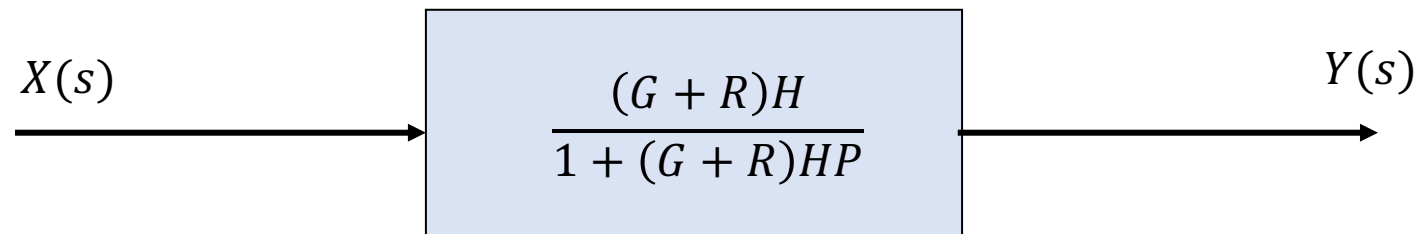
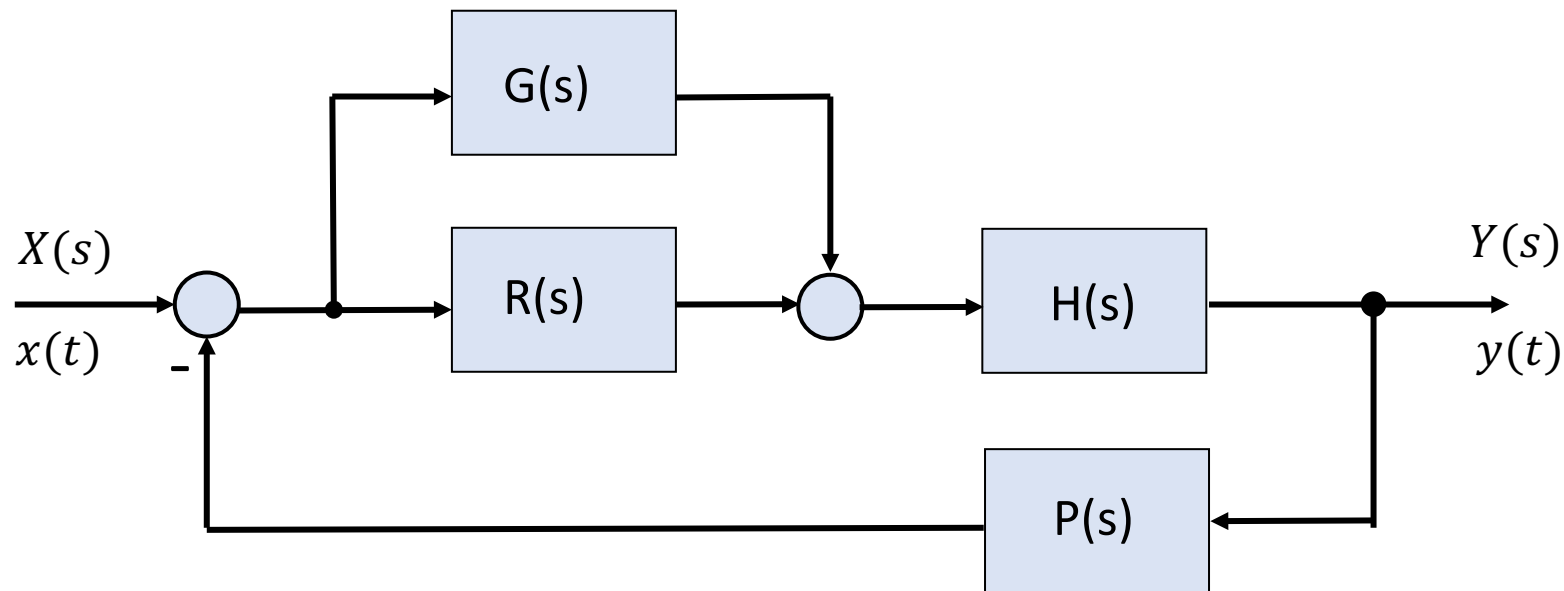
Połączenie równoległe

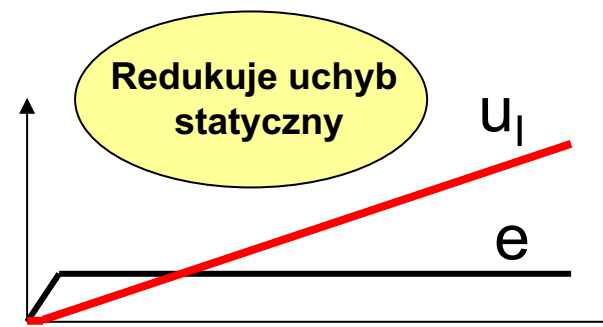
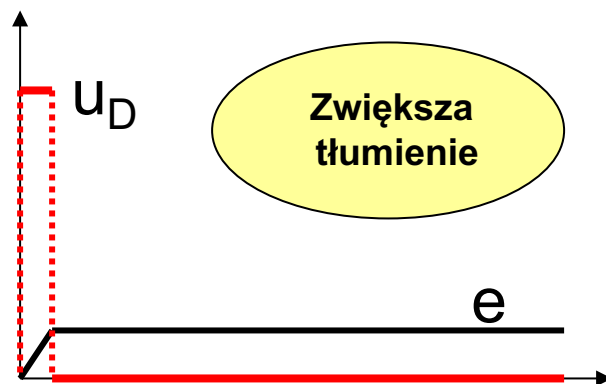
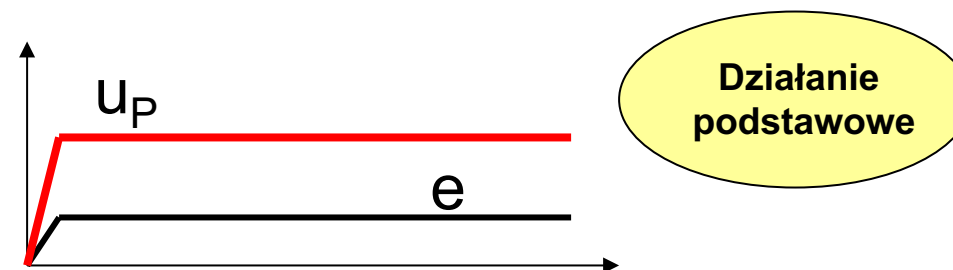
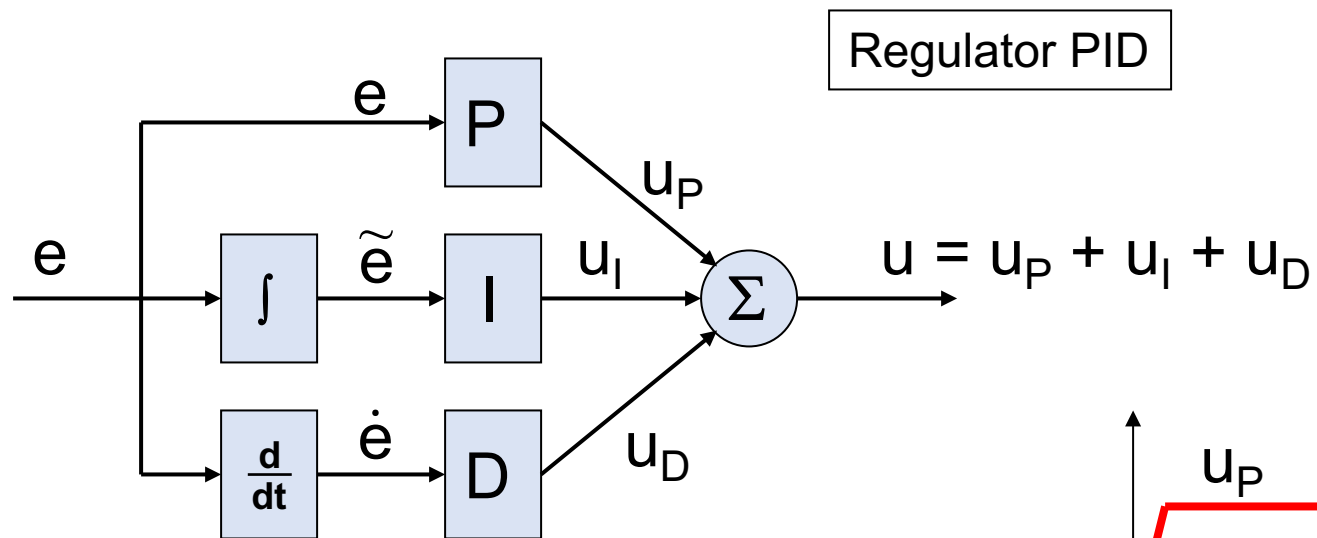


Połączenie ze sprzężeniem zwrotnym

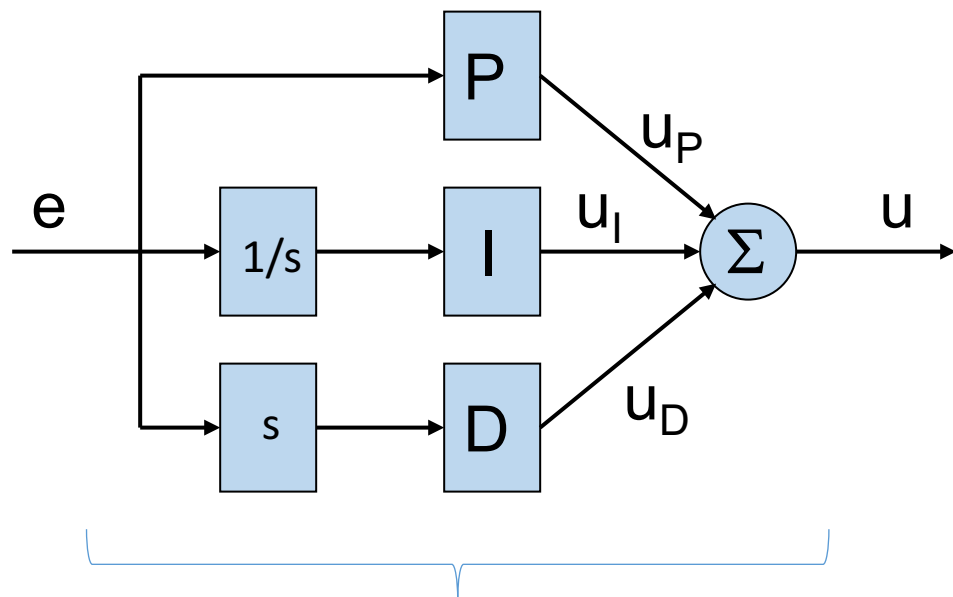


SCHEMATY BLOKOWE

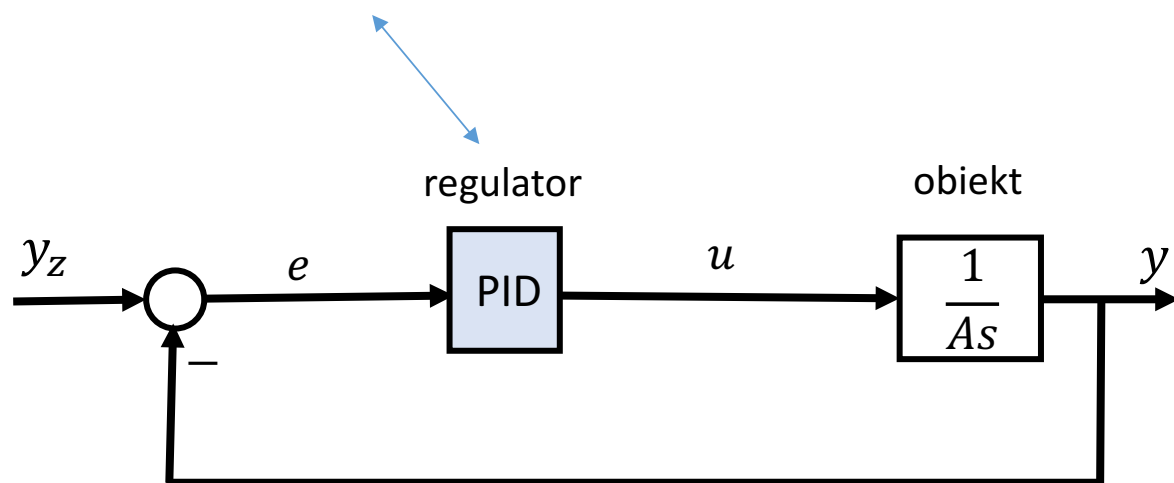


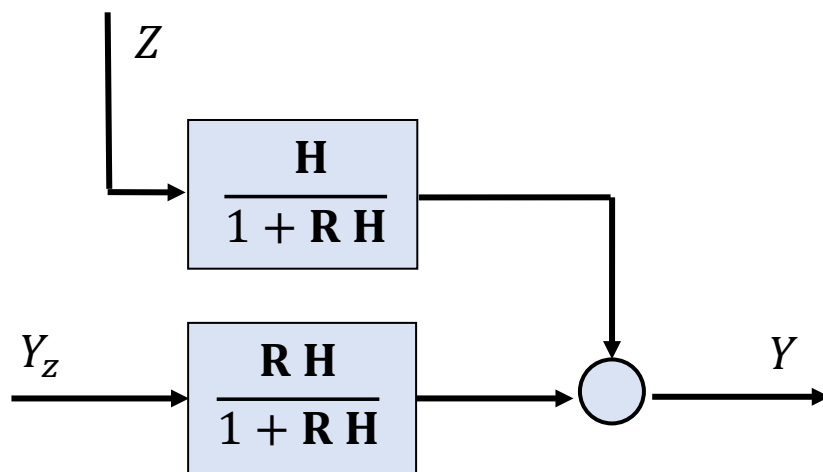
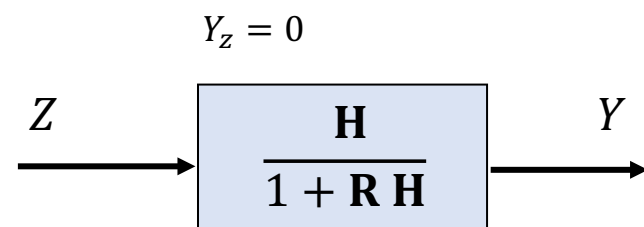
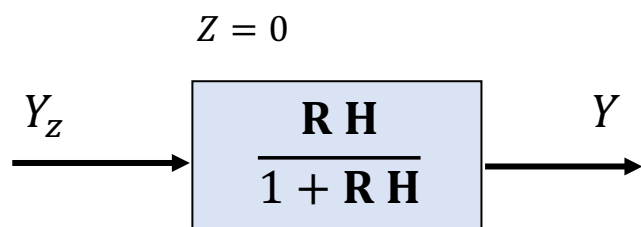
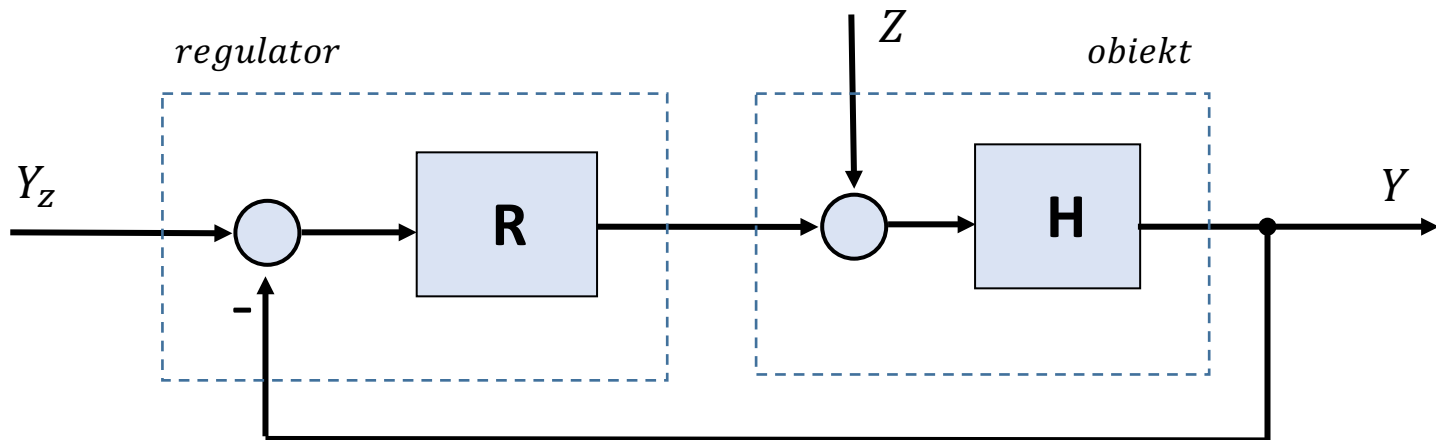


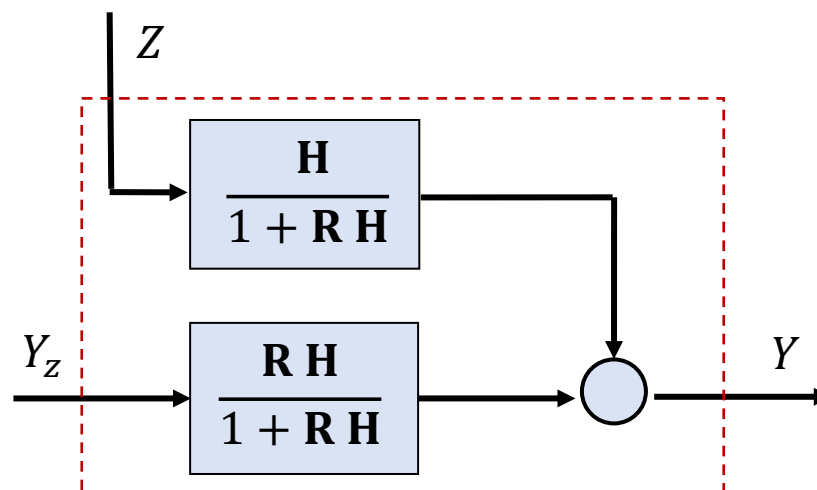
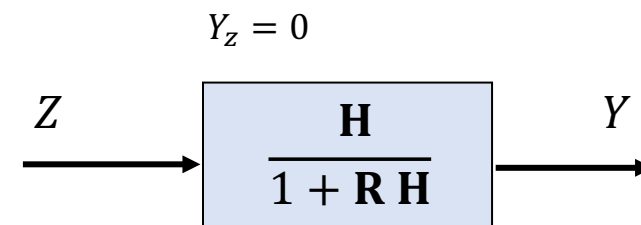
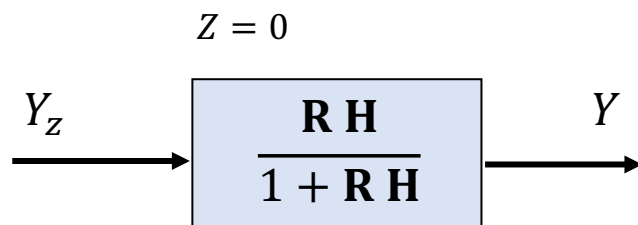
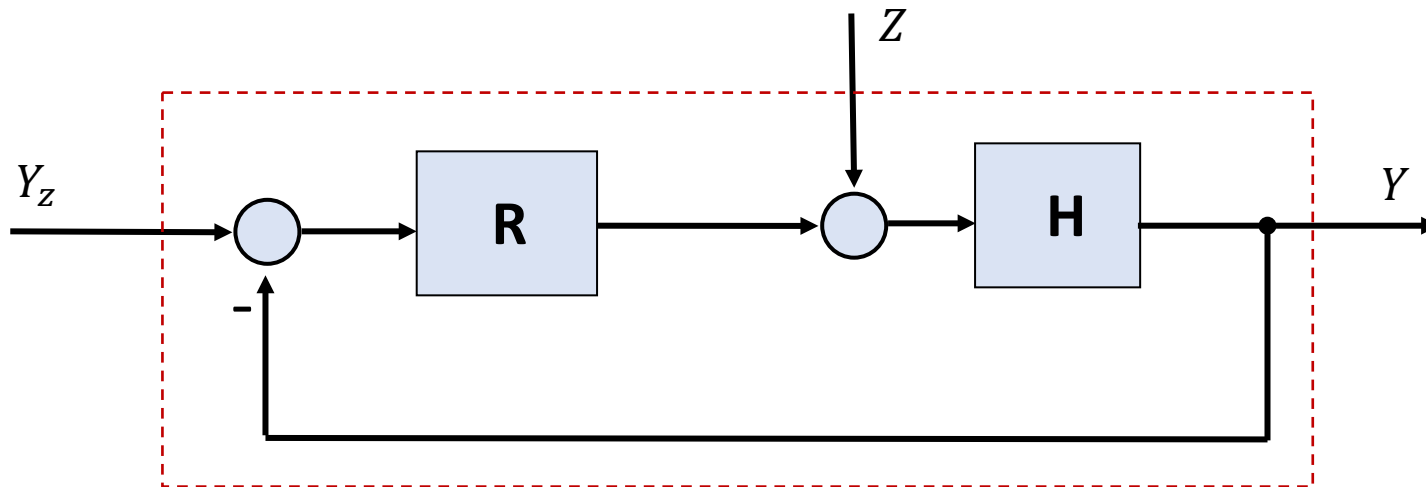
Regulator PID

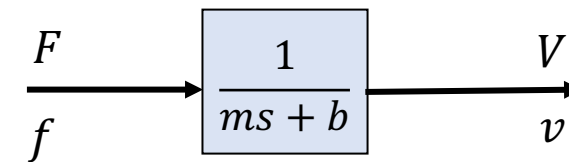
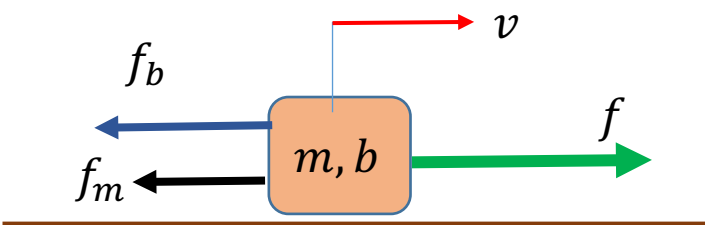
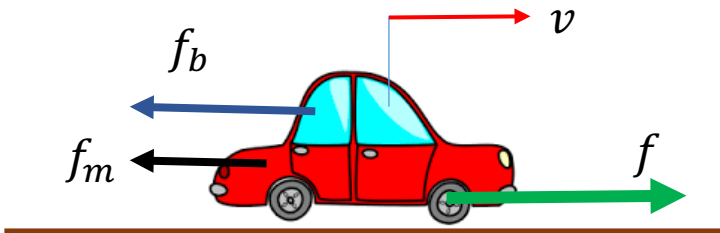


P, I, D – nastawy regulatora









$$f(t) = f_m(t) + f_b(t)$$

$$f_m(t) = m\dot{v}(t)$$

$$f_b(t) = bv(t)$$

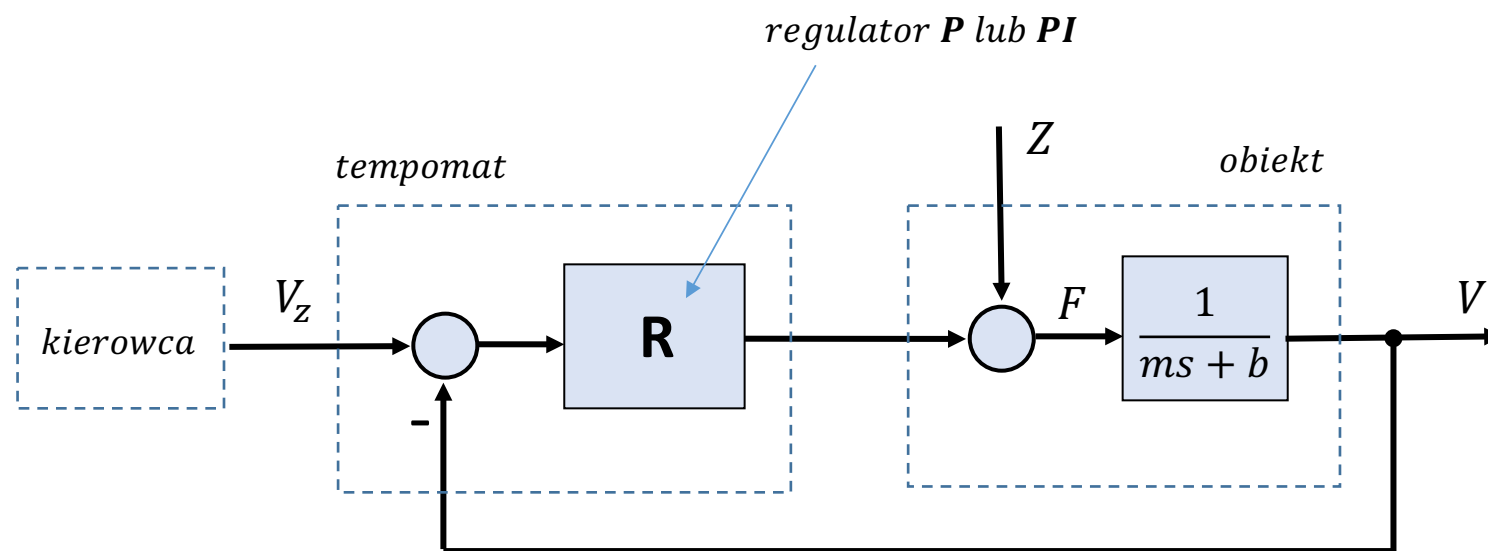
$$F(s) = F_m(s) + F_b(s)$$

$$F_m(s) = msV(s)$$

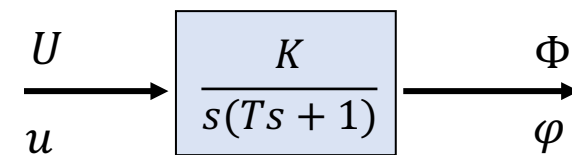
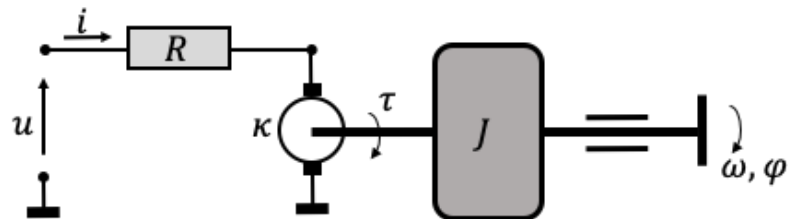
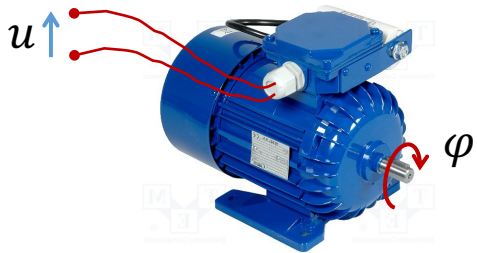
$$F_b(s) = bV(s)$$

$$F(s) = V(s)[ms + b]$$

$$H(s) = \frac{V(s)}{F(s)} = \frac{1}{ms + b}$$



$$Np.: \quad m = 1000 \text{ kg}; \quad b = 50 \frac{Ns}{m}; \quad F_{max} = 5000 \text{ N}$$



$$u(t) = u_R(t) + e(t)$$

$$\tau(t) = \tau_J(t)$$

$$K = \frac{1}{\kappa}$$

$$u_R(t) = Ri(t)$$

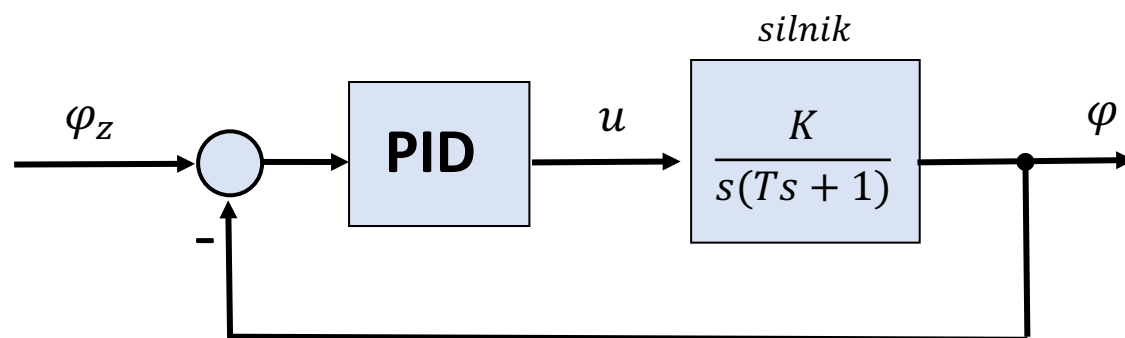
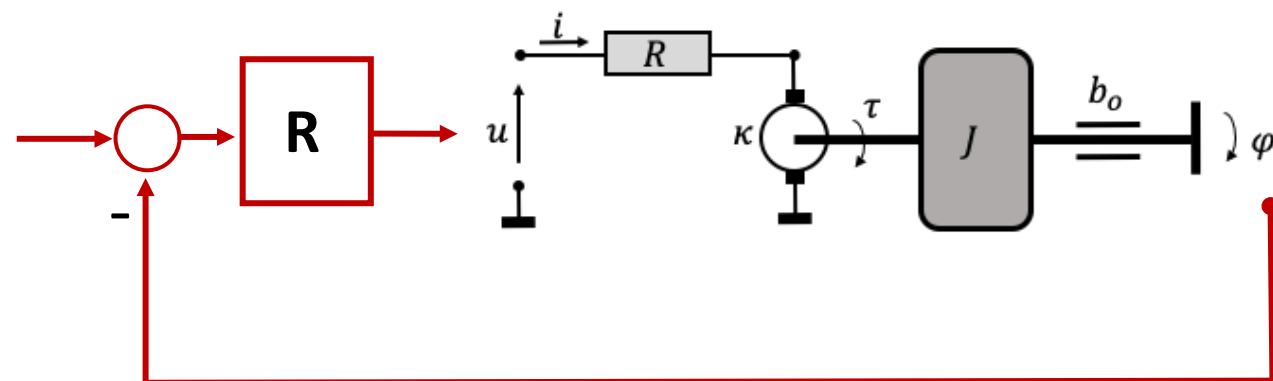
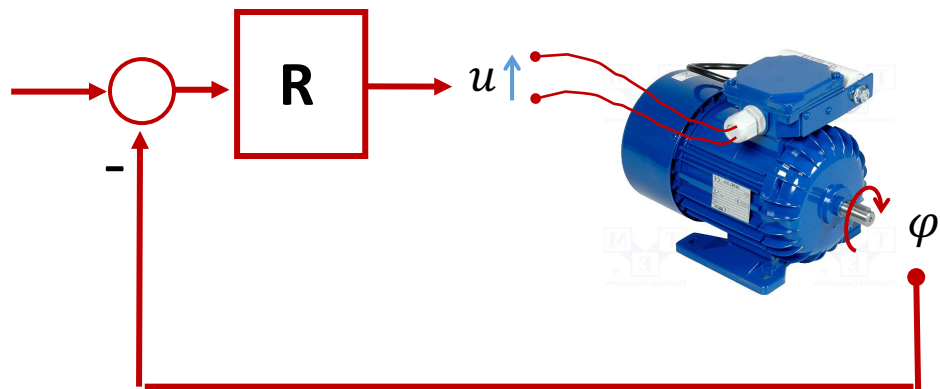
$$\tau_J(t) = J\dot{\omega}(t)$$

$$T = \frac{RJ}{\kappa^2}$$

$$e(t) = \kappa\omega(t)$$

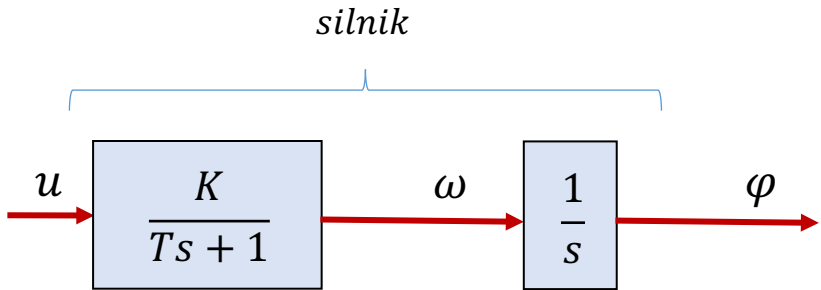
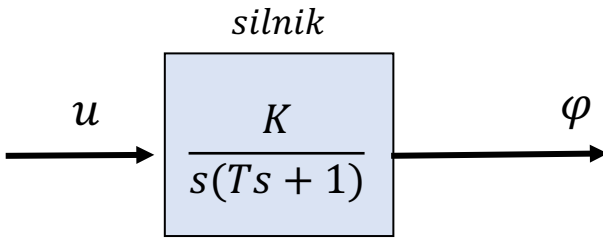
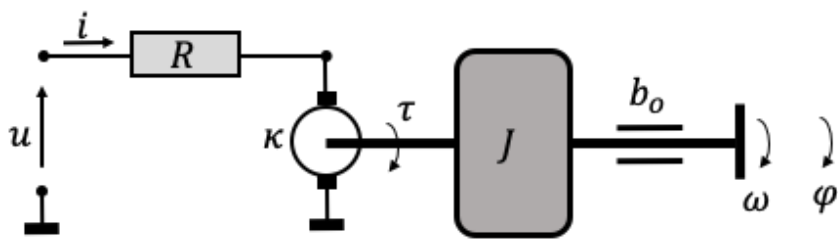
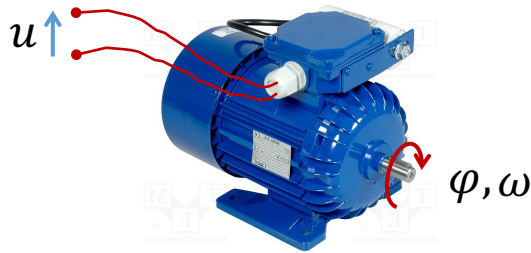
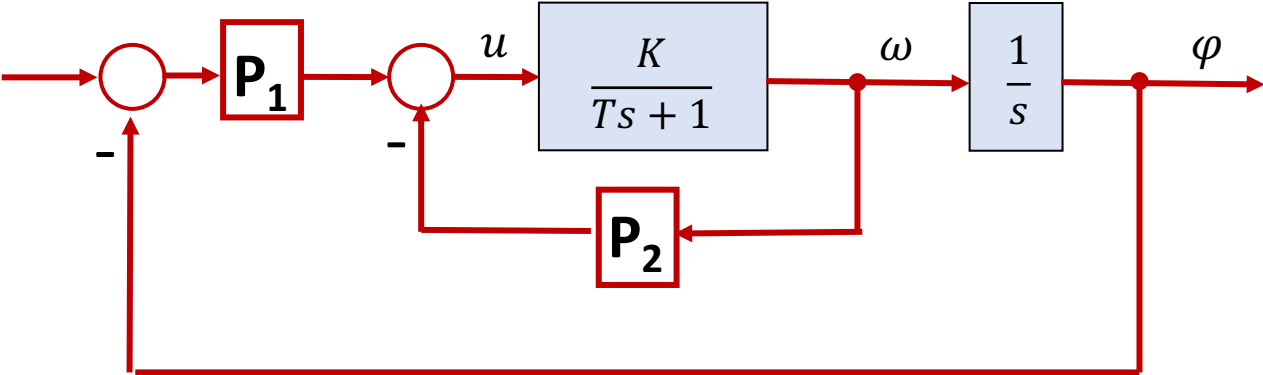
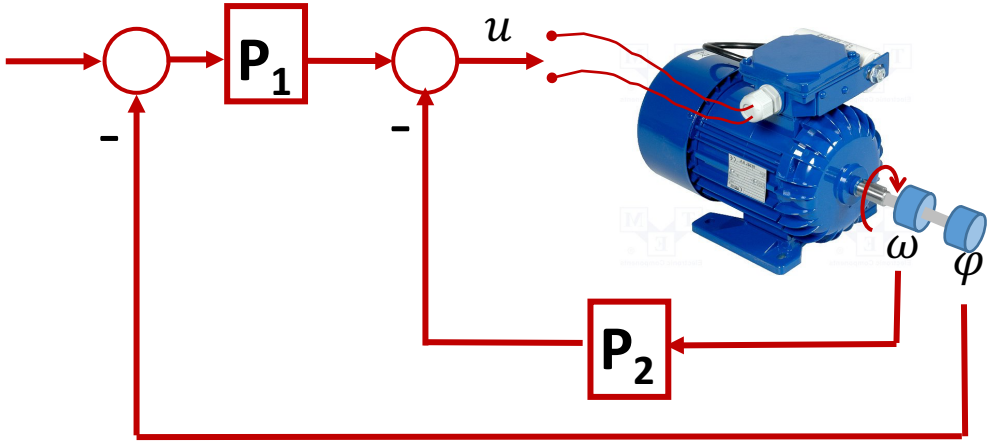
$$\tau(t) = \kappa i(t)$$

$$\omega = \dot{\varphi}(t)$$

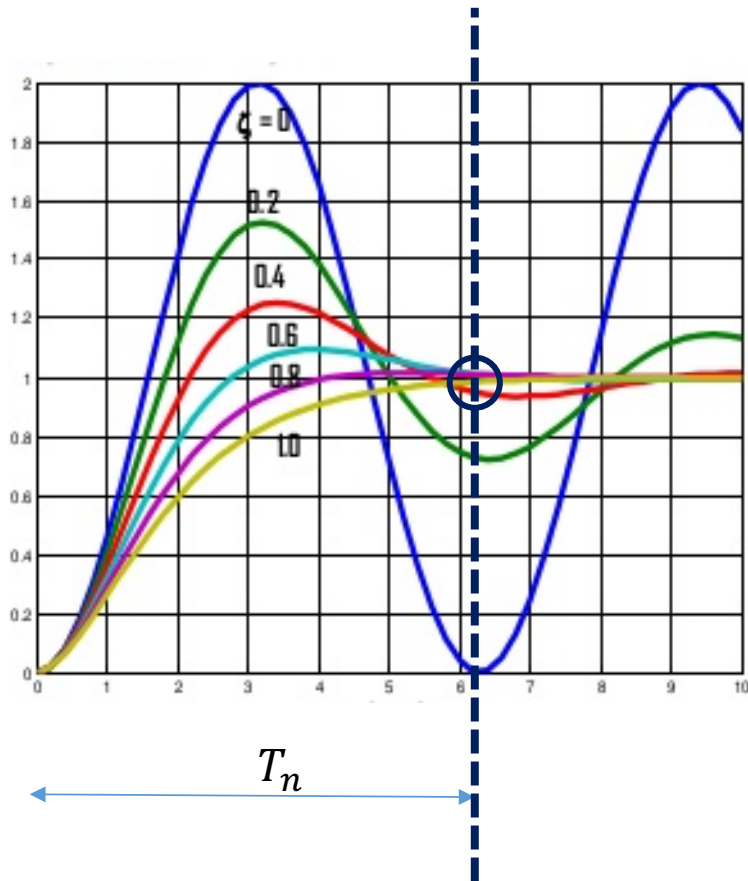


$Np.: K = 100, T = 0,03$

REGULACJA Z DODATKOWYM SPRZĘŻENIEM TACHOMETRYCZNYM (od prędkości)

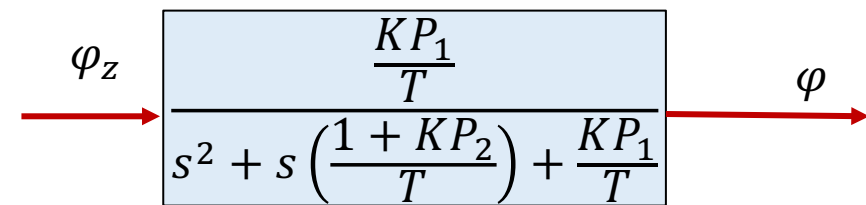
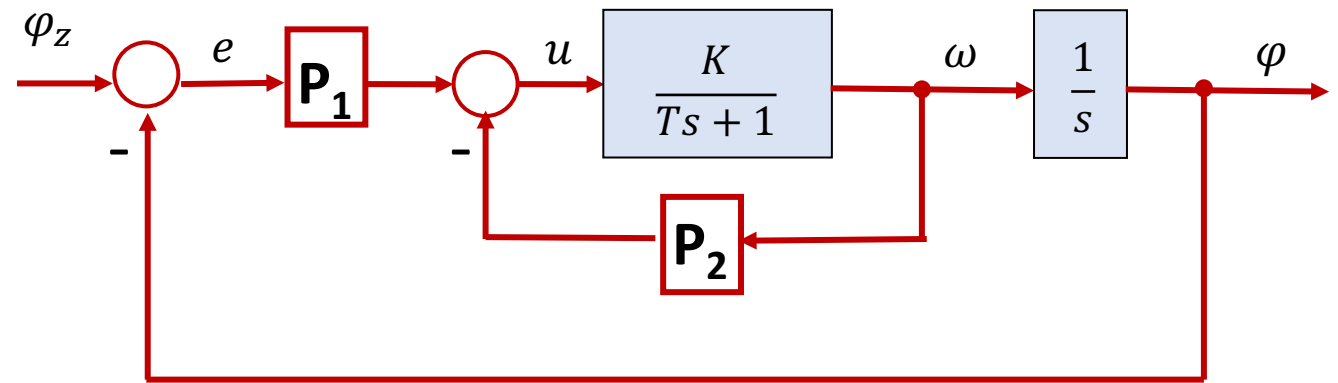


$$H(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$$



$$\omega_n = 2\pi/T_n$$

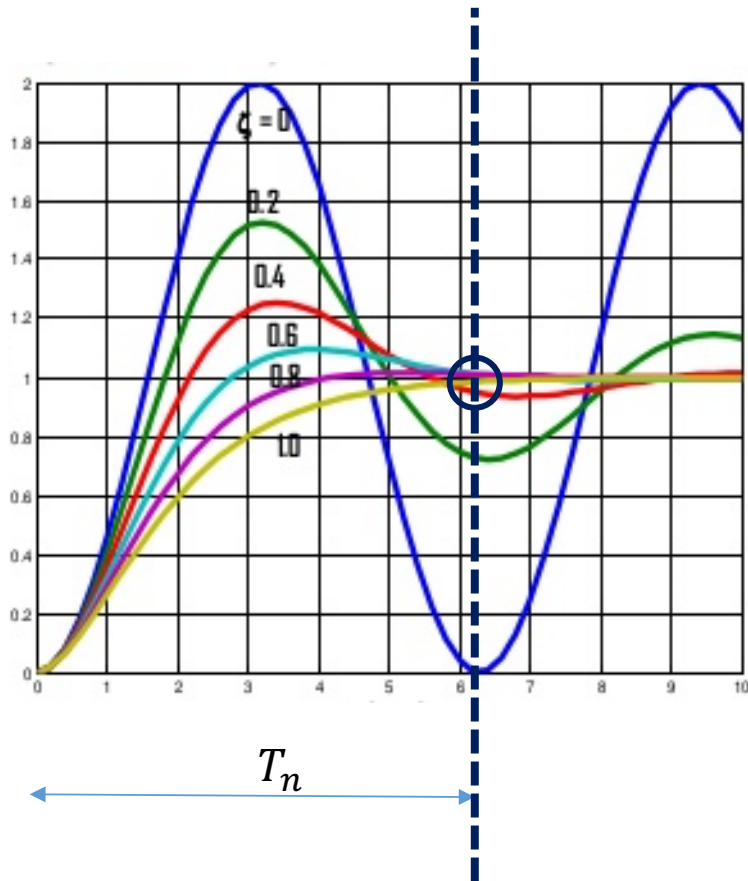
$$\xi = 0,6 \div 1$$



$$P_1 = \frac{\omega_n^2 T}{K}$$

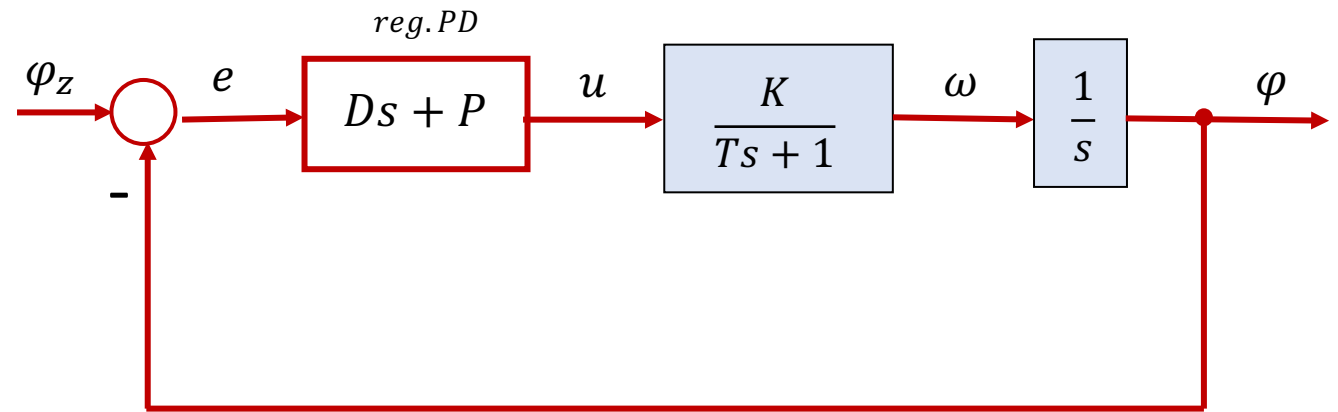
$$P_2 = \frac{2\xi\sqrt{KTP_1} - 1}{K}$$

$$H(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$$



$$\omega_n = 2\pi/T_n$$

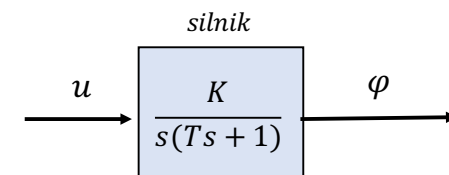
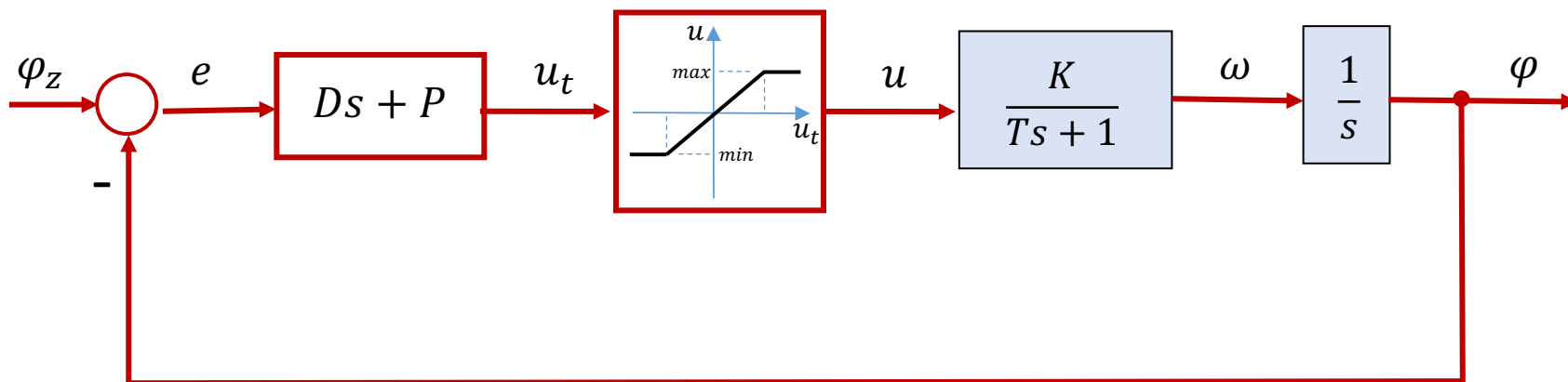
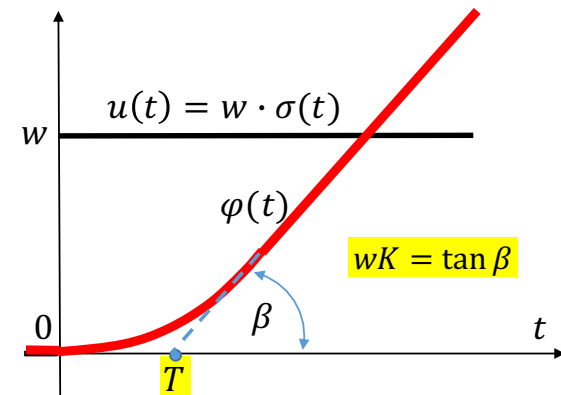
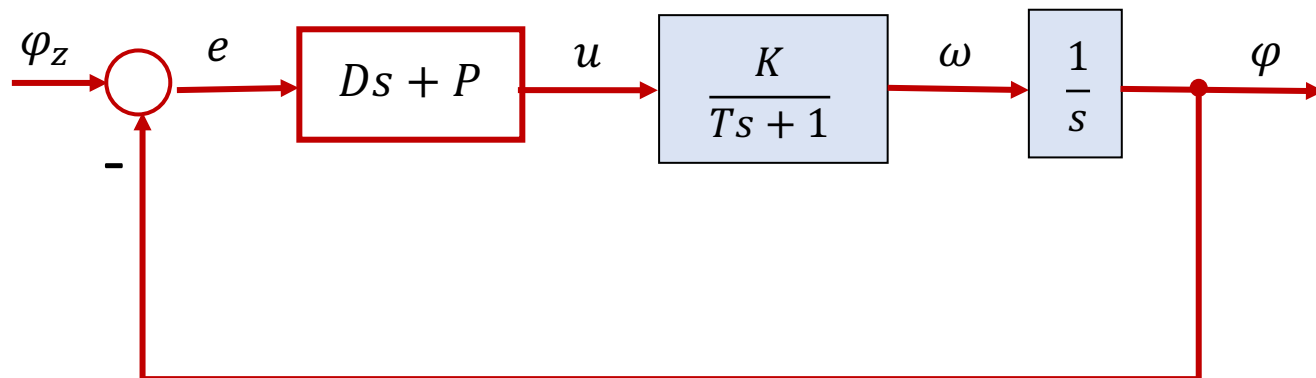
$$\xi = 0,6 \div 1$$



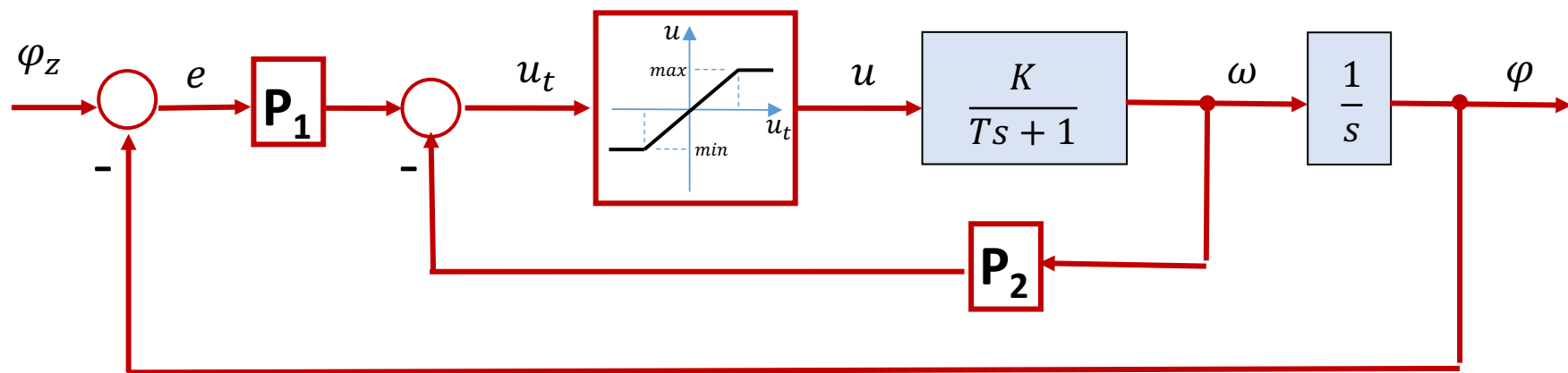
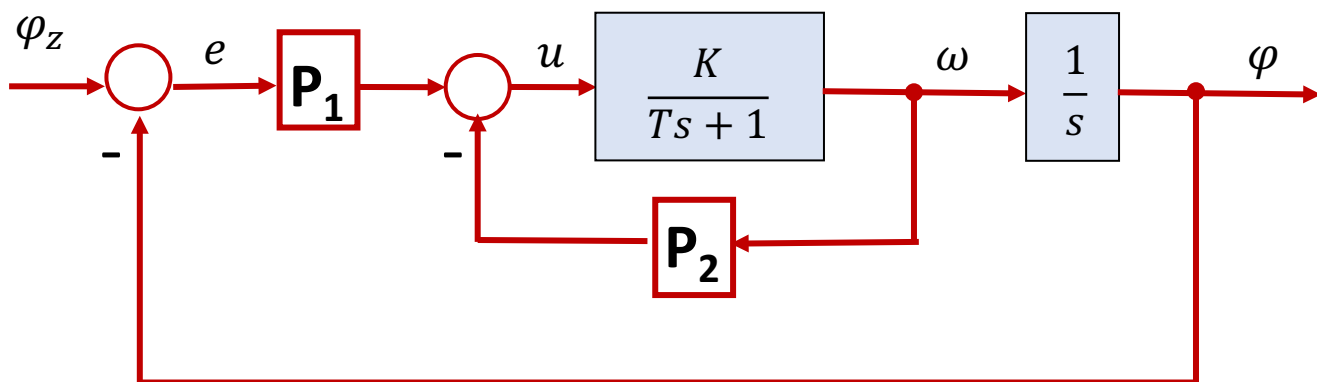
$$\varphi_z \rightarrow \frac{s \frac{KD}{T} + \frac{KP}{T}}{s^2 + s \left(\frac{1 + KD}{T} \right) + \frac{KP}{T}} \rightarrow \varphi$$

$$P = \frac{\omega_n^2 T}{K}$$

$$D = \frac{2\xi\sqrt{KTP} - 1}{K}$$

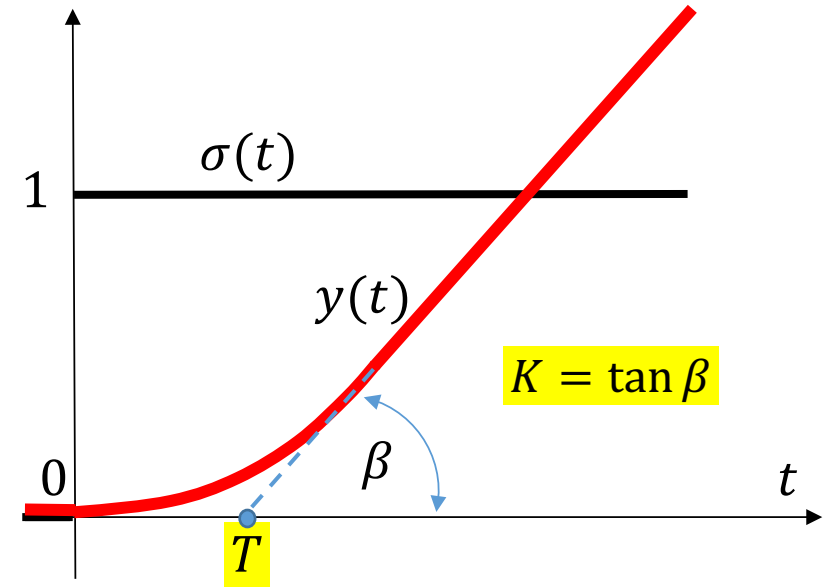
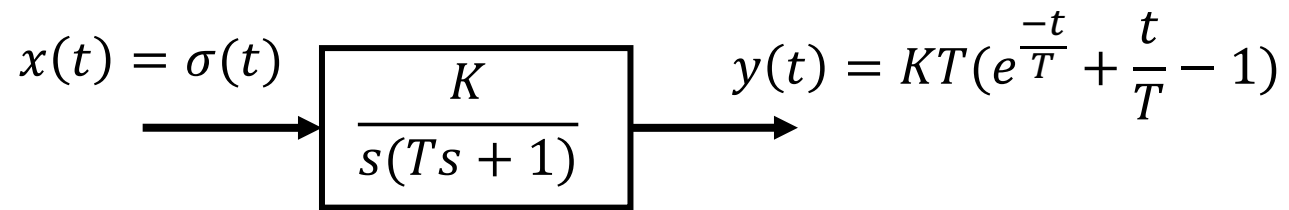


$Np.: \quad K = 100; \quad T = 0,03; \quad u = \pm 30 \text{ V}$



Wyznaczanie odpowiedzi układu – przykład 4

$$H(s) = \frac{K}{s(Ts + 1)}$$



Z tablicy przekształcenia Laplace'a

16	$\frac{1}{\alpha^2}(e^{-\alpha t} + \alpha t - 1)$	$\frac{1}{s^2(s + \alpha)}$
----	--	-----------------------------

$$p(t) = Kt - KT$$

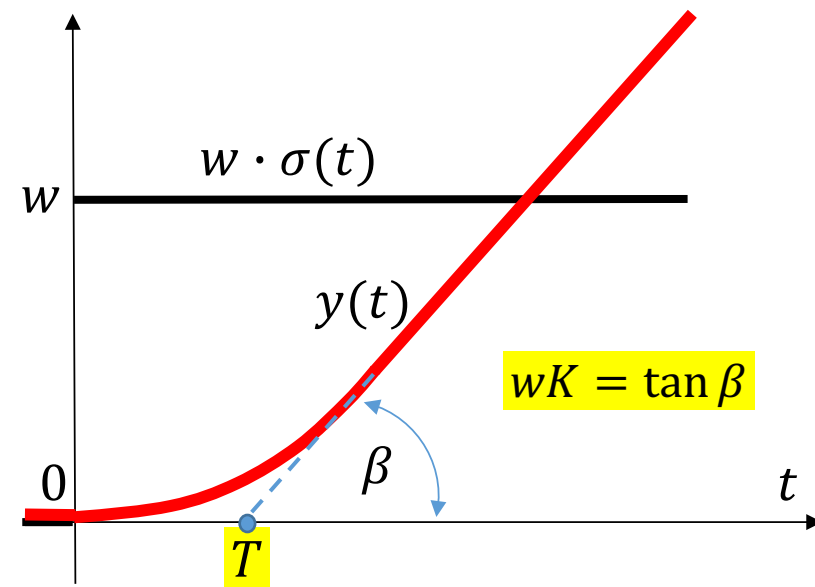
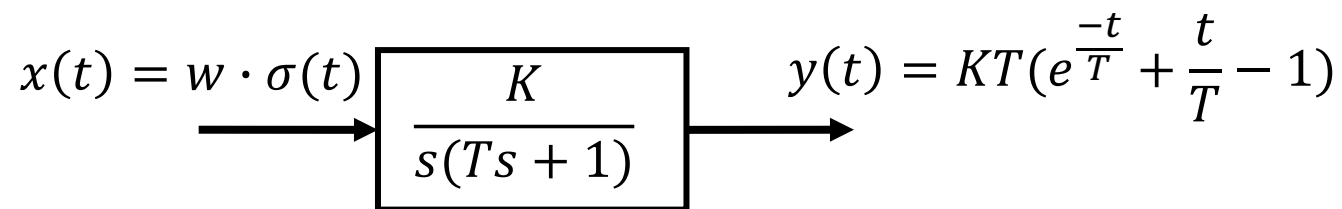
asymptota: $p(t) = At + B$

$$A = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{y(t)}{t} = K$$

$$B = \lim_{t \rightarrow \infty} (y(t) - At) = -KT$$

Wyznaczanie odpowiedzi układu – przykład 4

$$H(s) = \frac{K}{s(Ts + 1)}$$



Z tablicy przekształcenia Laplace'a

16	$\frac{1}{\alpha^2} (e^{-\alpha t} + \alpha t - 1)$	$\frac{1}{s^2(s + \alpha)}$
----	---	-----------------------------

$$p(t) = wKt - wKT$$

asymptota: $p(t) = At + B$

$$A = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{y(t)}{t} = wK$$

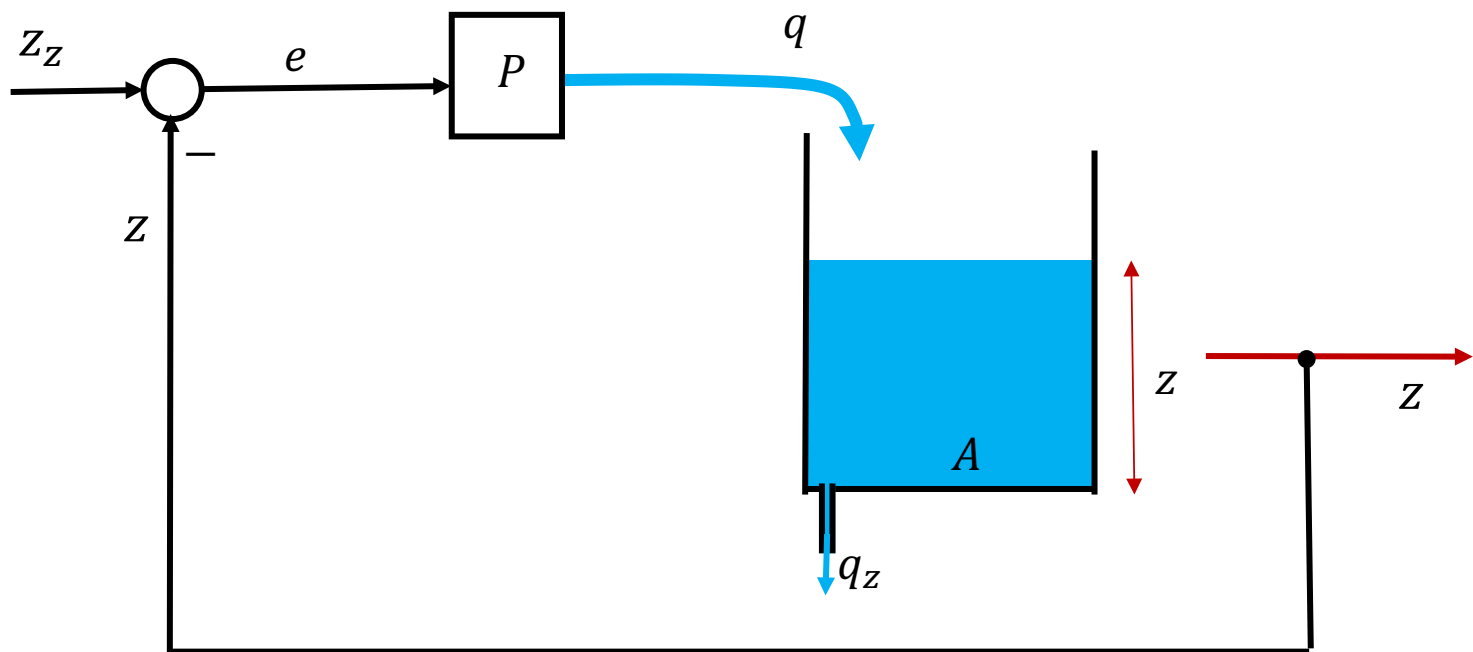
$$B = \lim_{t \rightarrow \infty} (y(t) - At) = -wKT$$

PRZYKŁAD

Projektowanie układu regulacji ciągłej poziomu cieczy w zbiorniku

(dobór nastawy P regulatora proporcjonalnego)

Schemat układu regulacji

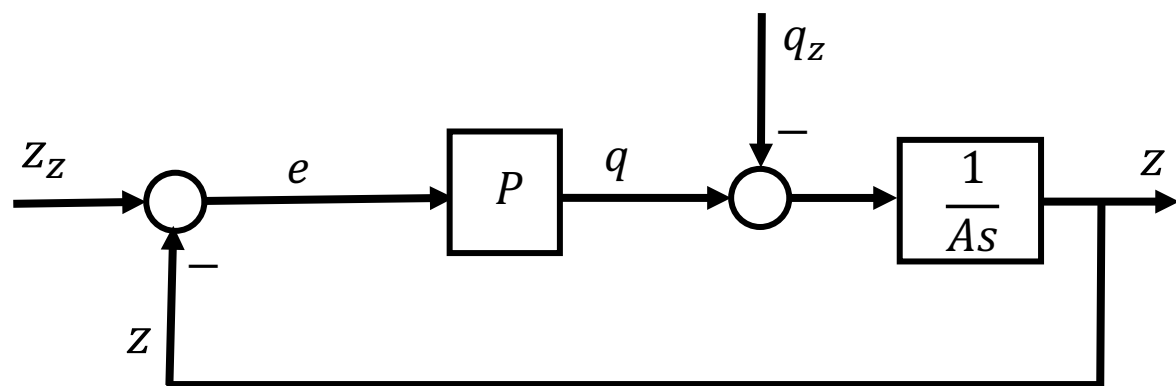


Wyprowadzenie transmitancji obiektu

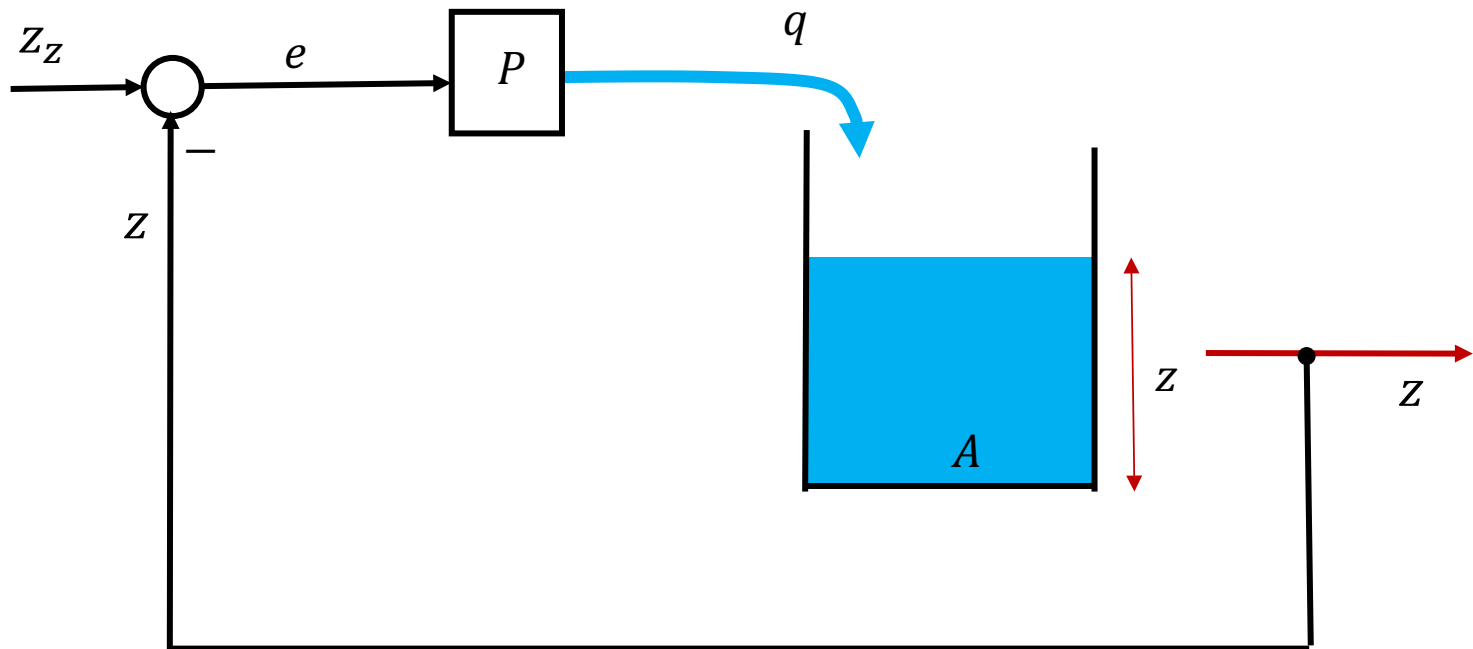
$$\mathcal{L} \left\{ \begin{aligned} \frac{dz}{dt} A &= q - q_z \\ z s A &= q - q_z \end{aligned} \right.$$

$$z = (q - q_z) \frac{1}{As}$$

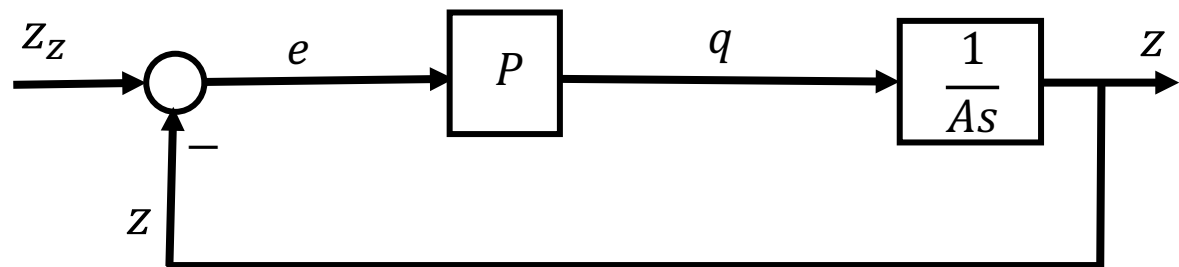
(Uwaga: nie zmieniono oznaczeń transformacji sygnałów)



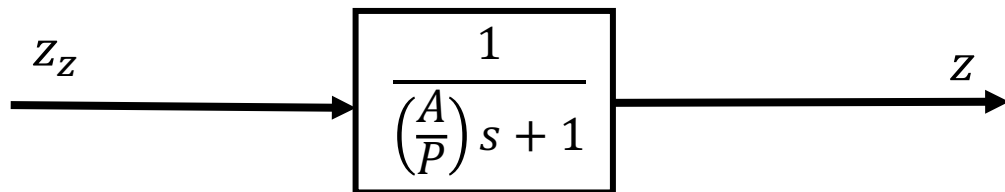
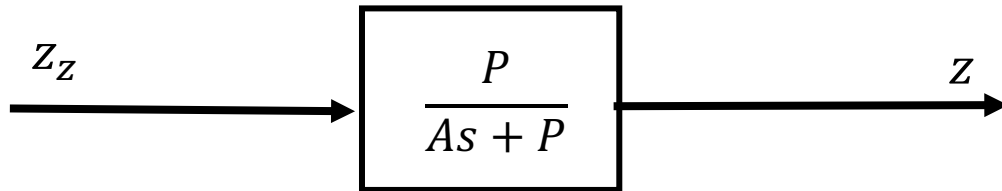
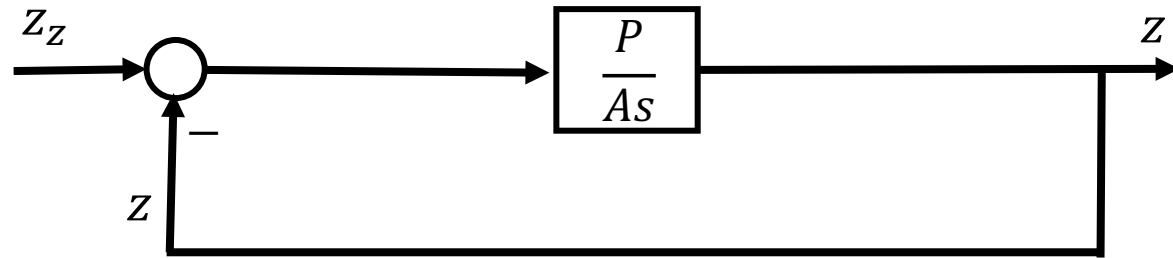
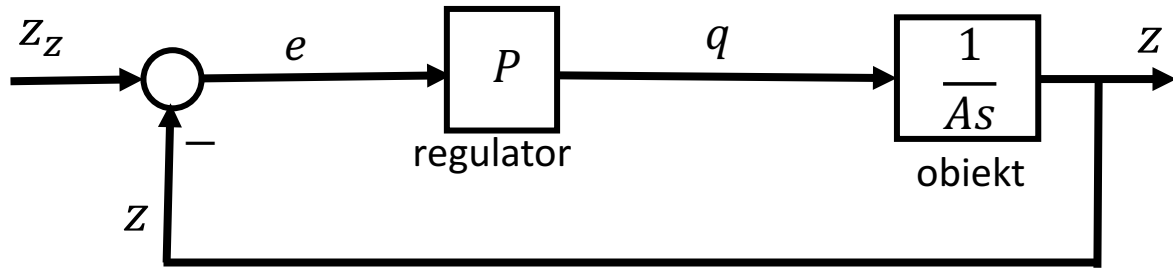
Schemat blokowy układu regulacji



Zakłócenie $q_z = 0$

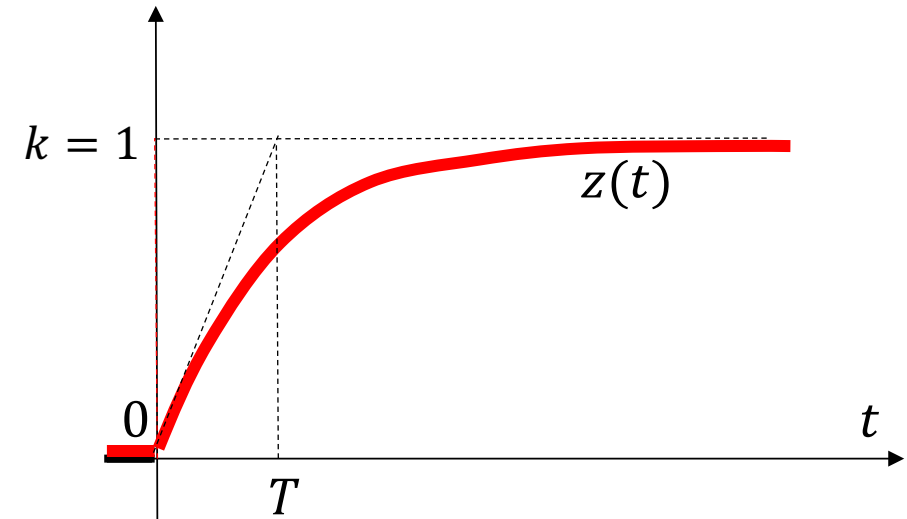


Przekształcenia schematu blokowego



Człon inercyjny (1. rzędu):

$$H(s) = \frac{k}{Ts + 1}$$



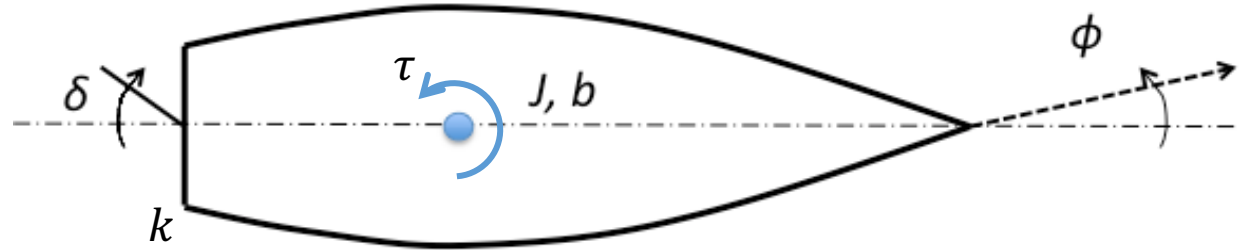
Dobór nastawy
regulatora
proporcjonalnego

$$T = \frac{A}{P}$$

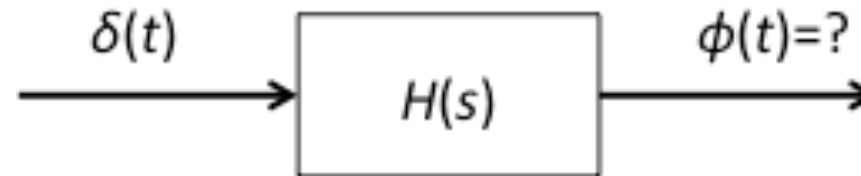
dla zadanej wartości T obliczamy P

Dobór nastaw regulatora
(układ sterowania kursem statku)

Wyprowadzenie transmitancji



$$\tau = k \cdot \delta$$



$\delta(t)$ - wychylenie steru

$\phi(t)$ - kurs statku (kąt)

J – masowy moment bezwładności **względem osi pionowej**

B – współczynnik tarcia płynnego w ruchu obrotowym względem osi pionowej

k – współczynnik proporcjonalności $k = \tau / \delta$

$\tau(t)$ - moment sił obracający statek (wokół osi pionowej) wskutek wychylenia steru

Równanie momentów sił

$$\tau = \tau_I + \tau_B, \text{ gdzie}$$

$$\tau = k \cdot \delta(t)$$

$$\tau_I = J \frac{d^2 \phi(t)}{dt^2}$$

$$\tau_B = B \frac{d\phi(t)}{dt}$$

Po podstawieniu

$$k\delta(t) = J \frac{d^2 \phi(t)}{dt^2} + B \frac{d\phi(t)}{dt}$$

po transformacji Laplace'a

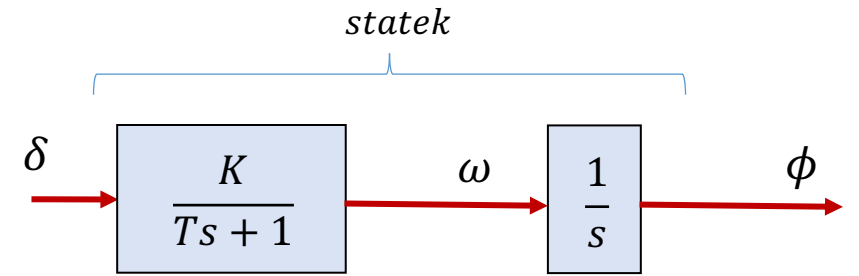
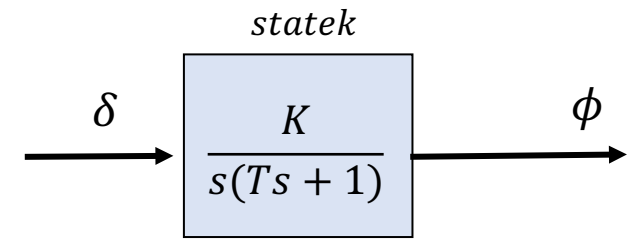
$$k\Delta(s) = Js^2\Phi(s) + Bs\Phi(s)$$

$$\Delta(s) = \mathcal{L}\delta(t)$$

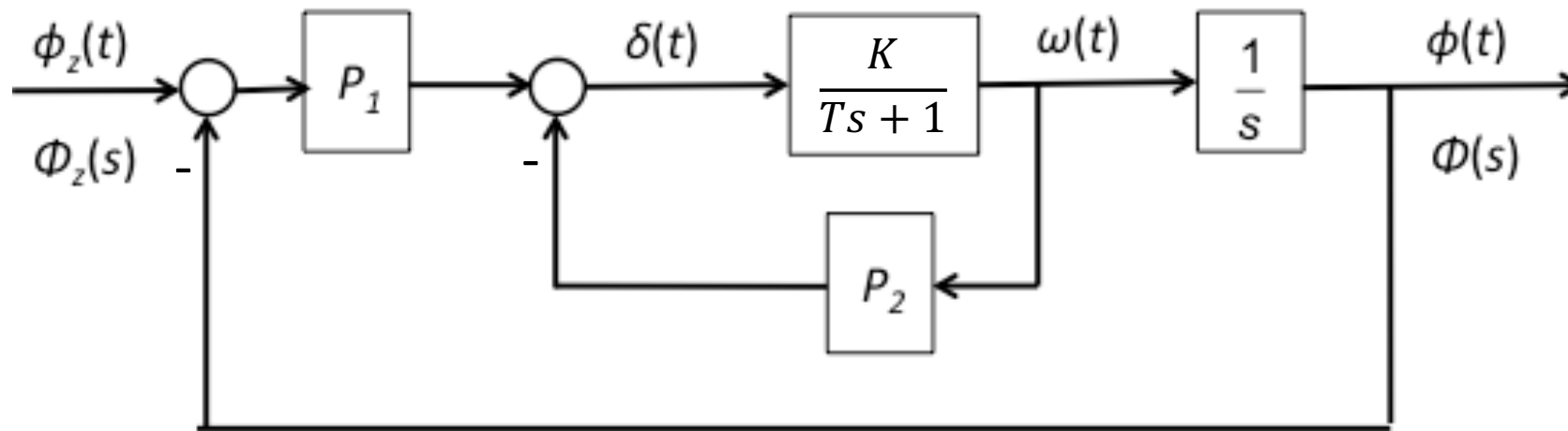
$$\Phi(s) = \mathcal{L}\phi(t)$$

Z ostatniego równania otrzymujemy transmitancję

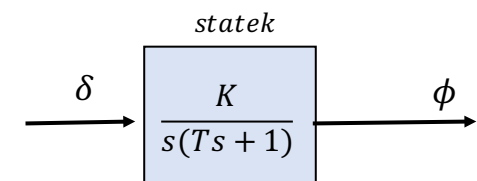
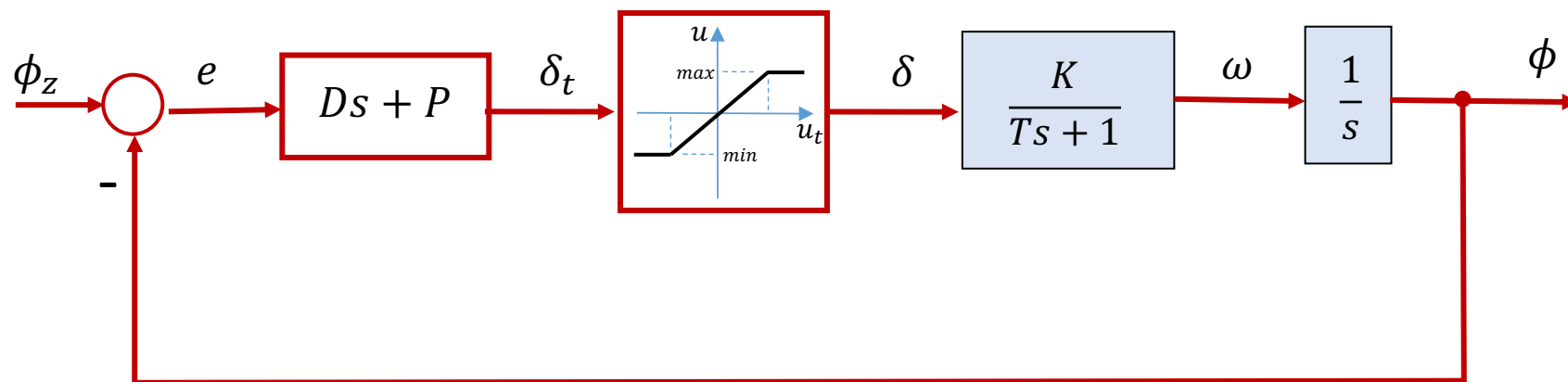
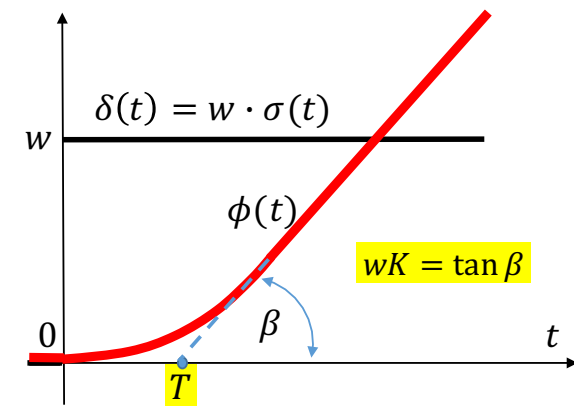
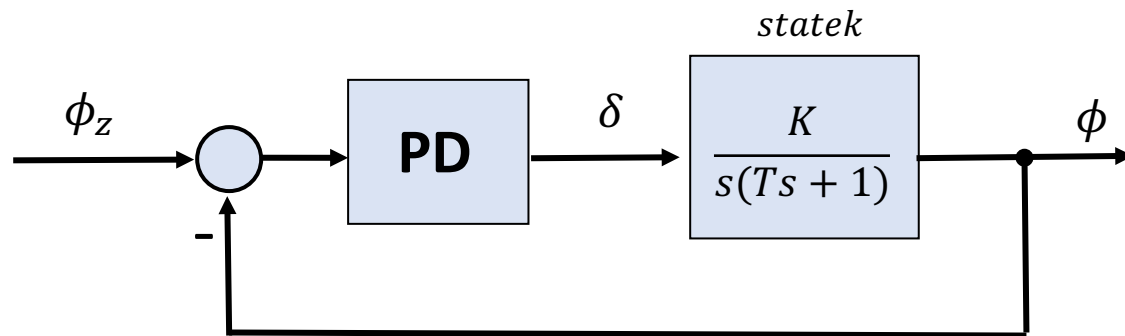
$$H(s) = \frac{\Phi(s)}{\Delta(s)} = \frac{K}{s(Ts + 1)}$$



Przyjmujemy strukturę układu sterowania z dwoma sprzężeniami zwrotnymi: od prędkości kątowej ω i od kąta kursu ϕ .

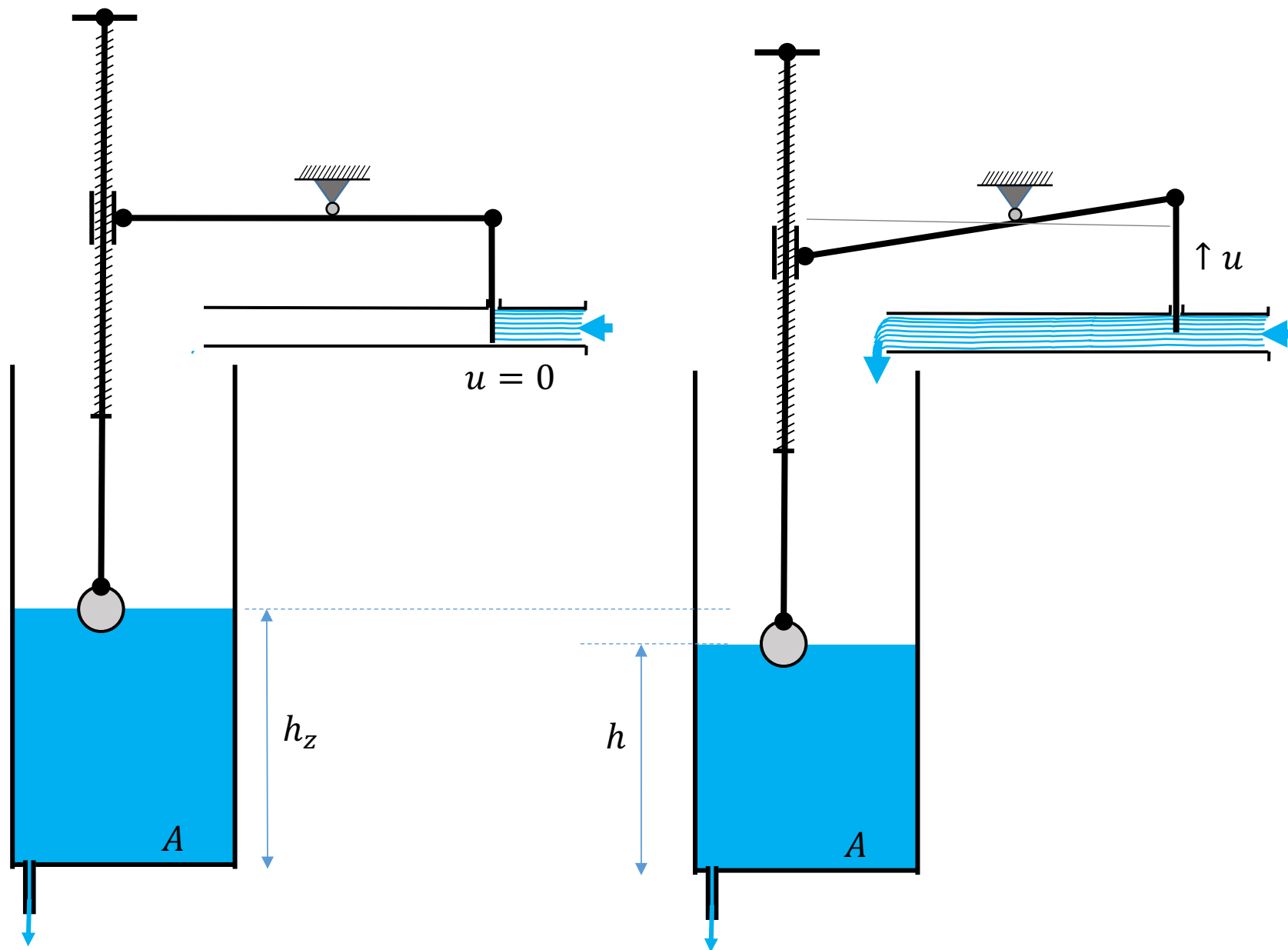


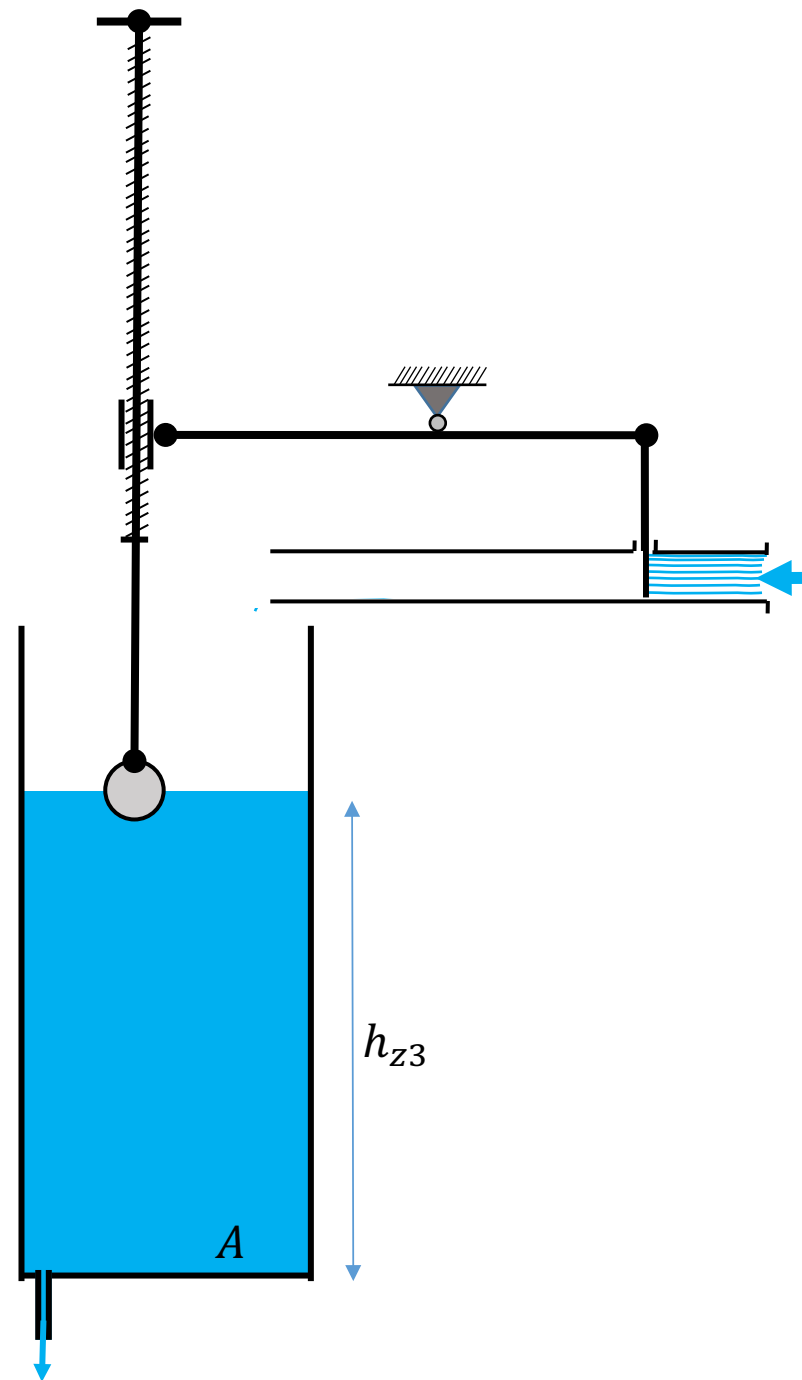
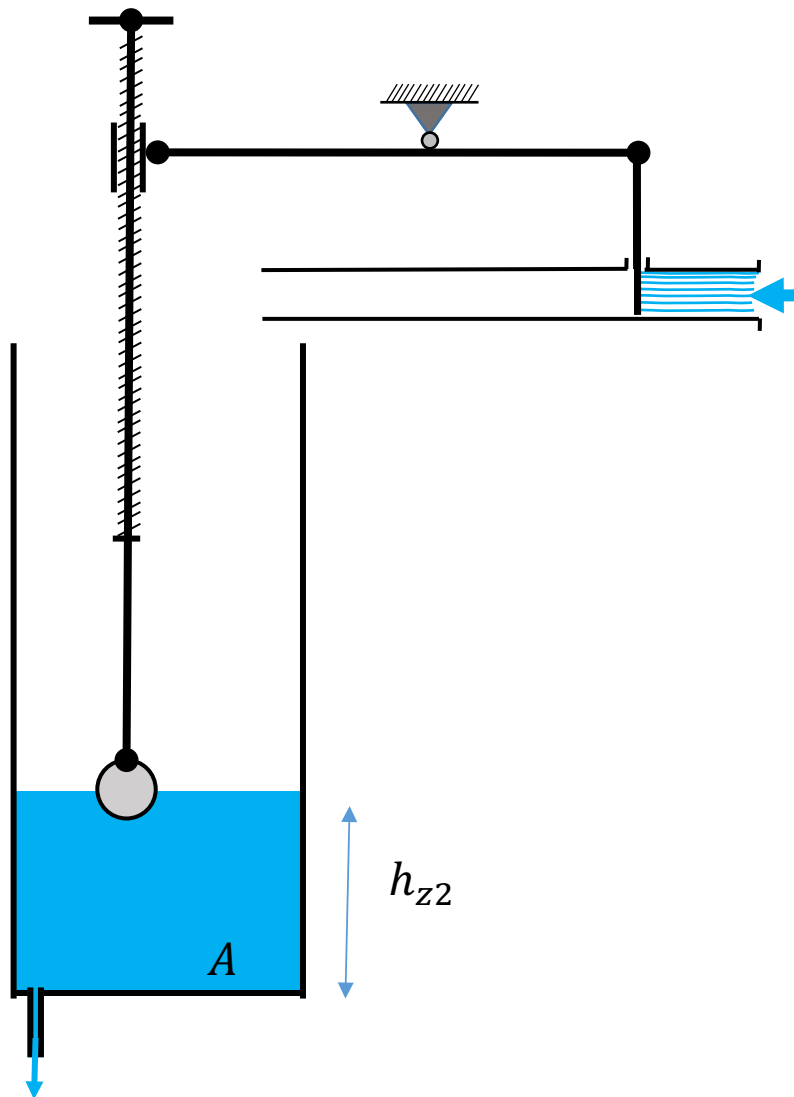
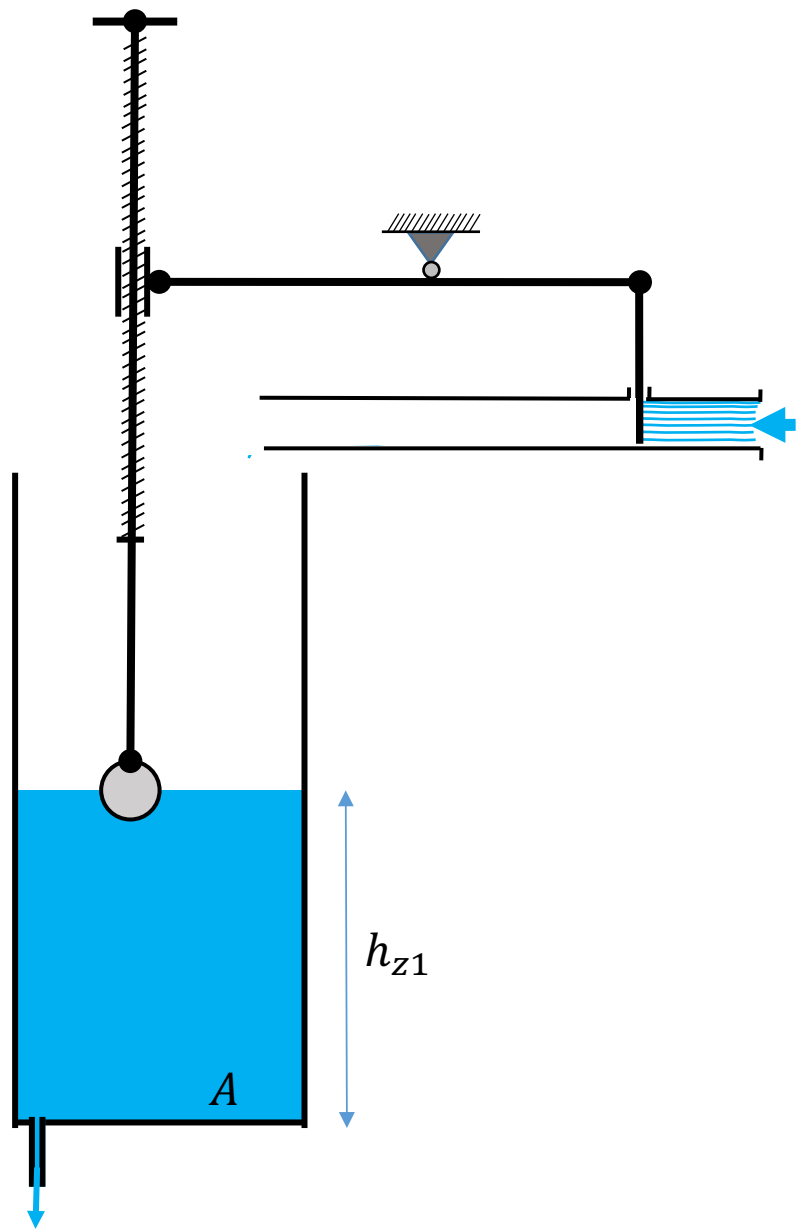
Należy wyznaczyć dwie nastawy regulatora P_1 i P_2 .

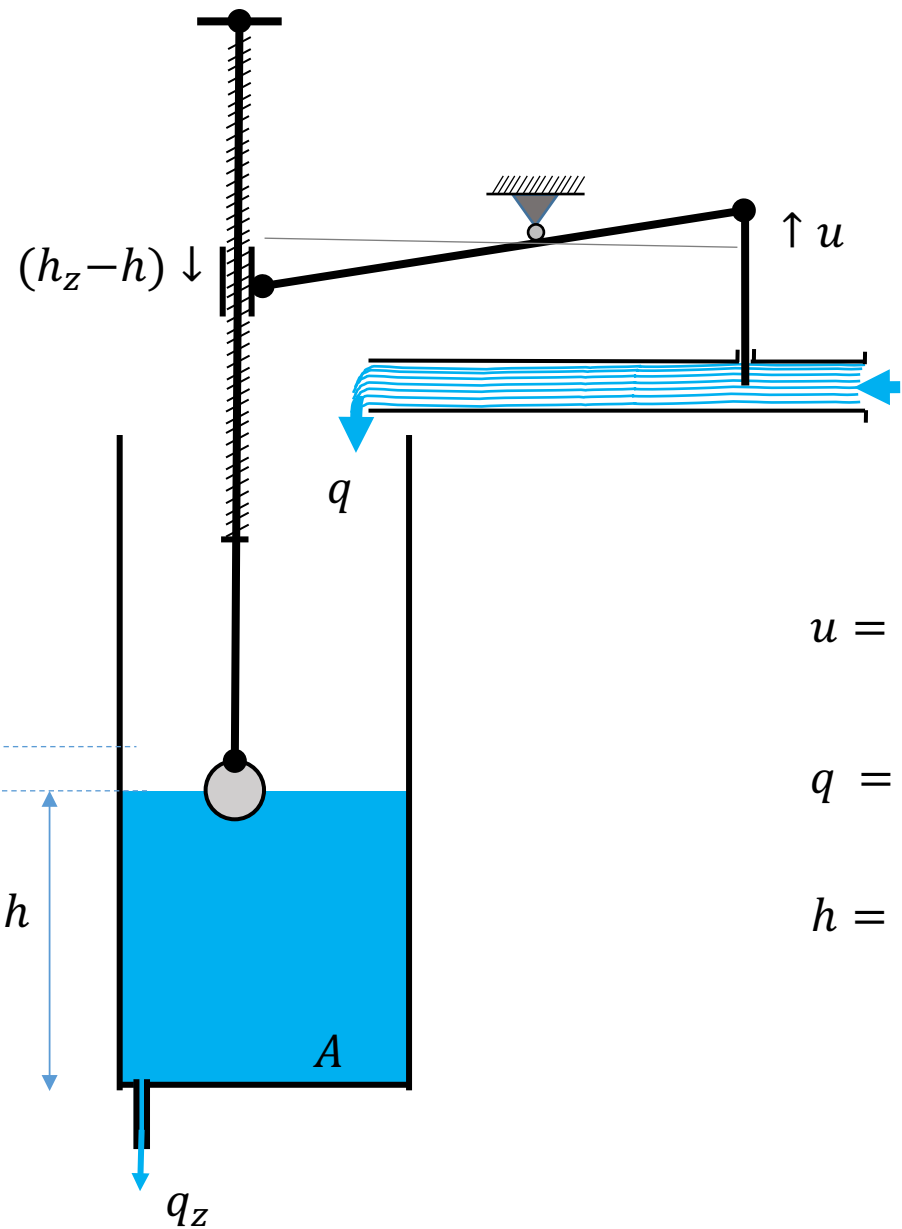
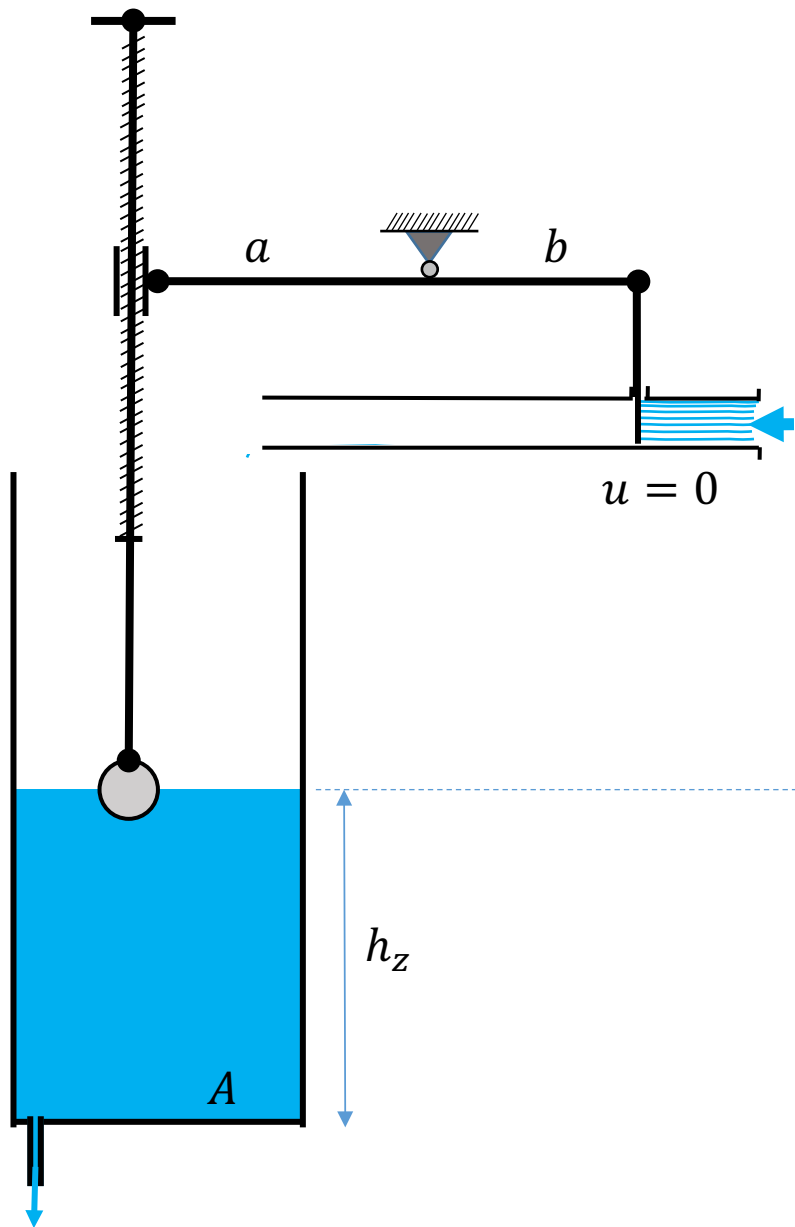


Np.: $K = 0,05$; $T = 20$; $\delta = \pm 30^\circ = \pm \pi/6 \approx \pm 0,5$

REGULATORY
BEZPOŚREDNIEGO
DZIAŁANIA



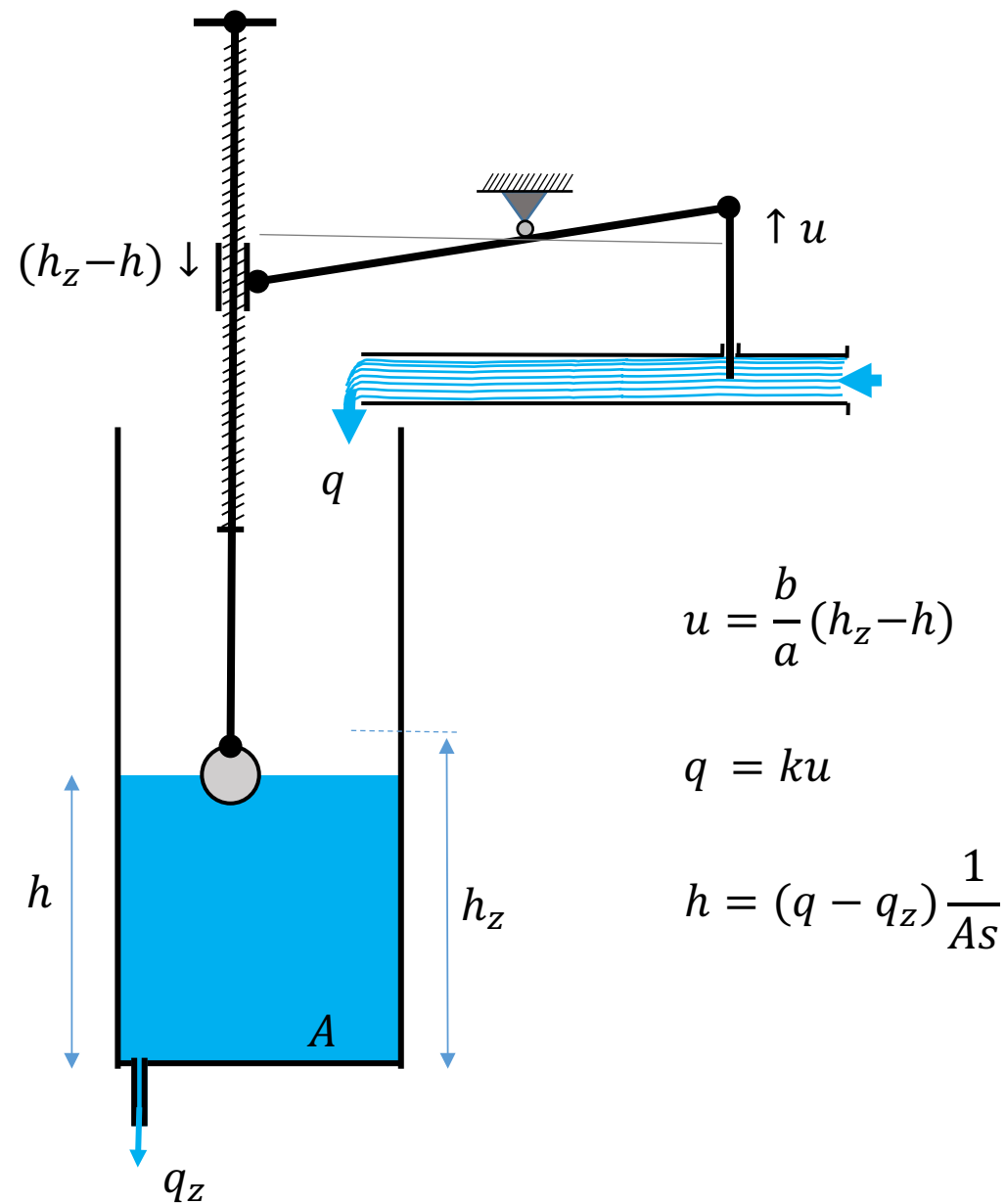
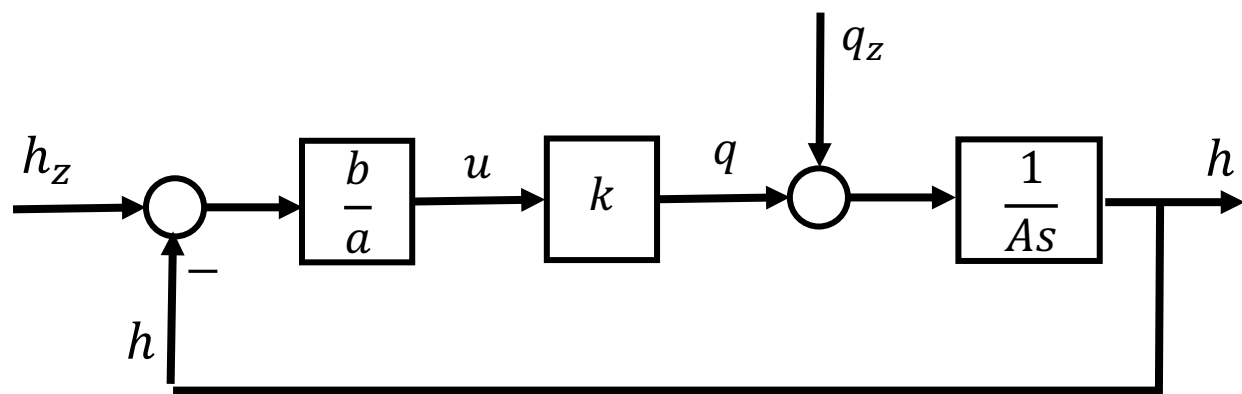




$$u = \frac{b}{a}(h_z - h)$$

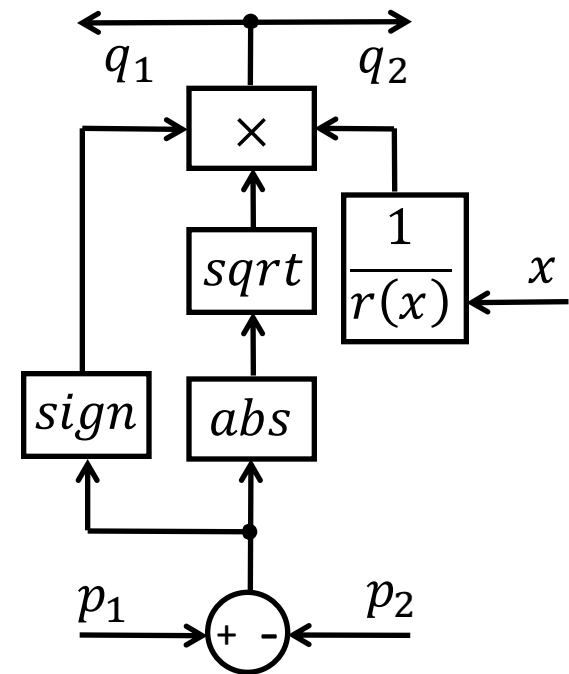
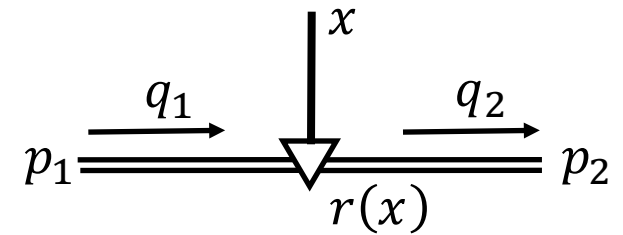
$$q = ku$$

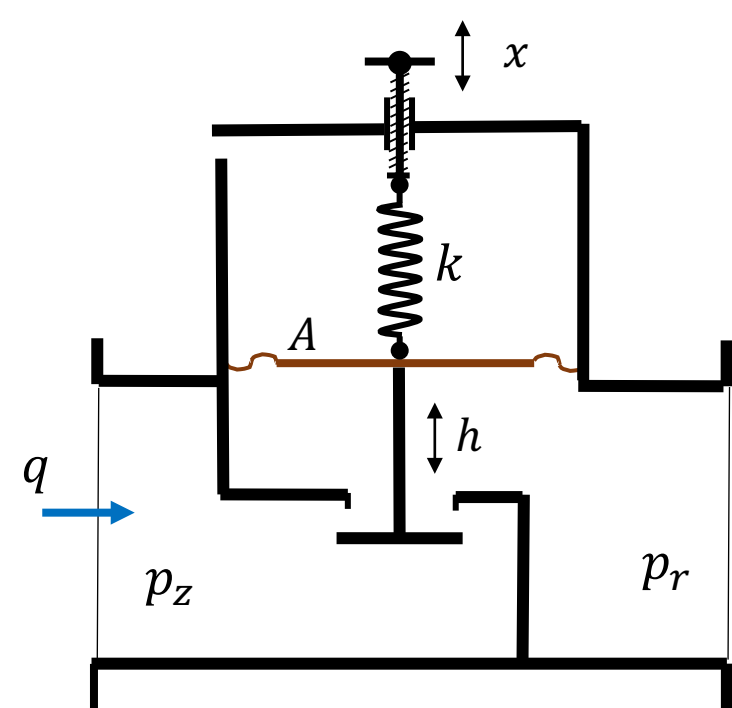
$$h = (q - q_z) \frac{1}{As}$$



$$q_1 = q_2 = \text{sign}(p_1 - p_2) \frac{1}{r(x)} \sqrt{|p_1 - p_2|}$$

$$\frac{1}{r(x)} = \alpha A(x) \sqrt{\frac{2}{\varrho}}$$



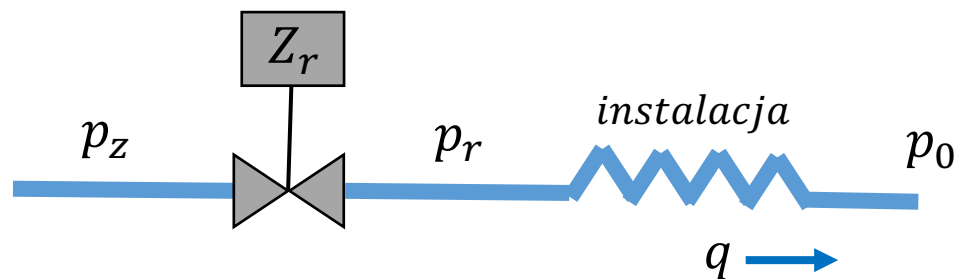


$$p_r A - kx = -kh$$

$$h = x - p_r \frac{A}{k}$$

$$h = \frac{A}{k} \left(x \frac{k}{A} - p_r \right)$$

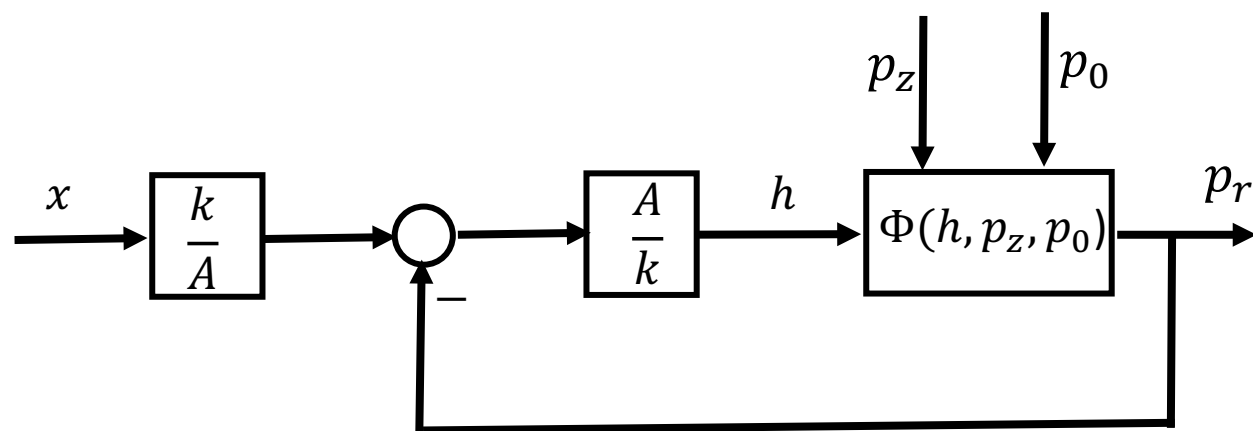
$$p_r = \varphi(q, h, p_z) \quad \leftarrow q = \varphi_1(p_r, p_0)$$

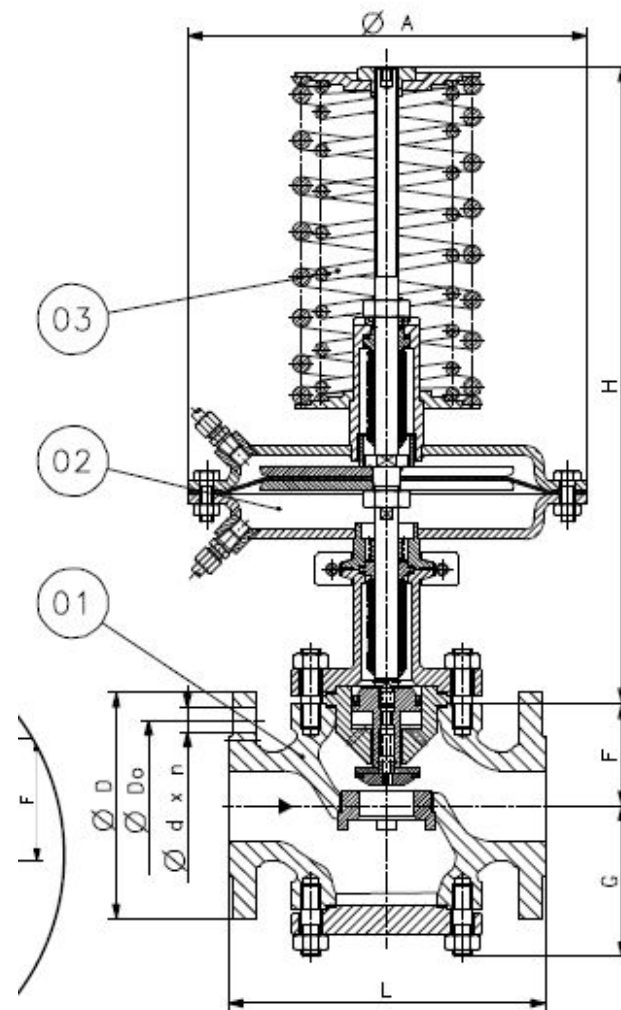
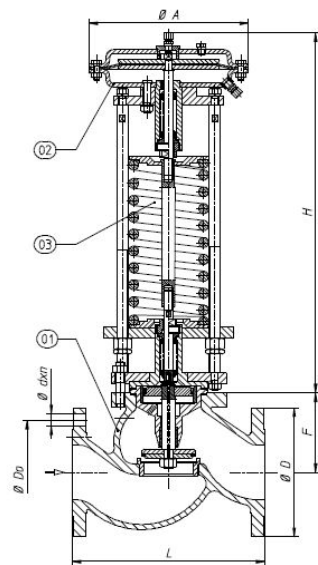
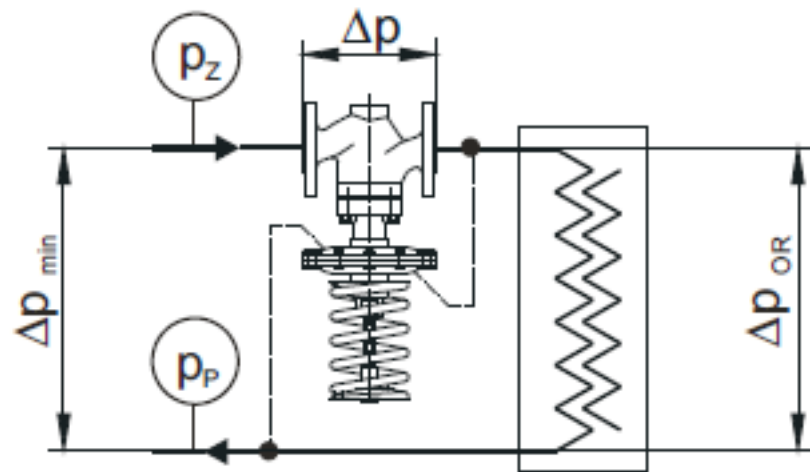


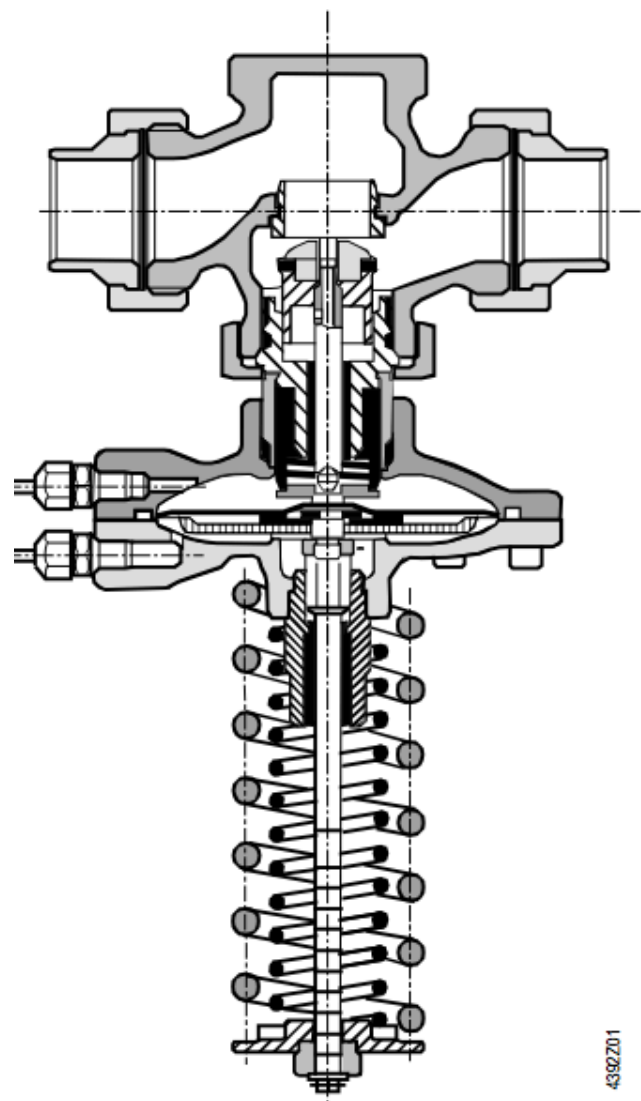
$$q = \alpha F(h) \sqrt{p_z - p_r}$$

$$q = c \sqrt{p_r - p_0}$$

$$p_r = \Phi(h, p_z, p_0)$$



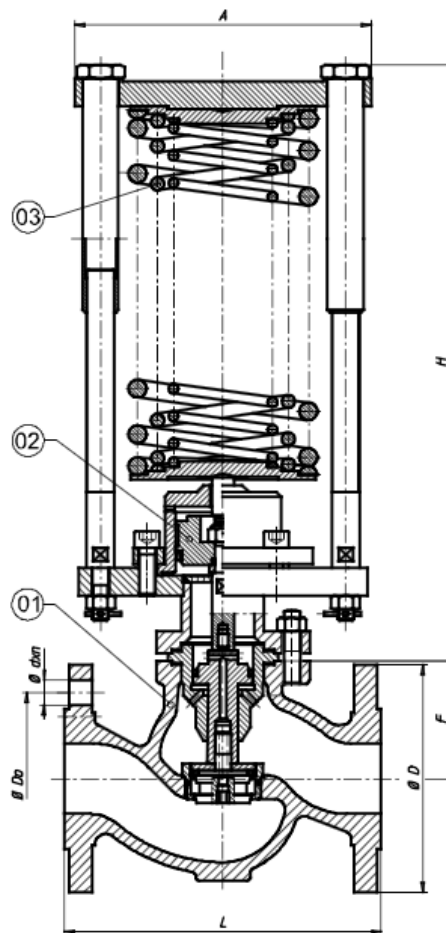




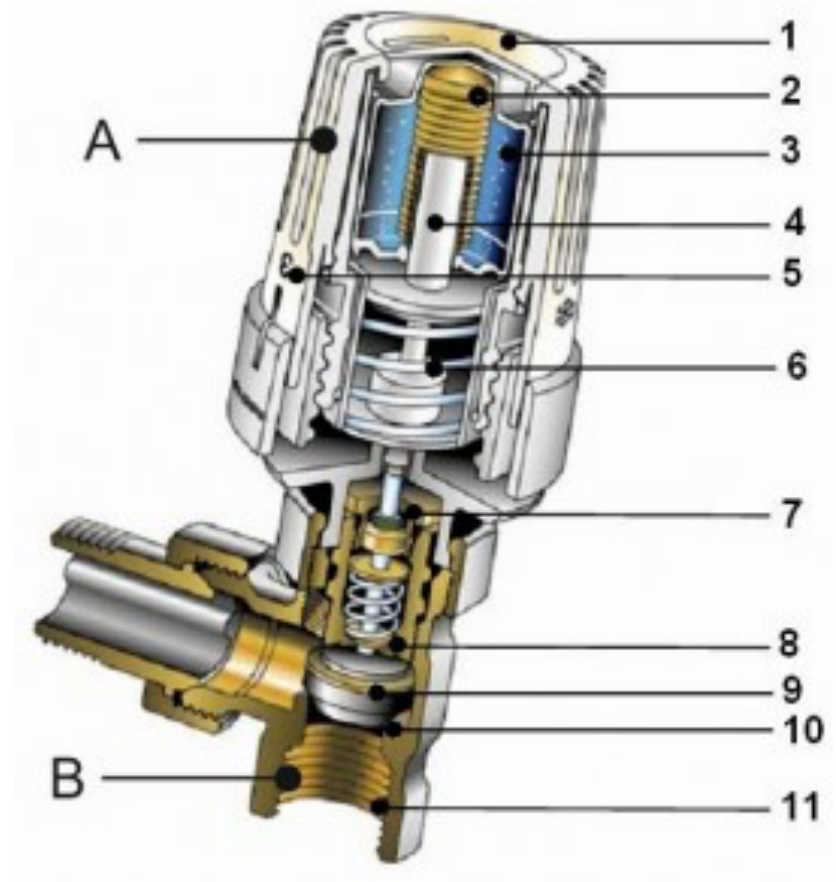
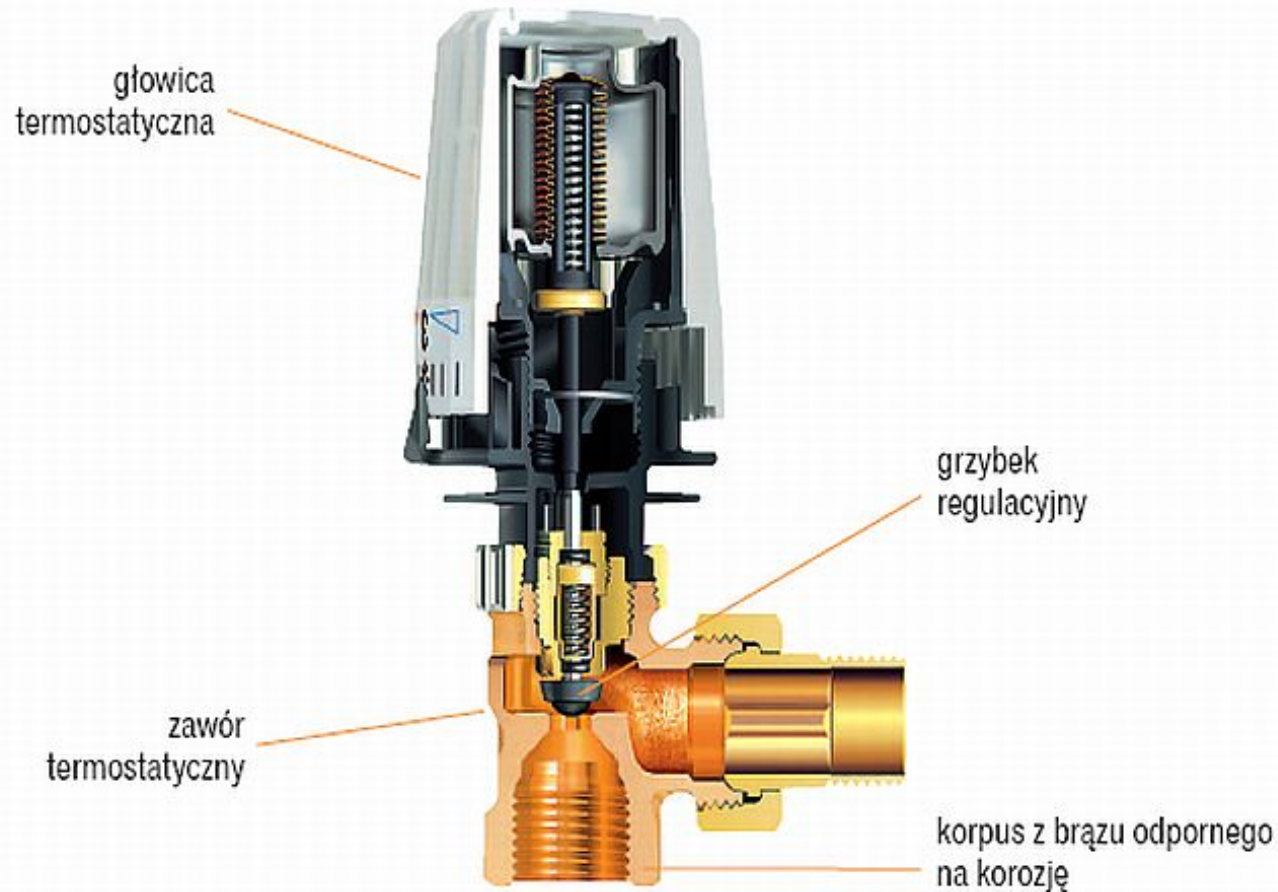
4392201

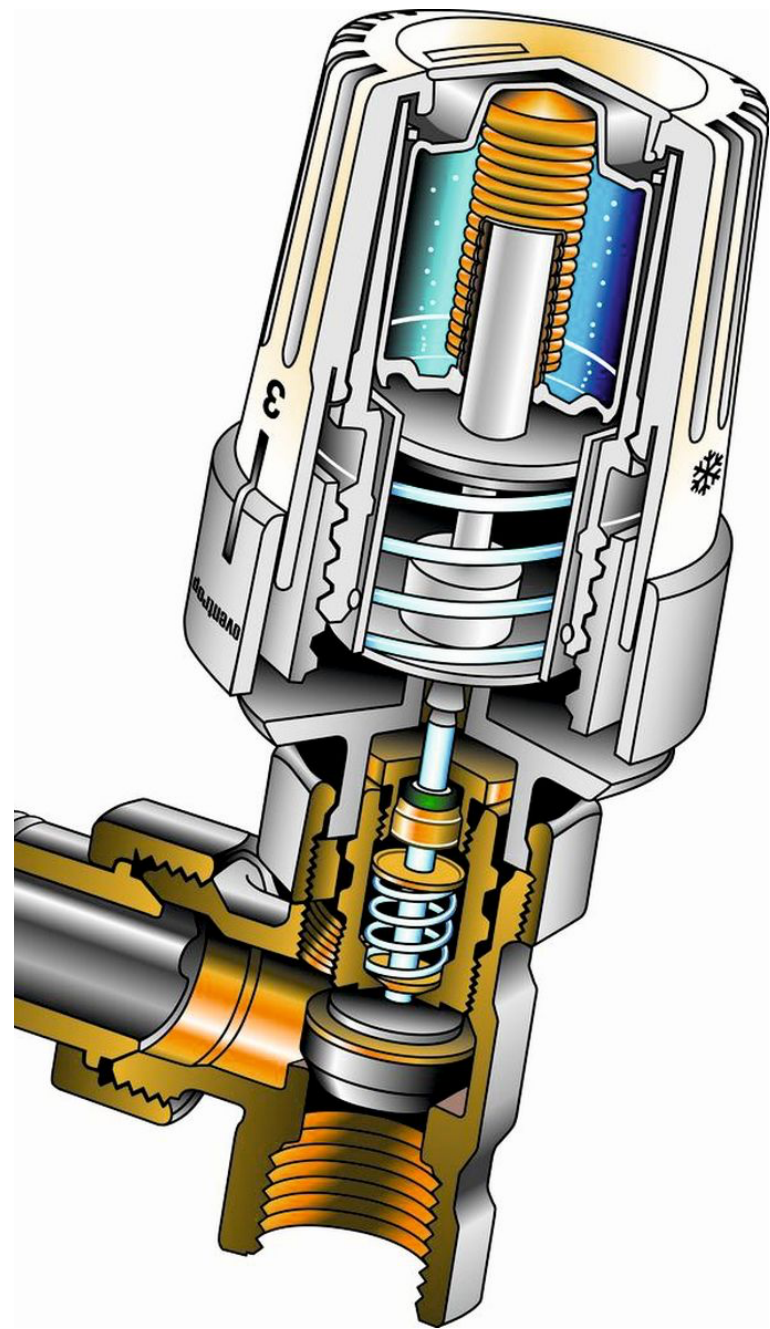
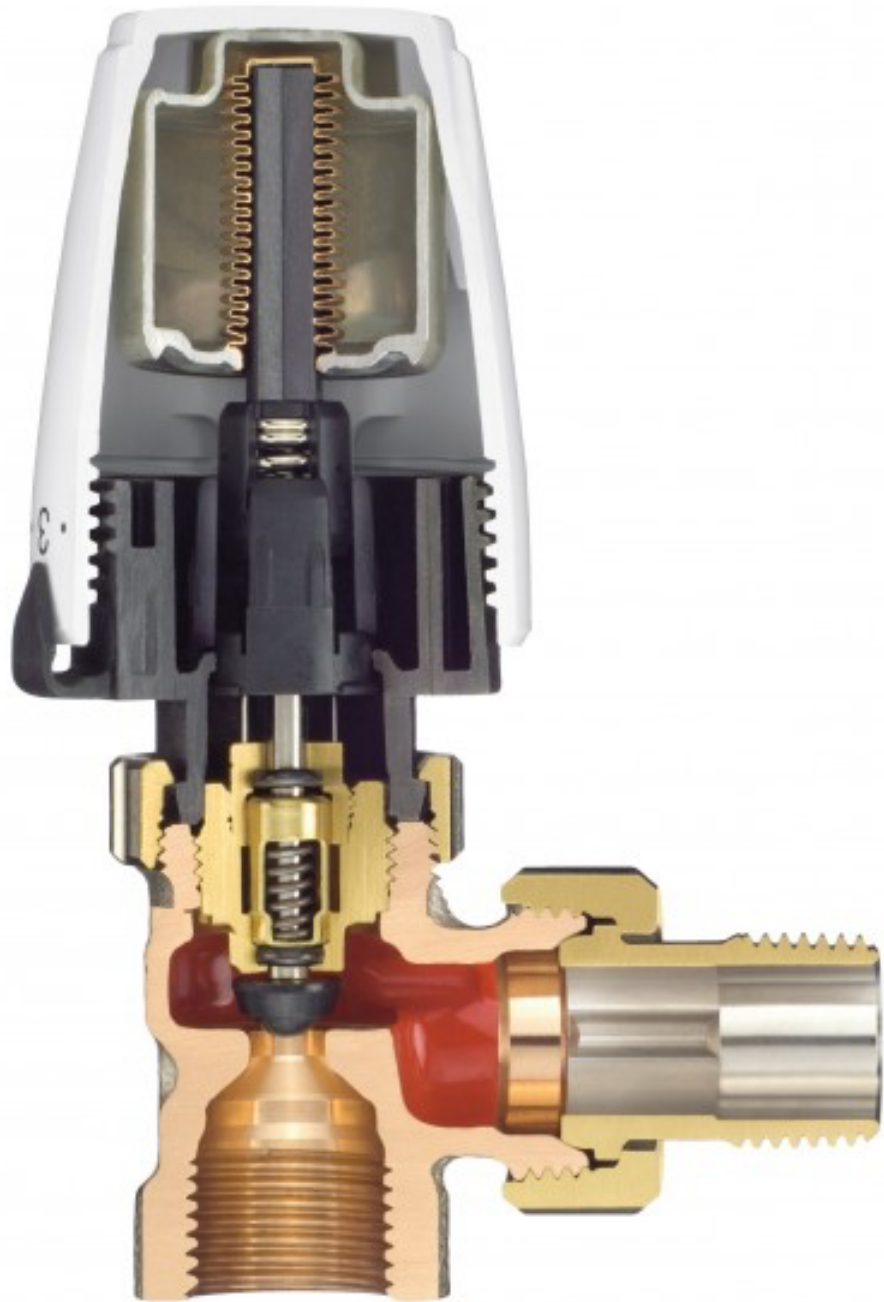
SIMENS

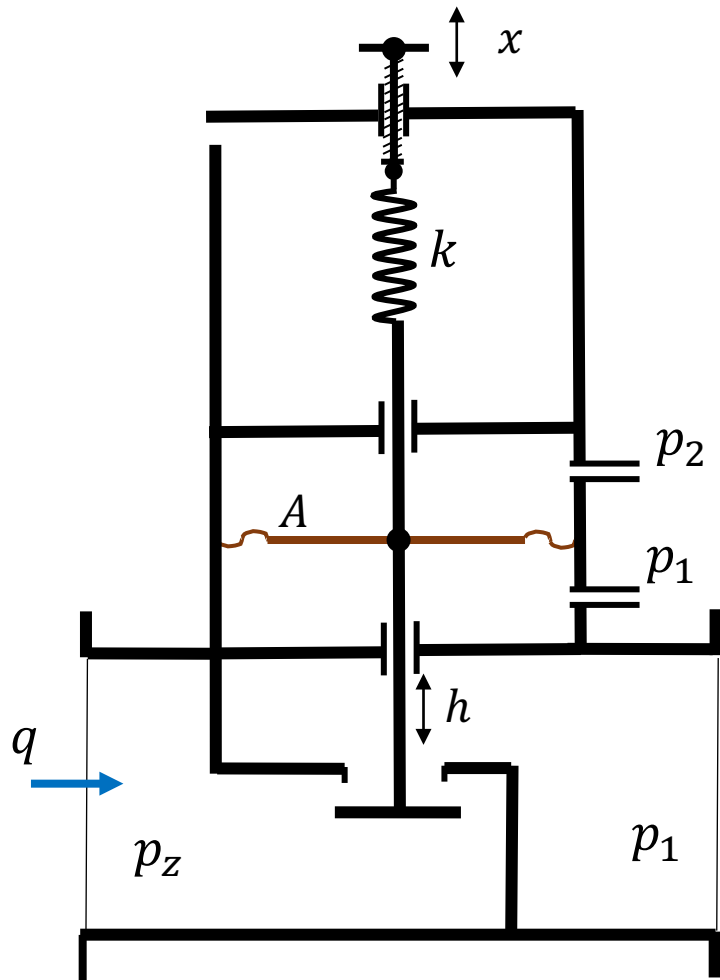
REGULATOR CIŚNIENIA RC-5-2T



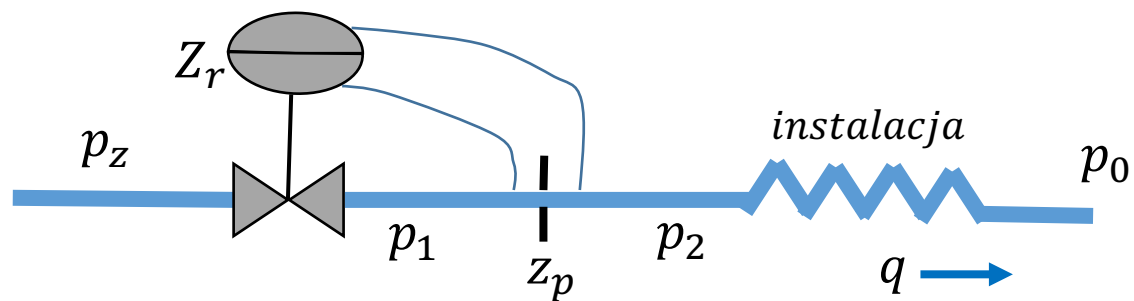
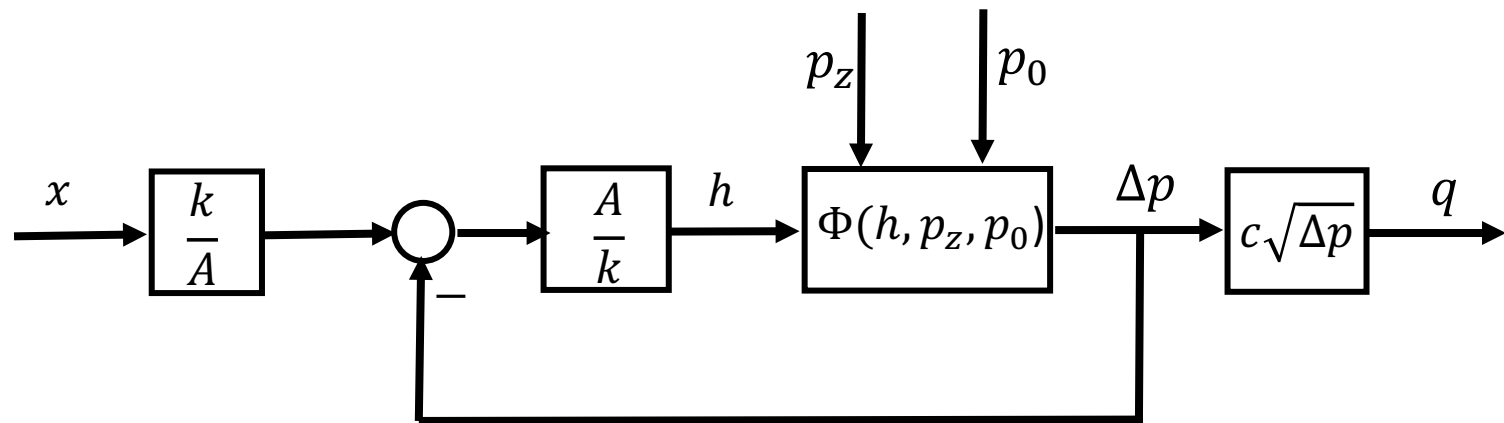
Termostatyczny zawór grzejnikowy (z archiwum firmy Oventrop): A – głowica termostatyczna, B – zawór, 1 – obudowa głowicy, 2 – mieszek sprężysty, 3 – zbiornik z medium, 4 – trzpień popychacza, 5 – skala nastaw temperatury, 6 – sprężyna popychacza, 7 – trzpień zaworu, 8 – sprężyna zaworu, 9 – grzybek zaworu, 10 – gniazdo zaworu, 11- przyłącze zaworu.







$$\Delta p A - kx = -kh \quad \rightarrow \quad h = x - \Delta p \frac{A}{k} \quad \rightarrow \quad \boxed{h = \frac{A}{k} \left(x \frac{k}{A} - \Delta p \right)}$$

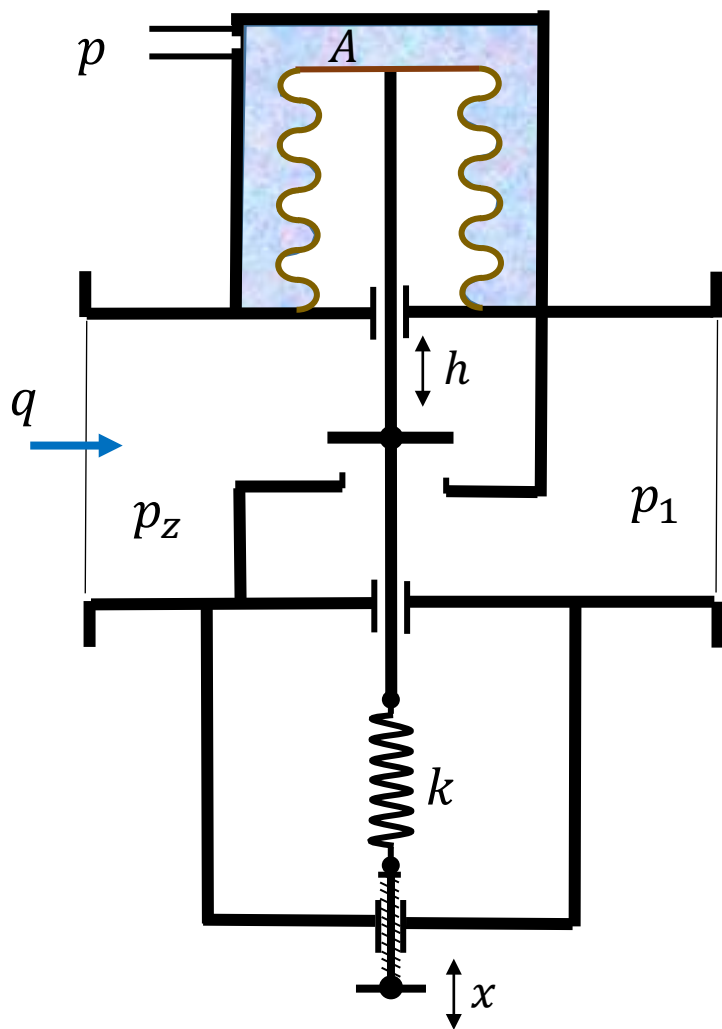


$$q = \alpha F(h) \sqrt{p_z - p_1}$$

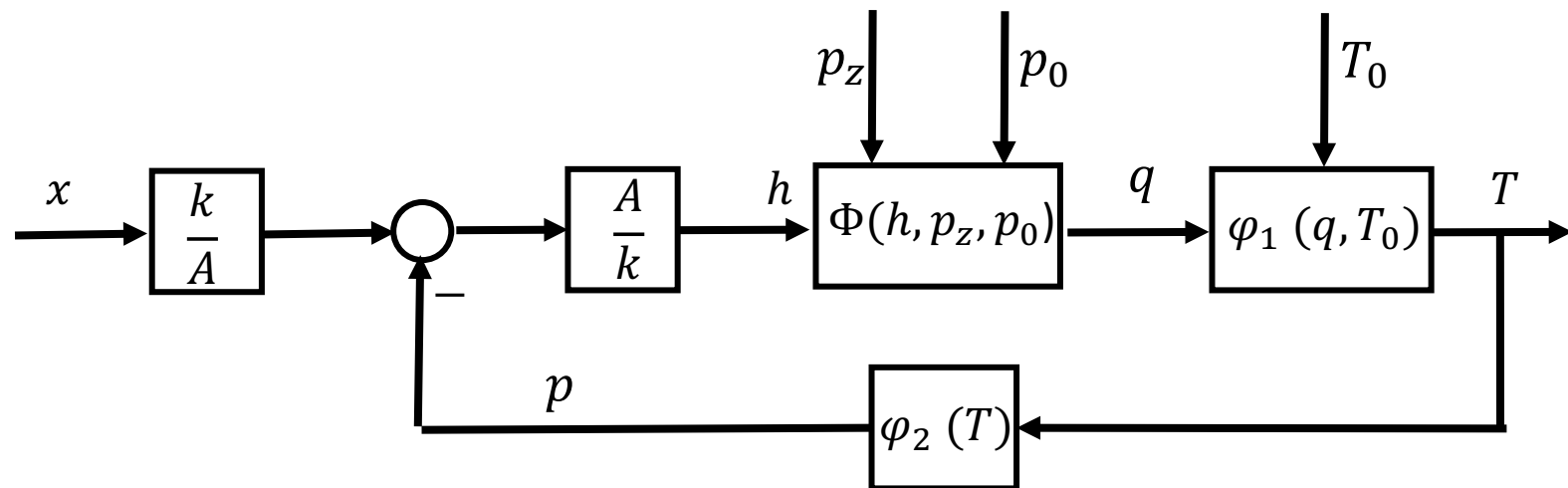
$$q = c \sqrt{p_1 - p_2} = c \sqrt{\Delta p}$$

$$q = C \sqrt{p_2 - p_0}$$

$$\Delta p = \Phi(h, p_z, p_0)$$

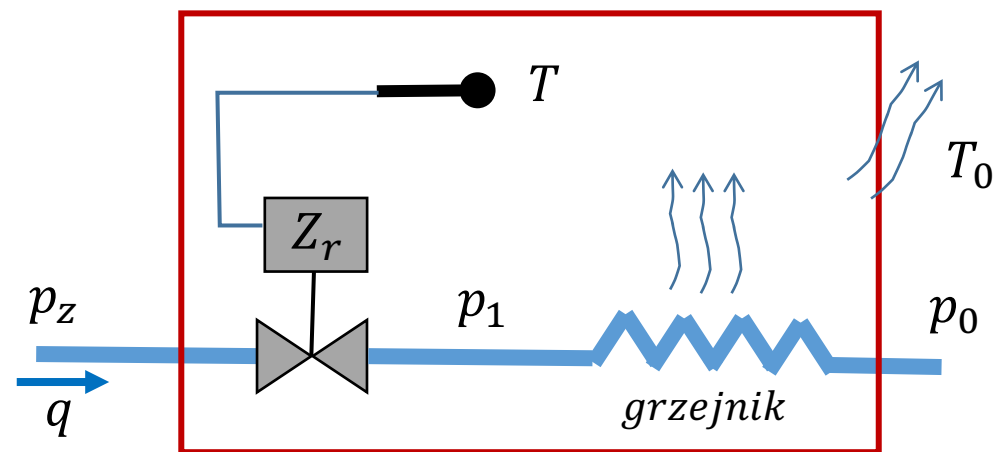


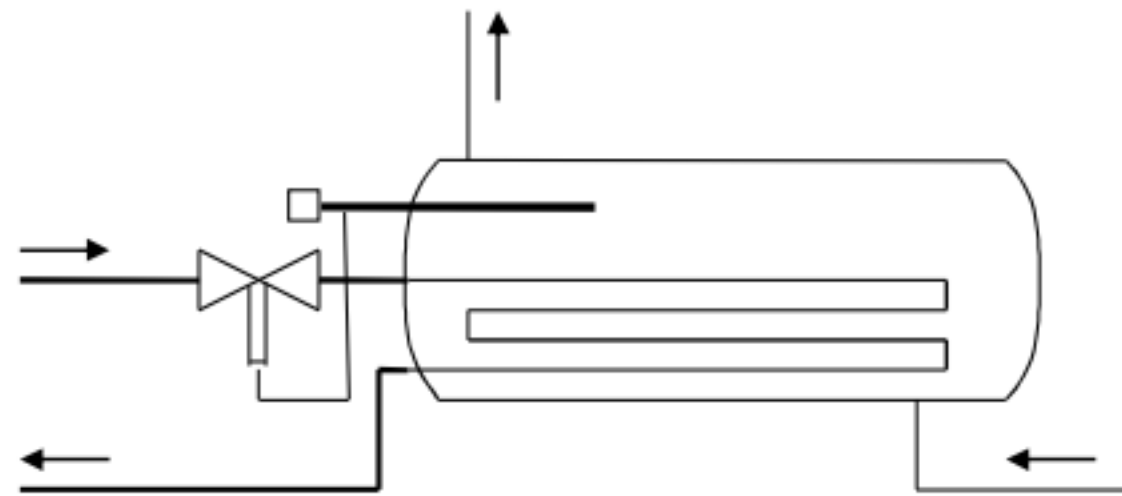
$$p A - kx = -kh \longrightarrow h = x - p \frac{A}{k} \longrightarrow \boxed{h = \frac{A}{k} \left(x \frac{k}{A} - p \right)}$$



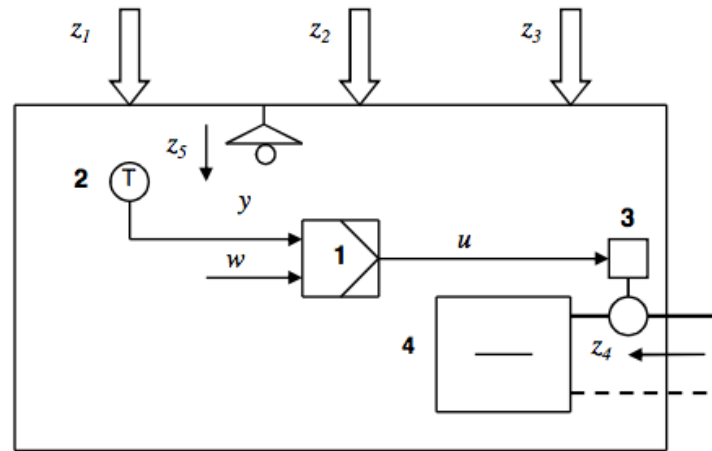
$$q = \alpha F(h) \sqrt{p_z - p_1} \quad q = c \sqrt{p_1 - p_0}$$

$$\boxed{q = \Phi(h, p_z, p_0)}$$

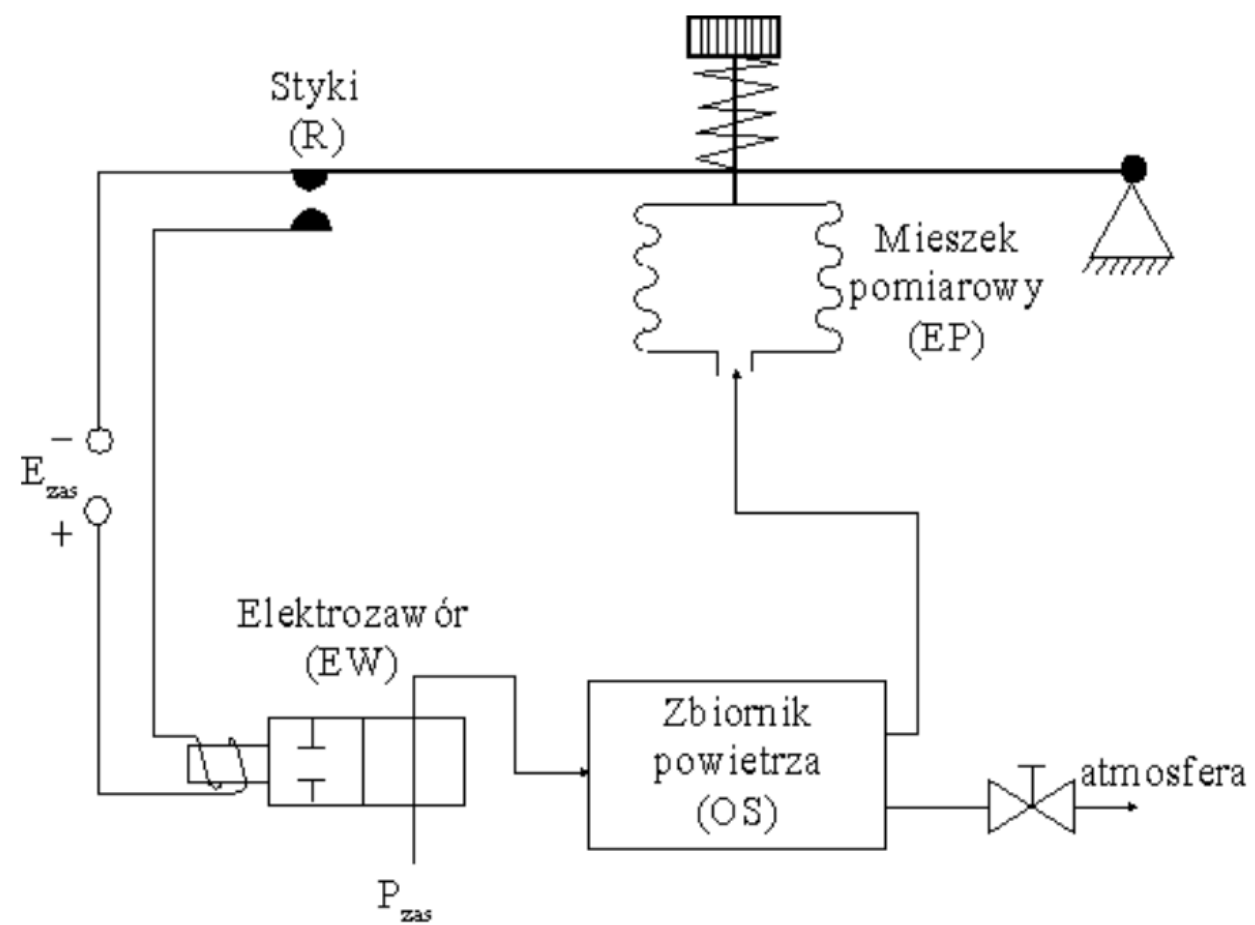




- Schemat funkcjonalny układu regulacji temperatury powietrza w ogrzewanym pomieszczeniu



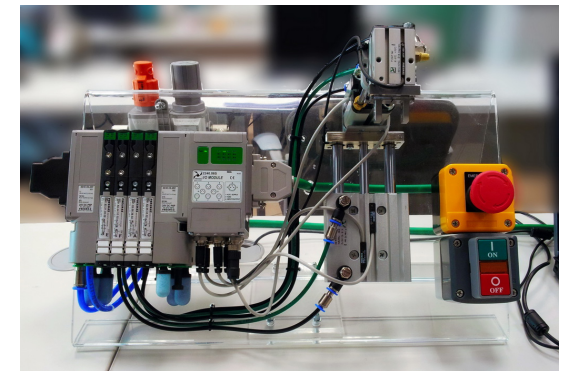
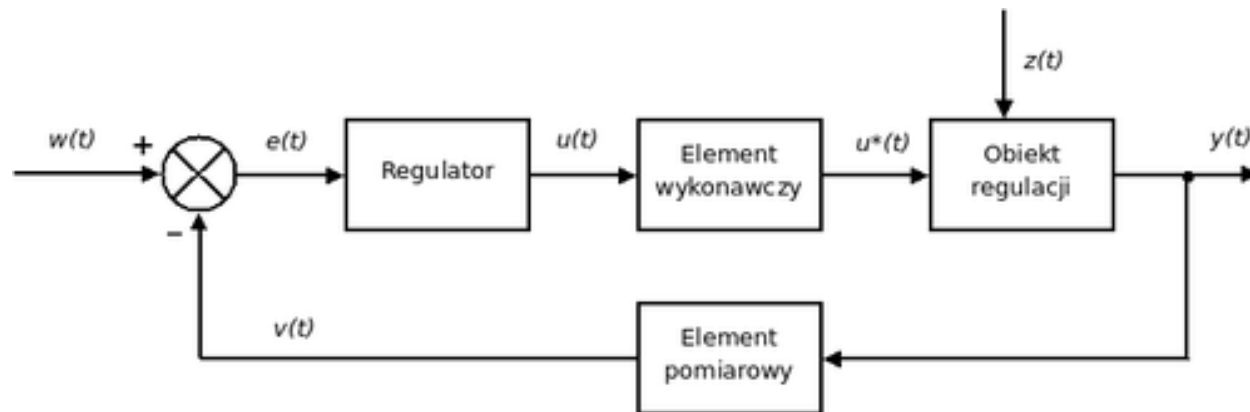
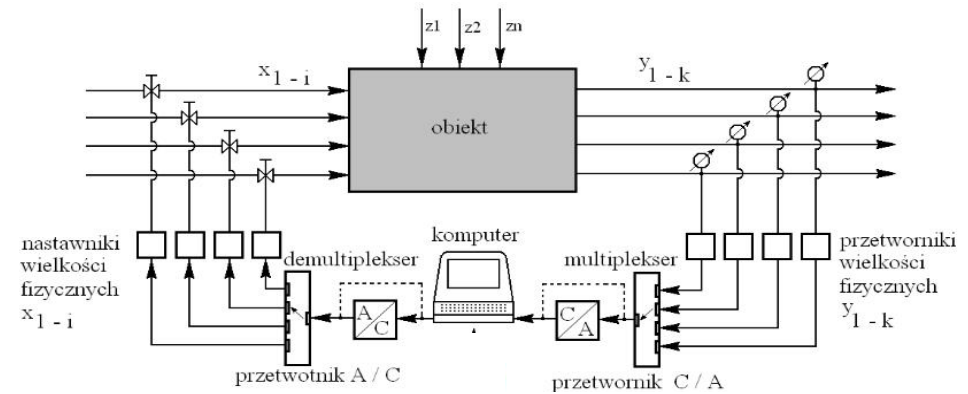
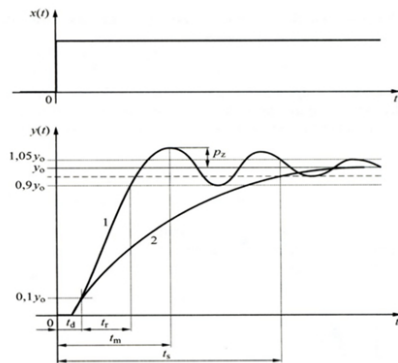
1 - regulator, 2 – czujnik temperatury powietrza w pomieszczeniu, 3 - człon wykonawczy, 4 - obiekt regulacji (pomieszczenie z grzejnikiem), u - wielkość nastawna, w - wartość zadana, y - wielkość regulowana, z_1, z_2, z_3, z_4, z_5 - wielkości zakłócające



PODSTAWY AUTOMATYKI i ROBOTYKI

dr hab. inż. Cezary Orlikowski

MATERIAŁY POMOCNICZE DO WYKŁADU



Robotyka jest dyscypliną nauk technicznych,
która wyrosła na gruncie **mechaniki i automatyki**.

Ważniejsze działy to: kinematyka, dynamika, planowanie
ruchów, sterowanie, systemy sensoryczne, napędy,
robotyka specjalna.

Uważa się, że robotyka jest wyspecjalizowaną gałęzią
automatyki.

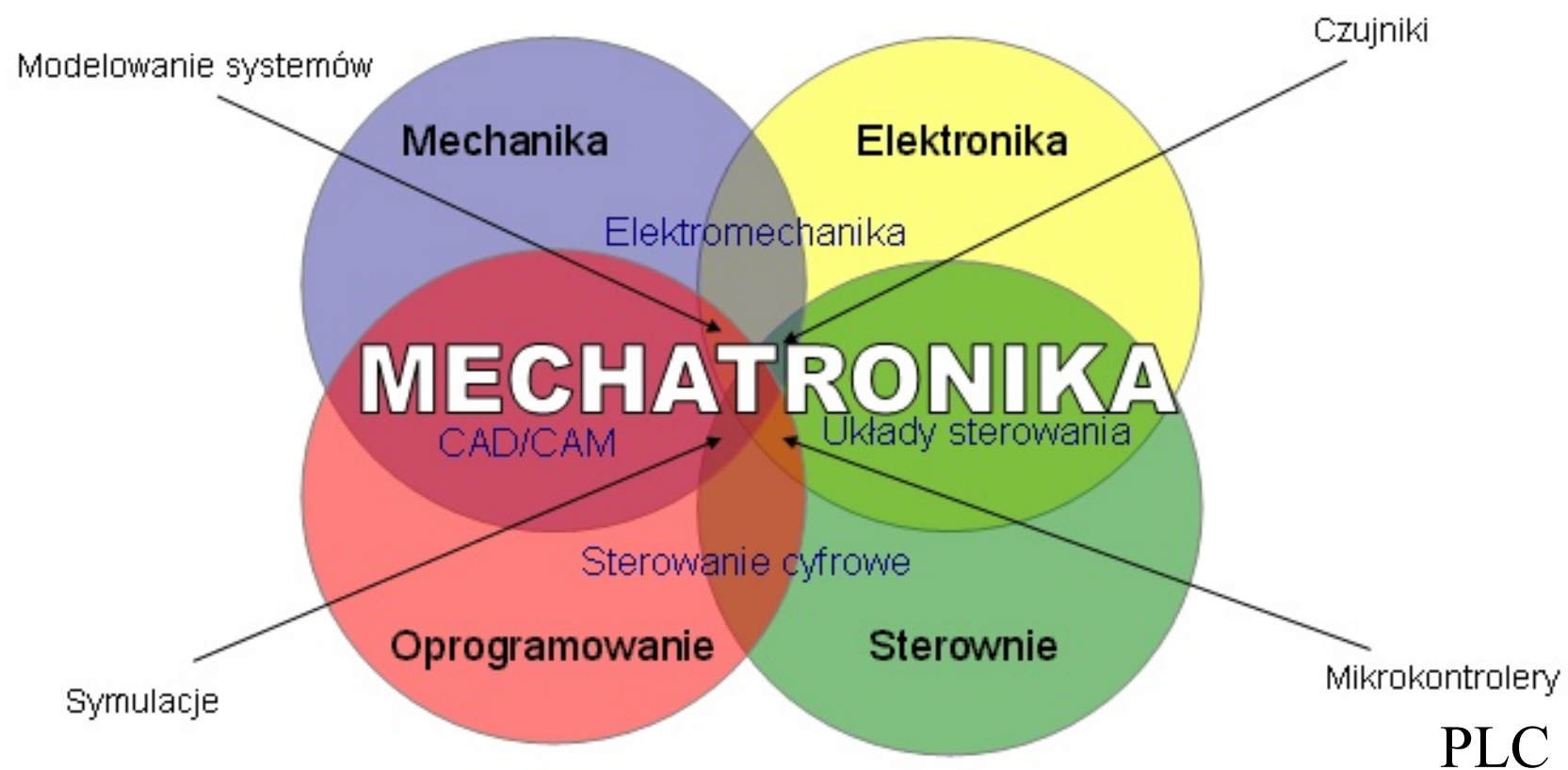
- **Robotyka** to nauka i technologia projektowania, budowy i zastosowania sterowanych komputerowo urządzeń mechanicznych popularnie zwanych **robotami**.

Robot – urządzenie mechaniczne, które może wykonywać rozmaite zadania manipulacyjne oraz lokomocyjne w sposób automatyczny.

- **Robotyka** może być zaklasyfikowana jako część szeroko rozumianej ***automatyki przemysłowej***.

„**Robot**” w porównaniu do „automatu” jest urządzeniem wysoce elastycznym pod kątem możliwości programowania oraz zakresu wykonywanych ruchów.

- **Robotyka** jest dziedziną nowoczesnej technologii łączącą różne gałęzie nauk technicznych i nie tylko:
 - automatykę,
 - elektronikę, elektrotechnikę,
 - mechanikę,
 - inżynierię przemysłową,
 - informatykę,
 - matematykę.



Słowo mechatronika powstało z połączenia części słów angielskich MECHANism i elekTRONICS.

Już w 1969 roku japońska firma Yasakawa Elektronik wszczęła starania o uzyskanie ochrony międzynarodowej dla nazwy „mechatronics” jako znaku towarowego widząc w tym niewątpliwy zysk. Taką ochronę uzyskała w 1971 roku (z ochrony tej firma jednak zrezygnowała w 1982 roku).

Słowo „robot” zostało przyjęte z języka czeskiego (pojawiło się w 1920 w dramacie Karela Čapka) i oznaczało sztucznego robotnika.

Obecnie „robotem” jest nazywany uniwersalny system techniczny zastępujący funkcje człowieka czyli połączenie funkcji inteligentnych i manipulacyjnych.

Zastępuje człowieka przy wykonywaniu określonych czynności manipulacyjnych i przystosowany do realizacji różnych, łatwo zmienianych programów ruchu.

Definicja

Robot - automatycznie sterowana, (re-)programowalna, wielozadaniowa maszyna manipulacyjna o wielu stopniach swobody, posiadająca własności manipulacyjne i/lub lokomocyjne, stacjonarna lub mobilna, stosowana do różnych celów przemysłowych i specjalnych.

Trzy prawa robotyki [Asimov]:

1. Robot nie podejmie żadnej akcji skierowanej przeciw istocie ludzkiej, ani nie dopuści do jej zagrożenia poprzez zaniechanie akcji.
2. Robot będzie wypełniał rozkazy wydawane przez istoty ludzkie, chyba że jest to sprzeczne z pierwszym prawem.
3. Robot będzie zapobiegał samodestrukcji dopóki nie jest to w sprzeczności z pierwszym lub drugim prawem.

redukuje koszty wytwarzania;

zwiększa precyzję i produktywność;

zwiększa elastyczność;

pozwała na uwolnienie człowieka od wykonywania prac uważanych za nudne, powtarzalne, niebezpieczne;

redukuje zatrudnienie;

Podstawowe obszary zastosowań:

- obsługa maszyn
- spawanie i zgrzewanie
- szlifowanie i polerowanie
- odlewnictwo
- montaż
- paletyzacja
- malowanie
- obróbka plastyczna
- obróbka cieplna
- przenoszenie materiałów
- cięcie

Ostatnio bardzo szybki rozwój robotów mobilnych: kołowe, kroczące, pływające, latające.

- **Manipulator** (ramię manipulacyjne) jest to urządzenie przeznaczone do realizacji niektórych funkcji kończyny górnej człowieka. Rozróżnia się tutaj dwie funkcje: manipulacyjną i wsięgnikową.
- **Robot przemysłowy** to wielofunkcyjny manipulator przeznaczony do przenoszenia materiałów, części lub wyspecjalizowanych urządzeń poprzez złożone programowane ruchy, w celu realizacji różnorodnych zadań.
- **Robot mobilny** jest urządzeniem przeznaczonym do realizacji funkcji lokomocyjnych. Roboty mobilne najczęściej wyposażane są w koła lub gąsienice. W klasie robotów mobilnych mieszczą się również roboty kroczące i latające.
- **Robot kroczący** to urządzenie przeznaczone do realizacji funkcji lokomocyjnych zwierząt i owadów mających kończyny lub odnóża. Lokomocja takiej maszyny ma charakter dyskretny i może być realizowana przy użyciu jednej, dwóch, trzech, czterech, sześciu, ośmiu lub więcej „nóg” jako chód, bieg, skok po podłożu.
- **Pedipulatorem** nazywa się „nogę” robota kroczącego, która może być układem jedno-, dwu- lub trójczłonowym.

Wiek „robotyki” rozpoczął się w 1954 r.. Georg Devol opatentował w USA manipulator wyposażony w pamięć programu (mógł wykonywać zaprogramowane ruchy z jednego punktu do drugiego).

W 1960 sprzedał patenty firmie Consolidated Diesel Corporation, która utworzyła oddział Unimation Corporation i rozpoczęła produkcję prostych robotów Unimate.

W 1962 r. jeden z pierwszych robotów zainstalowano w zakładach samochodowych General Motors do obsługi linii odlewania ciśnieniowego.

Z HISTORII ROBOTYKI

- 1954 – pierwszy programowalny robot (George Devol).
- 1956 – prawa do robota Devola zakupione przez Unimation Company.
- 1961 – zainstalowany pierwszy robot Unimate (General Motors).
- 1961 – pierwszy robot ze sprzężeniem zwrotnym od siły.
- 1963 – pierwszy system wizyjny dla robota.
- 1971 – opracowanie robota Standard Arm na uniwersytecie Stanforda.
- 1973 – pierwszy język programowania WAVE – Uniwersytet Stanforda.
- 1974 – firma Cincinnati Milacron i robot T3 ze sterowaniem komputerowym.
- 1975 – pierwszy zysk finansowy firmy Unimation Inc.
- 1978 – Unimation Inc. Wprowadza robota PUMA.
- 1979 – wprowadzenie robotów SCARA w Japonii.

.
.
.

Robot oddziałuje na otoczenie w celu realizacji postawionego (przez człowieka) zadania, które zawsze rozumiane jest jako zmiana stanu otoczenia. Z tego powodu w schemacie działania robota wyróżnia się sześć elementów:

1. **Układ mechaniczny** złożony przede wszystkim z łańcucha(ów) kinematycznego służącego do realizacji czynności manipulacyjnych lub lokomocyjnych.
2. **Siłowniki** (elementy wykonawcze, napędy) przeznaczone do poruszania częścią mechaniczną robota.
3. **Układ sterowania** robota, którego zadaniem jest wykonywanie obliczeń związanych m.in. z generowaniem sygnałów sterujących.
4. **Układ sensoryczny** robota potrzebny do zamknięcia sprzężenia zwrotnego dla celów sterowania oraz funkcji inspekcji otoczenia.
5. **Otoczenie** robota tj. przestrzeń, w której znajduje się i działa robot.
6. **Zadanie** rozumiane jako różnica dwóch stanów otoczenia – początkowego i końcowego (pożądanego). Zadanie opisane jest w odpowiednim języku (najlepiej naturalnym) i realizowane przez komputer sterujący.

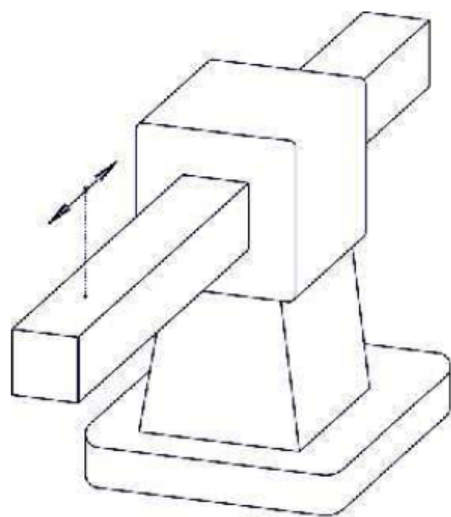
Pierwsze cztery elementy są częściami składowymi każdego rodzaju robota

Struktury kinematyczne manipulatorów przemysłowych

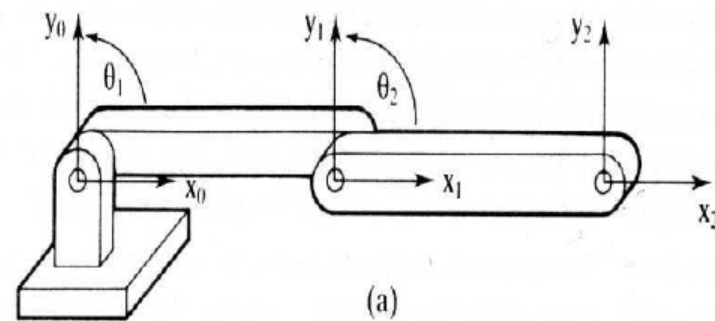
Łańcuch kinematyczny manipulatora składa się z **ogniw** (członów) i ruchomych połączeń między ogniwami, które nazywa się **złączami** (przegubami). Najczęściej ogniwem jest bryła sztywna (spotyka się też ogniwa elastyczne).

Najważniejsze rodzaje połączeń ruchomych (nazwa, ruchy względne, liczba stopni swobody - DoF):

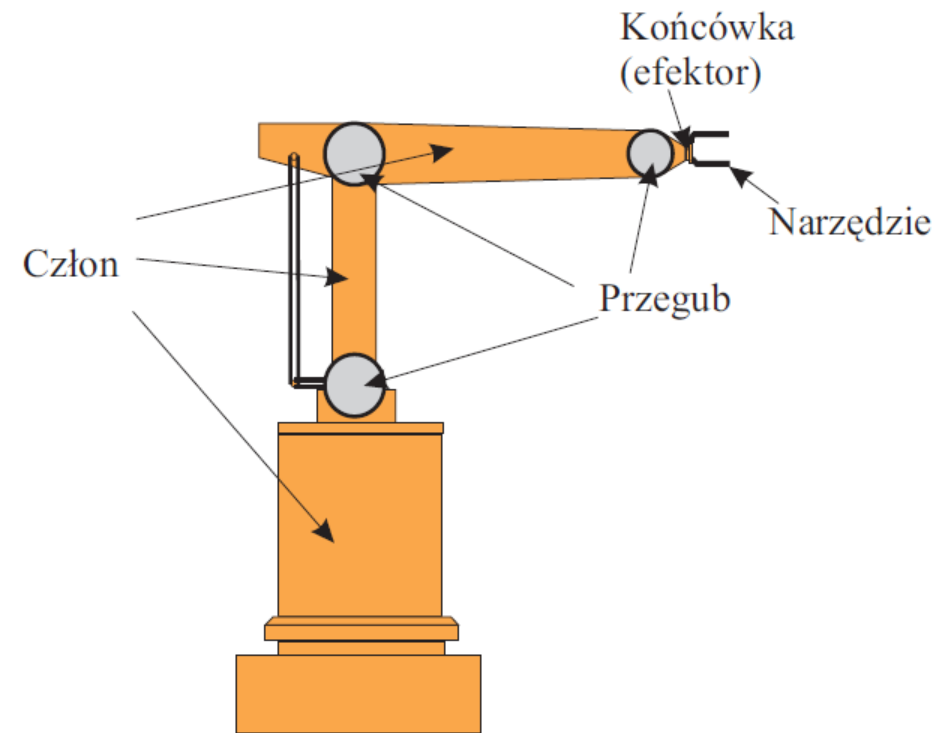
- Obrotowe oznaczane literą R (lub O) – 1 obrót, 0 postępów, 1 DoF,
- Postępowe oznaczane literą P – 0 obrotów, 1 postęp, 1 DoF,



Przegub przesuwny (P)



Przegub obrotowy (R)



Manipulator z przegubami obrotowymi

Podział robotów przemysłowych ze względu na strukturę kinematyczną:

roboty stacjonarne

-roboty z otwartym łańcuchem kinematycznym

- *roboty* z zamkniętym łańcuchem kinematycznym

z otwartym łańcuchem kinematycznym



z zamkniętym łańcuchem kinematycznym

Podstawowe parametry użytkowe manipulatorów przemysłowych:

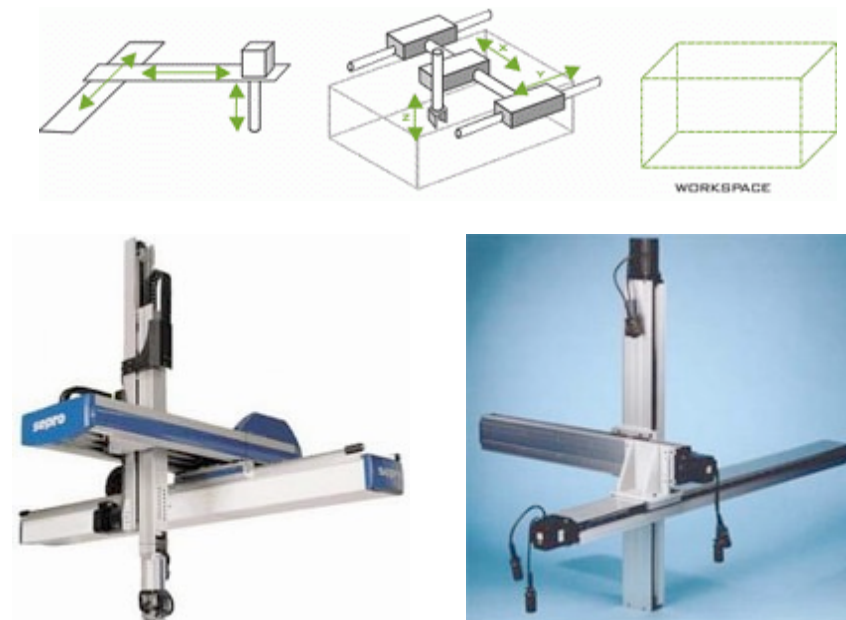
- masa własna,
- udźwig nominalny i maksymalny,
- maksymalne prędkości: liniowa końcówki i kątowe (liniowe) w złączach,
- powtarzalność osiągnięcia nauczonych punktów w przestrzeni kartezyjskiej oraz w przestrzeni złączy,
- dokładność osiągnięcia zadanych punktów,
- wielkość (objętość) i rodzaj przestrzeni roboczej.

struktury o otwartym
łańcuchu kinematycznym:

- kartezjańska (PPP)
- cylindryczna (OPP)
- antropomorficzna (OOO)
- sferyczna (OOP)
- typu SCARA (OOP)

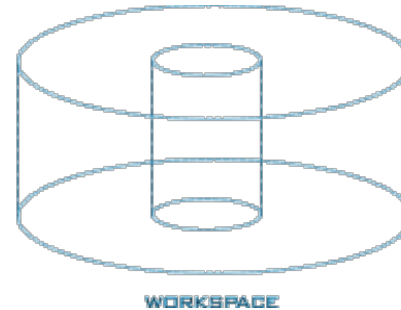
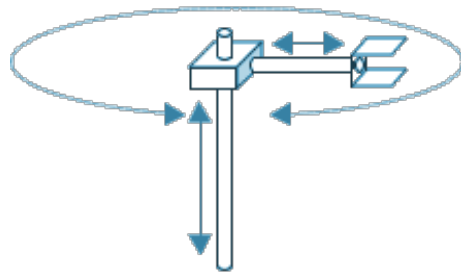
-kartezjańskie (PPP)

Roboty z prostokątnym układem współrzędnych i prostopadłościenną przestrzenią ruchu - jest to najprostsza spośród wszystkich konfiguracji. Taka struktura manipulatora jest korzystna w zastosowaniach do montażu na blacie stołu oraz do transportu materiałów lub ładunków.



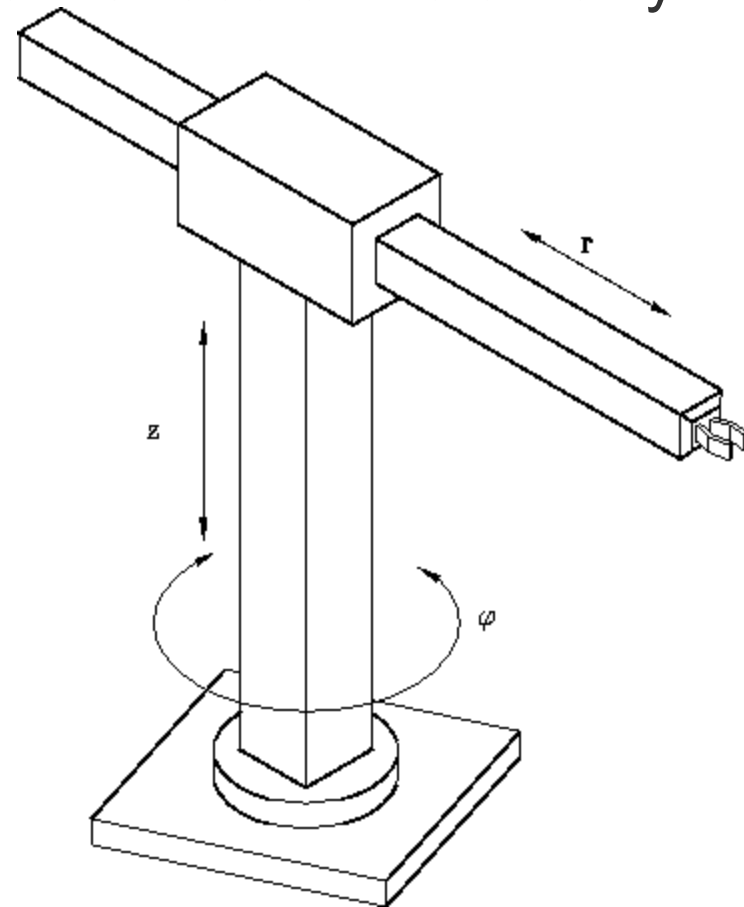
-cylindryczne (OPP)

Roboty z jednym obrotowym i dwoma liniowymi zespołami ruchu –
- charakteryzują się walcowym układem współrzędnych i cylindryczną przestrzenią ruchu. W takiej strukturze zmienne przegubowe są jednocześnie współrzędnymi cylindrycznymi końcówki roboczej względem podstawy, a przestrzenią roboczą jest niepełny cylinder. Nazywane są także robotami bramowymi lub suwnicowymi.



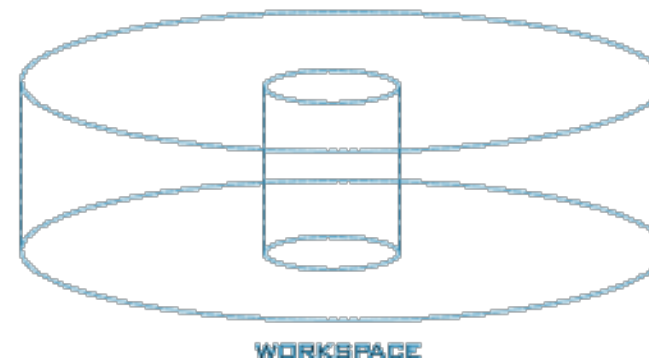
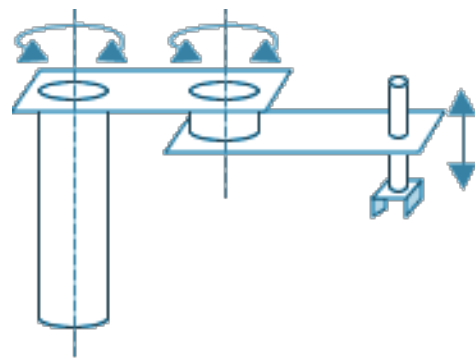
-*cylindryczne* (OPP)

Roboty z jednym obrotowym i dwoma liniowymi zespołami ruchu –
- charakteryzują się walcowym układem współrzędnych i cylindryczną przestrzenią ruchu. W takiej strukturze zmienne przegubowe są jednocześnie współrzędnymi cylindrycznymi końcówki roboczej względem podstawy, a przestrzenią roboczą jest niepełny cylinder. Nazywane są także robotami bramowymi lub suwnicowymi.



SCARA (OOP) (*Selectively Compliant Assembly Robot Arm*)

Roboty z trzema osiami równoległymi - dwoma o ruchu obrotowym i jedną o ruchu postępowym. Głównym przeznaczeniem tej klasy manipulatorów jest montaż elementów i podzespołów oraz powtarzalne przenoszenie detali i ich sortowanie (np. paletyzacja produktów). Strukturę tę wykorzystuje się także do tworzenia obwodów drukowanych w elektronice. SCARA posiadając strukturę (OOP), różni się od konfiguracji sferycznej wyglądem jak i obszarem zastosowania.



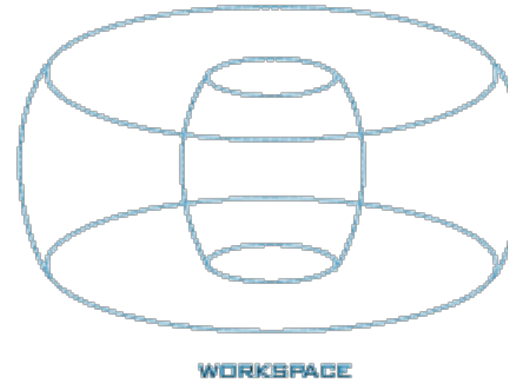
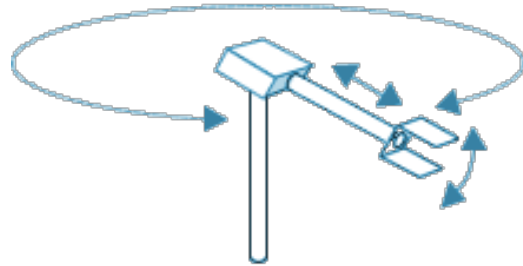
SCARA (OOP) (*Selectively Compliant Assembly Robot Arm*)

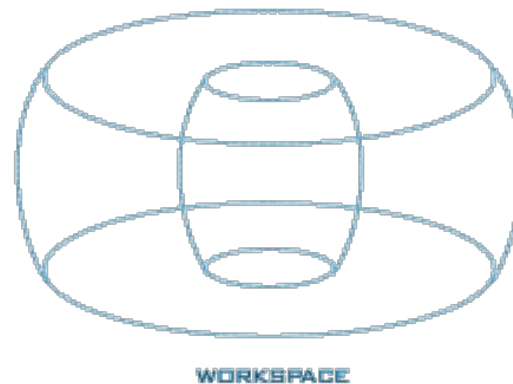
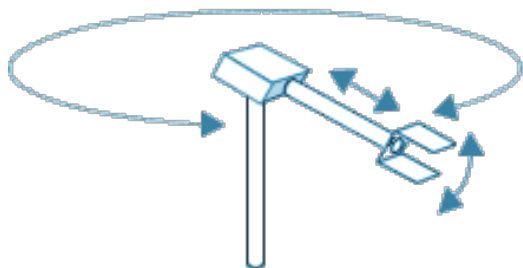
Roboty z trzema osiami równoległymi - dwoma o ruchu obrotowym i jedną o ruchu postępowym. Głównym przeznaczeniem tej klasy manipulatorów jest montaż elementów i podzespołów oraz powtarzalne przenoszenie detali i ich sortowanie (np. paletyzacja produktów). Strukturę tę wykorzystuje się także do tworzenia obwodów drukowanych w elektronice. SCARA posiadając strukturę (OOP), różni się od konfiguracji sferycznej wyglądem jak i obszarem zastosowania.



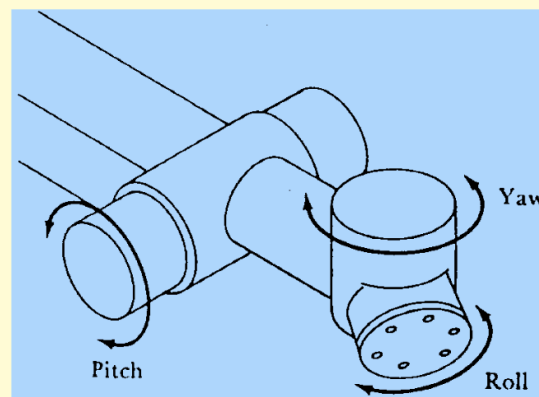
- *sferyczne* (OOP)

Roboty posiadające jeden liniowy oraz dwa obrotowe zespoły ruchu.



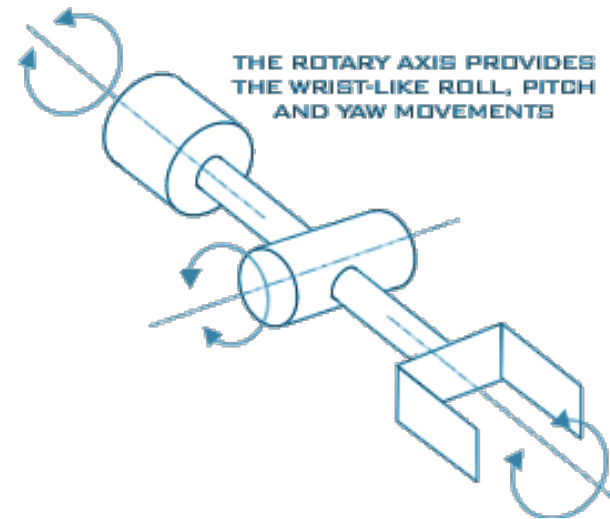
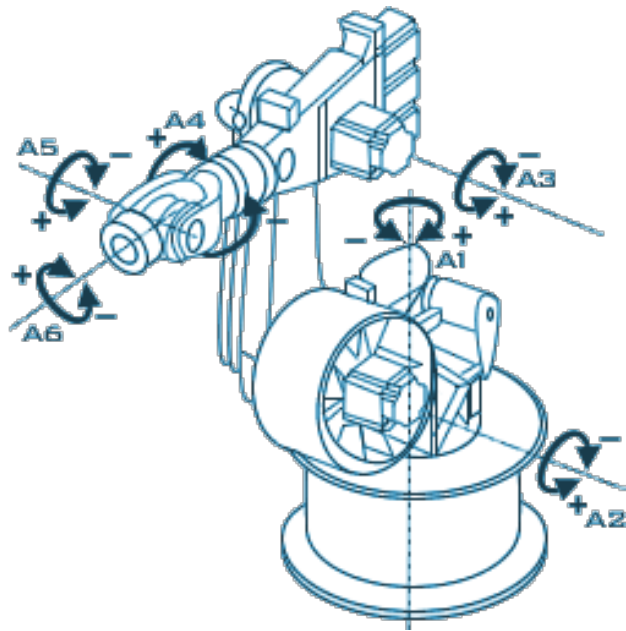


Ruchy obrotowe kiści manipulatora – orientowanie narzędzia



- *przegubowe* (antropomorficzne) (OOO)

Roboty, których wszystkie 3 osie są osiami obrotowymi. Roboty o takiej konfiguracji mogą być wykorzystywane przy operacjach montażowych, polerowaniu, lakierowaniu różnego rodzaju detali.

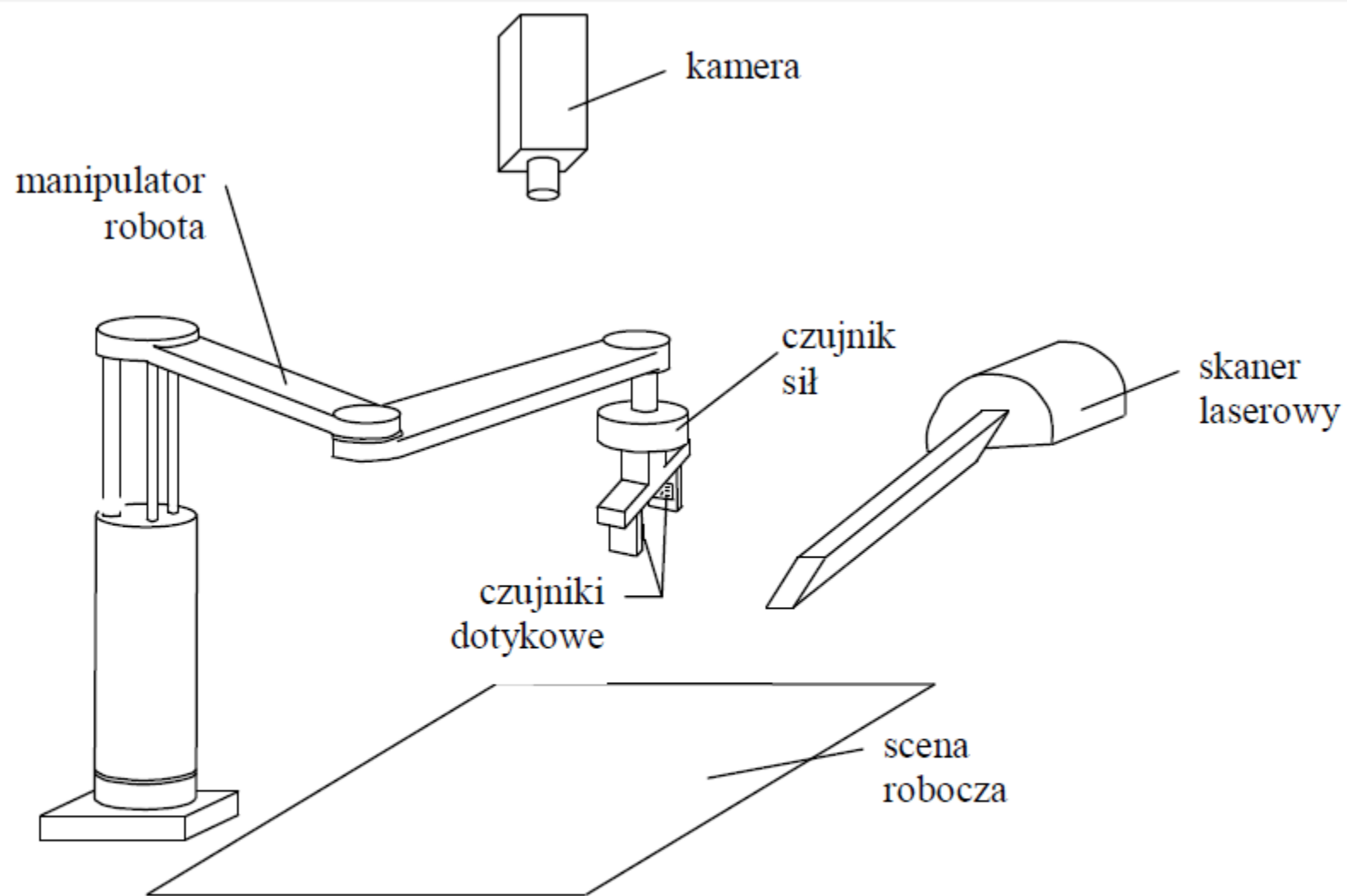


- *przegubowe* (antropomorficzne) (OOO)

Roboty, których wszystkie 3 osie są osiami obrotowymi. Roboty o takiej konfiguracji mogą być wykorzystywane przy operacjach montażowych, polerowaniu, lakierowaniu różnego rodzaju detali.

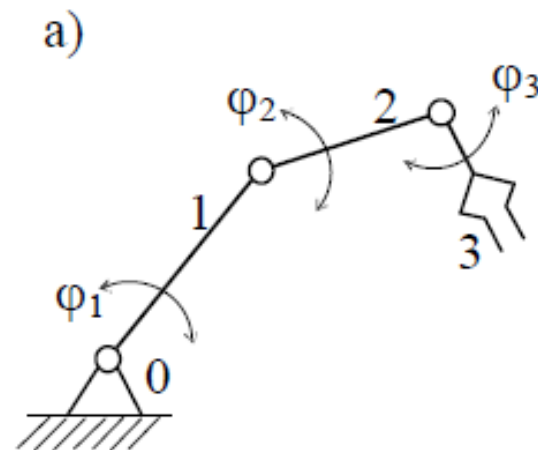
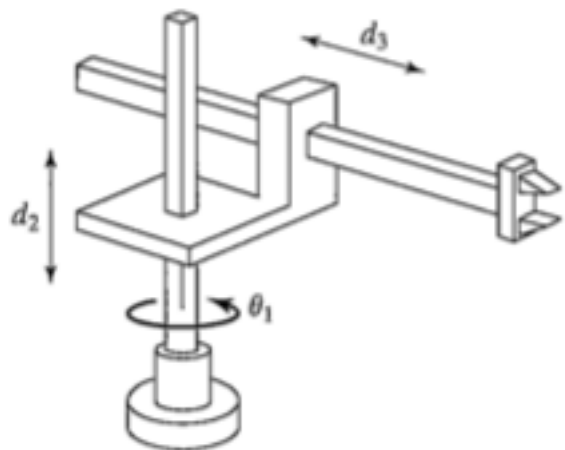


konfiguracja	oznaczenie	Zalety	Wady
kartezjańska 	PPP	3 liniowe napędy, łatwość wizualizacji pracy, łatwa w programowaniu, duża sztywność	Wymaga dużego miejsca do pracy
cylindryczna	OPP	2 liniowe napędy + 1 obrotowy pozwala osiągnąć położenie wokół siebie, ruch obrotowy łatwy w programowaniu	Niewykonalne osiągnięcie położenia efektora ponad manipulatorem, niewygodna w omijaniu przeszkód
antropomorficzna	OOO	3 napędy obrotowe pozwalają omijać przeszkody, stosunkowo duża przestrzeń robocza,	Struktura trudna do programowania, 2 lub 4 sposoby osiągnięcia pozycji w przestrzeni, najbardziej skomplikowana struktura
sferyczna	OOP	1 napęd liniowy + 2 obrotowe dają stosunkowo duży zasięg poziomy	niewygodna w omijaniu przeszkód, stosunkowo mały zasięg pionowy
SCARA	OOP	1 napęd liniowy + 2 obrotowe, duża sztywność manipulatora, stosunkowo duża i nieskomplikowana przestrzeń robocza	2 możliwości osiągnięcia pozycji w przestrzeni roboczej, trudna do sterowania, bardzo skomplikowana struktura ramienia.

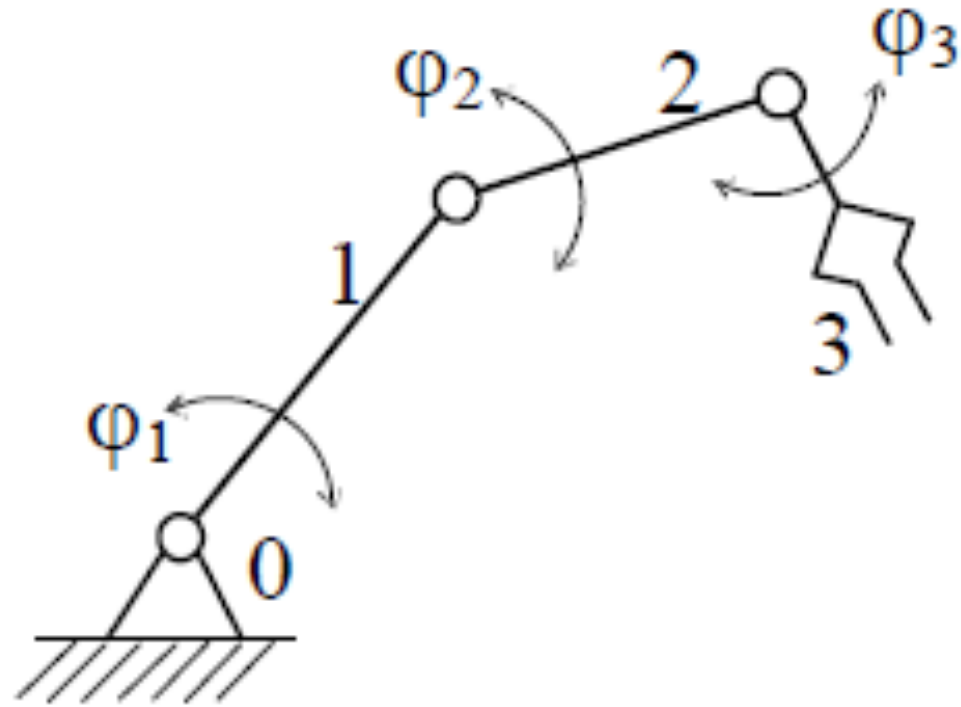


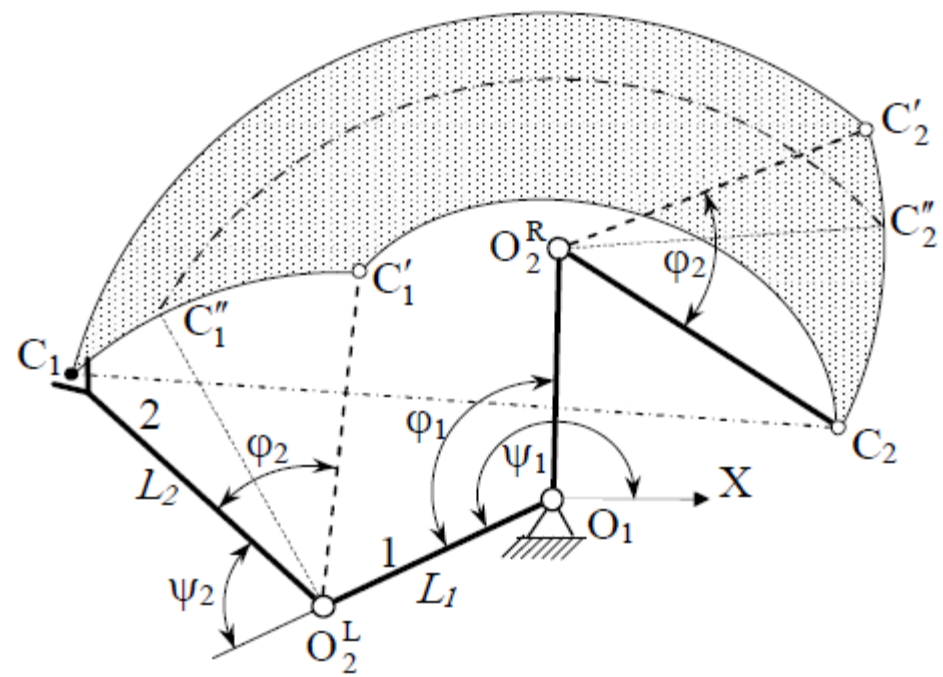
Przykładowy zrobotyzowany system montażowy

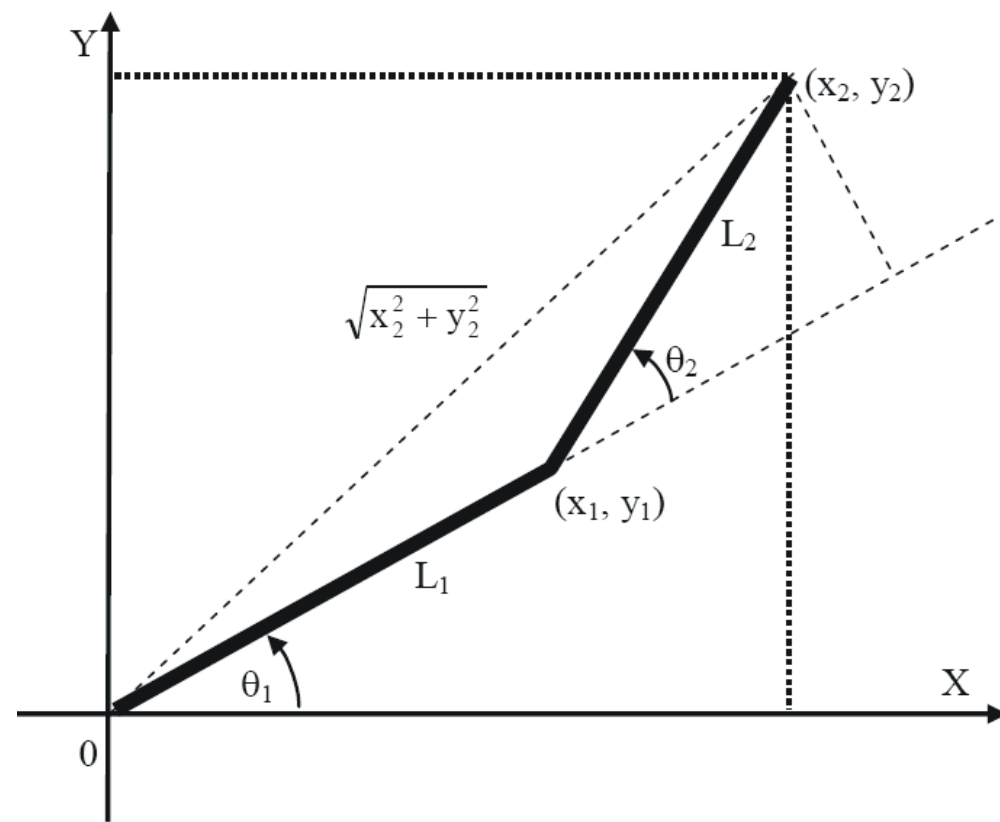
Zmienna konfiguracyjna – reprezentuje
kąt pomiędzy ramionami ogni w pary obrotowej lub
przesunięcie w parze postępowej.



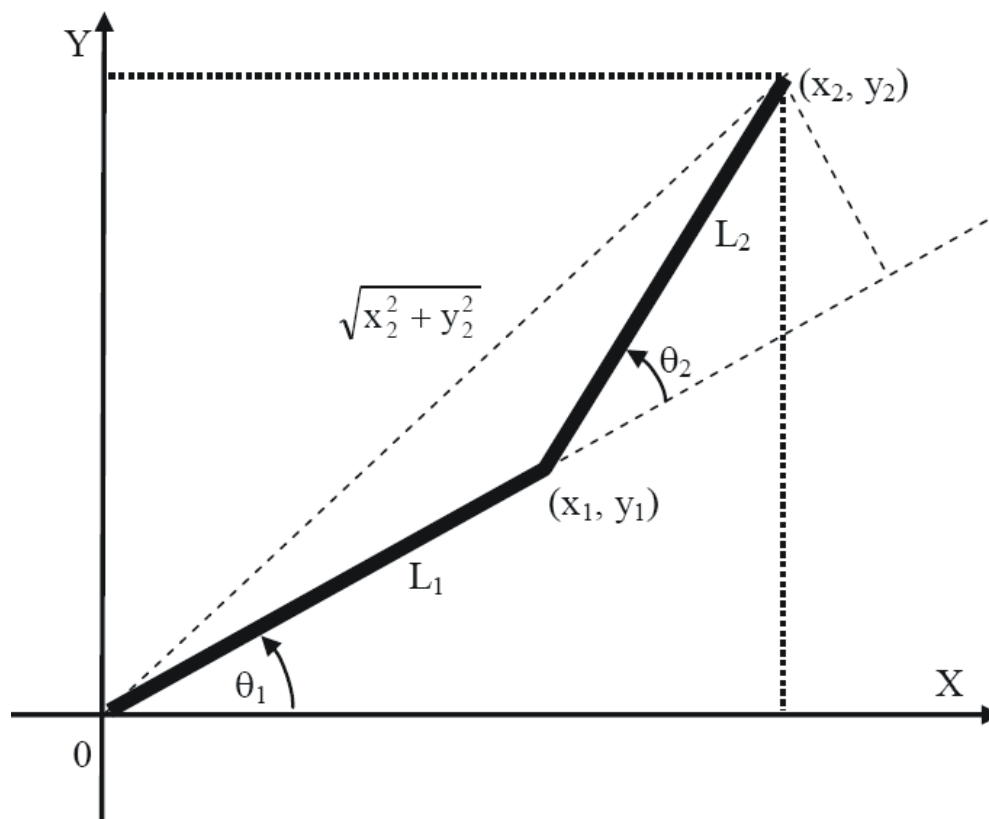
ZMIENNE KONFIGURACYJNE







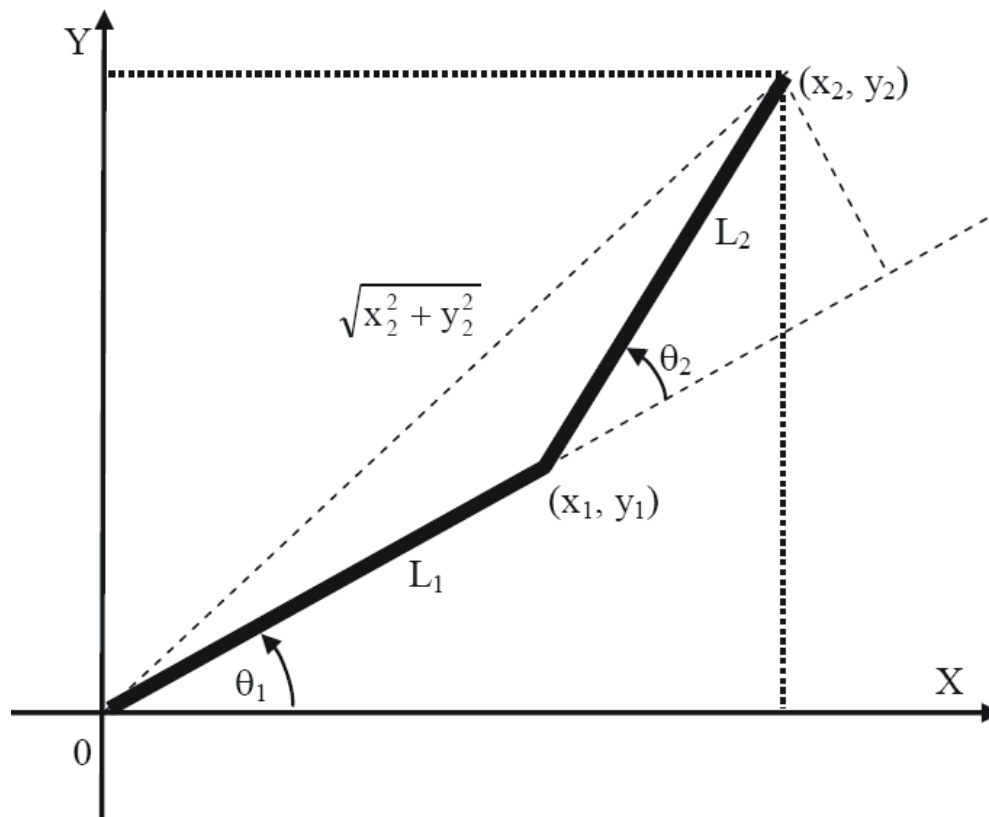
PZK



$$x_2 = L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2),$$

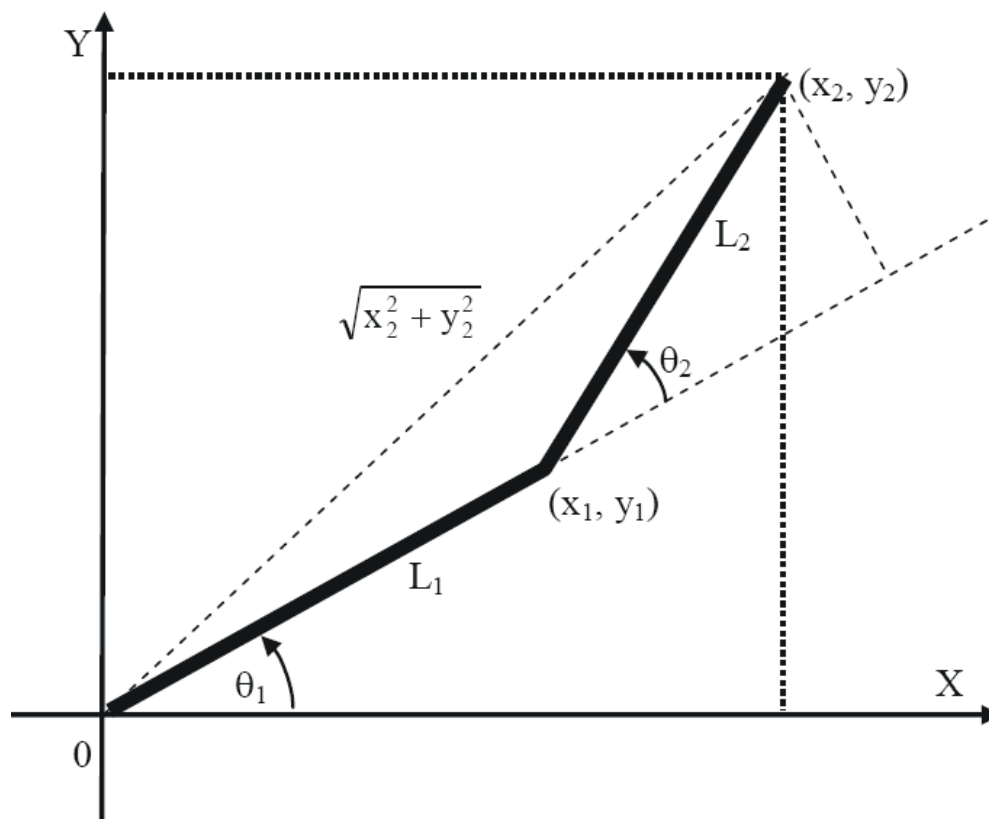
$$y_2 = L_1 \sin \theta_1 + L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2).$$

OZK



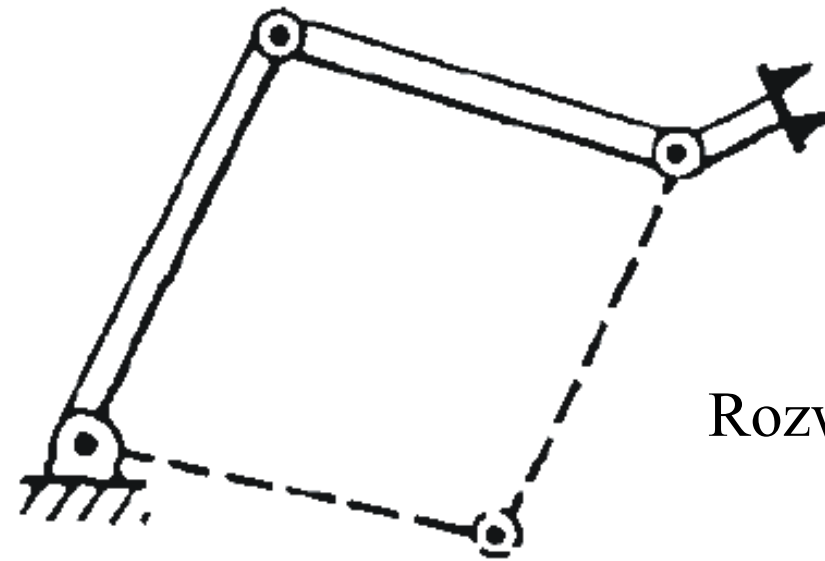
$$\theta_2 = \arccos \frac{x_2^2 + y_2^2 - L_1^2 - L_2^2}{2L_1L_2},$$

$$\theta_1 = \operatorname{arctg} \frac{y_2}{x_2} - \arcsin \frac{L_2 \sin \theta_2}{\sqrt{x_2^2 + y_2^2}}.$$

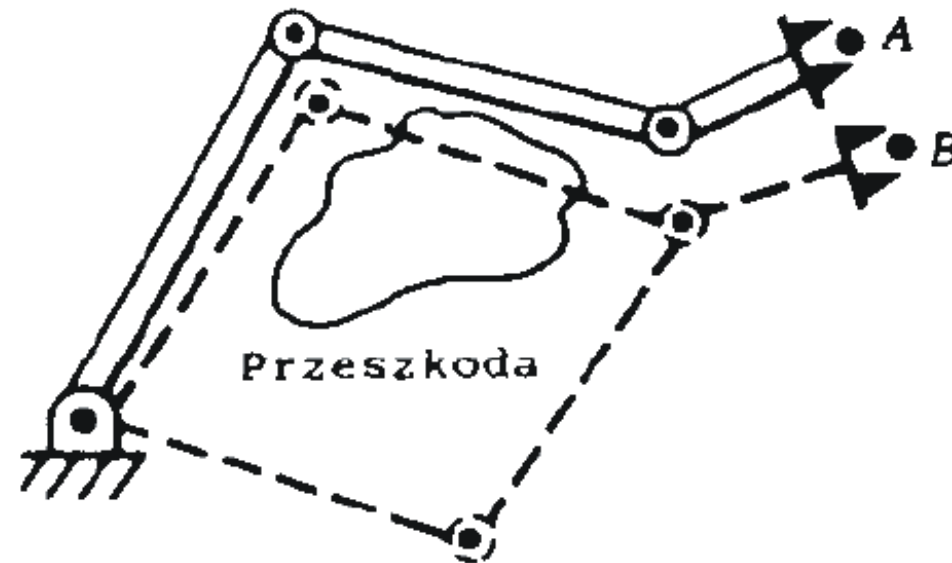


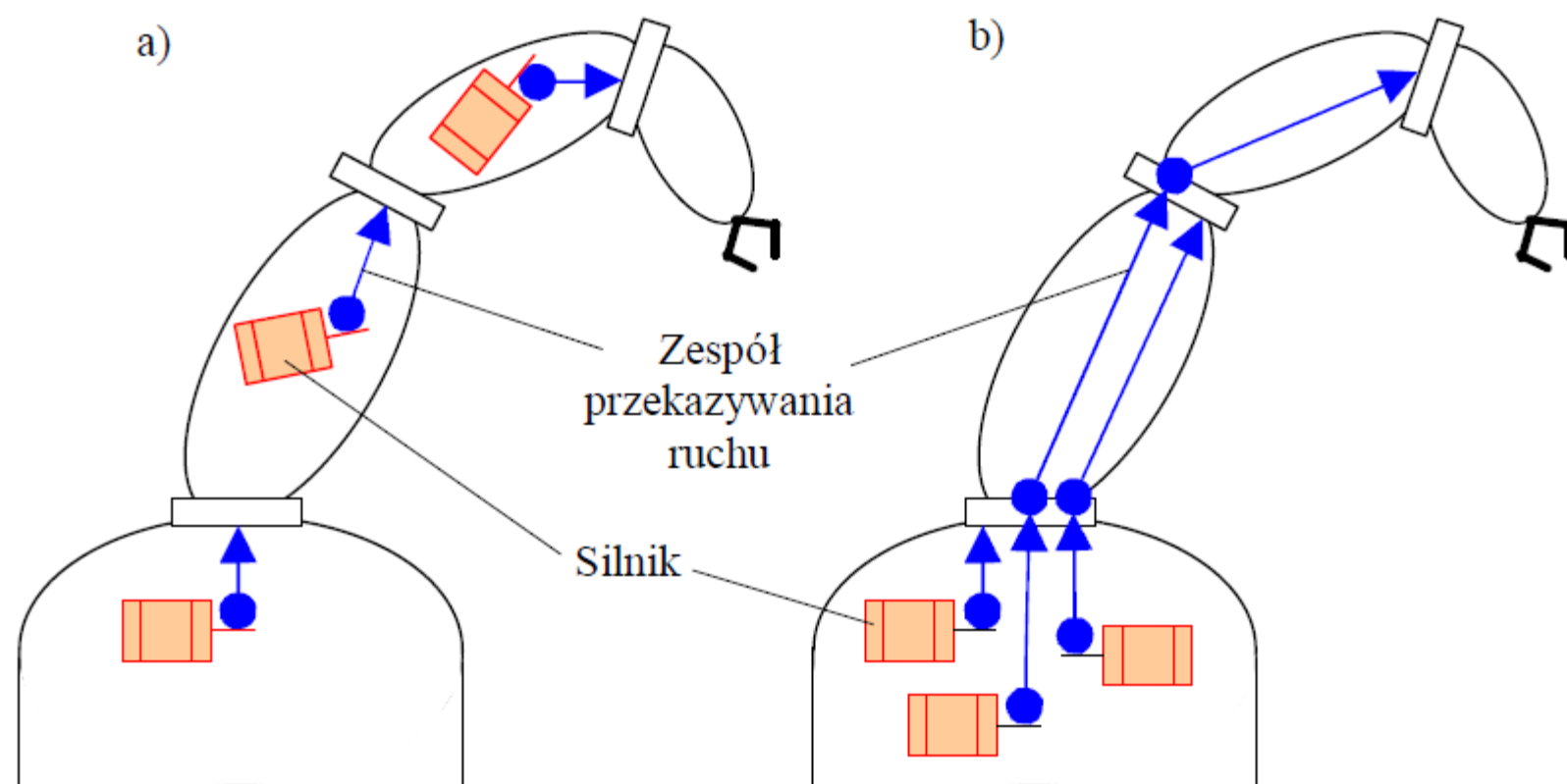
$$\left| x_2^2 + y_2^2 - L_1^2 - L_2^2 \right| \leq 2L_1L_2$$

$$\left| L_2 \sin \theta_2 \right| \leq \left| \sqrt{x_2^2 + y_2^2} \right|.$$



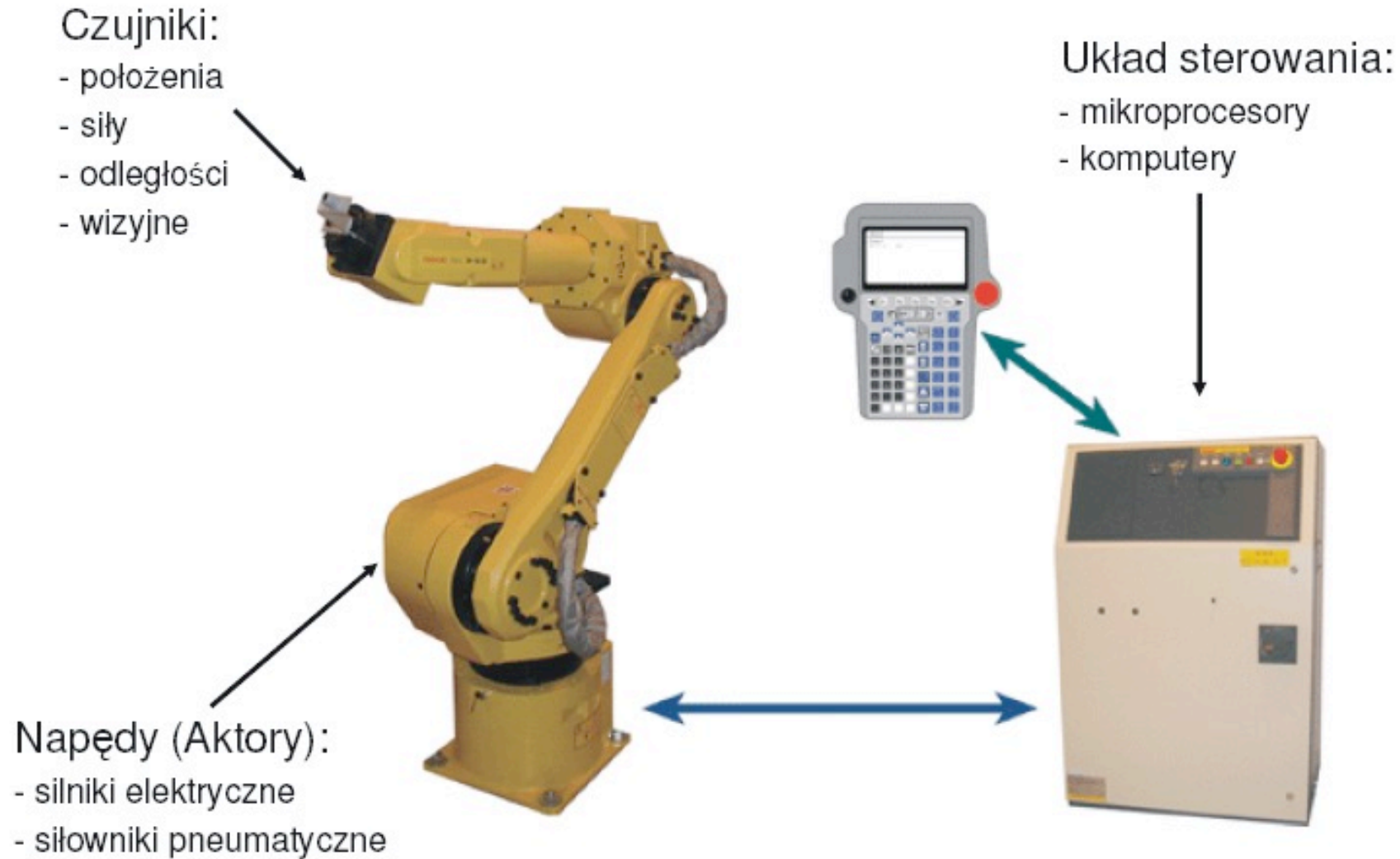
Rozwiązania wielokrotne

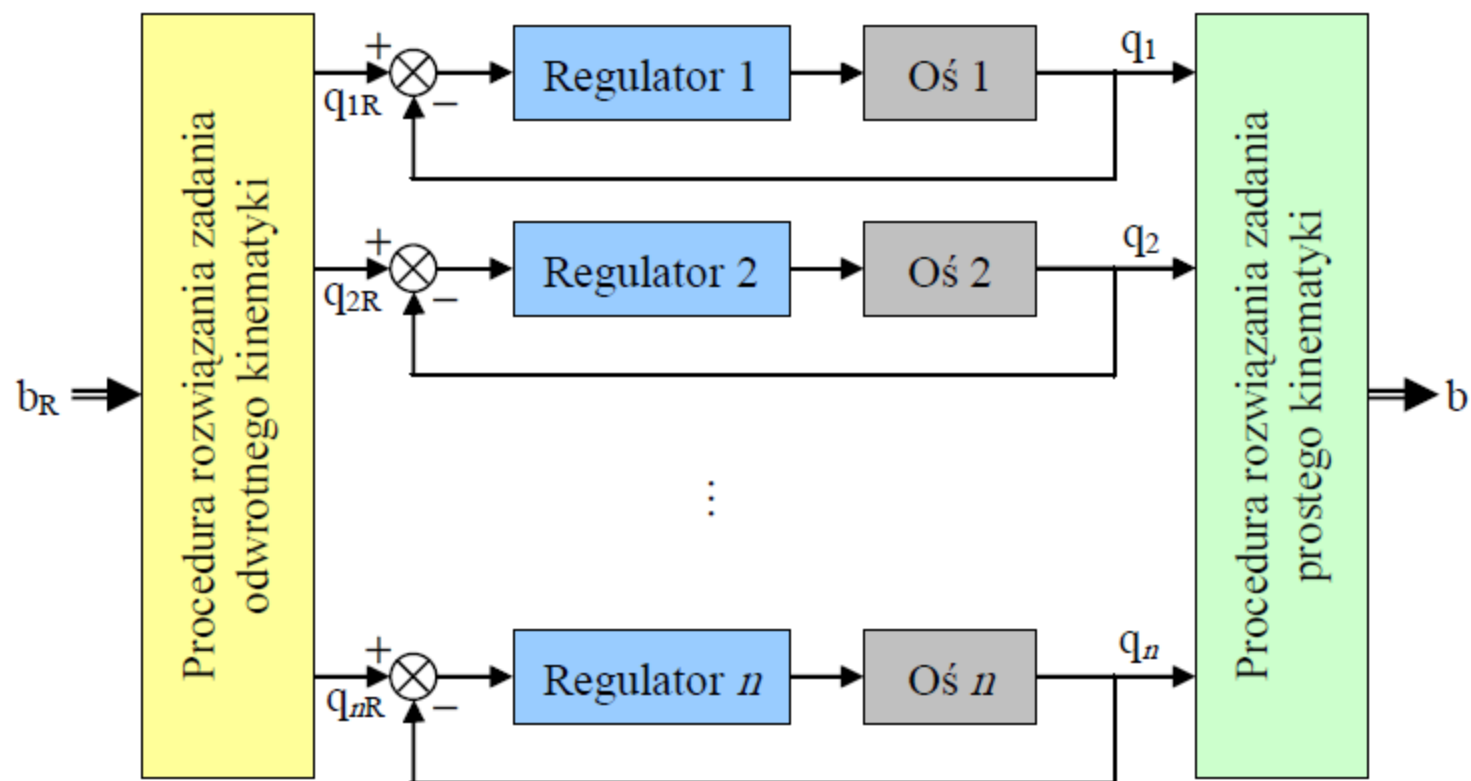




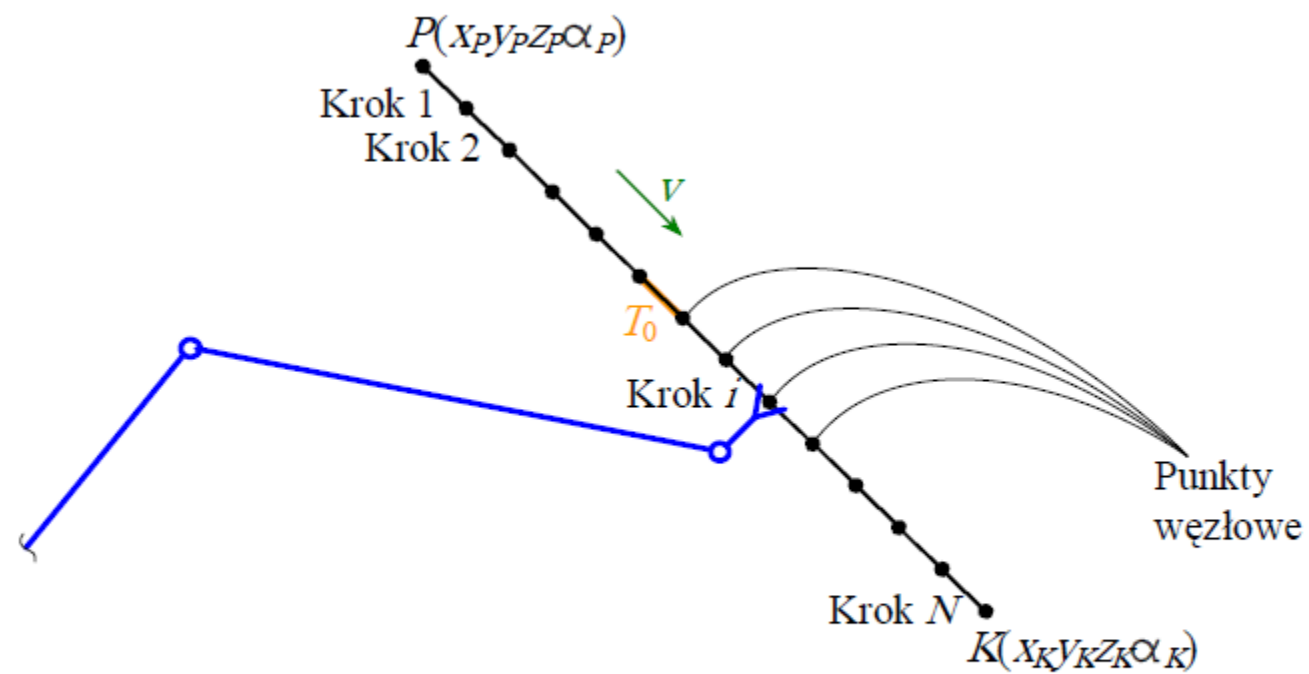
Rozproszony (a) i skupiony (b) sposób zabudowy napędów manipulatora

Element układu robotycznego





Uproszczony schemat sterowania napędami n osi robota



Planowanie trajektorii ruchu między punktami P i K

Systemy programowania robotów przemysłowych

```
graph TD; A[Systemy programowania robotów przemysłowych] --> B[RĘCZNE]; A --> C[PÓŁAUTOMATYCZNE]; A --> D[AUTOMATYCZNE]; B --> B1[– krzywkowe i ciągnowe]; B --> B2[– analogowe mechaniczne]; B --> B3[– analogowe elektryczne]; C --> C1[– przez nauczanie - teach-in]; C --> C2[– przez prowadzenie po torze ruchu - playback]; D --> D1[– języki zorientowane na model otoczenia]; D --> D2[– języki zorientowane na ruch manipulatora];
```

RĘCZNE

- krzywkowe i ciągnowe
- analogowe mechaniczne
- analogowe elektryczne

PÓŁAUTOMATYCZNE

- przez nauczanie
- *teach-in*
- przez prowadzenie po torze ruchu
- *playback*

AUTOMATYCZNE

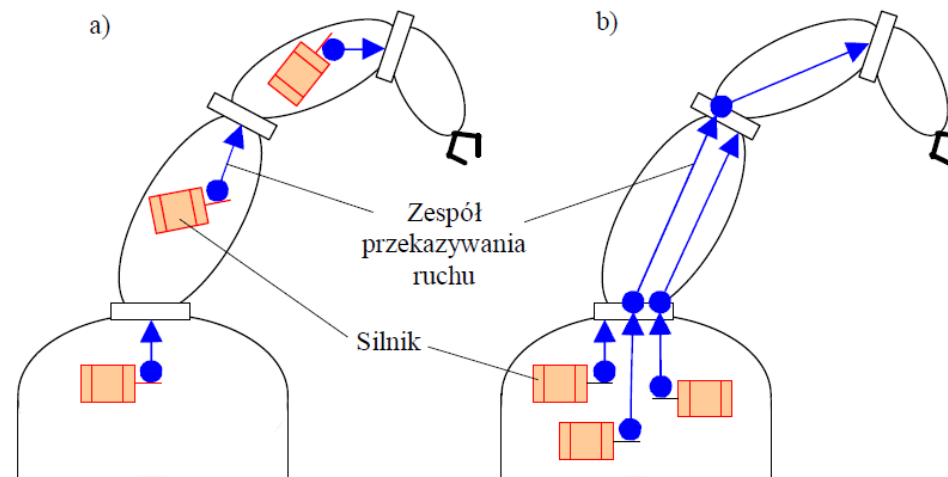
- języki zorientowane na model otoczenia
- języki zorientowane na ruch manipulatora

Klasyfikacja sposobów programowania robotów

NAPĘDY W ROBOTACH

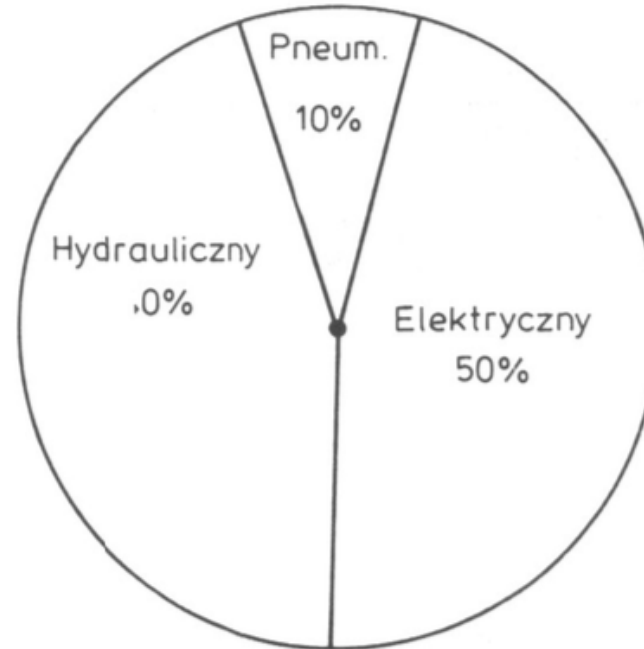
We współczesnych robotach stosowane są w zasadzie trzy rodzaje siłowników, a mianowicie: **pneumatyczne, hydrauliczne i elektryczne** oraz ich kombinacje.

Każdy robot jest wyposażony w układ siłowników rozmieszczonych odpowiednio na ramionach ro napęd robota.



Rozproszony (a) i skupiony (b) sposób zabudowy napędów manipulatora

We współczesnych robotach stosowane są trzy rodzaje siłowników:
pneumatyczne, hydrauliczne i elektryczne.



Napędy elektryczne

W pierwszej fazie rozwoju robotów przemysłowych stosowano napędy pneumatyczne i hydrauliczne.

Wzrost wymagań w stosunku do robotów drugiej i wyższych generacji spowodował rozwój napędów elektrycznych.

Szacuje się, że 50% robotów ma napęd elektryczny.

Napędy elektryczne mają następujące **zalety**:

- niska cena napędu i układu sterowania w porównaniu z napędem hydraulicznym; prostota układu zasilania;
- duża niezawodność;
- duża prostota czynności konserwacyjnych;

Wadami napędu elektrycznego są:

- praca bez hałasu,
- małe wymiary układu sterowania i zasilania.
- niekorzystny, w porównaniu z napędem hydraulicznym, stosunek mocy do masy urządzenia, szczególnie dla dużych mocy.

(przy manipulatorach o bardzo dużym udźwigu nie stosuje się napędu elektrycznego);

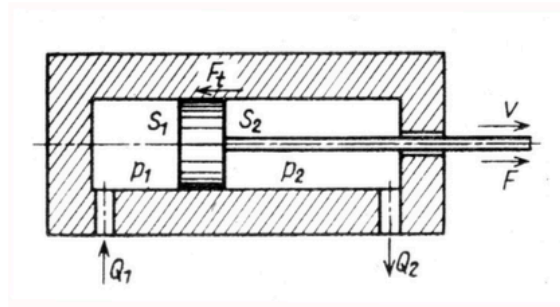
- właściwości dynamiczne, gorsze od właściwości dynamicznych napędu hydraulicznego;
- wrażliwość na długotrwałe przeciążenia, mogące doprowadzić do spalenia silnika;
- duże prędkości kątowne znamionowe wymagające stosowania przekładni redukcyjnych.

Spośród różnych silników elektrycznych największe zastosowanie znalazły

- komutatorowe silniki elektryczne prądu stałego
- krokowe silniki elektryczne
- silniki liniowe



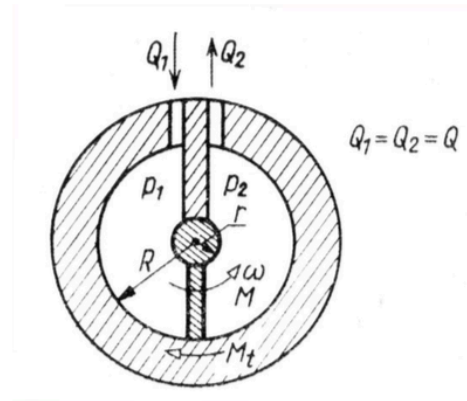
Napędy hydrauliczne



Schemat siłownika hydraulicznego tłokowego ruchu posuwistego

$$F = p_1 S_1 - p_2 S_2 - F_t \qquad v = \frac{Q_1}{S_1} = \frac{Q_2}{S_2}$$

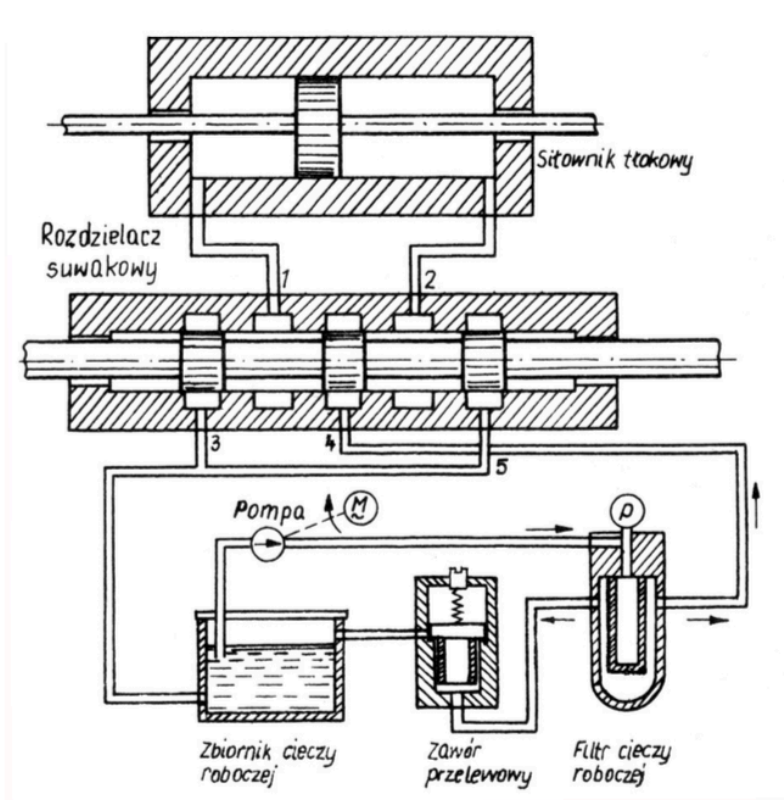
gdzie: S_1, S_2 – powierzchnia tłoka, F_t – siła tarcia.

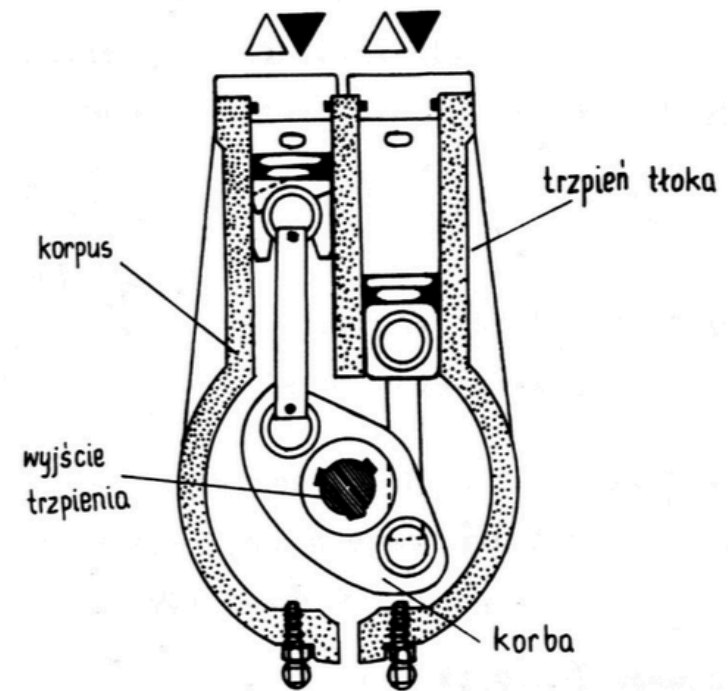


Schemat siłownika łopatkowego ruchu obrotowego

$$M = (p_1 - p_2) \frac{R_2 - r_2}{2} b - M_t \quad \omega = \frac{2Q}{b(R^2 - r^2)}$$

gdzie: b – długość cylindra, M_t – moment tarcia.





Napędy hydrauliczne

Napęd hydrauliczny, pomimo wzrostu zastosowania napędu elektrycznego, pozostaje nadal jednym z podstawowych napędów, szczególnie tam, gdzie chodzi o szybkie przemieszczanie przy znacznych obciążeniach robota.

Jeśli dla przykładu weźmiemy pod uwagę siłownik hydrauliczny o powierzchni użytkowej tłoka 50 cm zasilany ze źródła energii hydraulicznej o ciśnieniu 21.0 MPa, to przy ciśnieniu 14.0 MPa uzyskuje się na wyjściu siłownika siłę 70 000 N.

Krotki czas rozruchu (od kilkudziesięciu milisekund do 1 s) uwidacznia korzyść ze stosowania napędu hydraulicznego.

Rozpowszechnienie napędów hydraulicznych jest spowodowane takimi ich **zaletami** jak:

- łatwość uzyskiwania dużych sił przy małych rozmiarach i ciężarach urządzeń;
 - łatwość precyzyjnego sterowania położenia elementu wykonawczego;
 -
 - bardzo dobre właściwości dynamiczne. Małe momenty bezwładności części ruchomych sprawiają, że siłowniki hydrauliczne odznaczają się bardzo dużą prędkością działania;
 - łatwość uzyskiwania ruchów jednostajnych;
 - możliwość uzyskania małych prędkości ruchu elementu wykonawczego bez konieczności stosowania przekładni;
-
- mała wrażliwość na zmiany obciążenia i przeciążenia, łatwość zabezpieczenia przed przeciążeniami;
 - łatwość konserwacji (samoczynne smarowanie) i prostota użytkowania;
 - duża pewność ruchowa.

Do **wad** napędów hydraulicznych należy:

- duży hałas wytwarzany przez pompę;
- zanieczyszczenia wywołane ewentualnym wyciekami oleju.

W skład napędów hydraulicznych wchodzi:

- elementy wykonawcze (siłowniki) sprzęgnięte bezpośrednio z ramionami manipulatorów;
- elementy sterujące: wzmacniacze i przełączniki sterujące strumieniem (nateżeniem przepływu) i kierunkiem przepływu cieczy roboczej;
- źródło przepływu, którym jest pompa zębata, śrubowa lub łopatkowa;
- źródło energii, którym jest silnik elektryczny napędzający pompę;
- elementy pomocnicze: filtr cieczy roboczej, zawory zabezpieczające, przewody, zbiorniki cieczy roboczej;
- ciecz robocza, którą jest zwykle odpowiedni olej.

Napędy pneumatyczne

Napęd pneumatyczny wykorzystuje środowisko ściśliwe, na ogół sprężone powietrze. Zaletą tego typu napędu jest łatwość uzyskiwania powietrza do zasilania układu oraz możliwość łączenia układu z atmosferą po zakończeniu cyklu pracy.

Niskie ciśnienie w porównaniu z napędem hydraulicznym czyni ten rodzaj napędu bezpiecznym w eksploatacji. Ponadto powietrze nie ma własności lepkich i ma dobre własności dynamiczne.

Podstawowymi **zaletami** napędu pneumatycznego są:

bardzo duża pewność ruchowa;

większa prostota konstrukcji anizeli dla napędow hydraulicznych;

niska cena urządzeń w porownaniu z napędem hydraulicznym;

mała masa urządzeń i pomijalna masa czynnika roboczego w porowna niu z napędami hydraulicznymi;

powolne narastanie sił, bardzo istotne np. przy sterowaniu chwytakow.
(stąd często przy hydraulicznym lub elektrycznym napędzie ramion manipulatora spotyka się napęd pneumatyczny chwytaka).

duża przeciążalność;

iskrobezpieczeństwo.

Do **wad** napędów pneumatycznych należy:

trudność uzyskiwania ruchów jednostajnych z powodu dużej ściśliwości czynnika roboczego;

duża wrażliwość ruchu na zmiany obciążenia;

gwałtowny rozruch, szczególnie przy małym obciążeniu;

znacznie mniejsze siły i momenty niż dla napędów hydraulicznych.

(wynika to z konieczności ograniczania ciśnień roboczych do ok. 0,49...0,69 MPa (ok. 5...7 atn); przy wyższych ciśnieniach wzrastają bowiem nieproporcjonalnie koszty sprężania powietrza);

konieczność zabezpieczania elementów przed korozją;

trudność sterowania położenia elementu wykonawczego.

Pod względem konstrukcyjnym i funkcjonalnym napędy pneumatyczne manipulatorów mają dużo cech wspólnych z napędami hydraulicznymi

W skład napędów pneumatycznych wchodzi:

elementy wykonawcze — siłowniki — sprzęgnięte bezpośrednio z ramionami manipulatorów;
elementy sterujące — przełączniki pneumatyczne sterujące dwupołożeniowo przepływ czynnika roboczego;
źródło czynnika roboczego, którym jest najczęściej system przewodów sprężonego powietrza;
filtr powietrza, zawór redukcyjny, smarownica;
czynnik roboczy — powietrze.

Napęd pneumatyczny znajduje zastosowanie w małych prostych robotach

Jeżeli mamy do czynienia z dużymi udźwigami, wymagającymi utrzymania określonej trajektorii, należy stosować siłowniki hydrauliczne.