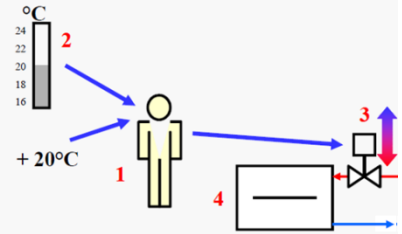
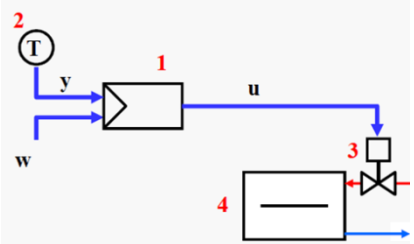
Automatyka i sterowanie, cz2





- Rodzaje regulacji
- Charakterystyki statyczne i dynamiczne
- Regulatory
- Przegląd regulatorów
- Urządzenia wykonawcze i pomiarowe

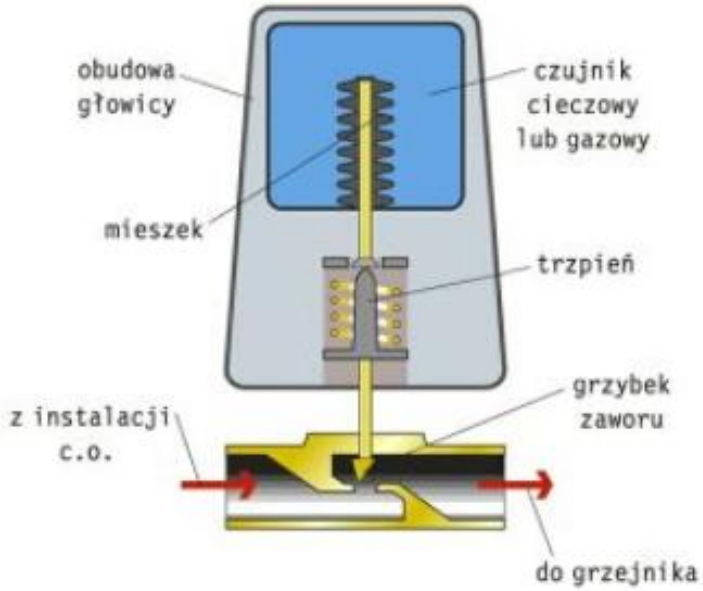
Rodzaje regulacji

Podstawowy podział:

Regulacja ręczna, np. zawór grzejnikowy z pokrętłem, głowica termostatyczna (???).

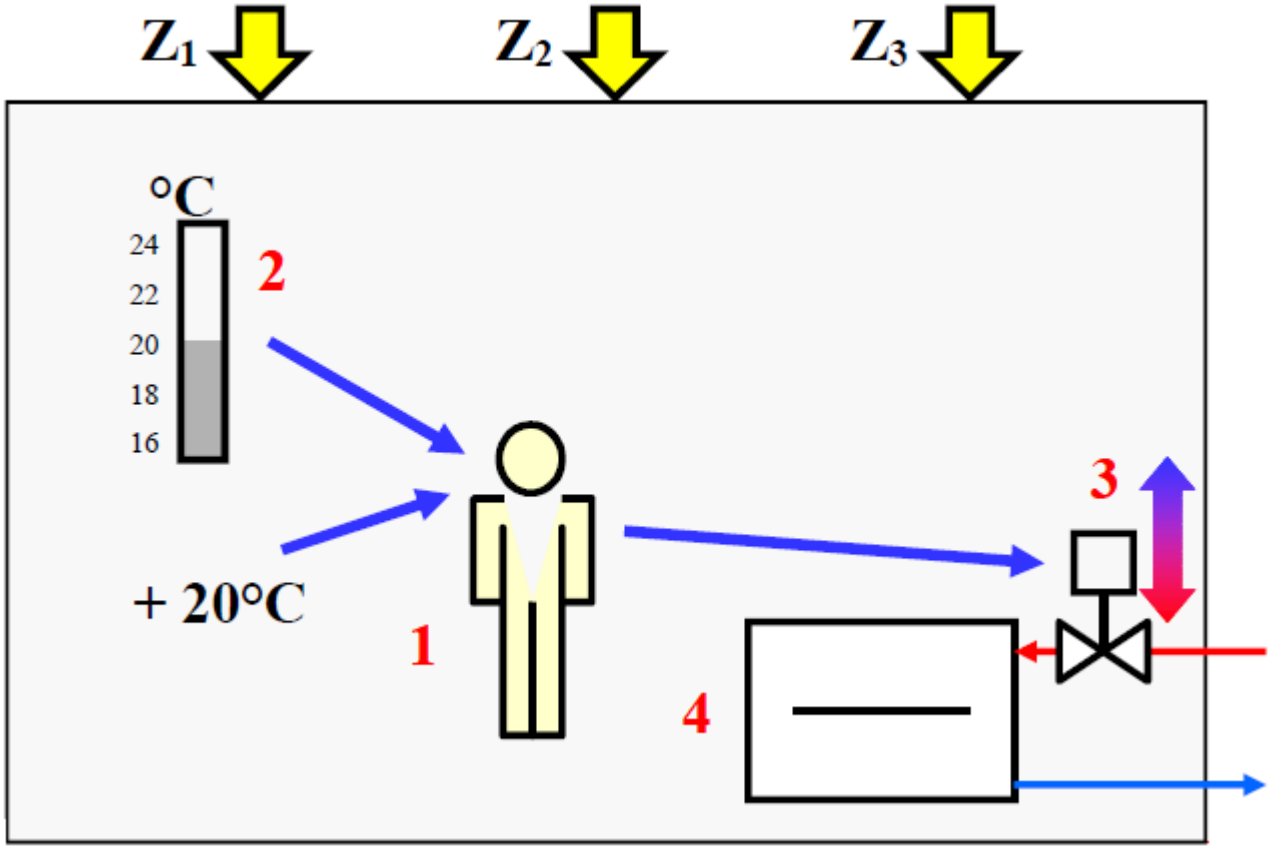
Regulacja automatyczna, np.: zawór grzejnikowy z siłownikiem elektrycznym.

Zdj. Zwór grzejnikowy z „pokrętłem”

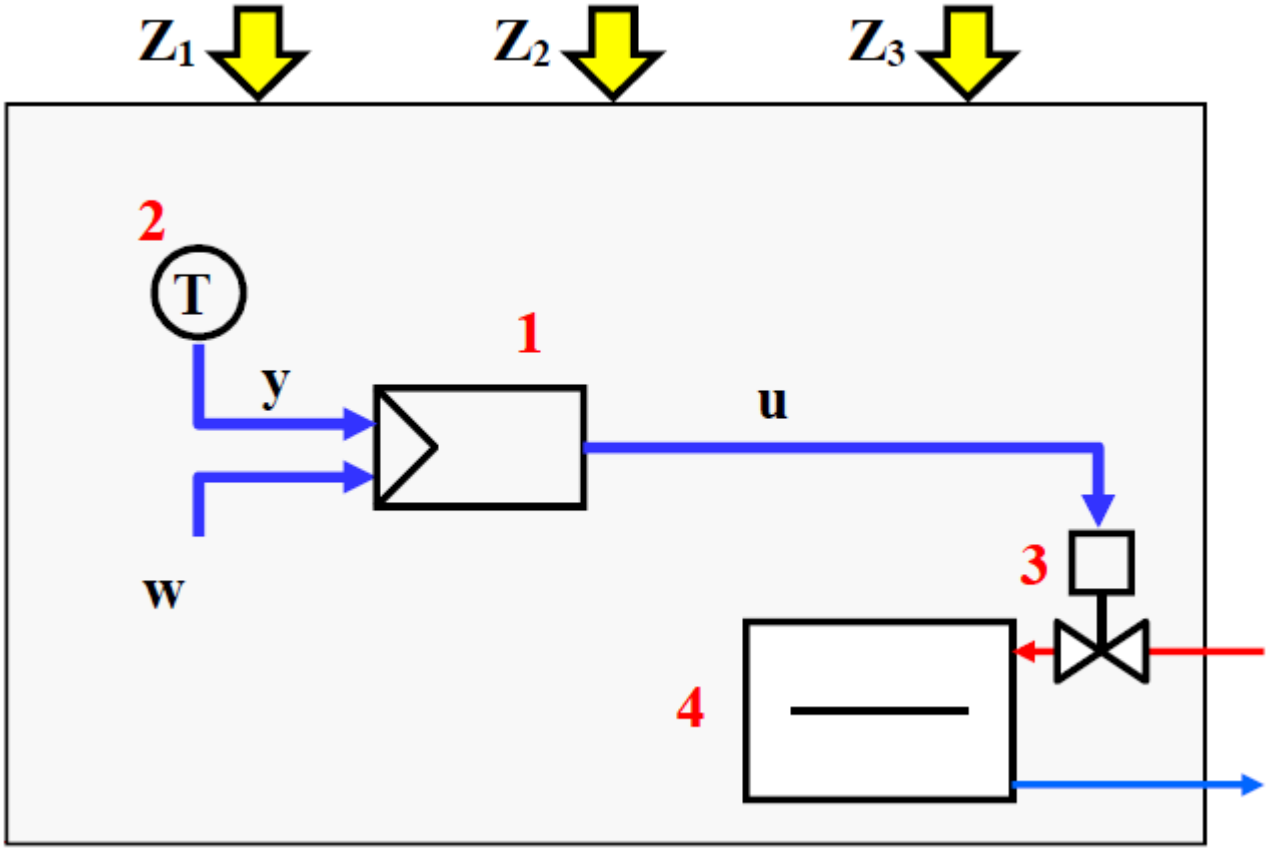


Rys. Zwór grzejnikowy z głowicą termostatyczną

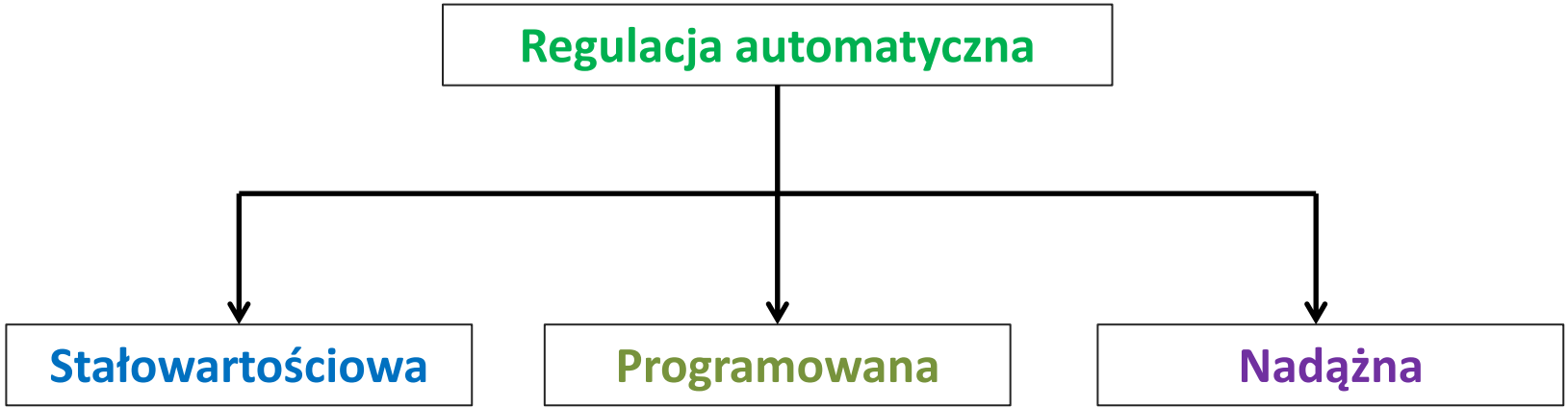
Ręczna regulacja temperatury w pomieszczeniu



Automatyczna regulacja temperatury w pomieszczeniu



Regulacja automatyczna – rodzaje:

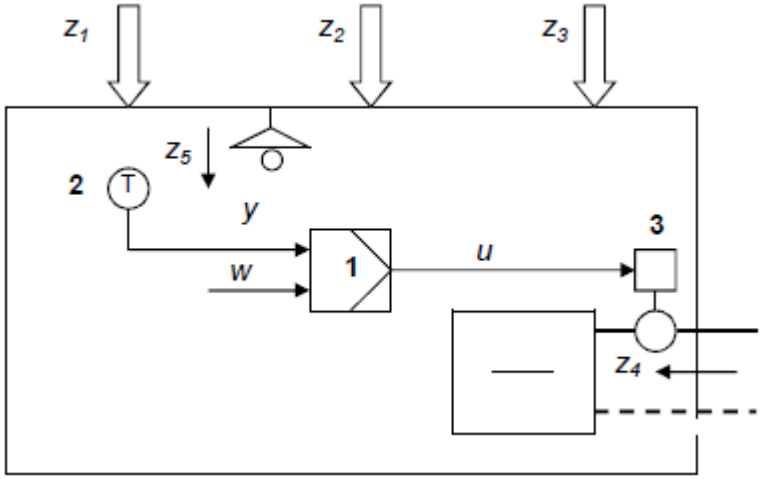


Regulacja automatyczna - STAŁOWARTOŚCIOWA

Polega na utrzymaniu stałej wartości wielkości regulowanej („y”); wartość zadana („w”) pozostaje na stałym poziomie („**w**” = **constans**), niezależnie od działających zakłóceń („z”).

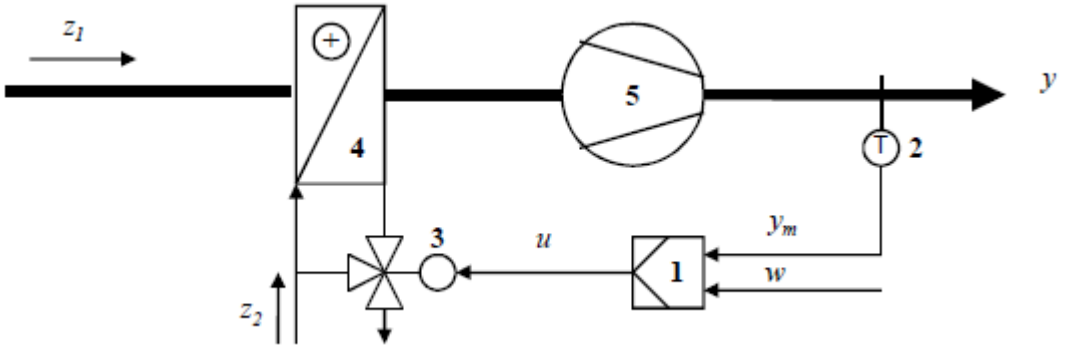
Działanie układu automatycznej regulacji – eliminowanie wpływu zakłóceń („z”) na wielkość regulowaną („y”).

Jest to najczęściej stosowany rodzaj regulacii.
np.:
regulacja temperatury w pomieszczeniu;
regulacja temperatury w podgrzewaczu pojemnościowym zbiorniki (c.w.u.).



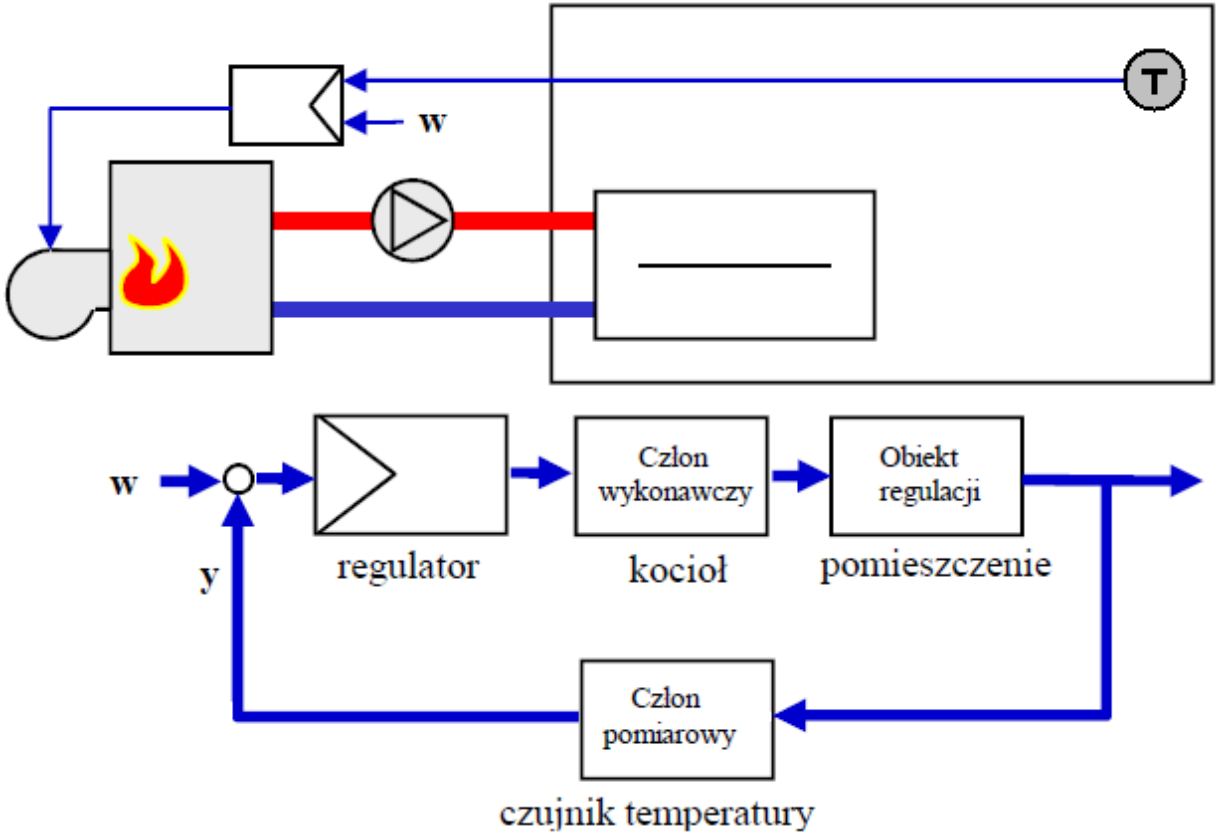
Regulacja automatyczna – STAŁOWARTOŚCIOWA; c.d.

Przykład: Regulacja temperatury powietrza nawiewanego.



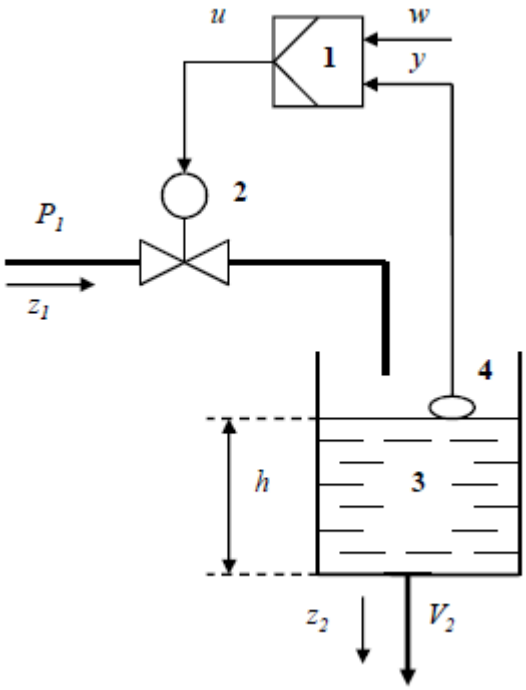
Regulacja automatyczna – STAŁOWARTOŚCIOWA; c.d.

Przykład: Regulacja stałowartościowa temperatury powietrza w pomieszczeniu – kocioł jako człon wykonawczy.



Regulacja automatyczna – STAŁOWARTOŚCIOWA; c.d.

Przykład: Regulacja poziomu wody w zbiorniku.



Regulacja automatyczna – STAŁOWARTOŚCIOWA; c.d.

Regulacja **stałowartościowa – SEKWENCYJNA**.

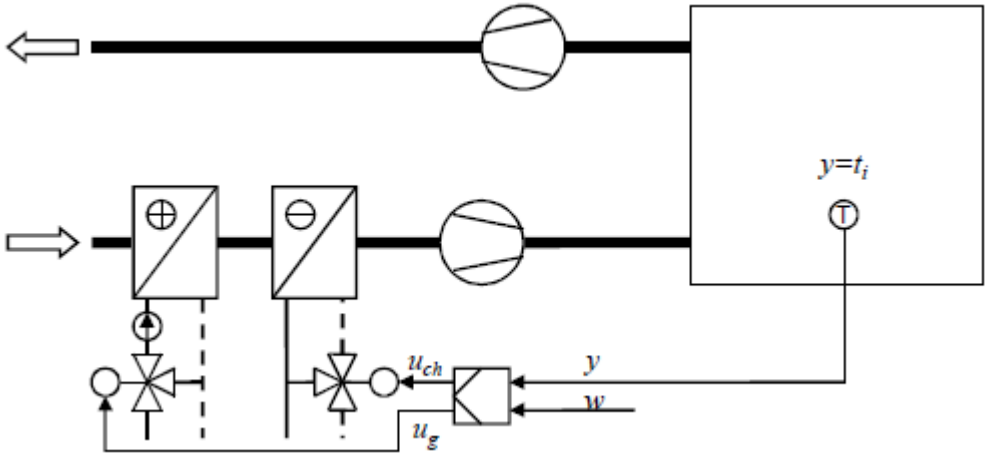
Stosowana jest, gdy dla utrzymania stałej wartości wielkości regulowanej („y”), konieczna jest współpraca regulatora z 2-ma lub więcej elementami wykonawczymi.

Regulacja automatyczna – STAŁOWARTOŚCIOWA; c.d.

Regulacja **stałowartościowa – SEKWENCYJNA**; c.d.

Przykład: Regulacja temperatury powietrza w wentylowanym pomieszczeniu.

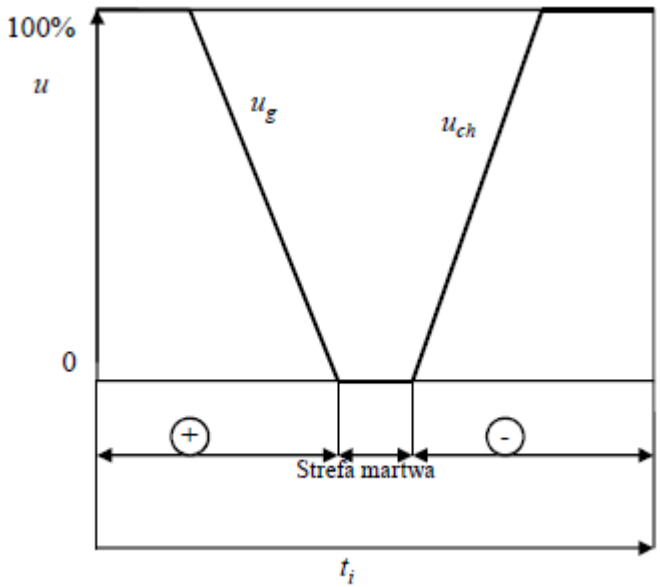
- w zależności od temp. powietrza regulator wysyła sygnał nastawiający do siłownika nagrzewnicy lub do siłownika chłodnicy,
- załączanie tych sygnałów odbywa się sekwencyjnie



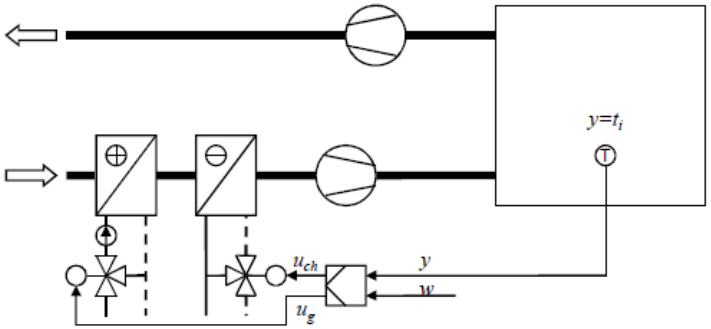
Regulacja automatyczna – STAŁOWARTOŚCIOWA; c.d.

Regulacja stałowartościowa – SEKWENCYJNA; c.d.

Przykład:
Regulacja temperatury powietrza w wentylowanym pomieszczeniu. c.d.



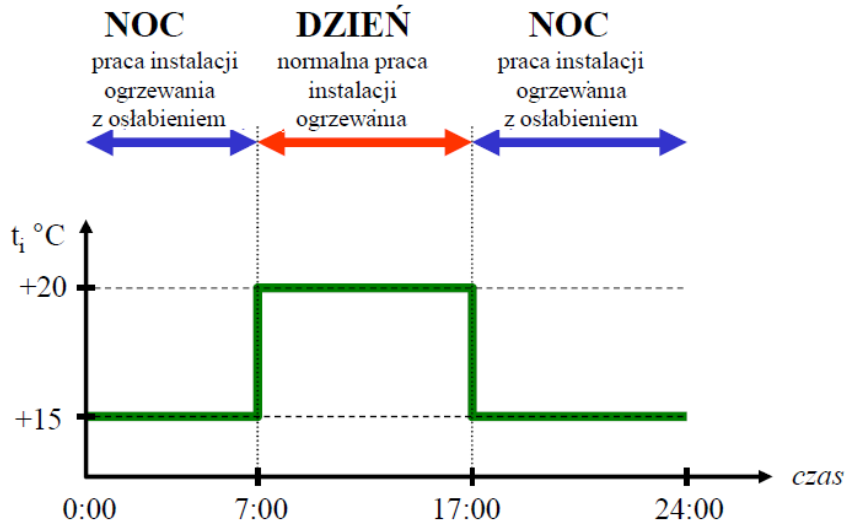
Rys. Wykres przebiegu sygnału sterującego.



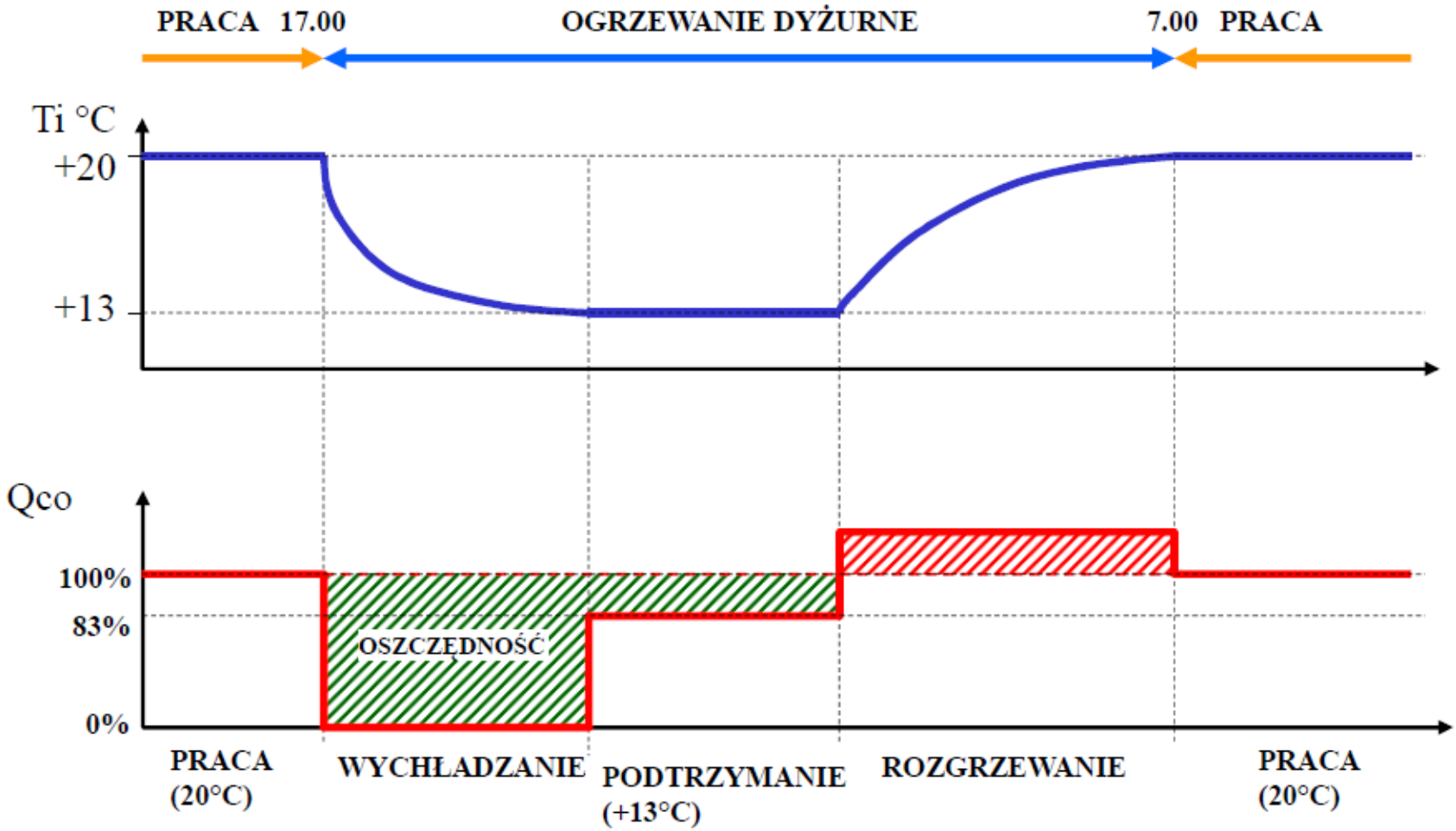
Regulacja automatyczna - PROGRAMOWANA

Utrzymuje zmienną w czasie wartość wielkości regulowanej („y”), zgodnie z zadanym programem zmiany wartości zadanej („w”) -> **w=w(t)**.

Przykład – okresowe obniżenie wymaganej temperatury powietrza w ogrzewanych pomieszczeniach, np. w okresie nocnym i/lub podczas nieobecności mieszkańców (tzw. temperatura dzienna i nocna, temperatura normalna i obniżona).

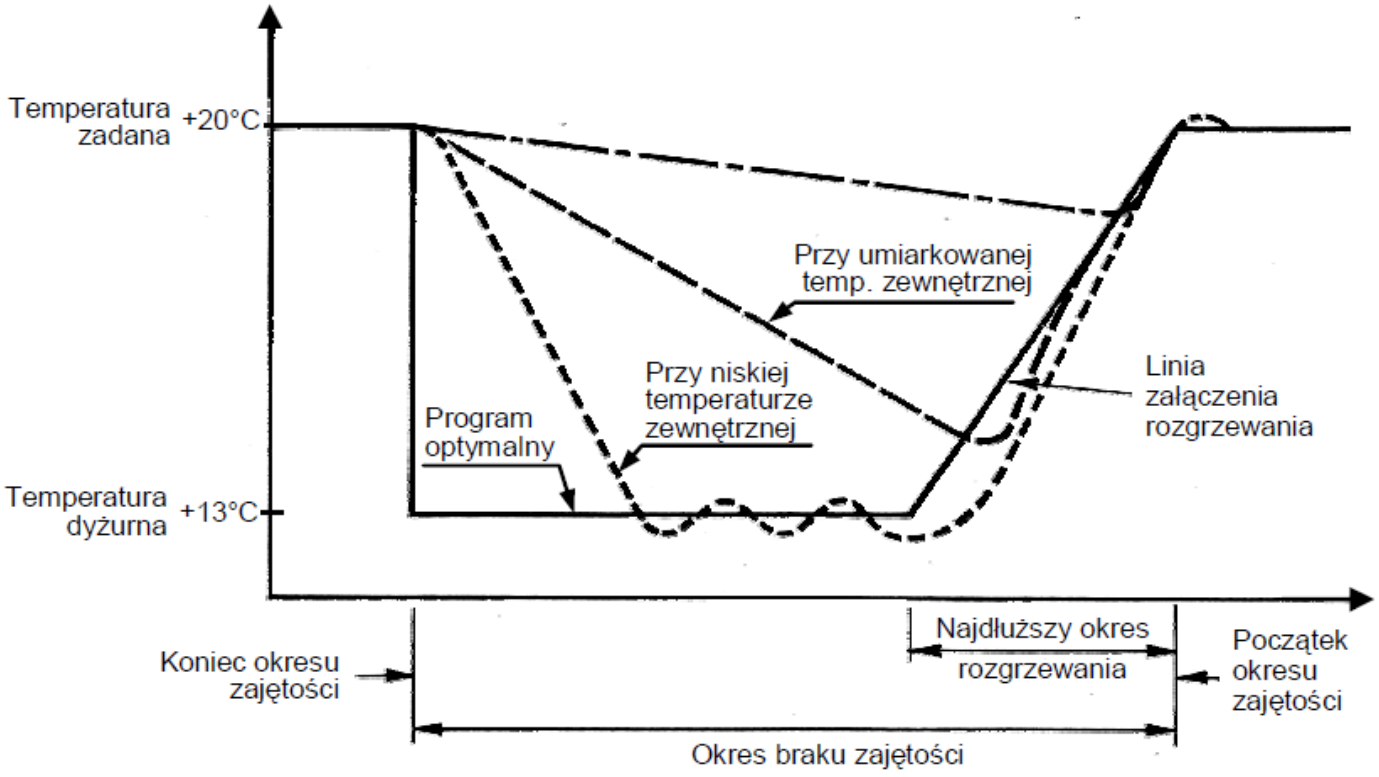


Regulacja automatyczna – PROGRAMOWANA; c.d.



Regulacja automatyczna – PROGRAMOWANA; c.d.

Okresowe osłabienie – **rzeczywisty przebieg procesu**:



Regulacja automatyczna - NADĄŻNA

Stale koryguje wartość wielkości regulowanej („y”),
w zależności od aktualnej wielkości zadanej („w”),
która zmienia się w sposób nieustalony – trudny do przewidzenia (**w=w(?)**)

Przykład: **Regulacja pogodowa**:

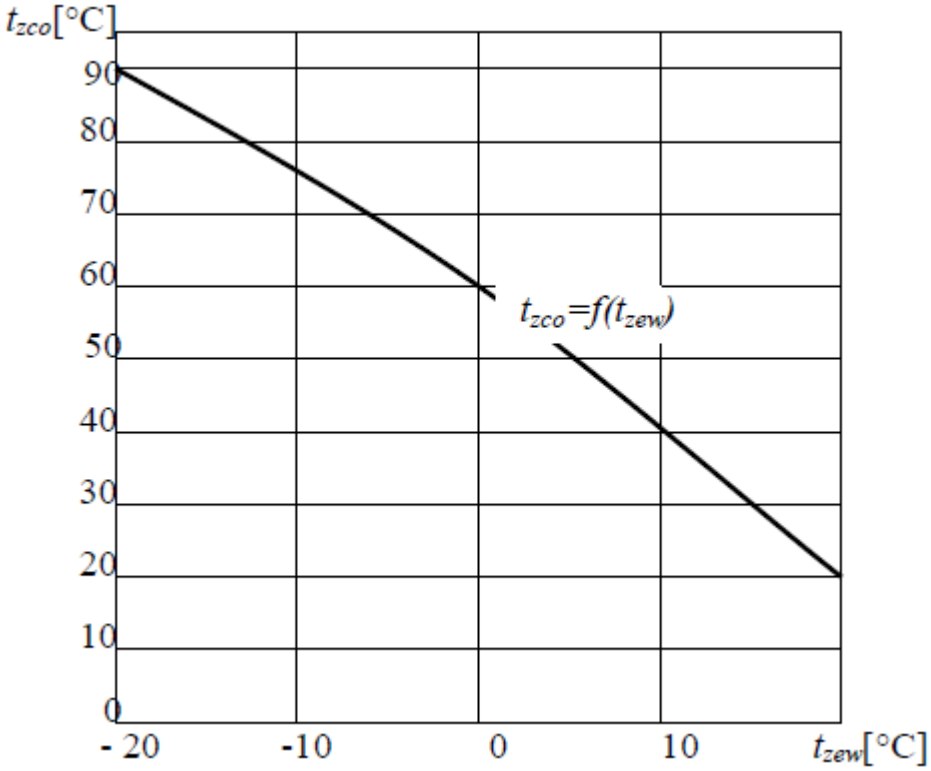
- wielkość regulowana „y” – temperatura wody grzewczej na zasilaniu instalacji *tzco*
- wielkość zadana „w” – temperatura powietrza zewnętrznego *tzew*

W procesie regulacji, temperatura wody grzewczej nadąża za zmianami temperatury powietrza zewnętrznego:

$$t_{zco} = f(t_{zew})$$

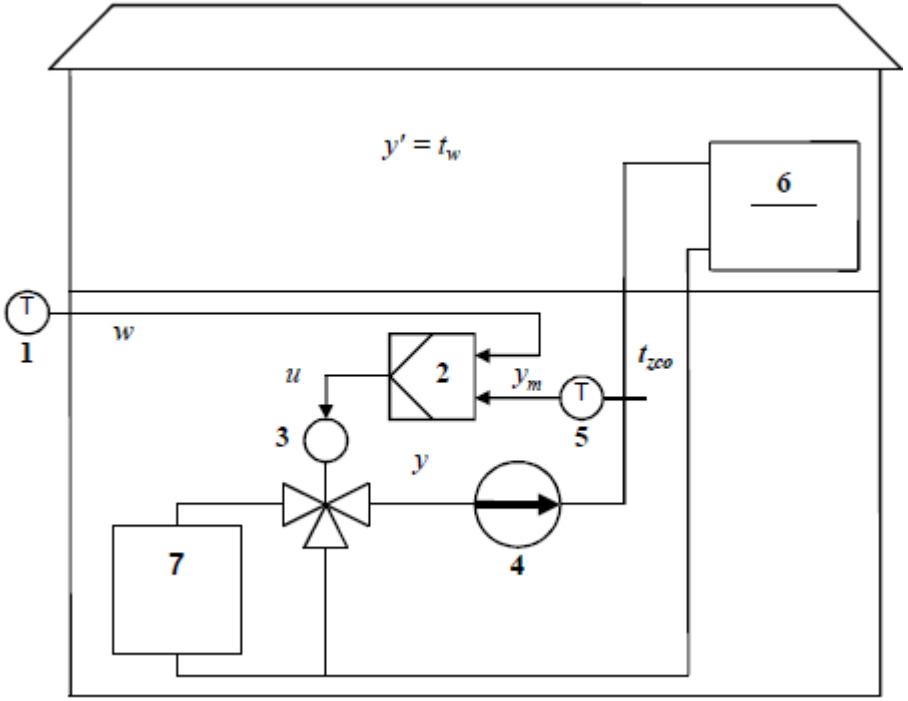
Regulacja automatyczna – NADAŻNA; c.d.

… temperatura wody grzewczej nadąża za zmianami temperatury powietrza zewnętrznego.



Regulacja automatyczna – NADAŻNA; c.d.

… temperatura wody grzewczej nadąża za zmianami temperatury powietrza zewnętrznego.



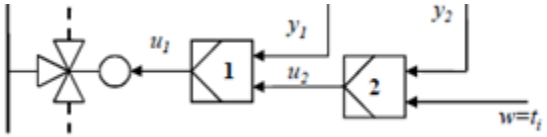
Regulacja automatyczna – NADAŻNA; c.d.

Regulacja **nadążna - KASKADOWA**

Stosowana jest do regulacji temperatury w systemach wentylacji i klimatyzacji w celu **uzyskania wysokiej jakości regulacji** przez kompensację własności dynamicznych obiektu regulacji.

W procesie regulacji zakłada się kaskadowe działanie dwóch regulatorów: głównego (wiodącego) i pomocniczego (nadążnego).

W regulatorach cyfrowych, oba regulatory mogą być zaprogramowane w jednym urządzeniu (regulatorze).

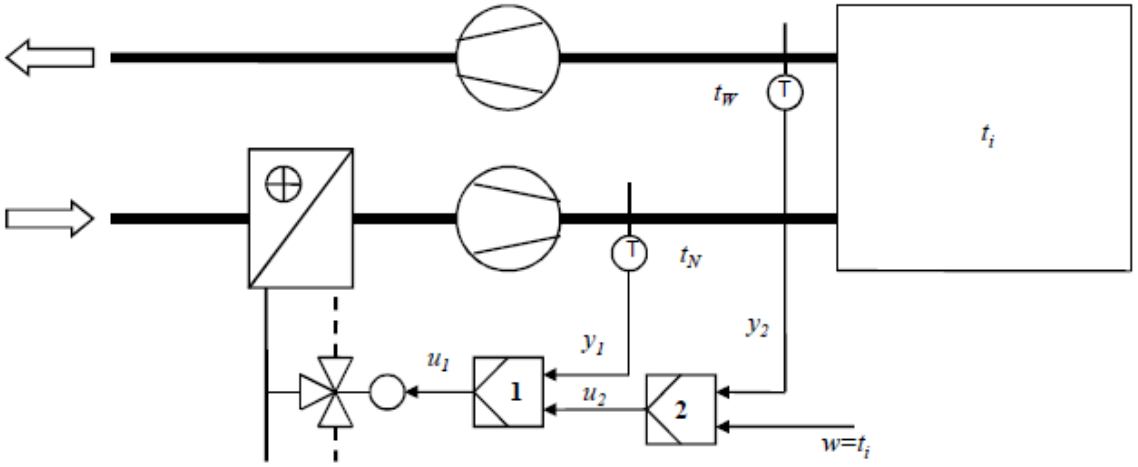


Regulacja automatyczna – NADAŻNA; c.d.

Regulacja **nadążna – KASKADOWA**; c.d.

Przykład. Regulacja nadążna kaskadowa temperatury powietrza w pomieszczeniu wentylowanym mechanicznie.

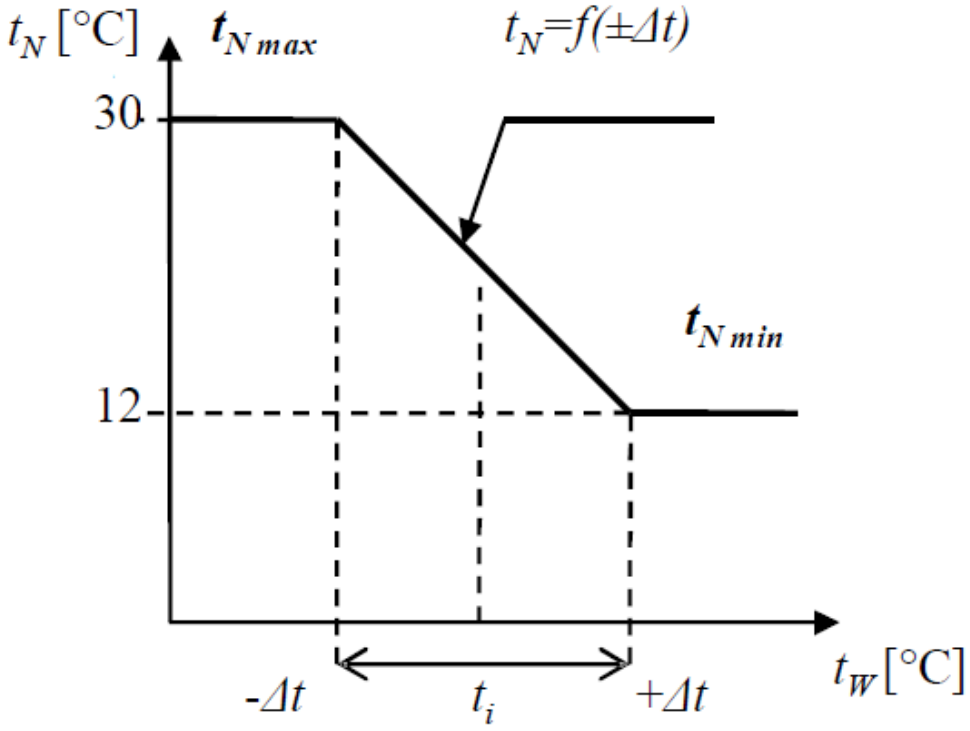
Temperatura powietrza nawiewanego t_N *(jako wielkość pomocnicza* y_1*)* utrzymywana jest przez regulator 1 na poziomie zadawanym przez regulator 2 nadążnie za aktualną wartością temperatury powietrza wywiewanego t_W *(główna wielkość regulowana* y_2*).*

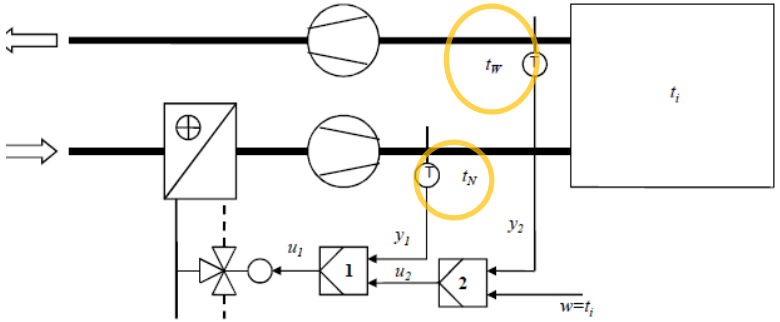


Regulacja automatyczna – NADAŻNA; c.d.

Regulacja **nadążna – KASKADOWA**; c.d.

Przykład. Regulacja nadążna kaskadowa temperatury powietrza w pomieszczeniu wentylowanym mechanicznie; c.d.





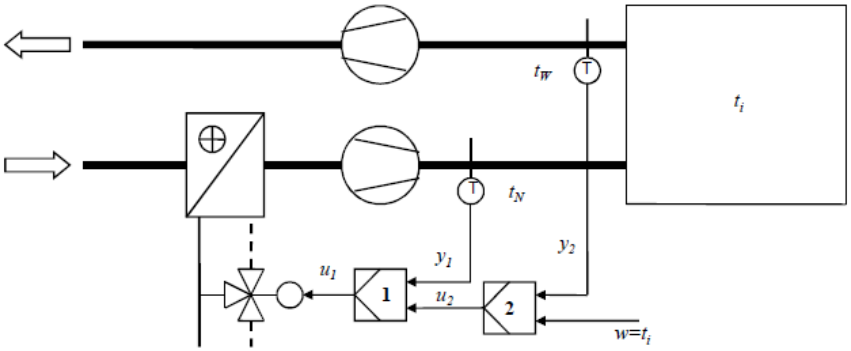
Regulacja automatyczna – NADAŻNA; c.d.

Regulacja **nadążna – KASKADOWA**; c.d.

Regulacja nadążna kaskadowa jest szczególnie korzystna, gdy własności dynamiczne obu odwodów regulacji znacznie różnią się między sobą:

- nagrzewnica powietrza – mała inercyjność („mała bezwładność”)
- pomieszczenie z wentylacja mechaniczną – duża bezwładność cieplna.

Stosując regulację kaskadową można znacznie poprawić własności dynamiczne układu regulacji i uzyskać wysoką jakość regulacji.

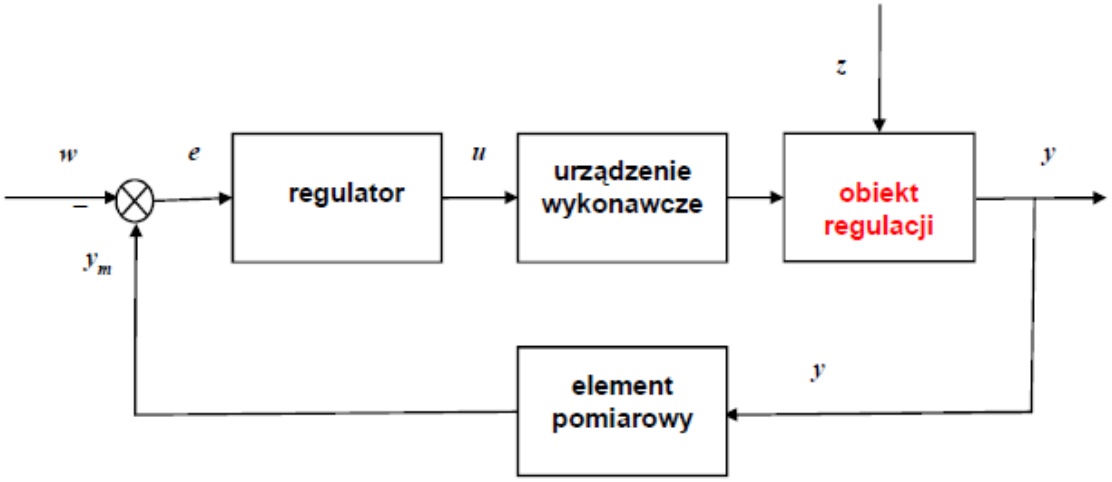


Charakterystyki statyczne i dynamiczne

Przypomnienie: **Obiekt regulacji,**
urządzenie lub proces technologiczny, w którym w wyniku zewnętrznych oddziaływań realizuje się pożądany algorytm działania.

Na obiekt regulacji oddziałują:
- zmienne wejściowe *u*, nazywane sygnałami nastawiającymi
- zmienne szkodliwe *z*, nazywane sygnałami zakłócającymi

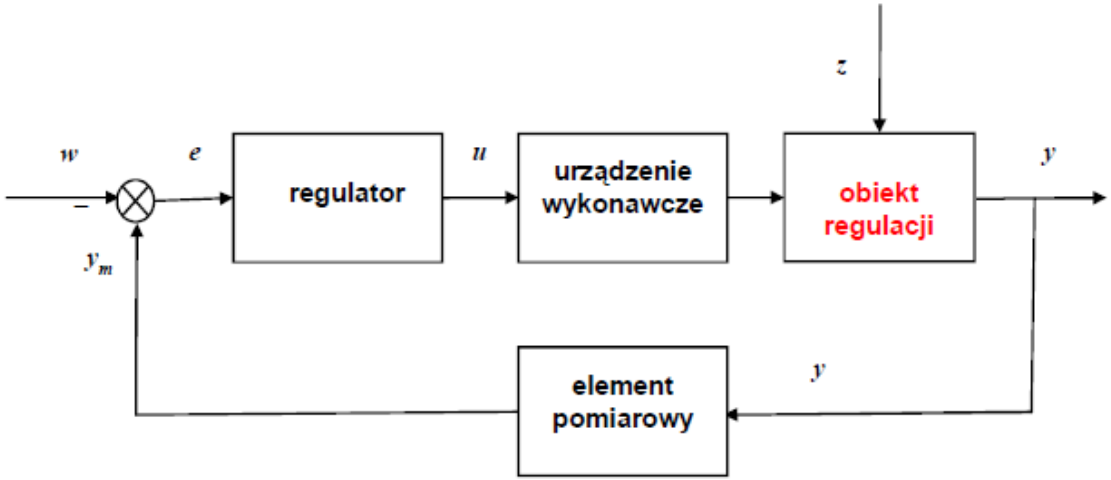
Zmienne regulowane *y* – sygnały wyjściowe z obiektu regulacji.



Charakterystyki statyczne i dynamiczne

Przypomnienie: **Obiekt regulacji; c.d.**

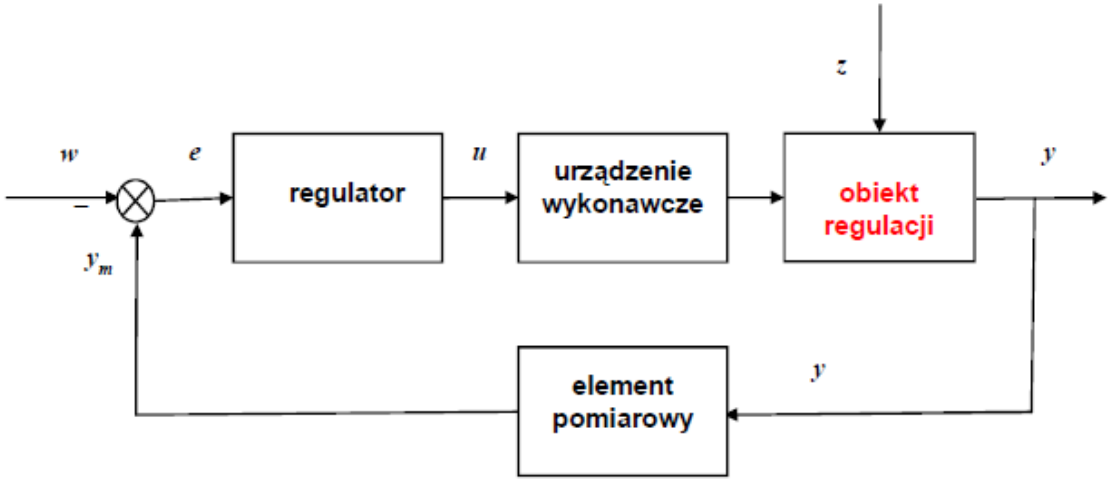
Dla prawidłowego zaprojektowania układu regulacji niezbędna jest znajomość **właściwości obiektu regulacji**,
to znaczy,
zależności pomiędzy wielkościami wejściowymi *u* i wyjściowymi *y*.



Zależności pomiędzy *u* i *y*

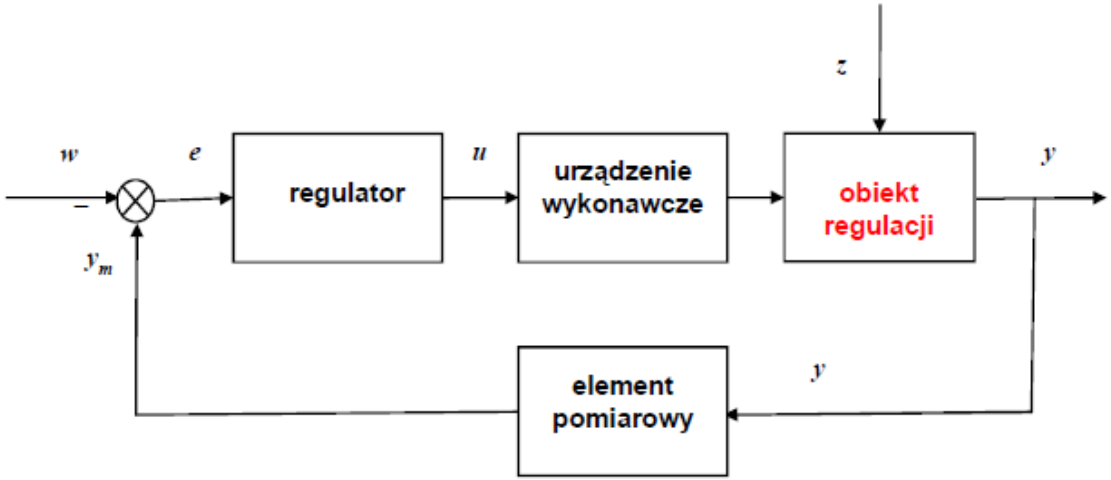
Charakterystyki statyczne – są to **stany ustalone**, w których wielkości: *u*, y, pozostają **niezmienne w czasie**.

Charakterystyki dynamiczne – są to **stany nieustalone**, w których wielkości: u, y, **zmieniają się w czasie.**



Zależności pomiędzy *u* i *y*; c.d.

Charakterystyki statyczne i **dynamiczne** można wyznaczyć **analitycznie** lub **doświadczalnie**.



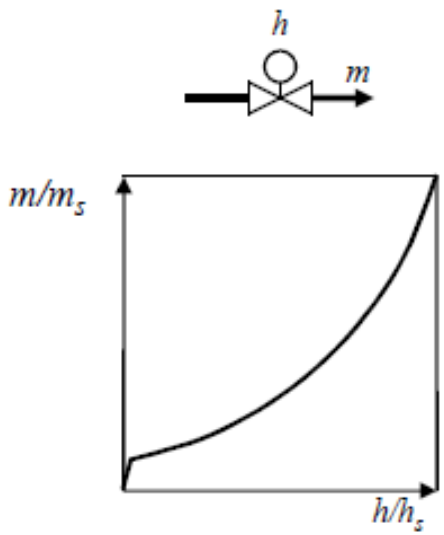
Charakterystyki statyczne

Metoda analityczna (obliczeniowa) – polega na graficznym przedstawieniu zależności pomiędzy sygnałem wejściowym i wyjściowym, przy wykorzystaniu matematycznego opisu procesów fizycznych zachodzących w obiekcie - **za pomocą równania matematycznego**.

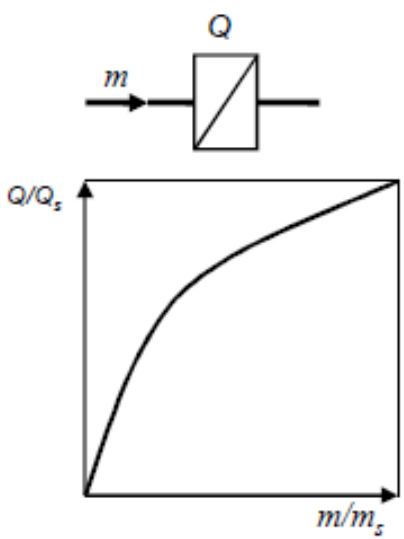
Metoda doświadczalna – polega na wprowadzeniu do rzeczywistego układu kolejnych niezmiennych w czasie wartości sygnału wejściowego i na pomiarze odpowiadających im wartości sygnału na wyjściu; wyniki pomiarów nanosi się na wykres współrzędnych, aproksymuje otrzymując w ten sposób charakterystykę statyczną obiektu.

Charakterystyki statyczne; c.d.

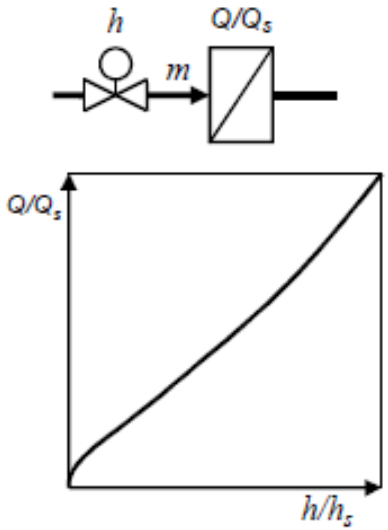
Przykłady:



Rys. Charakterystyka statyczna zaworu regulacyjnego (stałoprocentowa).



Rys. Charakterystyka statyczna wymiennika ciepła.



Rys. Charakterystyka statyczna wymiennika ciepła wraz z zaworem regulacyjnym (obiekt regulacji).

Charakterystyki dynamiczna

Charakterystykę dynamiczną elementu lub układu otrzymuje się jako **odpowiedź** sygnału wyjściowego y(t) na **wymuszenie** w postaci zmiennego w czasie sygnału wejściowego x(t).

Przed podaniem wymuszenia sygnały y(t) i x(t) **są w stanie ustalonym**.

Po podaniu wymuszenia i po upłynięciu odpowiednio długiego czasu, układ ponownie znajdzie się w stanie ustalonym.

Charakterystyka dynamiczna jest funkcją przejścia (tzw. transmitancja), pomiędzy dwoma stanami ustalonymi.

Charakterystyki dynamiczna; c.d.

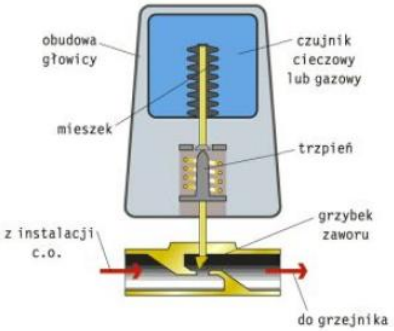
Analityczne wyznaczenie funkcji przejścia – wymaga rozwiązania równania różniczkowego, opisującego model układu,
lub znalezienia przekształcenia, które pozwala zastąpić równania różniczkowo-całkowe zwykłymi równaniami algebraicznymi.

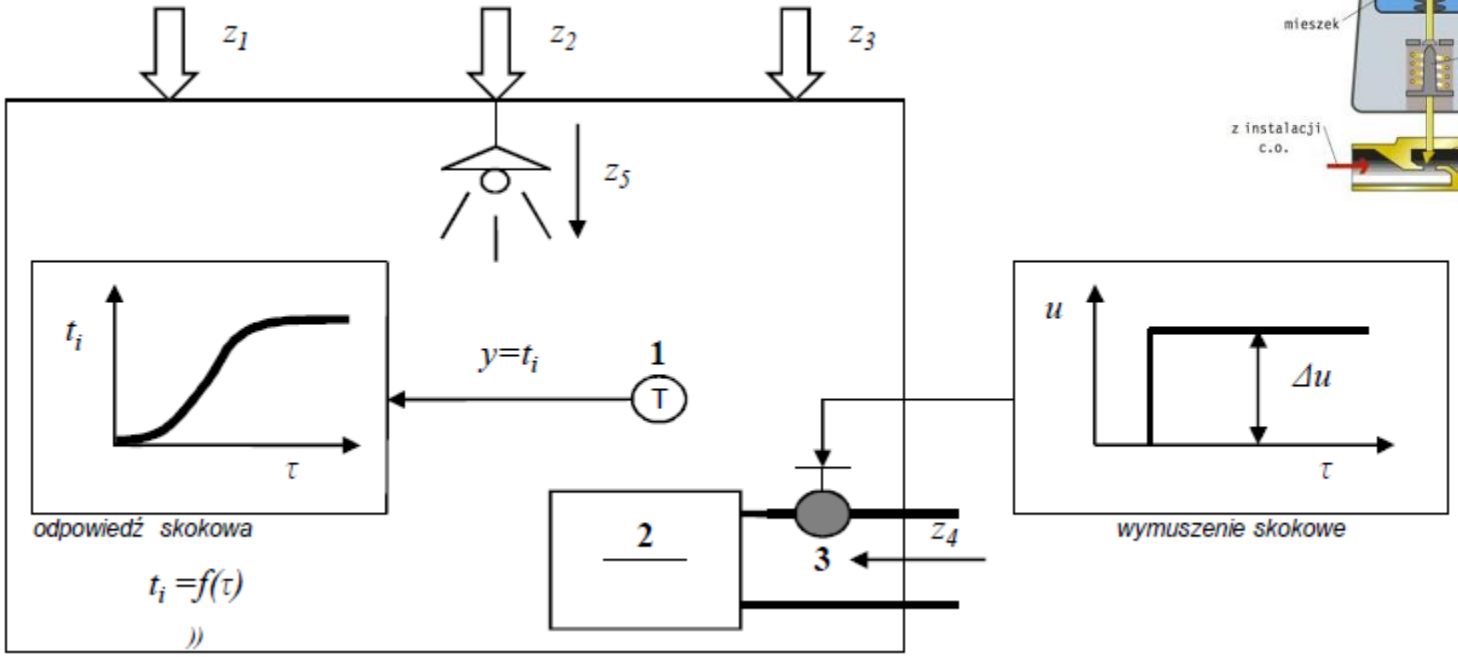
Doświadczalne metody – najczęściej stosowana jest metoda oceny **funkcji przejścia (transmitancji: *G*)** obiektu na podstawie odpowiedzi na wymuszenie skokowe, nazywane **charakterystyką skokową**.
Metoda ta umożliwia proste wyznaczenie **współczynnika wzmocnienia obiektu: *K* (*statycznego*)**, równego stosunkowi wartości ustalonej odpowiedzi skokowej,
do wartości sygnału wejściowego:

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta u}$$

Charakterystyki dynamiczna; c.d.

Przykład doświadczalnego sporządzania charakterystyki skokowej:
Metoda rejestracji odpowiedzi obiektu regulacji (temperatury powietrza w ogrzewanym pomieszczeniu: t_i),
na wymuszenie skokowe (zaworu regulacyjnego: Δh).

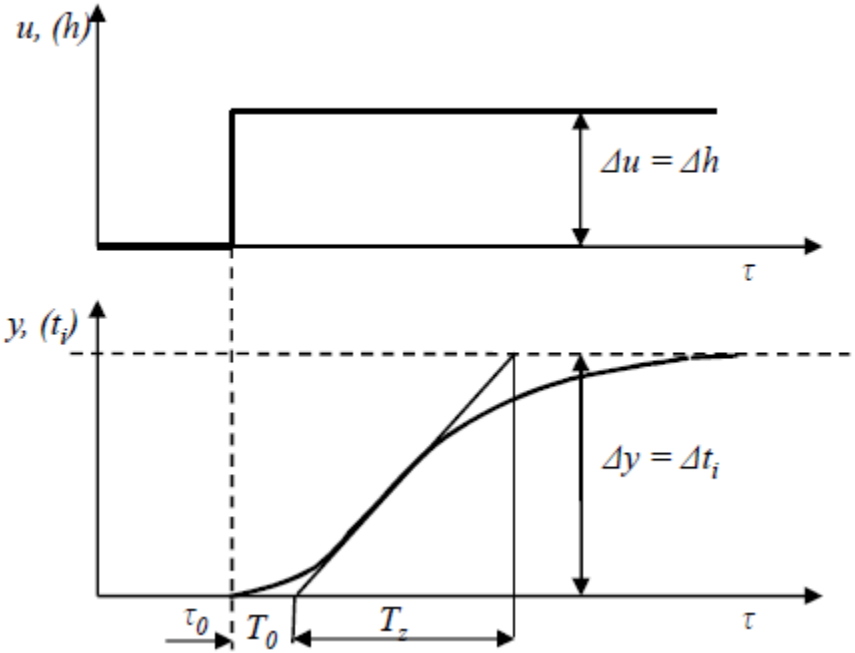




Charakterystyki dynamiczna; c.d.

Przykład doświadczalnego sporządzania charakterystyki skokowej: c.d.

Uzyskane wyniki:



$$K = \frac{\Delta y}{\Delta u}$$

$$G(s) \cong \frac{K}{T_z \cdot s + 1} \cdot e^{-sT_0}$$

Tz – zastępcza stała czasowa;
To – opóźnienie zastępcze (czas opóźnienia);

K – współczynnik wzmocnienia
G - funkcji przejścia (transmitancja)

Charakterystyki dynamiczna; c.d.

Przykład doświadczalnego sporządzania charakterystyki skokowej: c.d.

Inercyjny kształt odpowiedzi skokowej – analiza zachodzących procesów:
(inercja – „bezwładność”, „opóźnienie”)

1. Wymuszona zmiana stopnia otwarcia zaworu, powoduje skokową zmianę ilości wody grzewczej przepływającej przez grzejnik (zmiana natężenia przepływu);
   skutkiem tego jest zmiana mocy grzewczej grzejnika, która zachodzi z pewnym opóźnieniem.

2. Z opóźnieniem zachodzą również:
   wymiana ciepła pomiędzy grzejnikiem a pomieszczeniem za pośrednictwem powietrza;
   transport ciepła od otoczenia, do czujnika temperatury w ogrzewanym pomieszczeniu.

Charakterystyki dynamiczna; c.d.

Przykład doświadczalnego sporządzania charakterystyki skokowej: c.d.

Inercyjny kształt odpowiedzi skokowej – analiza zachodzących procesów:

Wszystkie wymienione wpływy wyjaśniają inercyjny kształt odpowiedzi skokowej.

Po zrównaniu nowej wartości strat ciepła ogrzewanego pomieszczenia (przy zmienionej różnicy temperatury wewnętrznej i zewnętrznej),
z ilością ciepła dostarczanego przez grzejnik,
powstaje nowy stan równowagi i od tego momentu temperatura powietrza w pomieszczeniu utrzymuje się na stałym poziomie.

Charakterystyki dynamiczna; c.d.

Obiekty regulacji

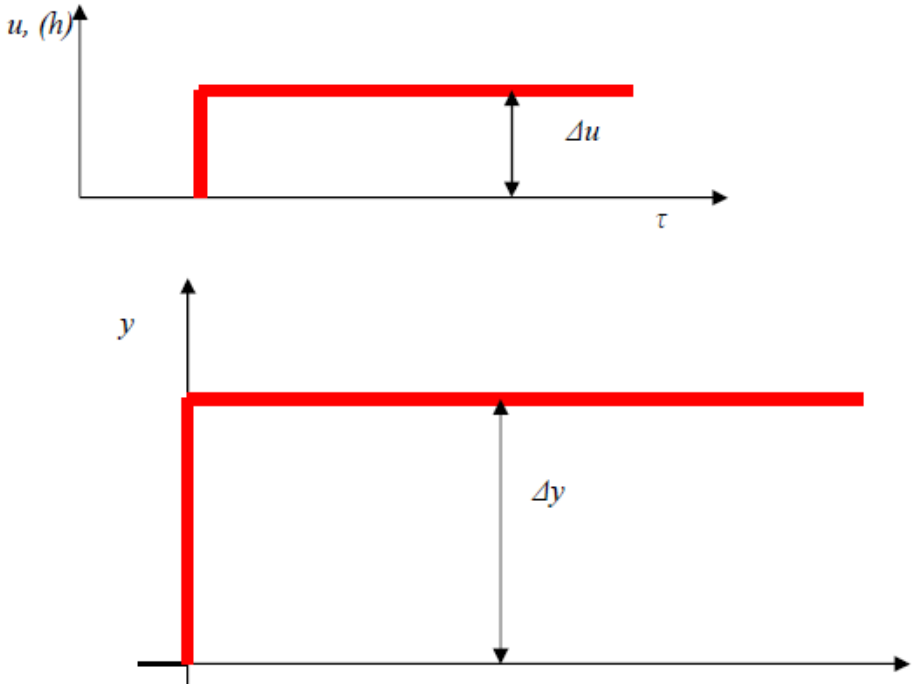
Odpowiedzi obiektów cieplnych **na wymuszenie skokowe** można podzielić na:

- proporcjonalne,
- inercyjne pierwszego rzędu,
- inercyjne pierwszego rzędu z opóźnieniem,
- inercyjne wyższego rzędu.

Charakterystyki dynamiczna; c.d.

Obiekty regulacji; c.d.

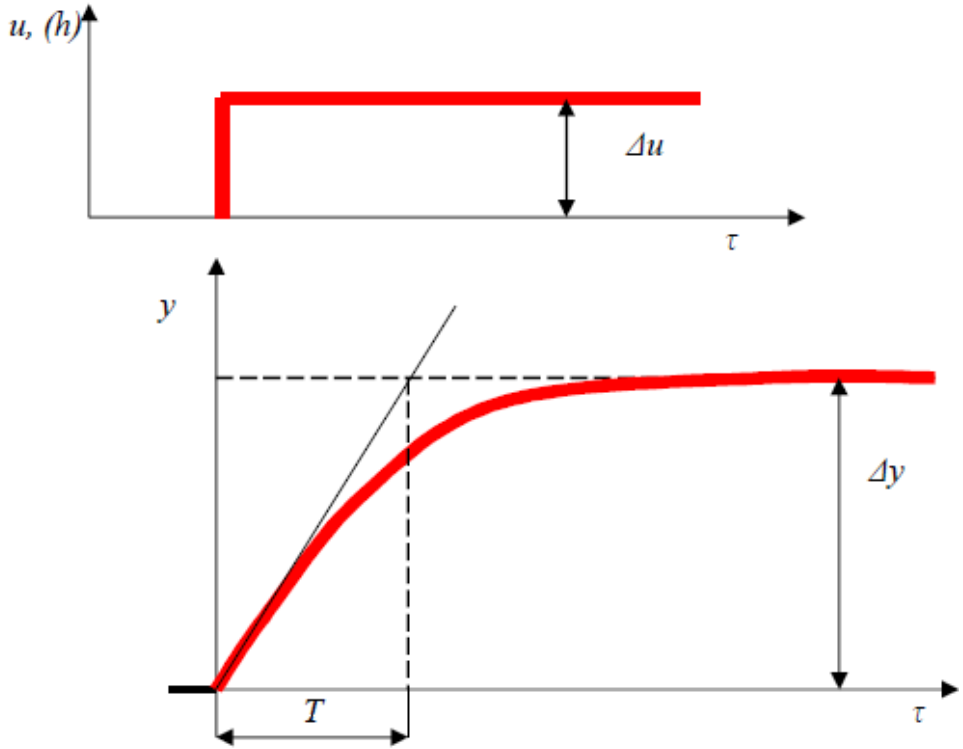
Obiekt proporcjonalny



Charakterystyki dynamiczna; c.d.

Obiekty regulacji; c.d.

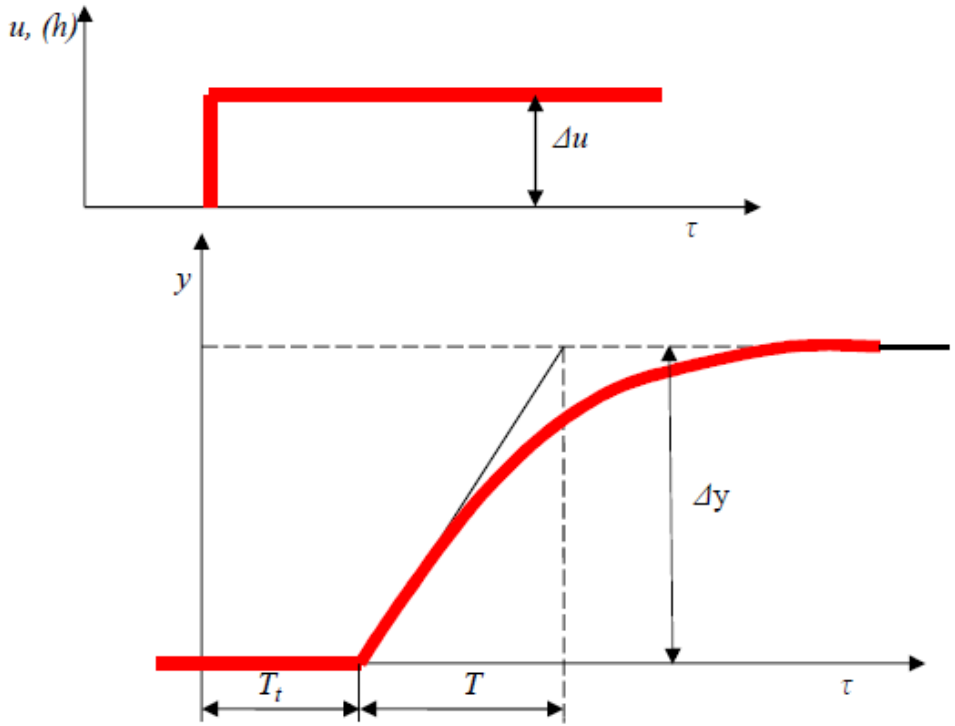
Obiekt inercyjny pierwszego rzędu



Charakterystyki dynamiczna; c.d.

Obiekty regulacji; c.d.

Obiekt inercyjny pierwszego rzędu z opóźnieniem

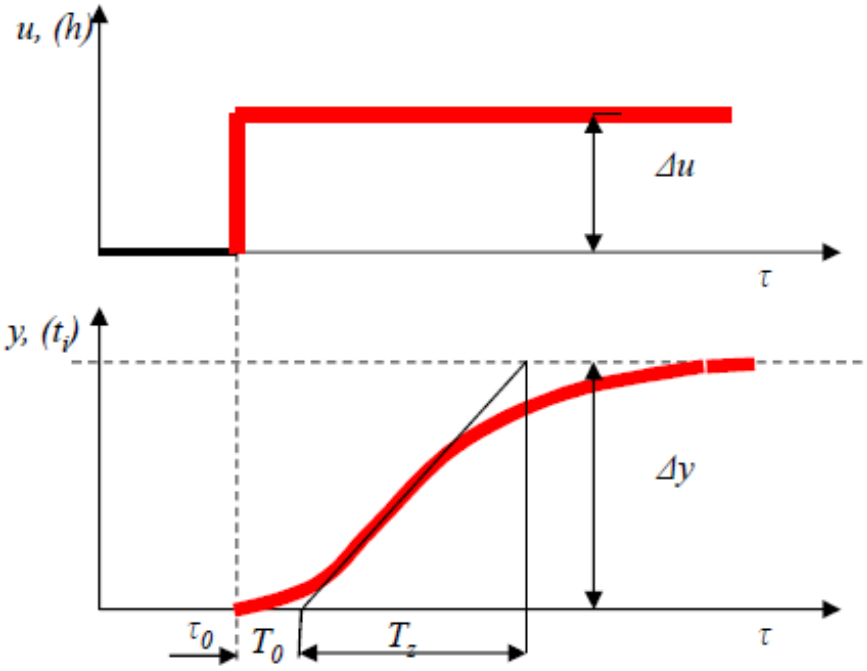


Tt –czas opóźnienia
T – stała czasowa

Charakterystyki dynamiczna; c.d.

Obiekty regulacji; c.d.

Obiekt inercyjny wyższego rzędu

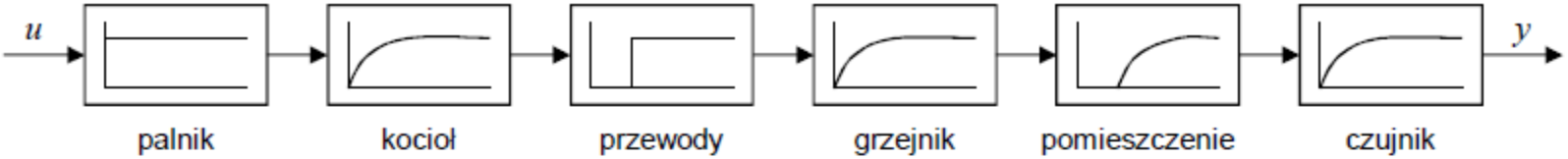


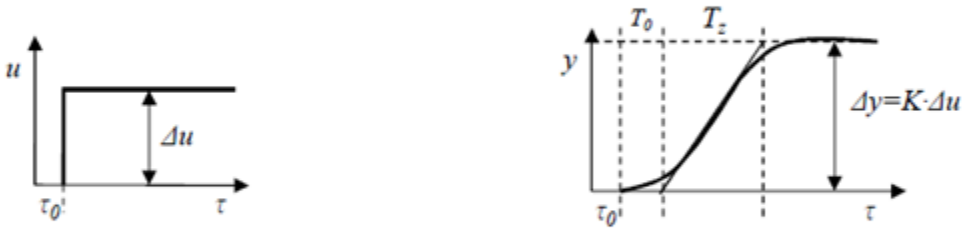
To – opóźnienie zastępcze
Tz - zastępcza stała czasowa

Charakterystyki dynamiczna; c.d.

Obiekty regulacji; c.d.

Obiekt inercyjny wyższego rzędu – przykład:

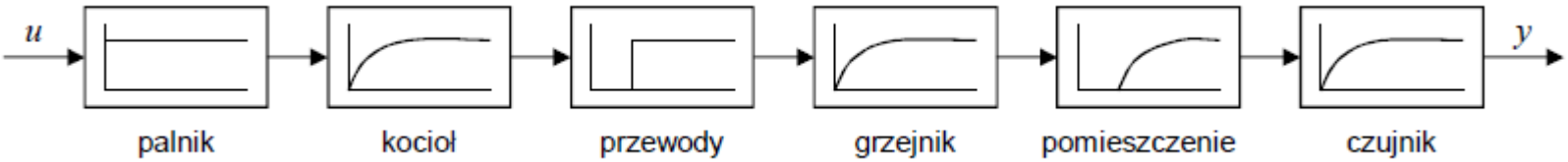




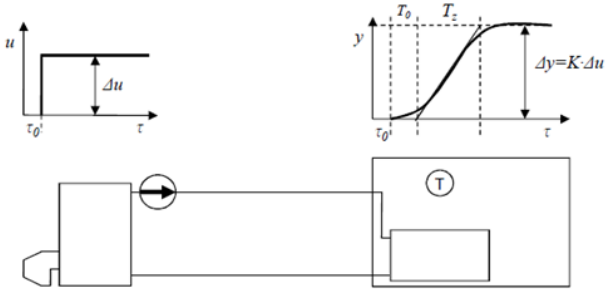
Charakterystyki dynamiczna; c.d.

Obiekty regulacji; c.d.

Obiekt inercyjny wyższego rzędu – przykład:



Charakterystyka obiektu składa się z:
- charakterystyki proporcjonalnej palnika
- proporcjonalnej z opóźnieniem przewodów instalacji
- inercyjnej pierwszego rzędu kotła, grzejnika i czujnika temperatury
- oraz inercyjnej pierwszego rzędu z opóźnieniem pomieszczenia



Charakterystyki dynamiczna; c.d.

Wykorzystanie znajomości charakterystyk dynamicznych obiektów regulacji

Uzyskane z wykresów charakterystyk skokowych wartości stałych czasowych oraz opóźnień obiektów regulacji, wykorzystywane są do:

- **oceny stopnia trudności regulacji**,
- **doboru odpowiedniego typu regulatora**,
- **optymalizacja jego nastaw dynamicznych**.

VIESSMANN Akademia

Charakterystyki dynamiczna; c.d.

Przykładowe wartości stałych czasowych oraz stopnia trudności regulacji:

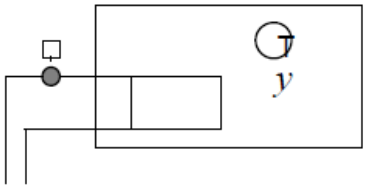
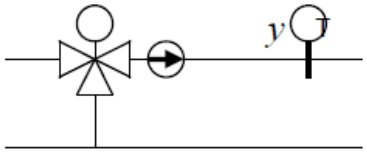
Wielkość regulowana	Opóźnienie zastępcze T_0	Stopień trudności regulacji $S = \frac{T_0}{T_z}$
Temperatura wody w kotle	1÷5 min	0,05÷0,15
Ciąg kominowy	1÷3s	0,3÷1
Temperatura wody za zaworem mieszającym	5÷20s	0,2÷0,5
Temperatura powietrza w pomieszczeniu	3÷5 min	0,1÷0,3
Temperatura ciepłej wody za wymiennikiem	5÷30 s	0,1÷0,8
Temperatura wody basenowej:		
- zasilanie	10÷60 s	0,1÷0,3
- powrót	6÷8 h	
Temperatura na wyjściu z wymiennika c.o.	10÷60 s	0,1÷ 0,6
Temperatura powietrza za układem przepustnic mieszających	1 s	0,3÷0,8
Temperatura powietrza nawiewanego	15 s ÷ 4 min	O,2÷0,6
Temperatura powietrza w wentylowanym pomieszczeniu	0,5÷3 min	0,1÷ 0,3
Temperatura powietrza wywiewanego	0,5÷ 3 min	0,2÷0,4
Wilgotność powietrza w pomieszczeniu	0,5÷ 3 min	0,2÷0,5
Strumień powietrza	< 1 s	0,1÷ 0,5

Charakterystyki dynamiczna; c.d.

Dobór typu regulatora:

Przykładowe przybliżone parametry charakterystyki obiektu regulacji i zalecane typy regulatorów:

S – zalecane, Sw – stosowane warunkowo, 0 – nie stosowane

Wielkość regulowana Obiekt regulacji	Czas opóźnienia T_0	Zastępcza stała czasowa T_z	Stopień trudności regulacji S	Zakres proporcjonalności X_h	Współczynnik wzmocnienia K	Regulator: Dwustanowy	P	I	PI
Temperatura wewnętrzna 	5 – 15 min	1 – 2,5 h	0,05–0,2	20 – 30 K	0,2 – 0,3 K/%	S	S	0	Sw
Temperatura wody zasilającej 	10 – 20 s	30 – 60 s	0,2 –0,4	20 – 80 K	0,2 – 0,8 K/%	0	Sw	Sw	S

Charakterystyki dynamiczna; c.d.

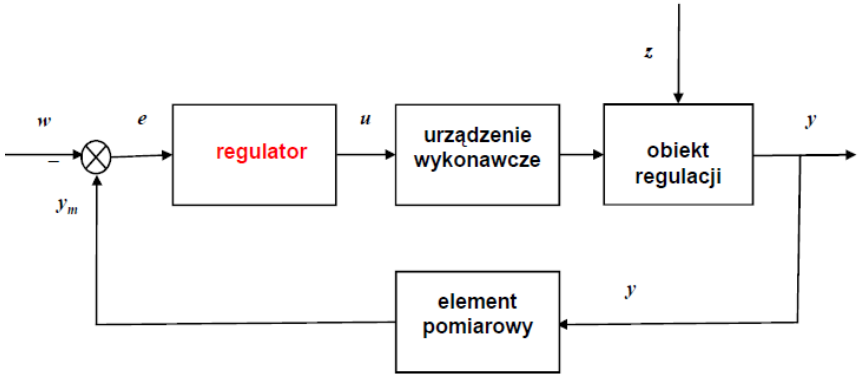
Dobór typu regulatora; c.d.

W systemach ogrzewania i klimatyzacji, dla większości obiektów regulacji, wartość stopnia trudności regulacji mieści się w przedziale od 0,02 do 0,4. Dlatego, do automatyzacji tych systemów stosowane są regulatory typu **PI**, **P** oraz regulatory **dwustanowe**.

Zakres proporcjonalności X [K], oznacza o ile ma się zmienić wielkość regulowana, aby nastąpiła pełna zmiana wielkości sterującej, np. pełne otwarcie/zamknięcie zaworu regulacyjnego.

Regulatory w układzie regulacji

- porównuje wielkość regulowaną y_m z wielkością zadaną w i określa wielkość uchybu regulacji (błędu) $e = w - y_m$
- w zależności od odchyłki regulacji, czasu jej trwania oraz od szybkości zmian, wytwarza sygnał sterujący u (wyjściowy) o takiej wartości żeby błąd regulacji e miał dostatecznie małą wartość
- kształtuje własności dynamiczne układu regulacji, tak aby **układ był stabilny** oraz **zapewniał wymaganą jakość regulacji**.



Podział regulatorów

Ze względu na **sposób dostarczenia energii potrzebnej do napędu elementu wykonawczego**:

Regulatory bezpośredniego działania – energię potrzebna do napędu elementu wykonawczego pobierają z obiektu regulacji za pośrednictwem elementu pomiarowego, np. regulatory temperatury, ciśnienia, przepływu.

Regulatory o działaniu pośrednim – zasilane w energię pomocniczą z obcego źródła, np. elektryczne, elektroniczne;
które dzielą się na:
- elektryczne i elektroniczne
- pneumatyczne
- hydrauliczne
- mechaniczne.

VIESSMANN Akademia

Podział regulatorów; c.d.

W zależności od **postaci sygnału wyjściowego**:

- **o wyjściu (sygnale) ciągłym** – ciągła zależność pomiędzy wielkością regulowaną *y* a odchyłką regulacji *e*

- **o wyjściu nieciągłym**:
dwustawne (załącz/wyłącz),
trójstawne (otwórz/spoczynek/zamknij)

- **quasi-ciągłe** – kombinacja regulatora trójstawnego z określonym napędem

Podział regulatorów; c.d.

Sygnały wejściowe/wyjściowe regulatora

W regulatorach elektrycznych sygnały wprowadzane i wyprowadzane z regulatora dzielimy na: **sygnały analogowe A** oraz **sygnały cyfrowe D**.

W technice grzewczo-wentylacyjnej, jako standardowe **sygnały analogowe** wejściowe i wyjściowe stosuje się:

- **napięcie** o zakresie: 0/2 do 10 V
- **prąd**: 0/4 do 20 mA
- **ciśnienie** (regulatory pneumatyczne): 0,2 do 1,0 bar

W niektórych regulatorach, jako wielkość wejściową analogową, stosuje się **rezystancję** mierzoną w Ω.

Sygnały cyfrowe wejściowe i wyjściowe interpretowane są jako informacja lub polecenie: **załącz/wyłącz**.

Podział regulatorów; c.d.

Własności dynamiczne

Podstawowym kryterium podziału regulatorów są ich **własności dynamiczne**, określające związek pomiędzy **sygnałem wyjściowym *u*, a odchyłką regulacji** jako **sygnałem wejściowym *e***.

Podział regulatorów ze względu na własności dynamiczne:

- proporcjonalne typu **P**
- całkujące typu **I**
- proporcjonalno-całkujące typu **PI**
- proporcjonalno-różniczkujące typu **PD**
- proporcjonalno-całkująco-różniczkujące typu **PID**

Jakość regulacji

Ocena jakości regulacji polega na analizie dwóch stanów układu regulacji:

- stanu przejściowego – dokładność dynamiczna
- stanu ustalonego – dokładność statyczna

Dokładność dynamiczna - określa zdolność układu do wiernego i szybkiego śledzenia wartości zadanej.

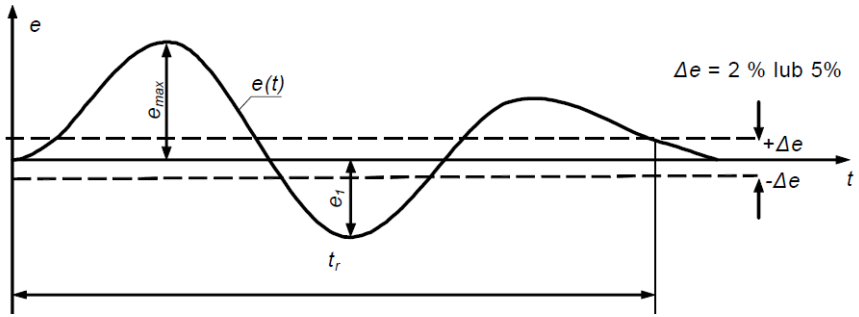
Dokładność statyczna – określa zdolność układu do utrzymywania wartości regulowanej jak najbliżej wartości zadanej w stanie ustalonym, tj. po zakończeniu stanu przejściowego.

Jakość regulacji; c.d.

Użytkownik ocenia układ regulacji analizując:

- stabilność układu
- statyczny uchyb regulacji
- przeregulowanie
- czas regulacji (czas ustalania)

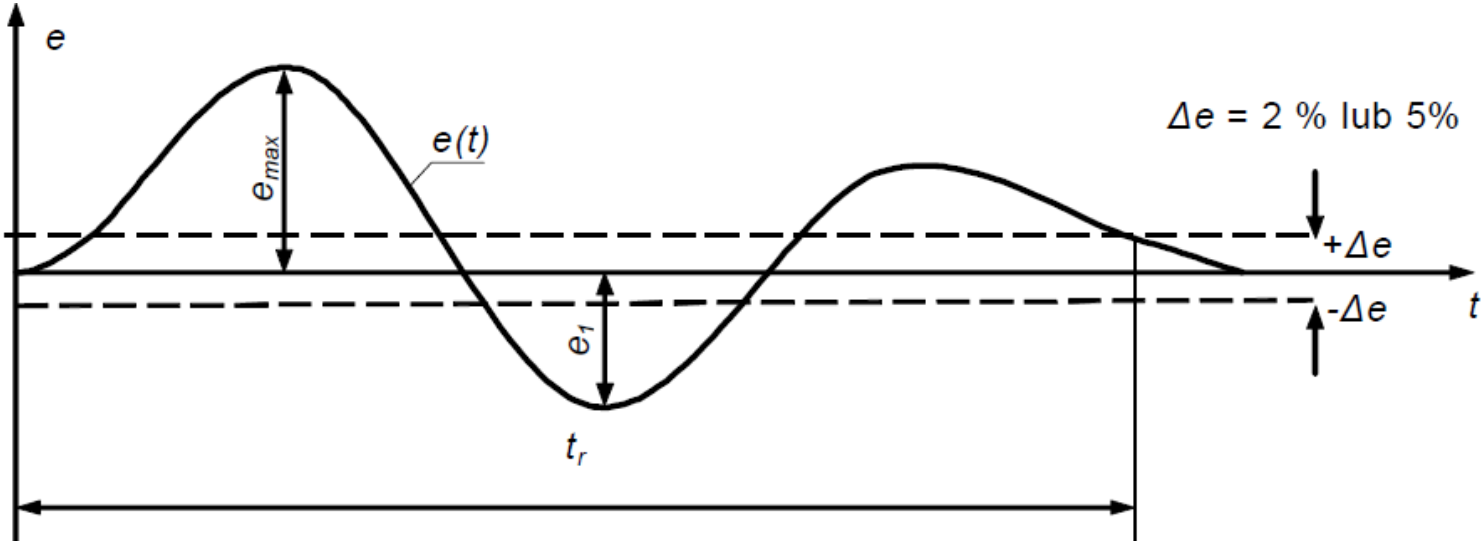
Przykładowy przebieg odchyłki regulacji spowodowany zakłóceniem działającym na układ, z zaznaczeniem ważniejszych wskaźników jakości regulacji: *e* – odchyłka regulacji; *emax* – odchyłka maksymalna; *e1* – odchyłka o przeciwnym znaku do *emax*; *tr* – czas regulacji



Jakość regulacji; c.d.

Stabilność regulacji – układ jest stabilny, gdy zakłócenie powoduje tylko **chwilowe wytrącenie układu ze stanu równowagi**.

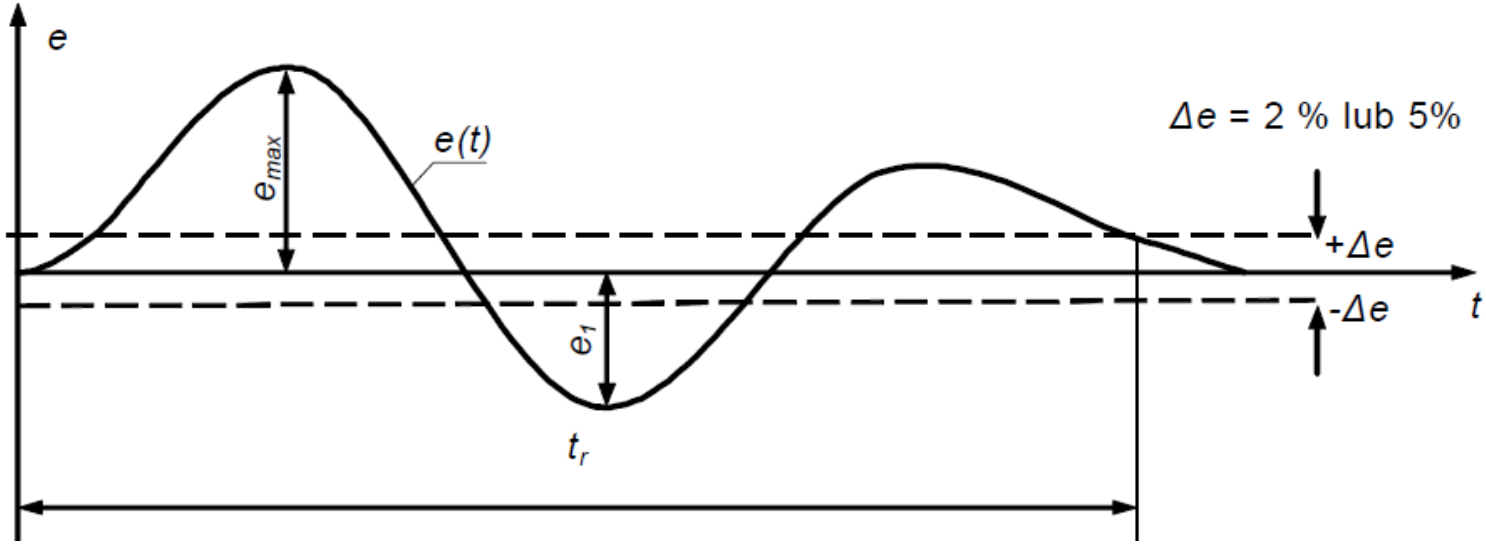
Statyczny uchyb regulacji *e* – jest to największa różnica pomiędzy wartością sygnału zadanego *w* i aktualną wartością sygnału regulowanego *y*, zmierzona w stanie ustalonym: $e = w - y$



Jakość regulacji; c.d.

Przeregulowanie ε – jest to procentowa wartość maksymalnego uchybu *e1* o znaku przeciwnym do uchybu początkowego, odniesiona do maksymalnego uchybu początkowego *emax*.

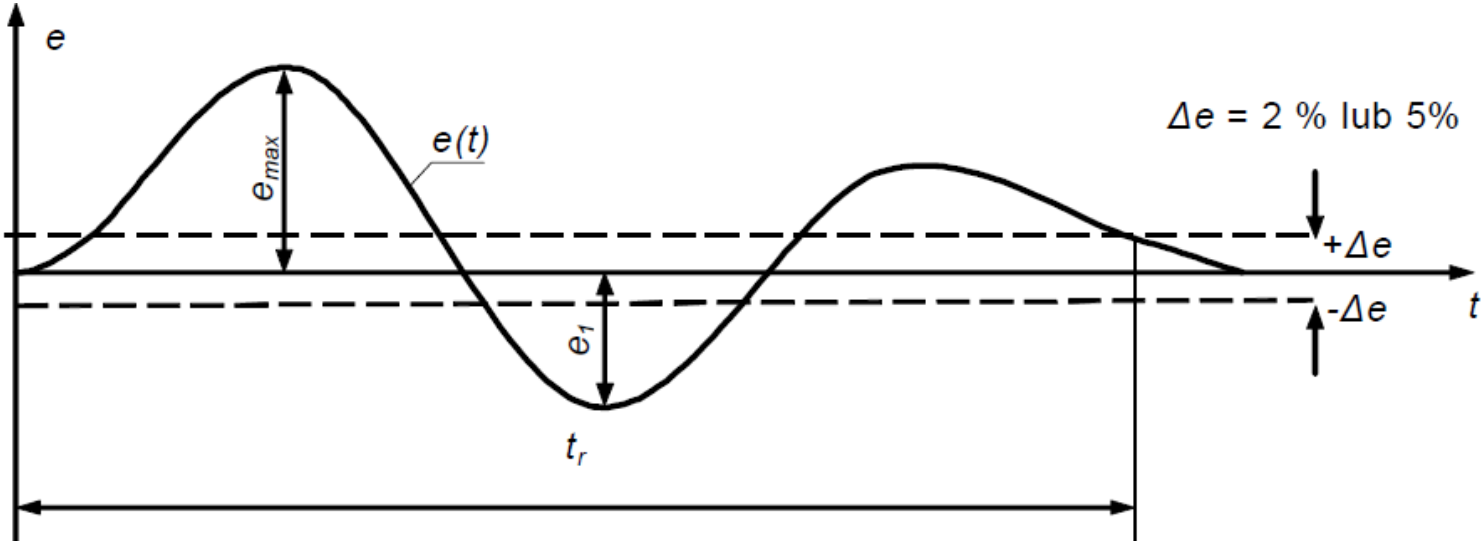
$$\varepsilon = \frac{e_1}{e_{\max}} \cdot 100\%$$



Jakość regulacji; c.d.

Czas regulacji *tr* – jest to czas, po upływie którego wartość uchybu *e(t)* nie przekracza wartości dopuszczalnej Δ*e*

Δ*e* przyjmuje się najczęściej w wysokości 2% wartości zadanej *w* (ustalonej)



Regulatory bezpośredniego działania

- energię potrzebną do działania pobierają za pomocą czujnika z obiektu regulacji (regulatory bez energii pomocniczej)
- element pomiarowy, regulator, napęd i element wykonawczy stanowią najczęściej jedną całość
- zaleta – prosta budowa i niski koszt
- wada – mała dokładność regulacji spowodowana odchyłką statyczną i histerezą oraz możliwość regulacji wyłącznie regulacji stałowartościowej

Regulatory bezpośredniego działania; c.d.

- zazwyczaj wykonywane są jako proporcjonalne **P**, bez możliwości zmiany współczynnika wzmocnienia oraz bez możliwości realizacji regulacji programowej
- wartość współczynnika wzmocnienia wynika z konstrukcji regulatora oraz właściwości obiektu regulacji
- wartość zadana w regulatorach tego typu nastawiana jest mechanicznie

Regulatory bezpośredniego działania; c.d.

Zastosowanie:

Regulatory bezpośredniego działania stosowane są do regulacji:

- temperatury – termostaty grzejnikowe, ograniczniki temperatury powrotu, regulatory temperatury ciepłej wody
- ciśnienia – regulatory i reduktory ciśnienia
- różnicy ciśnień – regulatory różnicy ciśnień
- przepływu – regulatory i ograniczniki przepływu
- poziomu – regulatory poziomu wody

Wykonywane są również jako **regulatory wielofunkcyjne** bezpośredniego działania, na przykład w ciepłownictwie, **do jednoczesnej regulacji różnicy ciśnień i przepływu wody** sieciowej w węźle.

Regulatory bezpośredniego działania; c.d.

Przykład: Termostat grzejnikowy z zaworem grzejnikowym,

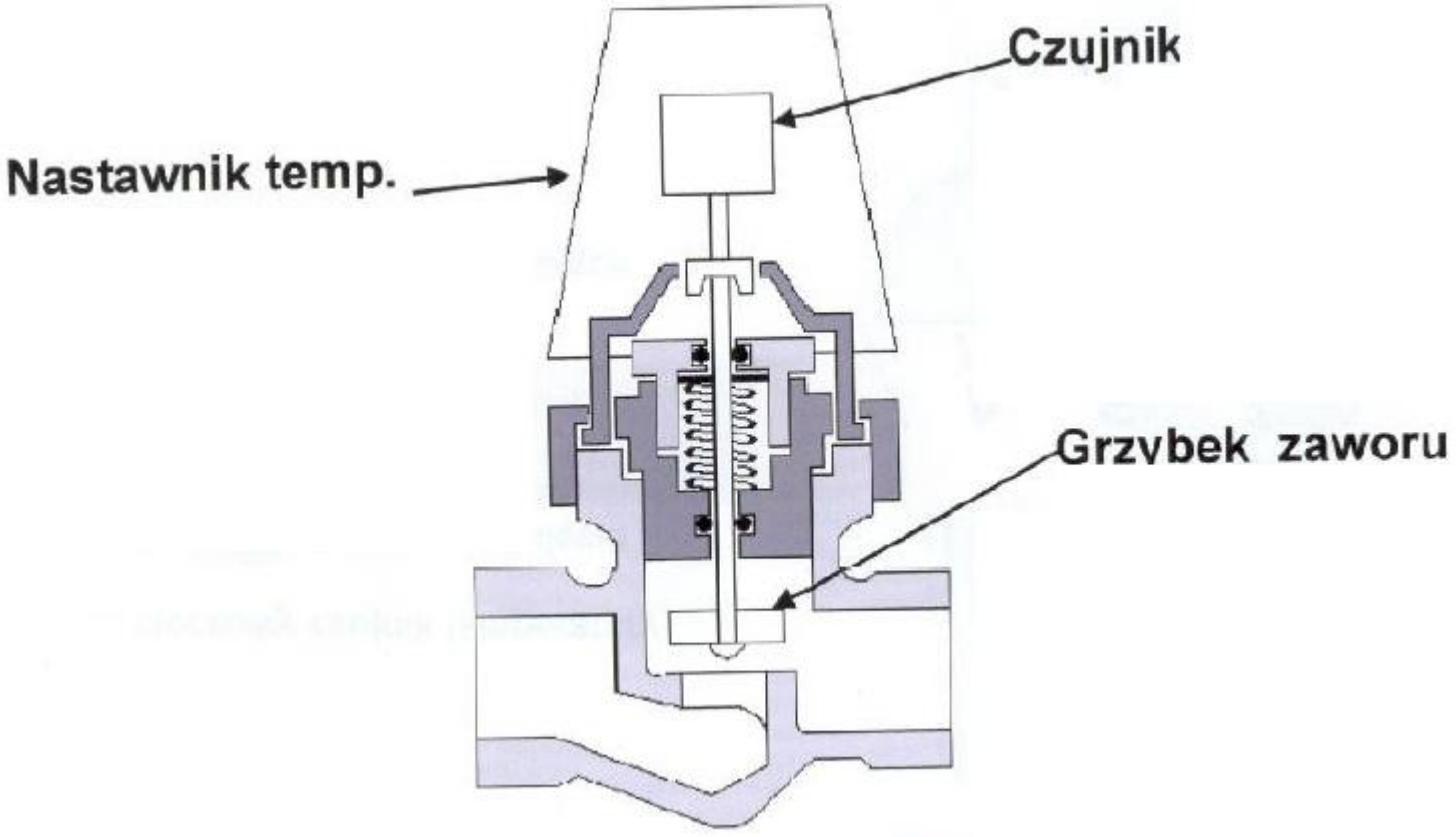
tworzy pracujący bez energii pomocniczej **regulator temperatury** o bezpośrednim działaniu ciągłym **typu P**.

Urządzenie sterujące (termostat), składa się z:
- czujnika temperatury
- popychacza
- zadajnika

Zespół wykonawczy – zawór grzejnikowy zawierający element nastawczy (grzybek),

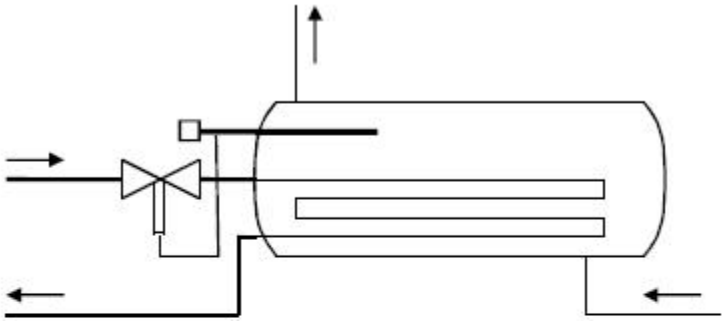
Regulatory bezpośredniego działania; c.d.

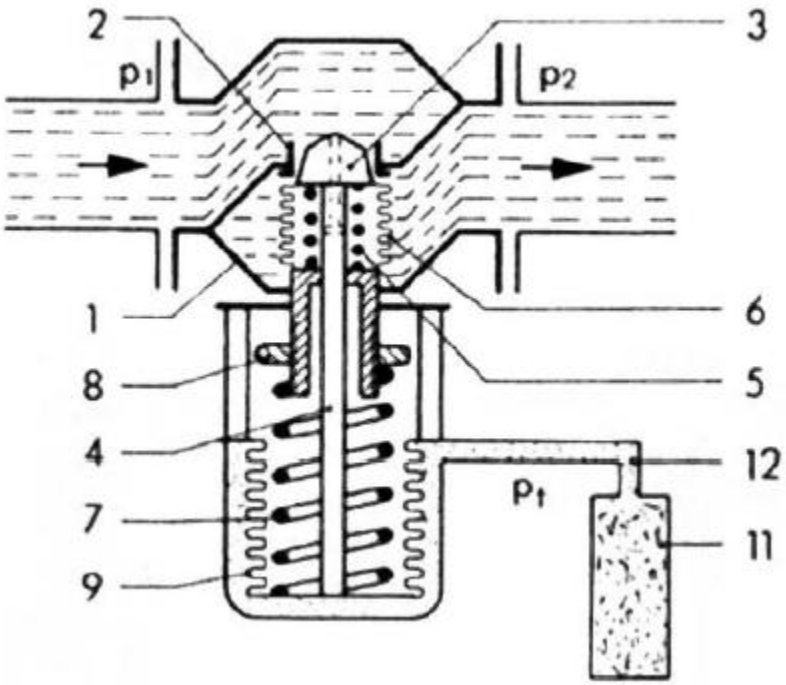
Przykład: Termostat grzejnikowy z zaworem grzejnikowym, c.d.



Regulatory bezpośredniego działania; c.d.

Przykład: Regulator temperatury c.w.u.
Termostat z nastawnikiem wartości zadanej, kapilarą oraz z czujnikiem temperatury pracującym na zasadzie adsorbcji.





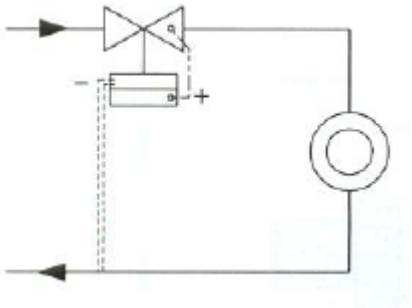
Regulatory bezpośredniego działania; c.d.

Przykład: Regulator różnicy ciśnień

Urządzenie regulacyjna **składa się z**: regulatora, zaworu regulacyjnego i siłownika.

Sterowanie zaworem realizowane jest przez wykorzystanie energii przepływającego czynnika, np. wody grzewczej, bez konieczności doprowadzenia energii z zewnątrz.

Wzrost różnicy ciśnień zamyka lub otwiera zawór.

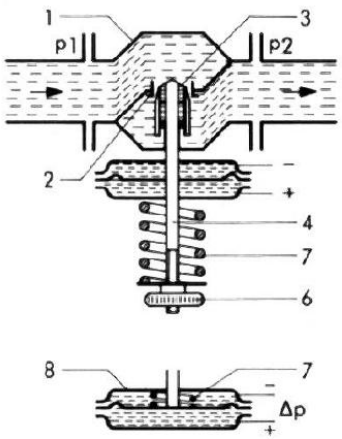


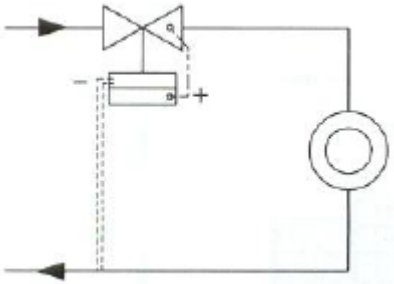
Regulatory bezpośredniego działania; c.d.

Przykład: Regulator różnicy ciśnień; c.d.

Zasada działania:

- regulowana różnica ciśnień Δp wytwarza na powierzchni membrany siłownika siłę: $Fm = \Delta p \times A$
- siła ta porównywana jest na trzpieniu grzyba z siłą napięcia sprężyny Fs odpowiadającą wartości zadanej
- jeżeli zmienia się wartość różnicy ciśnień Δp, a wraz z nią również siła *Fm,* grzyb zaworu przesuwany jest do momentu, gdy $Fm = Fs$
- dla zadanej powierzchni membrany *A* stała sprężyny nastawczej określa wielkość współczynnika wzmocnienia *Kp* oraz zakres proporcjonalności *Xp*
- urządzenia są regulatorami proporcjonalnymi sterowanymi za pomocą medium, np. ciśnienia wody.





Regulatory dwustawne

Proste w budowie i działaniu = niedrogie.

W technice grzewczej i klimatyzacji stosowane są najczęściej jako urządzenia zabezpieczające, przed:

- nadmiernym (niedopuszczalnym) spadkiem lub wzrostem temperatury – **- termostaty**
- nadmiernym (niedopuszczalnym) spadkiem lub wzrostem ciśnienia – **- presostaty.**

Służą również jako: regulatory wilgotności (higrostaty), oraz jako regulatory poziomu cieczy.

Regulatory dwustawne; c.d.

Regulacja dwustawna jest **regulacją nieciągłą**,
w której wielkość sterująca przyjmuje tylko dwie wartości: **minimalną lub maksymalną**, w zależności od tego czy sygnał uchybu jest dodatni czy ujemny.

Minimalna wartość wielkości sterującej oznaczana jest zwykle jako umowne „0”, a maksymalna jako „1”.

Wartość „**0**” – oznacza **wyłączenie** sygnału wyjściowego z regulatora, a wartość „**1**” – **włączenie** sygnału wyjściowego.

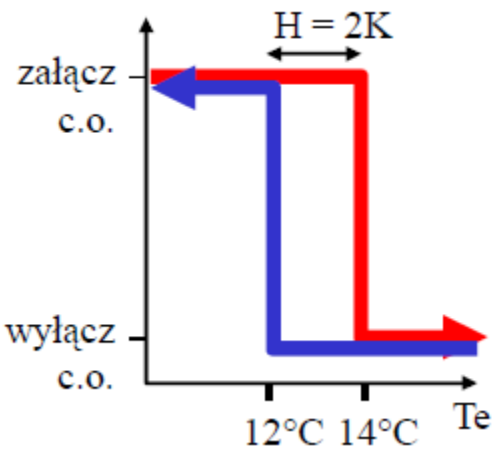
Regulatory dwustawne; c.d.

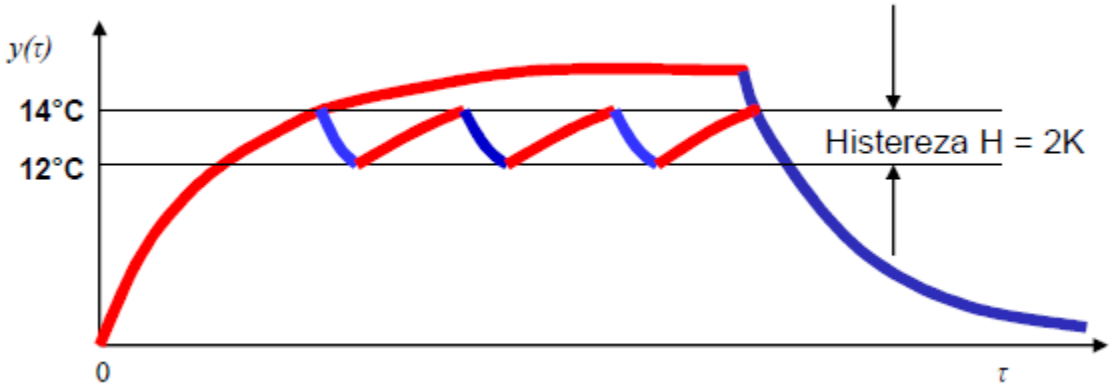
Przełączenie sygnału sterującego następuje po przejściu sygnału uchybu przez obszar nazywany **strefą histerezy**.

Histereza pełni w tym przypadku **pozytywną rolę** zapobiegania zbyt częstemu działaniu mechanizmu załączającego regulatora (np. styki elektryczne) oraz zmniejsza częstotliwość załączania urządzeń wykonawczych.

Regulatory dwustawne; c.d.

Przykładowy przebieg wartości regulowanej w układzie z regulatorem dwustawnym:



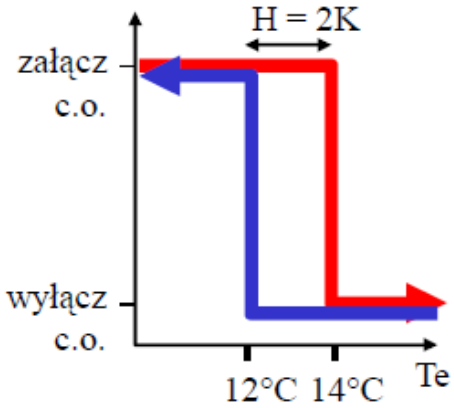


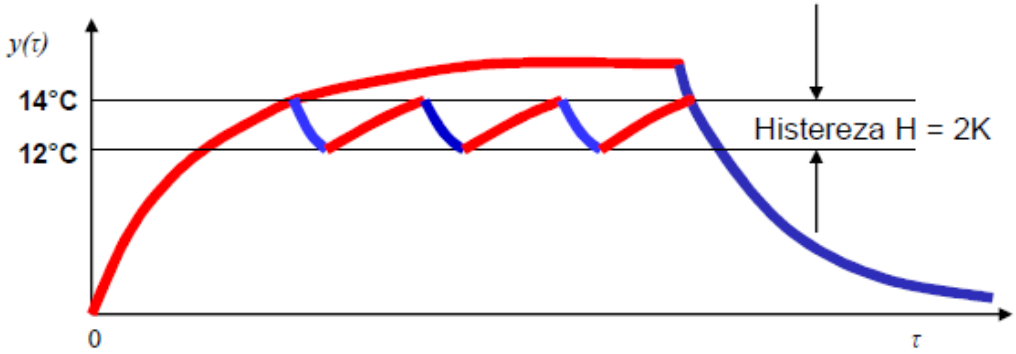
Sygnał wyjściowy układu regulacji oscyluje pomiędzy dwoma granicami strefy histerezy.
Jakość regulacji dwustawnej ocenia się na podstawie amplitudy, częstotliwości oraz wartości średniej oscylacji.

Regulatory dwustawne; c.d.

Przykładowy przebieg wartości regulowanej w układzie z regulatorem dwustawnym: c.d.

Jak wynika z rys., amplituda drgań wielkości regulowanej może być zmniejszona przez ograniczenie szerokości obszaru histerezy. Spowoduje to jednak zwiększenie częstotliwości przełączeń regulatora oraz liczby zadziałań elementów wykonawczych, co może niekorzystnie wpłynąć na trwałość tych urządzeń.



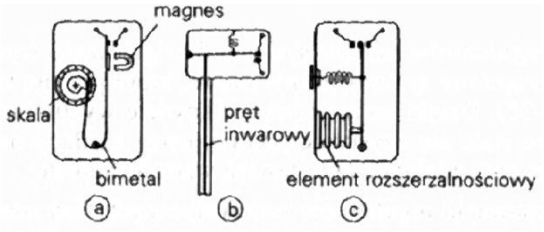


Termostaty

Termostat składa się z czujnika temperatury i regulatora,

W termostatach stosowane są najczęściej czujniki rozszerzalnościowe:

- **bimetaliczne** – „zwinięte razem” dwa metalowe paski o różnej rozszerzalności cieplnej
- **prętowe** – dwa powiązane ze sobą pręty, jeden z materiału o dużej rozszerzalności cieplnej, drugi – z materiału o małej rozszerzalności
- **membranowe** (lub **z kapilarą**) – wykorzystują zjawisko rozszerzalności cieczy (np. nafta), gazów (np. butan) oraz zjawisko adsorbcji

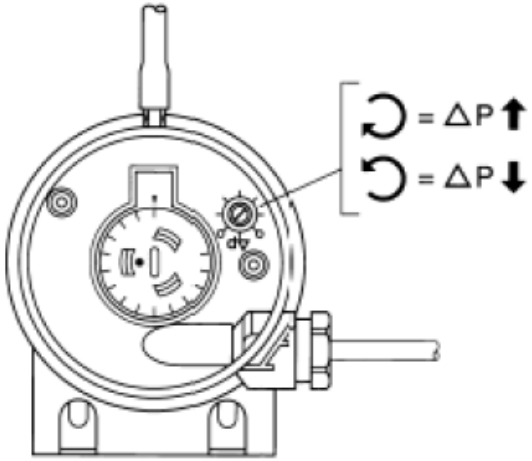


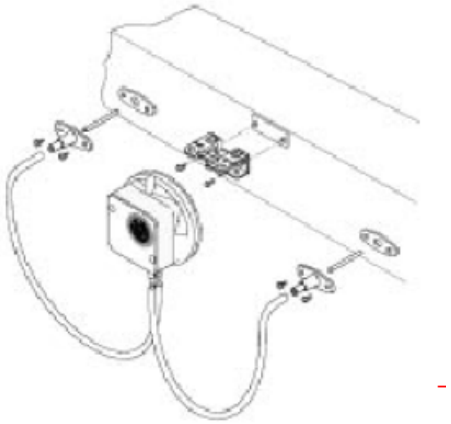
Różne termostaty elektryczne: a - bimetalowy,
b - prętowy, c – membranowy.

Presostaty

Presostaty różnicy ciśnień stosowane są wszędzie tam, gdzie muszą być sygnalizowane zmiany różnicy ciśnień, np.:

- zabezpieczenie kotłów
- zabezpieczenie agregatów chłodniczych
- zabezpieczenie wymienników płytowych przed oszronieniem
- kontrola sprężu wentylatorów
- kontrola stanu filtrów





„Regulatory” (sterowniki) cyfrowe DDC

W technice HVAC (heating, ventilation, and air conditioning) i OZE powszechnie stosowane są regulatory i sterowniki cyfrowe.

Regulatory cyfrowe – małe urządzenia mikroprocesorowe, które głównie realizują funkcje regulacyjne, np. cyfrowy regulator temperatury, cyfrowy regulator przepływu.

Sterowniki cyfrowe – bardziej rozbudowane urządzenia mikroprocesorowe z przewagą funkcji sterowania.

Potocznie: „Regulatory cyfrowe” = „Sterowniki cyfrowe”

„Regulatory” (sterowniki) cyfrowe DDC; c.d.

DDC *(Direct Digital Control - system sterowania bezpośredniego (bezpośrednie sterowanie cyfrowe)) – regulator cyfrowy (np. mikroprocesor – „komputer”) steruje bezpośrednio urządzeniem wykonawczym np. zaworem, klapą).*

Układy pośredniego sterowania cyfrowego *– regulator cyfrowy pełni funkcję nadrzędną, steruje najpierw regulatorem analogowym określając np. zmiany jego nastaw (np. wykonuje obliczenia optymalizacyjne dla regulatora PID), a dopiero ten regulator analogowy steruje poszczególnymi urządzeniami wykonawczymi.*

„Regulatory” (sterowniki) cyfrowe scalają regulację, optymalizację i sterowanie.

Umożliwiają:

- realizację dowolnie złożonych algorytmów sterowania, włącznie ze sterowaniem optymalnym i adaptacyjnym
- ciągły pomiar i rejestracja wartości dowolnych parametrów
- przetwarzanie danych pomiarowych
- wykrywanie i sygnalizacja stanów awaryjnych
- zwiększenie dokładności sterowania

„Regulatory” (sterowniki) cyfrowe DDC; c.d.

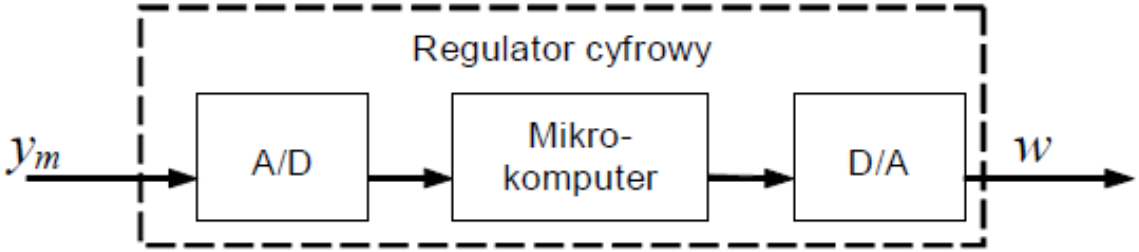
Regulator analogowy i cyfrowy

Podstawowa różnica polega na tym, że

w regulatorach analogowych sygnały analogowe ulegają ciągłej obróbce,

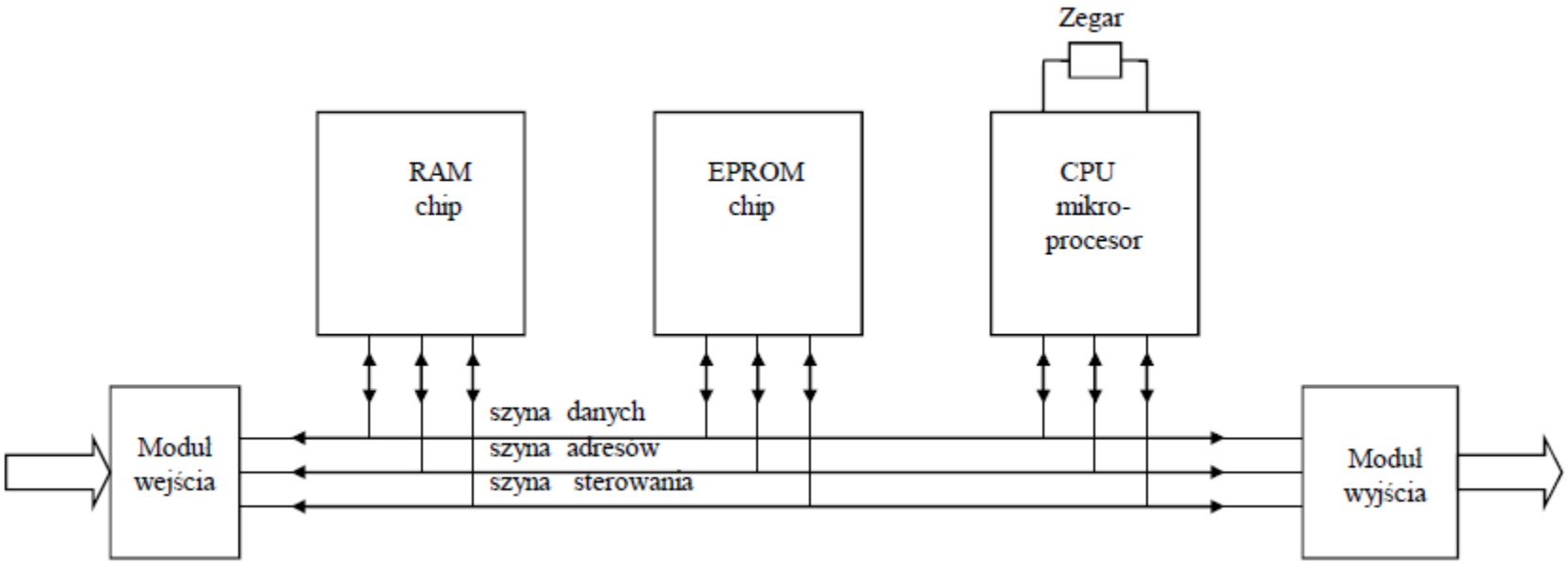
a w regulatorach cyfrowych następuje zamiana sygnału analogowego na cyfrowy (binarny), następnie obróbka sygnału i ponowna zamiana na sygnał analogowy.

Sygnały w reg. cyfrowych próbkowane są co ustalony okres czasu (cykliczny charakter pracy), obliczenia cyfrowe wykonywane są dla „dyskretnego czasu” zamiast w sposób ciągły.



„Regulatory” (sterowniki) cyfrowe DDC; c.d.

Schemat funkcjonowania regulatora cyfrowego (sterownika):

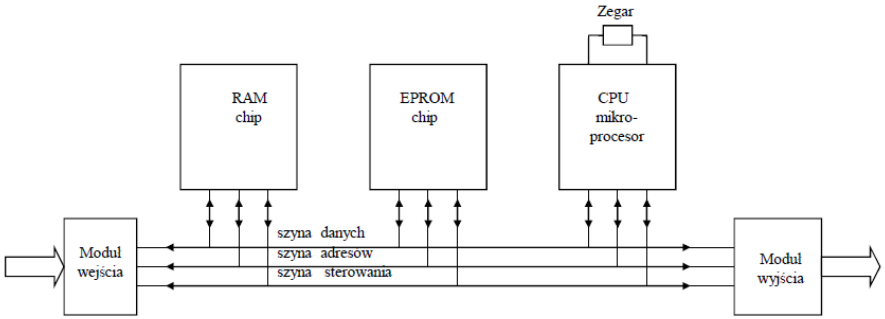


„Regulatory” (sterowniki) cyfrowe DDC; c.d.

Schemat funkcjonowania regulatora cyfrowego (sterownika): c.d.

Mikroprocesor CPU (*Central Processing Unit)*
jest elementem głównym mikrokomputera, który rozumie sformułowane w programie rozkazy i steruje składnikami systemu w nadawanym przez **zegar takcie** systemowym - w zaprogramowanej kolejności.

Mikroprocesor komunikuje się z pamięcią, w której przechowywane są programy podstawowe, dane oraz programy użytkowe.

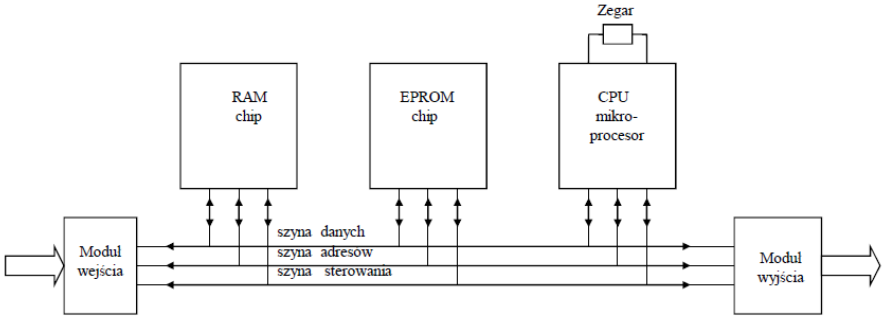


„Regulatory” (sterowniki) cyfrowe DDC; c.d.

Schemat funkcjonowania regulatora cyfrowego (sterownika): c.d.

Pamięć robocza RAM (Random Access Memory)
Zapisywane są w niej wyniki pośrednie.
Mogą tam być zapamiętywane dane zmienne, jak: wartości zadane, nastawy regulatora, harmonogramy czasowe.

Dane te muszą pozostać w pamięci również po wyłączeniu napięcia sieciowego, dlatego ta część mikrokomputera posiada **zasilanie bateryjne.**

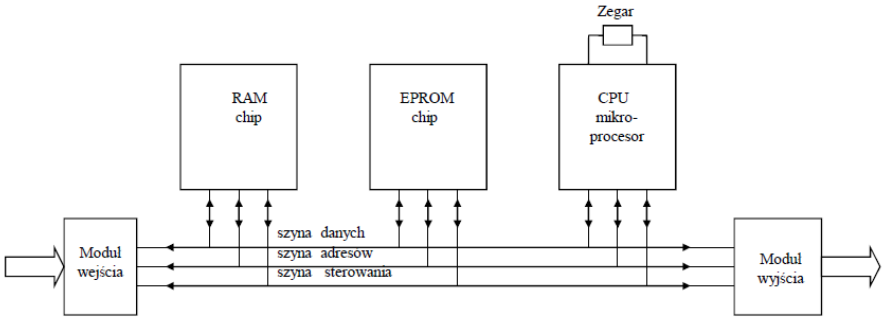


„Regulatory” (sterowniki) cyfrowe DDC; c.d.

Schemat funkcjonowania regulatora cyfrowego (sterownika): c.d.

Pamięć operacyjna – stała, np. EPROM

W pamięci operacyjnej są zapisane programy wprowadzane przez producenta sterownika, projektanta systemu automatyki lub samego użytkownika.
W zależności od sposobu zapisu rozróżnia się następujące rodzaje pamięci stałej: typu EPROM, EEPROM i FLASH EPROM.

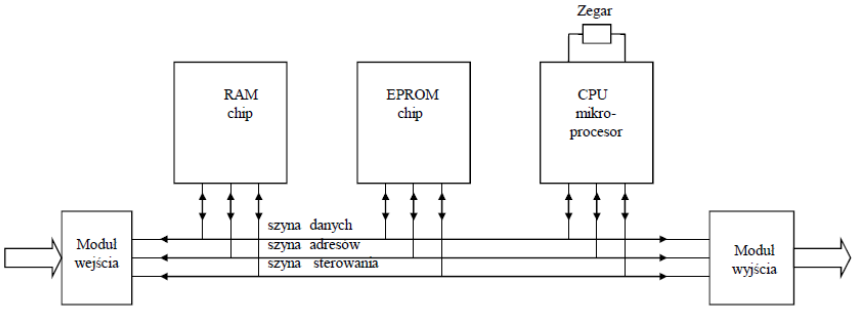


„Regulatory” (sterowniki) cyfrowe DDC; c.d.

Schemat funkcjonowania regulatora cyfrowego (sterownika): c.d.

Interfejs (PORT)

Służy do wprowadzenia do regulatora informacji w postaci cyfrowej (binarnej), np. o położeniu łączników oraz wysyłaniu z regulatora cyfrowych sygnałów wyjściowych, np. do przekaźników i lampek kontrolnych.
Wyjścia mogą być również podłączone do drukarek raportów roboczych, do nadrzędnego komputera lub do systemu BMS.



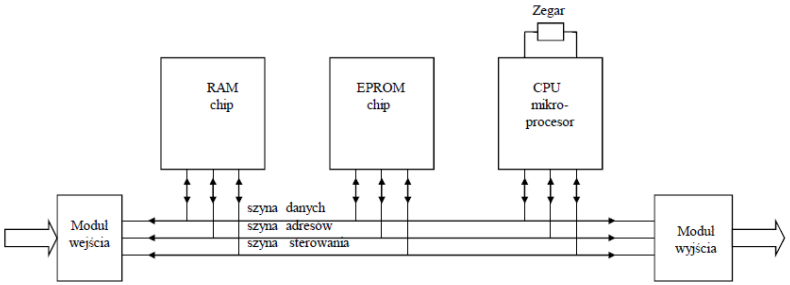
„Regulatory” (sterowniki) cyfrowe DDC; c.d.

Schemat funkcjonowania regulatora cyfrowego (sterownika): c.d.

Interfejs (PORT); c.d.

Moduły wejściowe i wyjściowe sprzęgają sterownik z obiektem sterowania.

Elementem modułów są **przetworniki analogowo-cyfrowe A/C i C/A** oraz **bloki wejść i wyjść cyfrowych (interfejs).**



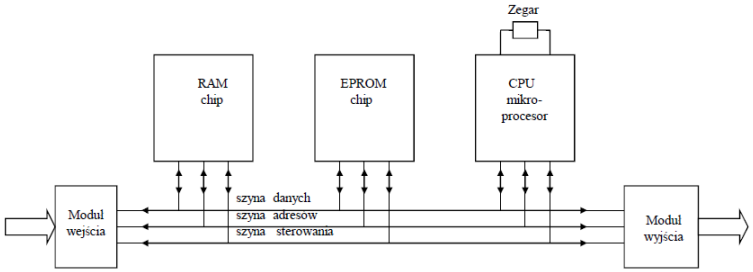
„Regulatory” (sterowniki) cyfrowe DDC; c.d.

Schemat funkcjonowania regulatora cyfrowego (sterownika): c.d.

Interfejs (PORT); c.d.

Przetworniki stosowane są w celu wprowadzenia do sterownika informacji o wielkości analogowej mierzonej na obiekcie np.: temperaturze, ciśnieniu, wilgotności, napięciu, prądzie, itp.

Sygnały w postaci analogowej muszą być przetworzone na sygnał cyfrowy (binarny), bo tylko w takiej postaci sterownik może te informacje wykorzystać.



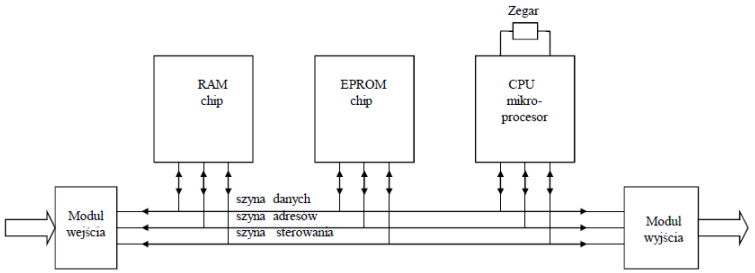
„Regulatory” (sterowniki) cyfrowe DDC; c.d.

Schemat funkcjonowania regulatora cyfrowego (sterownika): c.d.

Interfejs (PORT); c.d.

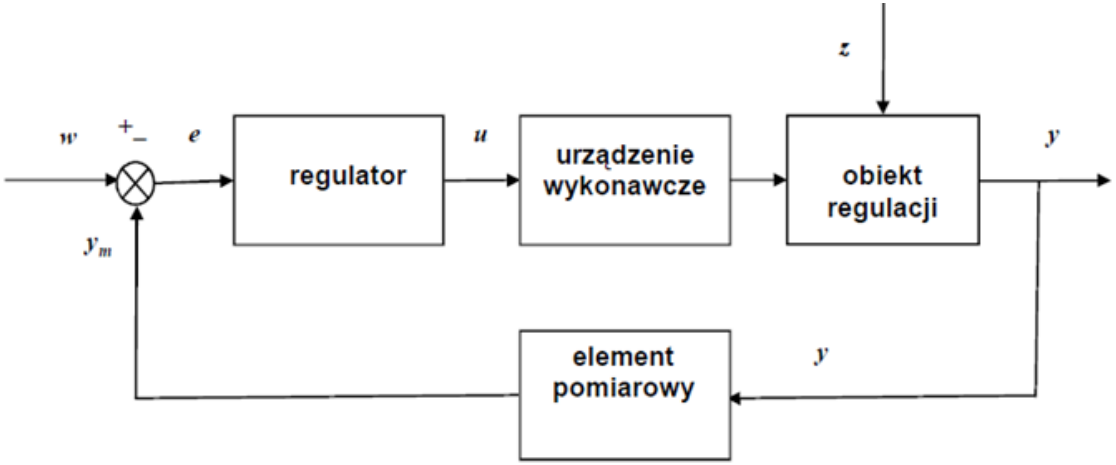
Sterowanie urządzeniami wykonawczymi układu regulacji może być realizowane przy pomocy sygnałów cyfrowych i analogowych.

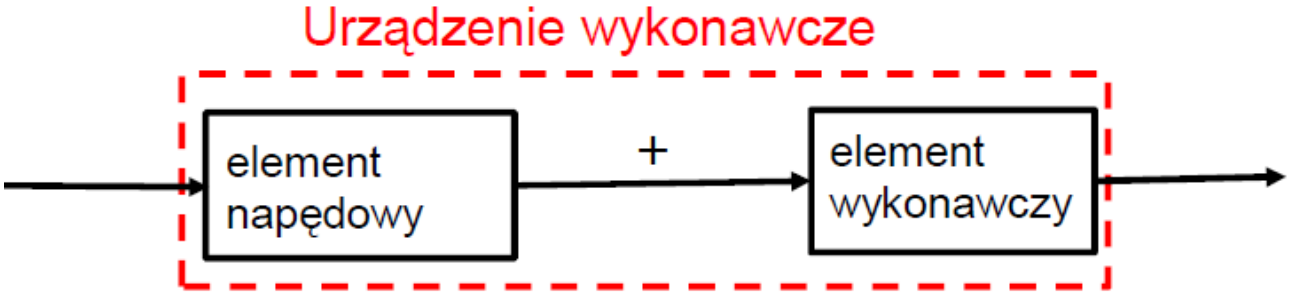
Wszystkie sygnały wychodzące z mikrokomputera mają charakter binarny, dlatego w celu wytworzenia sygnałów analogowych na wyjściu ze sterownika stosowane są **przetworniki cyfrowo-analogowe C/A.**



Urządzenie i elementy wykonawcze

Urządzenie wykonawcze = element napędowy + element wykonawczy



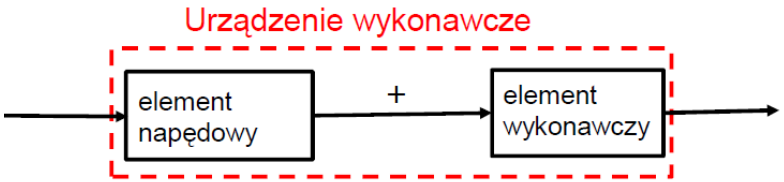


Urządzenie i elementy wykonawcze; c.d.

Urządzenie wykonawcze, jest to urządzenie wymuszające zmiany wielkości regulowanej *y*.

Urządzeniem wykonawczym jest najczęściej:

- pompa
- wentylator
- podajnik
- przepustnica powietrza
- zawór regulacyjny.

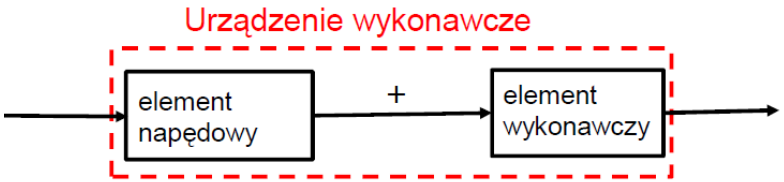


Urządzenie i elementy wykonawcze; c.d.

Napęd elementu wykonawczego

Najczęściej stosowanymi napędami elementów wykonawczych, są:
- siłowniki zaworów i przepustnic
- silniki pomp i wentylatorów.

Siłowniki służą do zmiany stopnia otwarcia zaworów i przepustnic, a silniki do utrzymania stałej lub zmiennej prędkości obrotowej pomp i wentylatorów.



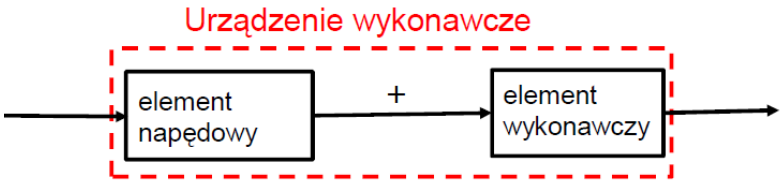
Urządzenie i elementy wykonawcze; c.d.

Napęd elementu wykonawczego; c.d.

Jako napędy zaworów regulacyjnych stosuje się

w układach nieelektrycznych siłowniki:
- mechaniczne
- hydrauliczne
- pneumatyczne

w układach elektrycznych siłowniki:
- elektryczne
- elektrohydrauliczne
- termoelektryczne
- elektromagnetyczne

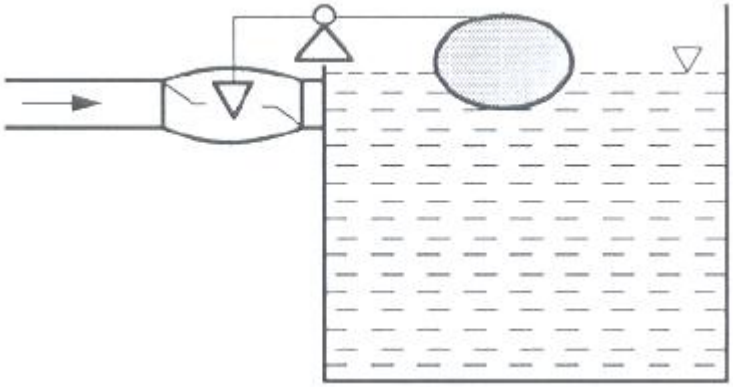


Urządzenie i elementy wykonawcze; c.d.

Napęd elementu wykonawczego; c.d.

Siłowniki mechaniczne

Stosowane są do regulacji poziomu cieczy jako element pływakowego regulatora bezpośredniego działania, gdzie zmiany poziomu, mierzone czujnikiem pływakowym, są przenoszone za pomocą dźwigni mechanicznej na ruchy grzybka zaworu regulacyjnego.

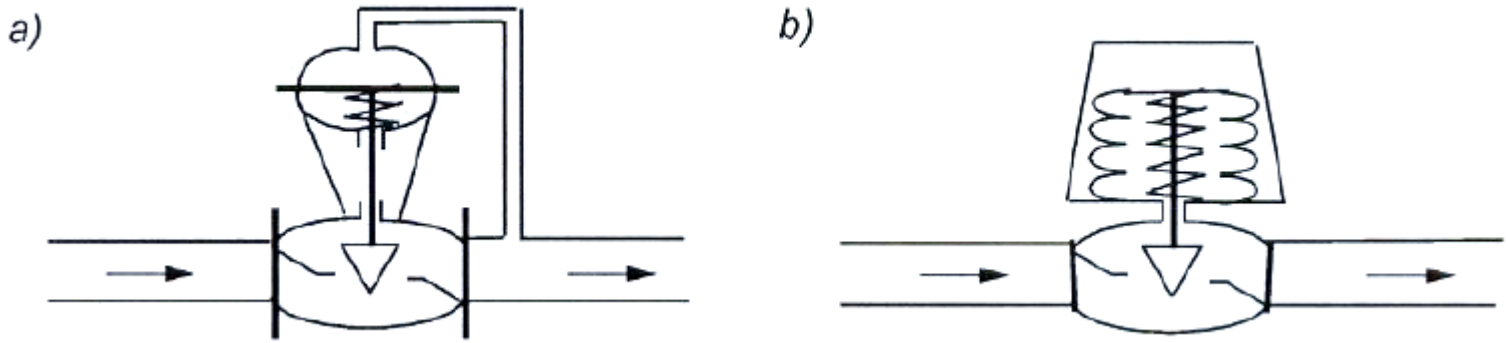


Urządzenie i elementy wykonawcze; c.d.

Napęd elementu wykonawczego; c.d.

Siłowniki hydrauliczne

Siłownik hydrauliczny wyposażony jest w otwartą (rys. a) lub zamkniętą (rys. b) komorę wypełnioną cieczą manometryczną. Zmiana ciśnienia w komorze siłownika powoduje ruch membrany lub mieszka połączonego z grzybkiem i zmiany stopnia otwarcia zaworu.



Urządzenie i elementy wykonawcze; c.d.

Napęd elementu wykonawczego; c.d.

Siłowniki elektryczne zaworów

W siłownikach elektrycznych energia elektryczna przetwarzana jest na energię mechaniczną, która wykorzystywana jest do napędzania elementu nastawczego.

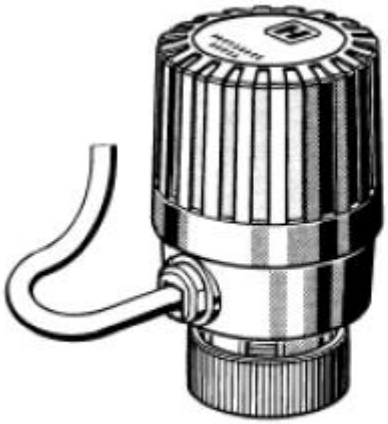
Trzpień siłownika napędzany jest silnikiem za pośrednictwem **przekładni redukcyjnej zębatej** o dużym przełożeniu (zmniejszenie prędkości) oraz **przekładni ślimakowej** zamieniającej ruch obrotowy w ruch posuwisty.

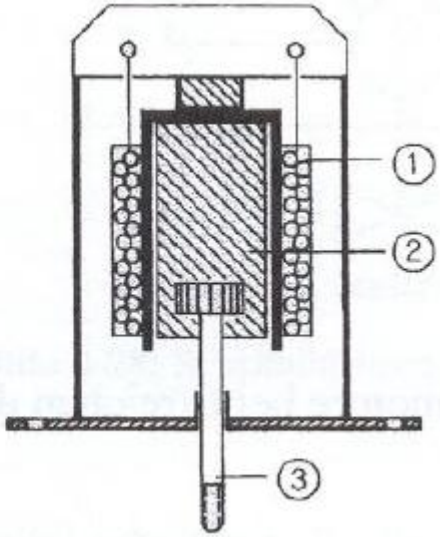
Urządzenie i elementy wykonawcze; c.d.

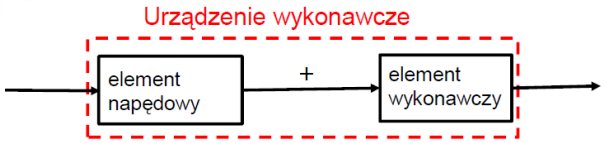
Napęd elementu wykonawczego; c.d.

Siłowniki termoelektryczne

Są modyfikacją termostatów grzejnikowych.



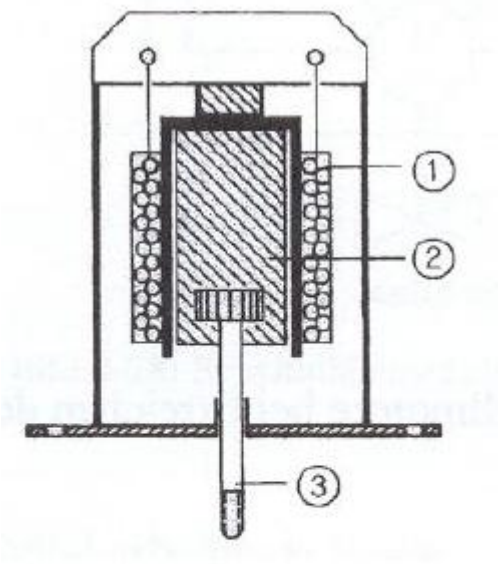




Urządzenie i elementy wykonawcze; c.d.

Napęd elementu wykonawczego; c.d.

Siłowniki termoelektryczne; c.d.



W siłownikach tych sprzężony z trzpieniem (3) element (2) zamykający zawór zwiększa swoją objętość przez podgrzewanie przy pomocy grzałki elektrycznej (1).
Wzrost temperatury powoduje przemieszczanie się trzpienia siłownika i zamykanie zaworu.

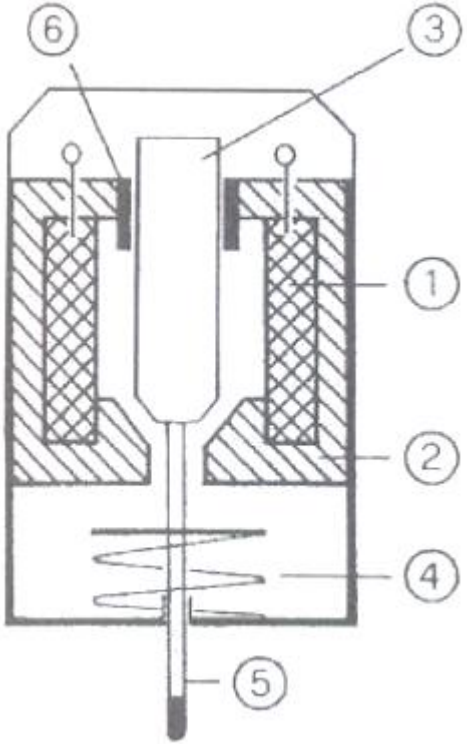
Wyłączenie zasilania elektrycznego powoduje ochładzanie siłownika i otwieranie zaworu.
Siłownik ma w zasadzie działanie dwustawne.
Jednak ze względu na czas potrzebny do podgrzania i ponownego schłodzenia siłownika działanie to przyjmuje charakter quasiciągły.

Urządzenie i elementy wykonawcze; c.d.

Napęd elementu wykonawczego; c.d.

Siłowniki elektromagnetyczne

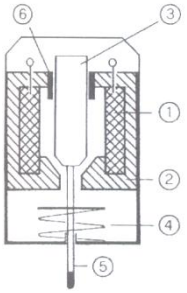
Zasada działania siłownika (cewki elektromagnetycznej) polega na wykorzystaniu **siły działającej na materiał ferromagnetyczny w polu magnetycznym**.
Pole magnetyczne wytwarzane w rdzeniu wskutek przepływu prądu przez cewkę elektryczną (1) powoduje powstanie siły działającej na rdzeń (3). Rdzeń przesuwa się, powodując przestawianie połączonego z nim grzybka zaworu (5).
Po wyłączeniu zasilania cewki rdzeń i połączony z nim grzybek przesuwany jest pod wpływem sprężyny (4) w położenie pierwotne.



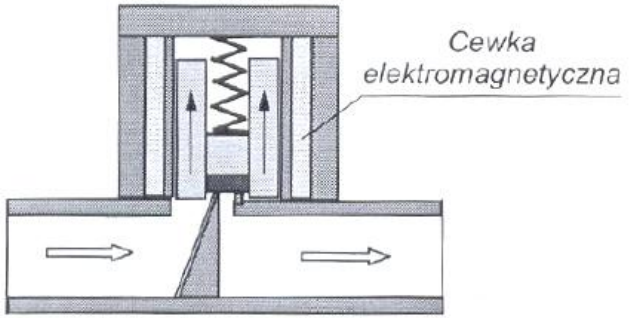
Urządzenie i elementy wykonawcze; c.d.

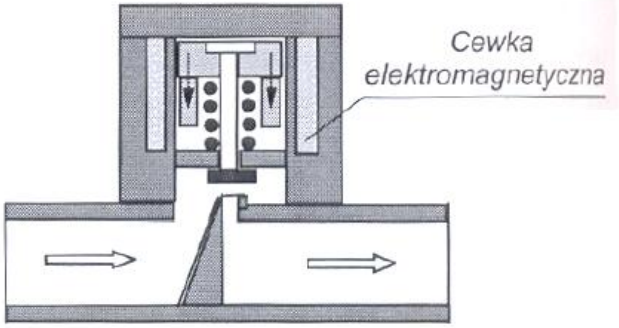
Napęd elementu wykonawczego; c.d.

Siłowniki elektromagnetyczne; c.d.



W zależności od rodzaju uzwojenia cewki (lewoskrętne lub prawoskrętne) oraz usytuowania sprężyny, zawory mogą być otwarte lub zamknięte w stanie beznapięciowym.



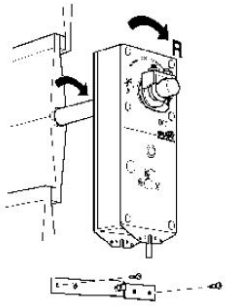


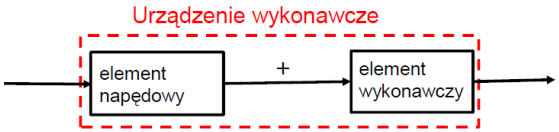
Urządzenie i elementy wykonawcze; c.d.

Napęd elementu wykonawczego; c.d.

Siłowniki elektryczne przepustnic wentylacyjnych

Do napędu przepustnic są stosowane siłowniki elektryczne, w których element nastawczy wykonuje ruch obrotowy w zakresie 0 do 90°.



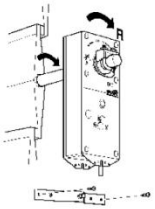


Urządzenie i elementy wykonawcze; c.d.

Napęd elementu wykonawczego; c.d.

Siłowniki elektryczne przepustnic wentylacyjnych; c.d.

Sygnał sterujący
Siłowniki przepustnic mogą być sterowane sygnałem **zamknij/otwórz** (dwustawnie),
sygnałem **krokowym – pulsacyjnym** (trójstawnie),
proporcjonalne - sygnałem analogowym (0÷10V) lub binarnie np. magistralą LonWorks.



Czujniki

Czujniki wykorzystywane są do pomiaru takich wielości jak:

- temperatura
- ciśnienie
- wilgotność
- prędkość przepływu, np. powietrza
- strumienia objętości
- strumienia ciepła (ilości ciepła)
- entalpii
- jakości powietrza
- zawartości CO2
- poziomu cieczy
- itp..

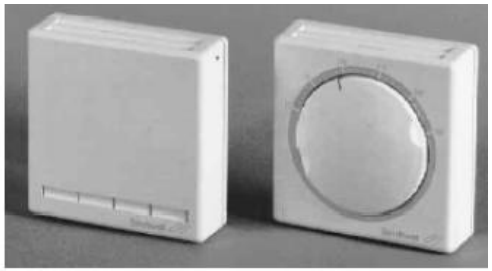
Czujniki; c.d.

Czujniki temperatury

Czujniki temperatury posiadają **element czuły na temperaturę**, który przy zmianie temperatury (wejście) zmienia wartość sygnału wyjściowego.

W zależności od zastosowanej zasady pomiaru temperatury czujniki można podzielić na:

- rezystancyjne
- termoelementy
- bimetalowe
- manometryczne
- cieczowe



Czujniki; c.d.

Czujniki temperatury; c.d.

Czujniki rezystancyjne

W typowych układach z regulatorami cyfrowymi stosowane są czujniki rezystancyjne z elementami zmieniającymi swoją oporność elektryczną przy zmianie temperatury.

Są to przeważnie oporniki drutowe lub warstwowe z platyny lub niklu, jak również specjalne elementy półprzewodnikowe – termistory.

Opór elektryczny czujnika rezystancyjnego oznaczonego w literaturze symbolem **RTD** (ang. Resistance Temperature Device), **zależy od temperatury** - wzrasta z temperaturą.

Czujniki; c.d.

Czujniki temperatury; c.d.

Czujniki rezystancyjne; c.d.

Termometry rezystancyjne robione są najczęściej z platyny i niklu.

Wybór materiału na termometr rezystancyjny zależy od:
zakresu temperatury,
wymagań antykorozyjnych,
wymagań co do mechanicznej trwałości
i kosztu.

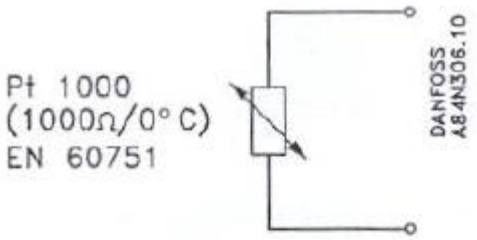
Czujniki; c.d.

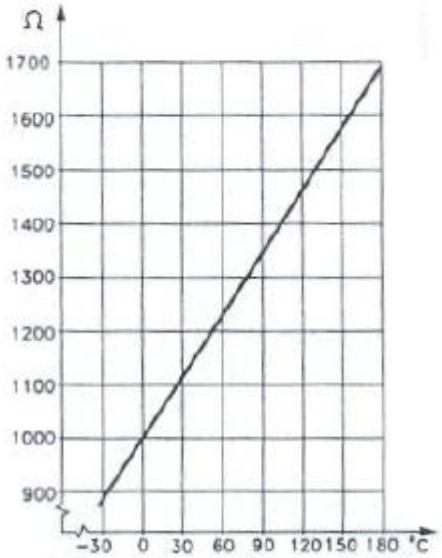
Czujniki temperatury; c.d.

Czujniki rezystancyjne; c.d.

Czujniki rezystancyjne platynowe
Są najszerzej stosowane do pomiarów cieplnych, ponieważ **platyna** jest **najbardziej trwała** i **odporna na korozję**.

Termometrem platynowym do dokładnych pomiarów jest termometr **Pt1000**, co oznacza, że **rezystancja** czujnika w temperaturze **0°C** wynosi **1000 Ω** (R_0= 1000 Ω).





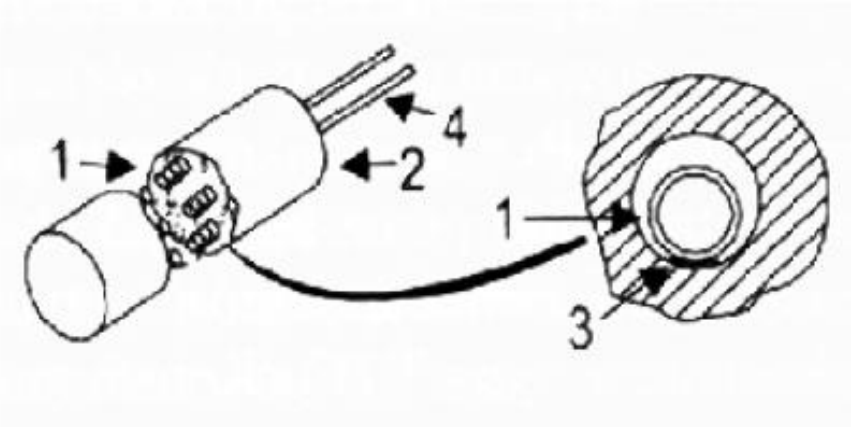
Charakterystyka rezystancji

Czujniki; c.d.

Czujniki temperatury; c.d.

Czujniki rezystancyjne; c.d.

Czujniki rezystancyjne platynowe – z „uzwojeniem wewnętrznym”
Czujnik z platynowym uzwojeniem 1, umieszczonym w okrągłych „studniach” wywierconych w ceramicznej obudowie 2, uzwojenie uszczelnione jest w obudowie szklanym szczeliwem 3. Termometr tego typu przystosowany jest raczej do wyższych temperatur.



Rys. Termometr rezystancyjny platynowy, **z uzwojeniem umieszczonym wewnątrz obudowy ceramicznej**.

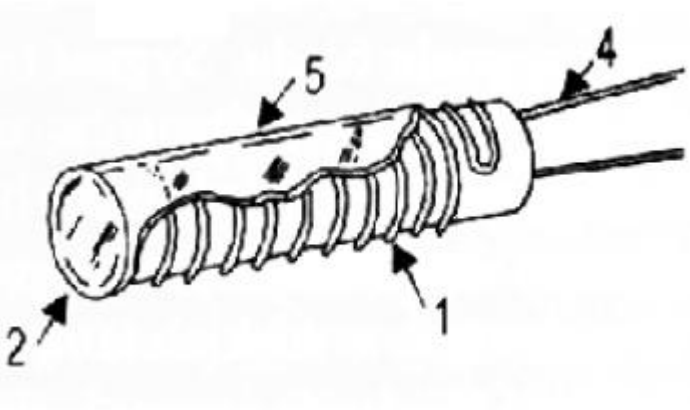
Czujniki; c.d.

Czujniki temperatury; c.d.

Czujniki rezystancyjne; c.d.

Czujniki rezystancyjne platynowe – z „uzwojeniem zewnętrznym”
Typ czujnika o prostej konstrukcji stosowany do pomiaru temperatury umiarkowanego środowiska termicznego.

Na pręcie ceramicznym 2 nawinięte
jest uzwojenie platynowe 1
(z przyspawanymi przewodami zewnętrznymi
4 w obrębie czujnika),
które jest pokryte „szklaną polewą” 5.



Rys. Termometr rezystancyjny platynowy,
z uzwojeniem nawiniętym na zewnątrz.

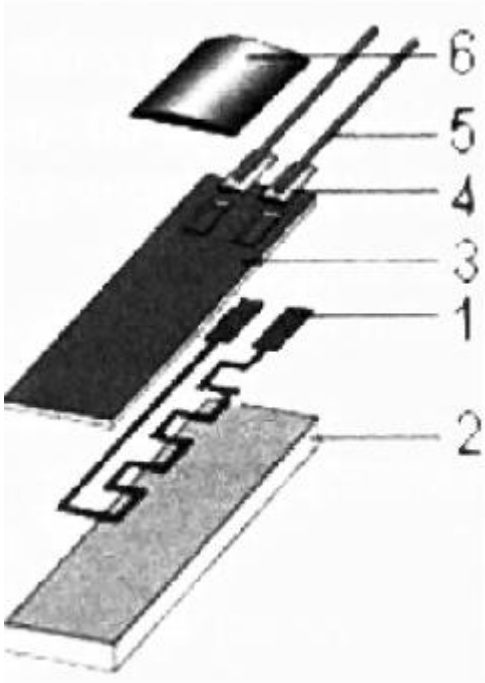
Czujniki; c.d.

Czujniki temperatury; c.d.

Czujniki rezystancyjne; c.d.

Czujniki rezystancyjne platynowe – cienkowarstwowe

Przykładowy czujnik (rys. obok) - zawiera (wykonaną techniką fotolitograficzną) cienką warstwę platynowego rezystora 1 naniesioną na płytkę 2 pokrytą tlenkiem glinu Al_2O_3, którą przykrywa Płytka szklana 3 z wtopionymi stykami 4 i przewodami 5.
Dla uszczelnienia, strefę styków 4 przykrywa warstwa 6 z pasty szklano-ceramicznej.



Rys. Przykładowy termometr rezystancyjny platynowy, **cienkowarstwowy.**

Czujniki; c.d.

Czujniki temperatury; c.d.

Termistory

Wykonywane są z polikrystalicznych półprzewodników, w postaci tlenków metali: chromu, manganu, żelaza, kobaltu, niklu i miedzi.

Duża dokładność pomiarów i małe stałe czasowe przyczyniły się do szerokiego stosowania tych czujników.

Termistory typu **NTC** (ang. Negative Temperature Coefficient), charakteryzują się dużym jednostkowym spadkiem oporu elektrycznego przy wzroście temperatury.

Czujniki; c.d.

Czujniki temperatury; c.d.

Termistory; c.d.

Wykonywane są z polikrystalicznych półprzewodników, w postaci tlenków metali: chromu, manganu, żelaza, kobaltu, niklu i miedzi.

Duża dokładność pomiarów i małe stałe czasowe przyczyniły się do szerokiego stosowania tych czujników.

Termistory typu **NTC** (ang. Negative Temperature Coefficient), charakteryzują się dużym jednostkowym spadkiem oporu elektrycznego przy wzroście temperatury.

Czujniki; c.d.

Czujniki temperatury; c.d.

Termistory; c.d.

Przykładowa charakterystyka czujnika **NTC**:

Temperatura °C	Rezystancja Ω
-5	8093
0	7661
+5	7182
10	6667
15	6126
20	5573
25	5025
30	4492
35	3987
40	3518
45	3089
50	2702

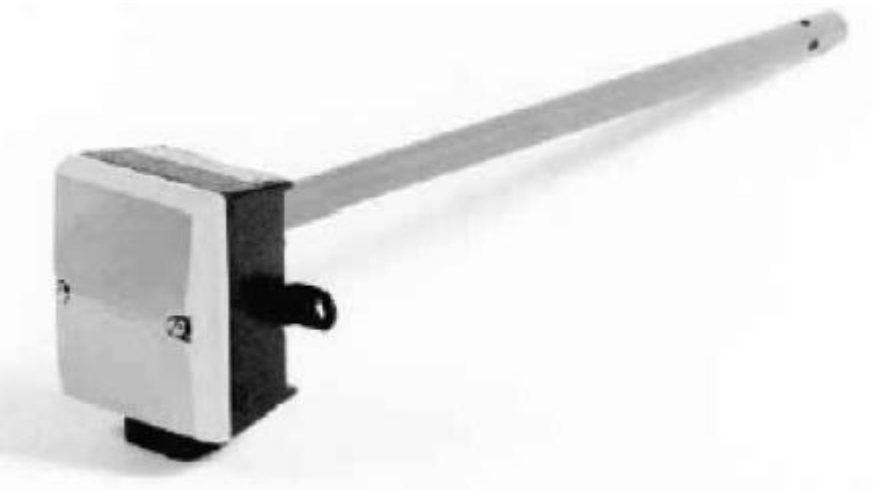
Temperatura °C	Rezystancja Ω
55	2358
60	2056
65	1792
70	1563
75	1364
80	1193
85	1047
90	921
95	815

Czujniki; c.d.

Czujniki temperatury; c.d.

Przykłady

Czujnik kanałowy – do pomiaru temperatury powietrza:

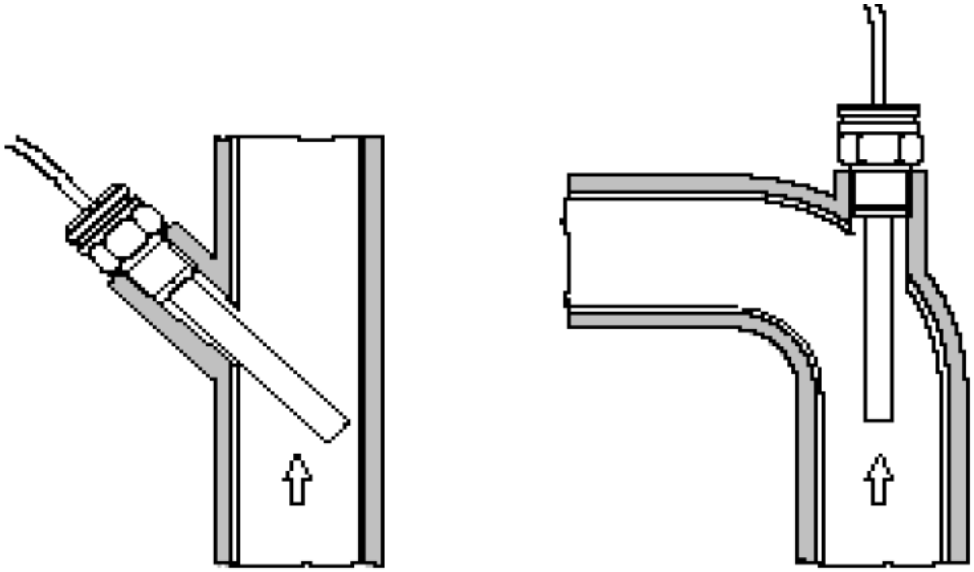


Czujniki; c.d.

Czujniki temperatury; c.d.

Przykłady; c.d.

Czujniki zanurzeniowe – do pomiaru temperatury cieczy, sposób montażu:

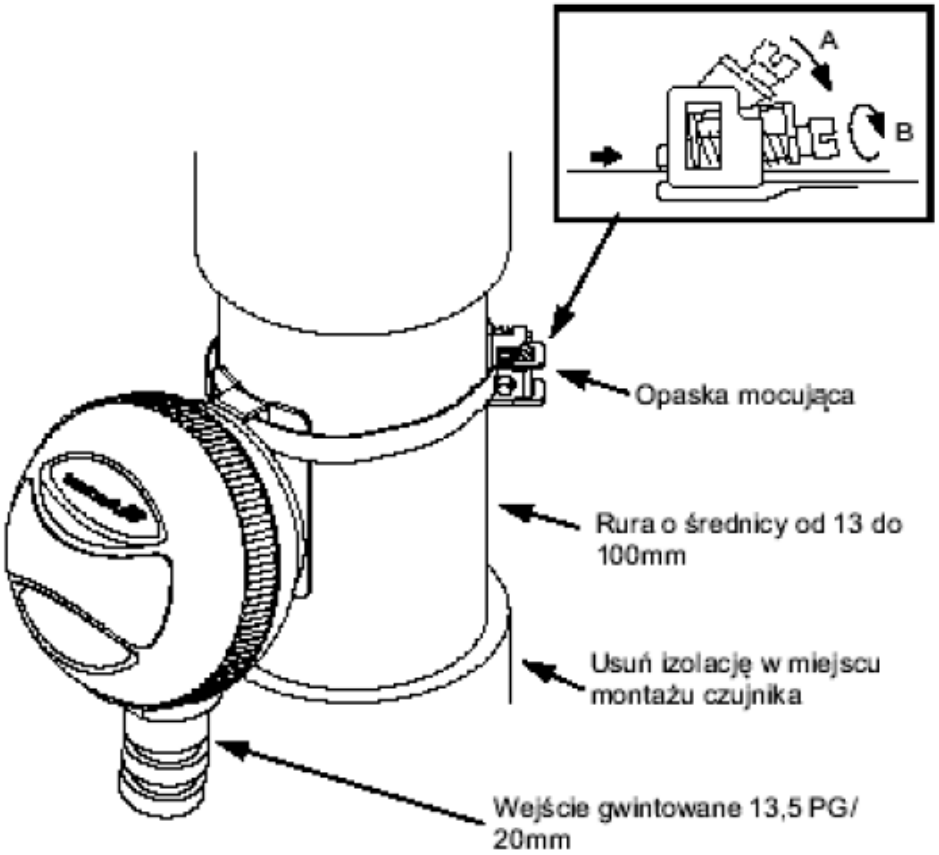


Czujniki; c.d.

Czujniki temperatury; c.d.

Przykłady; c.d.

Czujnik przylgowy:



Czujniki; c.d.

Elektryczne czujniki wilgotności

Zasada działania elektrycznych czujników wilgotności oparta jest na zastosowaniu substancji lub złożonych układów, które absorbują lub tracą wilgoć przy zmianie wilgotności względnej otoczenia, co powoduje zmianę właściwości elektrycznych układu jak impedancja i pojemność elektryczna lub inne parametry elektryczne.

Czujniki elektryczne mogą mieć wyjście napięciowe lub częstotliwościowe, w przypadku którego stosuje się przetwornik częstotliwościowo-napięciowy dla uzyskania sygnału napięciowego proporcjonalnego do wilgotności.

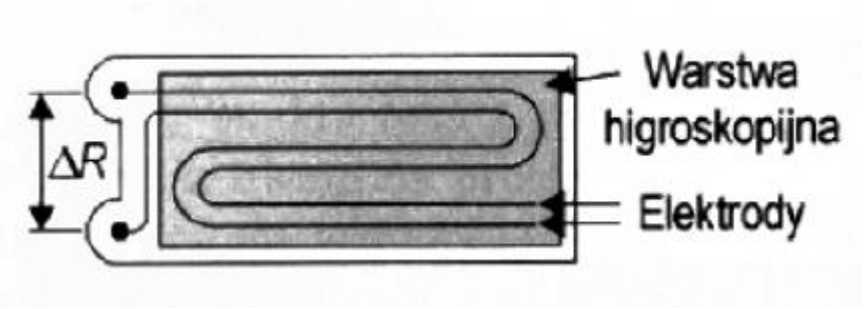
Zdj. Kanałowy i pomieszczeniowy czujnik wilgotności.

Czujniki; c.d.

Elektryczne czujniki wilgotności; c.d.

Czujnik rezystancyjny Dumnore'a

Zawiera dwie elektrody naniesione na płytkę pokrytą warstwą z utrwalonym 2 do 5% roztworem chlorku litu.

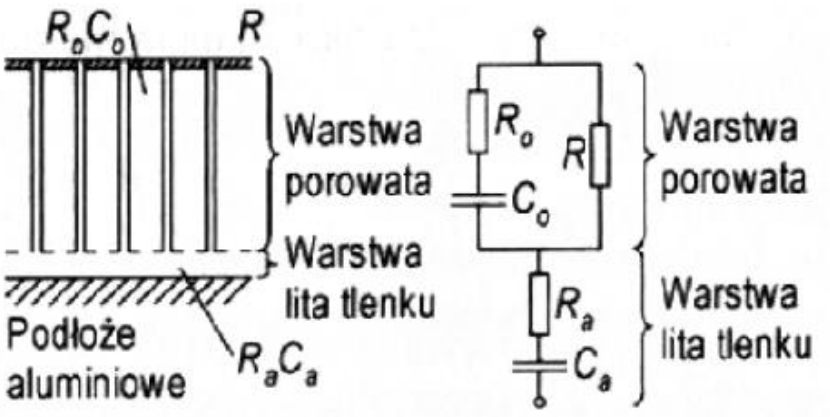


Czujniki; c.d.

Elektryczne czujniki wilgotności; c.d.

Czujnik pojemnościowy z tlenkiem glinu

Czujnikiem jest płytka aluminiowa z naniesioną elektrolitycznie warstwą tlenku glinu o dużej higroskopijności (ma strukturę włóknistą z podłużnymi porami skierowanymi ku powierzchni).
Tlenek pokrywa przepuszczalna dla wilgoci mikrowarstewka naparowanego chromu lub złota.
Nie trawiona część płytki aluminiowej oraz metalowa warstwa stanowiąca elektrodę tworzą dwie elektrody, okładki kondensatora złożonego z warstwy tlenku glinu.



Rys. Model struktury czujnika i układ zastępczy czujnika

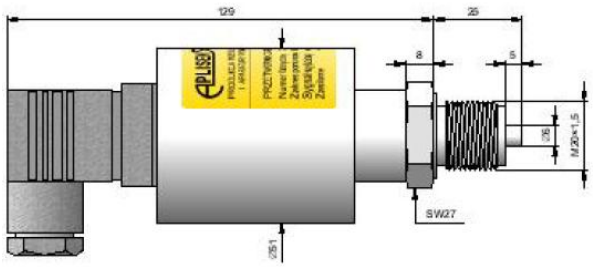
Czujniki; c.d.

Czujniki ciśnienia

W przetwornikach ciśnienia elementem pomiarowym jest **membrana** lub **piezorezystor**.

Piezorezystorami nazywa się czujniki wykonane z materiałów półprzewodnikowych, których rezystancja zależy od naprężeń w materiale.

Zachodzące pod wpływem zmian ciśnienia odkształcenia membrany lub zmiany rezystancji elementu piezorezystora w przetworniku przetwarzane są na standardowy sygnał elektryczny napięciowy lub prądowy.



Czujniki; c.d.

Czujniki jakości powietrza VOC

Czujnik jakości powietrza w pomieszczeniu służy do pomiaru zawartości niekorzystnych składników w postaci łatwo utleniających się gazów organicznych lub par.
(VOC – Volatile Organic Compounds - lotne składniki organiczne).

Pomiar umożliwia optymalizację jakości powietrza w pomieszczeniu oraz ograniczenie zużycia energii poprzez określenie niezbędnego zapotrzebowania powietrza świeżego.

Czujniki; c.d.

Czujniki jakości powietrza VOC; c.d.

Oszczędności energii wynikające z zastosowania czujników jakości powietrza w systemach wentylacji:

Rodzaj obiektu	Oszczędności energii [%]
Sala wykładowa, aula	20-50
Duże biura: 40% pracowników obecnych 90% pracowników obecnych	 20-30 3-5
Hall hotelowy, recepcja, sale publiczne	20-60
Hale sportowe i targowe	40-70
Teatry, kina, sale konferencyjne, sale spotkań	20-60

Dziękuję za uwagę…

Automatyka i sterowanie, cz2