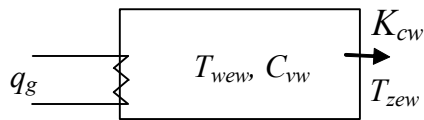


# 1. Badania symulacyjne obiektów liniowych – przykład

## 1.1. Konstrukcja i badanie własności modelu w postaci równań stanu

**Cel:** Budowa i weryfikacja prostego modelu obiektu termokinetycznego. Uruchamianie symulacji od dowolnego stanu ustalonego. Symulacja z wykorzystaniem skryptów.



Ogrzewacz powietrza (tzw. farelka) o mocy  $q_g$  ogrzewa pomieszczenie o kubaturze  $V_w$ . Zakładamy że gęstość i ciepło właściwe powietrza w pomieszczeniu są stałe.

Zakłada się, że:

- wszystkie ściany pomieszczenia są zewnętrzne i jednolite,
- ciepło jest akumulowane tylko przez powietrze w pomieszczeniu.

Wykorzystany zostanie model obiektu w postaci równania różniczkowego w postaci:

$$C_{vw} \dot{T}_{wew}(t) = q_g(t) - K_{cw}(T_{wew}(t) - T_{zew}(t)), \text{ gdzie } C_{vw} = c_p \rho V_w$$

### Zadania:

1. Określić zmienne wejściowe i wyjściowe modelu. Wykonać identyfikację wartości parametrów modelu zakładając następujące warunki obliczeniowe - przy temperaturze na zewnątrz  $-20^\circ\text{C}$ , w pomieszczeniu jest  $20^\circ\text{C}$  a grzejnik grzeje z maksymalną mocą  $q_{gN}$ . Przyjąć typową moc farelki i oszacować w miarę realne inne brakujące dane.
2. Przygotować schemat i skrypt do wyznaczania odpowiedzi na wymuszenia skokowe, czyli do uruchomienia symulacji od dowolnego stanu równowagi i badania reakcji na wymuszenie skokowe pojawiające się w zadanej chwili.

Literatura pomocnicza: "[Scilab i Matlab - podstawowe zastosowania inżynierskie](#)" (skrypt w DBC)

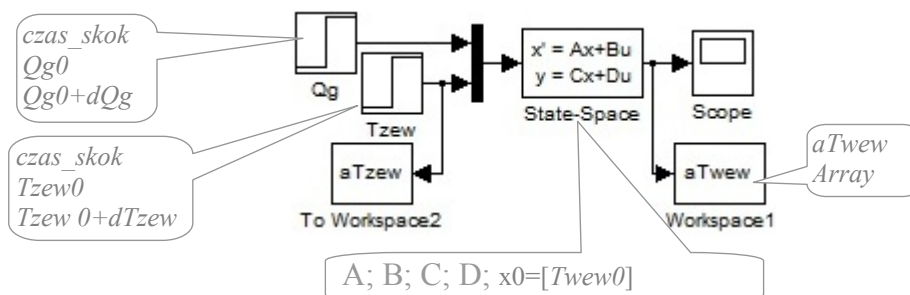
### Realizacja:

Klasyfikacja:	model liniowy, pierwszego rzędu zmienna stanu (zmienna wyjściowa): $T_{wew}$ zmienne wejściowe: $q_g, T_{zew}$
Równanie statyczne:	$0 = q_g(t) - K_{cw}(T_{wew}(t) - T_{zew}(t))$
Identyfikacja parametru:	$K_{cw} = q_{gN} / (T_{wewN} - T_{zewN})$
Punkt równowagi: (punkt pracy)	$T_{wew0} = q_{g0} / K_{cw} + T_{zew0}$

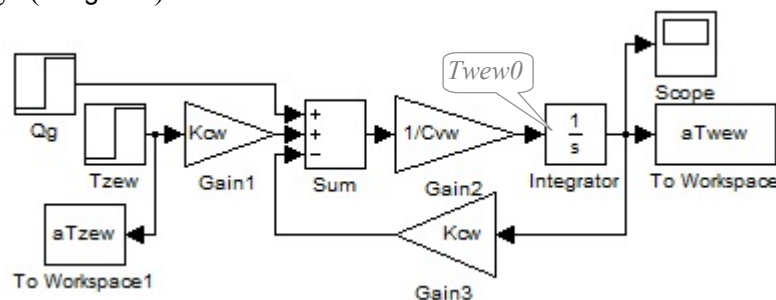
Schemat<sup>1</sup> z zastosowaniem:

a) bloku równań stanu (State-Space), czyli na podstawie zapisu w postaci macierzowej:

$$\begin{bmatrix} \dot{T}_{wew}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -K_{cw} \\ C_{vw} \end{bmatrix} T_{wew}(t) + \begin{bmatrix} 1 & K_{cw} \\ C_{vw} & C_{vw} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_g(t) \\ T_{zew}(t) \end{bmatrix}, \quad [y] = [1] T_{wew}(t) + [0 \ 0] \begin{bmatrix} q_g(t) \\ T_{zew}(t) \end{bmatrix}$$



b) bloku całkującego (Integrator)



<sup>1</sup> \asym2\lab\matPL\olej\grzejnik\_ss.mdl, grzejnik.mdl

## Skrypt inicjujący zmienne i uruchamiający symulację<sup>2</sup>:

```

%=====
%wartości nominalne
QgN=2000;           %nominalna moc (2kW)
TzewN=-20;         %nominalna temperatura na zewnątrz (-20C)
TwewN=20;          %nominalna temperatura wewnątrz (-20C)
%-----
%identyfikacja parametrów „statycznych” (Kcw) i "dynamicznych" (Cvw)
Kcw = QgN/(TwewN-TzewN);
cpp=1000; rop=1.2; %parametry powietrza (J/kg K, kg/m3)
Vwew=5*5*3;       %kubatura pomieszczenia (m3)
Cvw=cpp*rop*Vwew;
%=====
%warunki początkowe - ustalenie wartości początkowych na wejściach
Tzew0= TzewN+0;   %+1 (planowane przesunięcie punktu pracy)
Qg0 = QgN*1.0;    %*.8 (planowane przesunięcie punktu pracy)
%stan równowagi - obliczenie wartości wyjściowych dla zadanych wartości wejściowych
Twew0 = Qg0/Kcw+Tzew0;
%=====
%zakłócenia
czas_skok=100;    %przesunięcie skoku w czasie
dTzew=1;          %skok temperatury zewnętrznej o stopień
dQg=0;
%=====
%symulacja (reakcja na wybrane zakłócenie)
model='grzejnik'; czas=3000; %nazwa schematu i czas symulacji
[t]=sim(model, czas); %uruchomienie symulacji ze skryptu
figure, hold on, grid on, title('Twew(t), Tzew(t)');
plot(t,aTwew,'g'); plot(t,aTzew,'r');

```

### 1.2. Konstrukcja i badanie własności modelu w postaci transmitancji

**Cel:** Wyznaczenie transmitancji prostego modelu obiektu termokinetycznego. Uruchamianie symulacji z wykorzystaniem skryptów.

Badany obiekt jest opisany równaniem różniczkowym (p.1.1):

$$C_{vw} \dot{T}_{wew}(t) = q_g(t) - K_{cw}(T_{wew}(t) - T_{zew}(t))$$

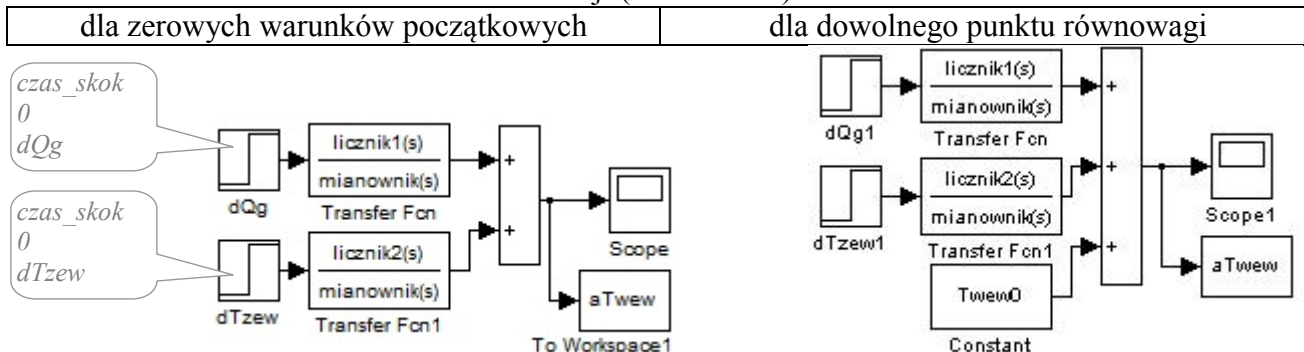
#### Zadania:

1. Wyznaczyć transmitancje obiektu na podstawie równań różniczkowych modelu. Określić typ i parametry transmitancji obiektu.
2. Przygotować w Simulinku schemat na bazie bloków transmitancji oraz skrypt do uruchamiania symulacji. Uwaga na sposób definiowania wymuszeń skokowych.

#### Realizacja:

Równanie operatorowe:	$C_{vw} s T_{wew}(s) = q_g(s) - K_{cw}(T_{wew}(s) - T_{zew}(s))$
Transmitancje:	$T_{wew}(s) = \frac{1}{C_{vw} s + K_{cw}} q_g(s) + \frac{K_{cw}}{C_{vw} s + K_{cw}} T_{zew}(s)$
Klasyfikacja:	Człony inercyjne o stałej czasowej $C_{vw}/K_{cw}$

#### Schemat z zastosowaniem bloku transmitancji (Transfer Fcn)



Gdzie: mianownik =  $[C_{vw}, K_{cw}]$ ; licznik1 =  $[1]$ ; licznik2 =  $[K_{cw}]$

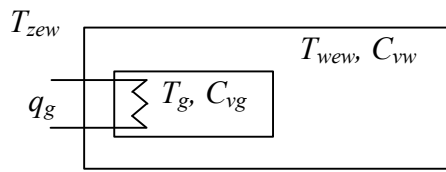
Skrypt jw. (p.1.1)

<sup>2</sup> \asym2\lab\matPL\olej\grzejnik\_badania.m

## 2. Pomieszczenie z grzejnikiem olejowym (obiekt liniowy)

### 2.1. Konstrukcja i badanie własności modelu w postaci równań różniczkowych

**Cel:** Budowa i weryfikacja prostego modelu obiektu w postaci równań różniczkowych. Uruchamianie symulacji od dowolnego stanu ustalonego. Symulacja z wykorzystaniem skryptów.



Grzejnik o pojemności  $V_g$ , wypełniony olejem z grzałką elektryczną o mocy  $q_g$  ogrzewa pomieszczenie o kubaturze  $V_w$ . Zakładamy że gęstość i ciepło właściwe oleju w grzejniku ( $c_{po}$ ,  $\rho_{po}$ ) i powietrza w pomieszczeniu ( $c_{pp}$ ,  $\rho_{pp}$ ) są stałe.

Zakłada się, że:

- wszystkie ściany pomieszczenia są zewnętrzne i jednolite,
- ciepło jest akumulowane przez powietrze w pomieszczeniu i przez olej w grzejniku,
- akumulacja ciepła przez ściany jest uwzględniona w pojemności powietrza (jako poprawka),

Wykorzystany zostanie model obiektu w postaci układu równań różniczkowych w postaci:

$$\begin{cases} C_{vw} \dot{T}_{wew}(t) = K_{cg}(T_g(t) - T_{wew}(t)) - K_{cw}(T_{wew}(t) - T_{zew}(t)) \\ C_{vg} \dot{T}_g(t) = q_g(t) - K_{cg}(T_g(t) - T_{wew}(t)) \end{cases}, \text{ gdzie } \begin{cases} C_{vw} = c_{pp} \rho_p V_w \\ C_{vg} = c_{po} \rho_o V_g \end{cases}$$

### Zadania:

1. Wyznaczyć wzory do identyfikacji wartości parametrów modelu, zakładając następujące nominalne warunki obliczeniowe (wirtualny eksperyment):
  - przy temperaturze  $-20^\circ\text{C}$  na zewnątrz w pomieszczeniu jest  $20^\circ\text{C}$  a grzejnik grzeje z maksymalną mocą  $q_{gN}$  (o wartości typowej dla instalacji domowych),
  - można zmierzyć temperaturę grzałki (założyć wartość),
  - przyjmując realne objętości pomieszczenia i grzejnika (jeśli pojemności  $C_{vw}$  i  $C_{vg}$  znacznie się różnią wprowadzić poprawkę, która uwzględni akumulację ciepła przez ściany).
2. Zapisać model w postaci macierzowej  $\dot{x} = Ax + Bu$ . Przygotować schemat w Simulinku z wykorzystaniem bloku równań stanu (State-space) oraz skrypt realizujący następujące operacje:
  - definicja wartości nominalnych (obliczeniowych),
  - identyfikacja parametrów – na podstawie stanu ustalonego i wartości nominalnych,
  - ustalenie punktu pracy od którego będą uruchamiane symulacje – na podstawie wartości początkowych zmiennych wejściowych oraz obliczenia punktu równowagi (wartości zmiennych wyjściowych),
  - uruchomienie symulacji i wykresy.
3. Zweryfikować poprawność modelu (na podstawie zachowania w stanie ustalonym - dla warunków obliczeniowych oraz w innym punkcie pracy)
4. Badanie własności dynamicznych obiektu przez obserwację reakcji kolejno na skokową zmianę mocy  $q_g$  i temperatury na zewnątrz  $T_{zew}$ . Badania wykonać w różnych punktach pracy a skokową zmianę zmiennej wejściowej przesunąć w czasie.
5. Wyznaczyć charakterystyki statyczne obiektu. Zaznaczyć nominalny (obliczeniowy) punkt pracy. Wykonany model będzie w kolejnych badaniach pełnił funkcję wirtualnego obiektu, na którym można wykonywać pomiary tak jak na rzeczywistym obiekcie.

### Pytania:

1. Sklasyfikować model: liniowość, rząd. Określić zmienne wejściowe i wyjściowe.
2. Jak szybko model reaguje na zmiany mocy grzałki i temperatury zewnętrznej? Czy są to wartości jakie mogą wystąpić na rzeczywistym obiekcie?
3. Jaki wpływ na własności modelu mają objętość pomieszczenia i grzejnika.

### Zagadnienia dodatkowe:

1. Wymienić wszystkie założenia, które zostały przyjęte podczas konstrukcji modelu.
2. Na bazie teorii (odnosząc się do fizycznej interpretacji badanego modelu) wytłumaczyć wyniki z symulacji - przebieg reakcji, stan ustalony.
3. Zaproponować i zastosować wskaźniki do pomiaru różnic w badanych przebiegach.
4. Wykonać schemat modelu z wykorzystaniem bloków całkujących. Powtórzyć badania i porównać wyniki z modelem opartym na bloku State-Space.

### Sprawozdanie:

- 1) początkowy stan ustalony: **ustalony nominalny** / wybrany ustalony / ustalony w różnych punktach pracy,
- 2) badane reakcje na: skok  $q_g$ , skok  $T_{zew}$ , 3) charakterystyki statyczne, 4) realne wartości parametrów,

## 2.2. Konstrukcja i badanie własności modelu w postaci transmitancji

**Cel:** Wyznaczenie transmitancji na podstawie równań różniczkowych. Uruchamianie symulacji od zerowych warunków początkowych oraz w dowolnym punkcie pracy.

### Zadania:

1. Wyznaczyć równania operatorowe modelu. Wyznaczyć wszystkie transmitancje obiektu:

$$T_{zew}(s) = G_{11}(s)q_g(s) + G_{12}(s)T_{zew}(s)$$

$$T_g(s) = G_{21}(s)q_g(s) + G_{22}(s)T_{zew}(s)$$

- Przygotować w Simulinku schemat pełnego modelu obiektu (MIMO) z zastosowaniem bloków Transfer Fcn.
- Zbadać własności dynamicznych obiektu przez obserwację reakcji kolejno na skokową zmianę mocy  $q_g$  i temperatury na zewnątrz  $T_{zew}$ . Wymuszenie skokowe przesunąć w czasie tak aby można było obserwować stan równowagi na wyjściu do momentu pojawienia się wymuszenia.
- Zmodyfikować schemat w celu przygotowania do symulacji uruchamianej od dowolnego punktu pracy (początkowego stanu równowagi). Porównać wyniki badań z modelem w postaci równań stanu (p.2.1).

### Pytania:

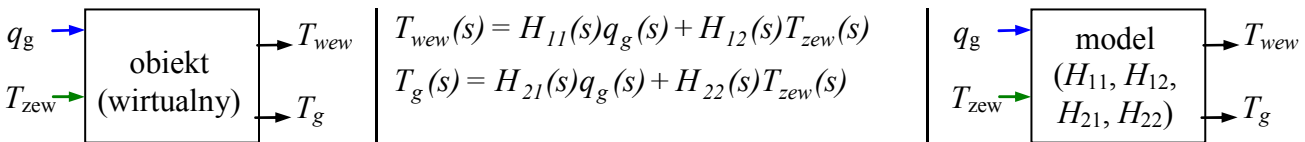
- Jaki wpływ na odpowiedzi skokowe ma wybór punktu pracy?
- Określić typ transmitancji obiektu (rzęd, człony dynamiki).

### Zagadnienia dodatkowe:

- Przekształcić wybraną transmitancję do postaci: a) członu inercyjnego 2 rzędu, b) członu oscylacyjnego. Wyznaczyć parametry tych członów – stałe czasowe, tłumienie, pulsację, wzmocnienie.
- Wyznaczyć stan ustalony (punkt pracy) obiektu na podstawie transmitancji wykorzystując twierdzenie o wartości końcowej.

## 2.3. Identyfikacja eksperymentalna modelu

**Cel:** Eksperymentalne metody wyznaczania prostych modeli na podstawie przebiegów czasowych. Identyfikacja modeli typu MIMO



### Zadania:

- Wykonać eksperymentalną identyfikację modelu MIMO obiektu (tzn. wirtualnego obiektu z punktu 2.1) na podstawie odpowiedzi skokowych stosując:  
a) model Kùpfmùllera, b) model Strejca.
- Porównać odpowiedzi skokowe zidentyfikowanego modelu  $H$  i obiektu (transmitancji oryginalnej). Sprawdzić zgodność modelu i obiektu w stanie ustalonym (warunek konieczny). Zaproponować i zastosować wskaźnik do oceny dokładności modeli zastępczych.

### Pytania:

- Porównaj identyfikację za pomocą modelu Kùpfmùllera i Strejca – procedurę, dokładność.

### Zagadnienia dodatkowe:

1. Zastosować identyfikację wybranej transmitancji metodą momentów:

- złożyć różne postaci transmitancji, np.:  $H(s) = \frac{b_0}{a_2s^2 + a_1s + a_0}$ ,  $H(s) = \frac{b_1s + b_0}{a_2s^2 + a_1s + a_0}$
- porównać parametry transmitancji oryginalnej ( $G_{ij}$ ) wyznaczone analitycznie i transmitancji zidentyfikowanej ( $H_{ij}$ ) wyznaczone doświadczalnie.

2. Który sposób identyfikacji okazał się dokładniejszy (Kùpfmùllera, Strejca, m.momentów)?

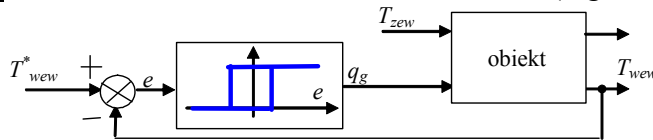
### Sprawozdanie:

1) modele: Kùpfmùllera, Strejca; 2) punkt pracy: **nominalny** / wybrane punkty; 3) wskaźniki jakości

### 3. Podstawowe układy regulacji w pomieszczeniu z grzejnikiem olejowym

#### 3.1. Badanie własności układu regulacji z termostatem

**Cel:** Badanie własności układu z termostatem (regulatorem dwupołożeniowym z histerezą).



- obiekt – model w postaci równań stanu (p.2.1)
- regulator – blok przekaźnika (Relay)

#### **Zadania:**

1. Wykonać schemat układu regulacji z termostatem (regulator dwupołożeniowy z histerezą), który włącza/wyłącza grzejnik elektryczny.
2. Założyć, że przy temperaturze  $-20^{\circ}\text{C}$  na zewnątrz w pomieszczeniu jest  $20^{\circ}\text{C}$  a grzejnik jest włączony ciągle i grzeje z maksymalną mocą  $q_{gN}$ .
3. Przedstawić reakcję układu na skokową zmianę temperatury na zewnątrz oraz na zmianę wartości zadanej, przyjmując, że temperatura  $T_{zew} > -20^{\circ}\text{C}$ .

Uwaga: Zwrócić uwagę na poprawne rejestrowanie reakcji na te zmiany (zakłócenia), to znaczy zadawać wymuszenie gdy układ znajduje się w stanie ustalonym.

4. Zbadać własności układu regulacji w stanie równowagi. Jaki wpływ na te własności mają parametry termostatu?

#### **Pytania:**

1. Scharakteryzować stan równowagi układu
2. Jak na własności układu regulacji z termostatem wpływa zwiększenie histerezy, mocy grzałki?
3. Czy moc grzałki i histereza wpływa na średnią wartość temperatury w pomieszczeniu?
4. Od czego zależy szybkość nagrzewania i wychładzania pomieszczenia?

#### **Zagadnienia dodatkowe:**

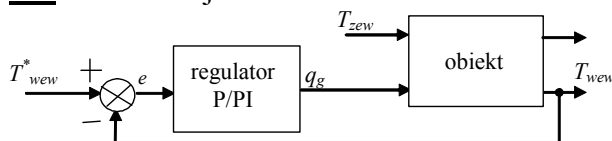
1. Zbadać czy koszt ogrzewania pomieszczenia przez grzejnik z termostatem zależy od mocy grzałki lub od histerezy?
2. Jeśli zmienną procesową w termostacie będzie temperatura w grzejniku, czy to ma wpływ na funkcjonalność urządzenia (czy spełni oczekiwania użytkownika, czy pokrętko wartości zadanej można wyskalować tak by odpowiadało temperaturze wewnątrz pomieszczenia)? Odpowiedź potwierdź analitycznie lub eksperymentalnie.
3. Wytlumaczyć różnicę pomiędzy regulatorem dwupołożeniowym a regulatorem ciągłym z wyjściem dwustanowym.

#### **Sprawozdanie:**

1) poprawność; 2) wpływ: histerezy,  $q_g$ ; 3) reakcja na: skok  $T_{zew}$ , skok  $T_{wew}^*$ .

#### 3.2. Badanie własności układu regulacji ciągłej P i PI

**Cel:** Konstrukcja bloku PID. Badanie własności jednoobwodowego układu regulacji ciągłej P i PI.



- obiekt – model w postaci równań stanu (p.2.1)
- regulator P/PI – własny blok z parametrami  $K_p$  i  $K_i = 1/T_i$  oraz wartością początkową  $u(0)=u_0$

$$\text{PI IND} \\ u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt$$

$$\text{PI ISA} \\ u(t) = K_p (e(t) + K_i \int e(t) dt)$$

#### **Zadania:**

1. Przygotować model pomieszczenia z grzejnikiem elektrycznym oraz model regulatora PI z niezależnymi nastawami (IND) i możliwością zadawania wartości początkowej na wyjściu.
2. Wykonać układ ze sprzężeniem zwrotnym z regulatorem PI, który steruje mocą grzejnika.
3. Zbadać własności układu z regulatorem P i PI:
  - nastawy dobrać metodą prób i błędów tak aby układ był stabilny (nie musi być optymalny),
  - określić końcowy i maksymalny błąd regulacji oraz czas trwania przebiegu przejściowego.

Uwaga: W badaniach obu układów regulacji:

- badania przeprowadzić w nominalnym punkcie pracy (tzn. w warunkach obliczeniowych)
- przedstawić reakcję układu na skokową zmianę temperatury na zewnątrz i wartości zadanej
- poprawnie rejestrować reakcję na te zmiany (zakłócenia), to znaczy zadawać wymuszenie gdy układ znajdzie się w stanie ustalonym

### **Pytania:**

1. Wskazać zmienną procesową, zmienną sterującą oraz zakłócenia układu. Wskazać zmienne wejściowe i wyjściowe układu regulacji.
2. W jaki sposób nastawy regulatora ( $K_p$ ,  $T_i$ ) wpływają na własności układu (stabilność, dokładność)?
3. Zaproponować wskaźniki jakości dla badanych układów z regulacji (wartości, które pozwolą w ilościowy sposób porównywać działanie układów dla różnych nastaw regulatorów).

### **Zagadnienia dodatkowe:**

1. Wyznaczyć model (transmitancję) zamkniętego układu regulacji z: a) regulatorem proporcjonalnym; b) regulatorem proporcjonalno-całkującym.
2. Wyznaczyć (analitycznie) zależność pomiędzy wzmocnieniem regulatora proporcjonalnego a uchybem regulacji dla badanego obiektu. Sprawdzić z wynikami przeprowadzonych symulacji
3. Wyznaczyć wzory do obliczania stanu równowagi układu z regulatorem PI dla dowolnych warunków początkowych, to znaczy:

– na podstawie równań statycznych

$$q_{g0} = K_{cg}(T_{g0} - T_{zew0}) = K_{cw}(T_{zew0} - T_{zew}^*) \text{ oraz } e_0 = T_{zew0} - T_{zew}^* = 0$$

– zakładając wartości zmiennych wejściowych  $T_{zew0}$  i  $T_{zew}^*$ ,

– wyznaczyć  $T_{zew0}$ ,  $T_{g0}$ ,  $q_{g0}$

### **Sprawozdanie:**

1) poprawność, 2) regulator P i PI; 3) reakcja na: skok  $T_{zew}$ , skok  $T_{zew}^*$ ; 4) wpływ nastaw

### **3.3. Podstawowe metody doboru nastaw regulatora PID**

**Cel:** Zastosowanie podstawowych metod doboru nastaw regulatora PI.

Przedmiotem badań jest układ regulacji temperatury w pomieszczeniu z regulatorem PI (p.3.2).

### **Zadania:**

1. Dobrać nastawy regulatora PI stosując pierwszą metodą Zieglera-Nicholsa, tzn.:
  - na podstawie odpowiedzi skokowej wykonać identyfikację odpowiedniej transmitancji (model Kűpfműllera, wejściem jest zmienna sterująca, wyjściem – zmienna procesowa),
  - wyznaczyć wzmocnienie  $K_p$  i czas całkowania  $T_i$ .Uwaga: Sprawdzić czy wzory zastosowane do obliczenia nastaw dotyczą regulatora PID-IND.
2. Zastosować dobrane nastawy i zbadać reakcję układu na zmianę temperatury zewnętrznej oraz wartości zadanej w wybranym punkcie pracy. Badania wykonać w różnych punktach pracy – nominalnym ( $N$ ) i innym, np.:

wej. / p.pracy	1	2	3
$T_{zew0}$	$N$	$N+10$	$N$
$T_{zew}^*$	$N$	$N$	$N-5$

Uwaga: Oczywiście rejestrować reakcję układu na pojedyncze zakłócenie i od stanu ustalonego.

3. Wybrać dowolny punkt pracy i zbadać jak układ reaguje na zmianę nastaw (wrażliwość).

### **Pytania:**

1. Czy w każdym punkcie pracy układ reaguje tak samo na takie samo zakłócenie?
2. Czy w reakcji układu występuje przeregulowanie (oscylacje), a jeśli tak to czy można je zmniejszyć?
3. Czy można skrócić czas dochodzenia do wartości zadanej (czas regulacji)?
4. Czy układ jest zawsze stabilny (niezależnie od wartości nastaw)?

### **Zagadnienia dodatkowe:**

1. Zastosować inny sposób doboru nastaw, na przykład:
  - a) wzory Chien-Hrones-Reswick,
  - b) wzory Cohen-Coon,
  - c) algorytm zaimplementowany w regulatorze Sipart Simensai porównać otrzymane wartości nastaw oraz jakość regulacji.

Uwaga: Zwrócić uwagę na strukturę regulatora (IND, ISA) zakładaną w poszczególnych metodach.

2. Czy można w badanym układzie zastosować dobór nastaw drugą metodę Zieglera-Nicholsa, tzn. na podstawie parametrów cyklu granicznego?

### 3.4. Pomiar jakości regulacji

**Cel:** Wyznaczenie podstawowych wskaźników jakości – bezpośrednich i całkowych.

Przedmiotem badań są układy regulacji temperatury w pomieszczeniu:

- z termostatem ()
- z regulatorem PI (p.3.2).

W badaniach zostanie wykorzystany układ regulacji temperatury w pomieszczeniu z regulatorem PI (p.3.2) i nastawy Z-N wyznaczone metodą Zieglera-Nicholsa (p.3.3).

#### **Zadania:**

1. Na podstawie reakcji układu regulacji na zmianę wartości zadanej wyznaczyć:
  - a) bezpośrednie wskaźniki jakości - uchyb ustalony (statyczny), przeregulowanie, czas regulacji, czas narostu,
  - b) całkowite wskaźniki jakości – IE, ISE, IAE, ITAE.
2. Powtórzyć pomiary dla reakcji układu na zmianę temperatury zewnętrznej.
3. Zmieniając nastawy (metodą prób i błędów) poprawić wybrany wskaźnik jakości. Z badać w jaki sposób ta zmiana wpłynęła na inne wskaźniki jakości, np.:

zestaw	1	2	3
$K_p$	Z-N	Z-N	inne
$T_i$	Z-N	inne	Z-N
wskaźnik 1			
....			

#### **Pytania:**

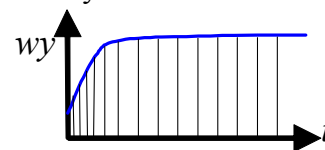
1. Czy wartości wskaźników jakości zależą punktu pracy?
2. Czy optymalizacja jednego wskaźnika zapewnia poprawienie także innych wskaźników?

#### **Zagadnienia dodatkowe:**

1. Zaproponować zautomatyzowany sposób pomiaru wybranych wskaźników jakości:
  - a) bezpośrednich,
  - b) całkowych.

Konieczne przetwarzanie danych zrealizować na schemacie i/lub w skrypcie.

Uwaga: Domyślnie w Matlabie są stosowane metody całkowania numerycznego ze zmiennym krokiem całkowania a czas próbkowania obserwowanych wartości jest różny.



## 4. Optymalizacja wskaźników jakości układu regulacji

### 4.1. Optymalizacja nastaw za pomocą przyborników Matlab

**Cel:** Zastosowanie interfejsu użytkownika Response Optimization dostarczanego w ramach przybornika Simulink Design Optimization<sup>3</sup> (Załącznik B)

Przedmiotem badań jest układ regulacji temperatury w pomieszczeniu z „własnym” regulatorem PI (p.3.2), przy czym nastawy regulatora ( $K_p$ ,  $T_i$ ) są zmiennymi w przestrzeni roboczej Matlab. Jako początkowe wartości nastaw można użyć nastawy wyznaczone metodą Zieglera-Nicholsa (p.3.3).

#### **Zadania:**

1. Do badanego układu regulacji dodać blok obserwacji (Check Step Response Characteristics) wybranego sygnału (błędu lub zmiennej procesowej). Wyświetlić okno parametrów i okno z wykresem tego bloku. Uruchomić symulację z początkowymi wartościami nastaw.
2. Wprowadzić pożądane wartości wskaźników jakości (jako wartości w oknie parametrów lub linie w oknie z wykresem). Wywołać okno Response Optimization.
3. Wybrać zmienne do optymalizacji (nastawy regulatora). Uruchomić zadanie optymalizacji.
4. Jeśli nie udało się osiągnąć wymaganej jakości to: powtórzyć procedurę, obniżyć jakość, zmienić początkowe wartości nastaw.

#### **Pytania:**

1. Jak bardzo różnią się nastawy Z-N i nastawy zoptymalizowane?
2. Czy wyznaczone wartości nastaw zależą od wartości początkowych tych nastaw?

### 4.2. Zastosowanie bloku PID w Simulinku

**Cel:** Zastosowanie bloku PID (z biblioteki Simulinka) – podstawowa konfiguracja parametrów PID. Zastosowanie funkcji PID Tuner. (Załącznik A)

Przedmiotem badań jest układ regulacji temperatury w pomieszczeniu (p.3.2), w którym zastosowano blok regulatora z biblioteki Simulinka (PID).

#### **Zadania:**

1. Zastosować blok PID z biblioteki Simulinka i skonfigurować jego podstawowe własności w oknie parametrów (zakładka Main).
2. Uruchomić zadanie doboru nastaw (PID Tuner). Odczytać uzyskane wskaźniki jakości.
3. Przejrzyć różne typy wykresów czasowych, które udostępnia interfejs:
  - co przedstawiają te wykresy
  - gdzie można odczytać wskaźniki jakości regulacji.
4. Zdefiniować wskaźnik jakości, którego wartość można Wprowadzić pożądaną wartość czasu regulacji wskaźników jakości (które?)

#### **Pytania:**

1. Porównać wartości nastaw Z-N i nastaw wyznaczonych przez PID Tuner oraz wskaźniki jakości uzyskane w obu wypadkach.
2. Porównać nastawy wyznaczone za pomocą PID Tuner i innymi metodami (np. w p.4.1 ) przy tych samych wartościach wskaźników jakości.

#### **Zagadnienia dodatkowe:**

1. Odczytać i zinterpretować wskaźniki jakości odczytywane z charakterystyk częstotliwościowych

### 4.3. Poradniki inżynierskie

**Cel:** Zestawienie różnych wzorów na dobór nastaw polecanych przez poradniki inżyniera

cdn

<sup>3</sup> nazwy używane w tym punkcie zgodne z Matlabem w wersji R2011 (we wcześniejszych wersjach funkcja występowała np. jako Desired Step Respose (Simulink Response Optimization) lub Signal Contrind Bock (Simulink Response Optimization) lub NCD Output (Nonlinear Con trol Design)

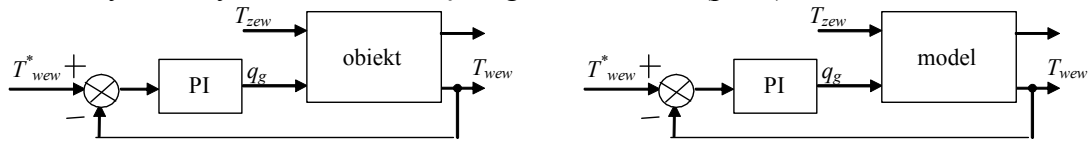


## 5. Rzeczywiste warunki pracy układu regulacji

### 5.1. Porównanie wyników regulacji z rzeczywistym obiektem i z modelem obiektu

**Cel:** Porównanie rezultatów projektowania regulacji po zastosowaniu na modelu i na rzeczywistym obiekcie. Dobór nastaw regulatora na podstawie modelu. Porównanie jakości regulacji własności układu z termostatem (regulatorem dwupołożeniowym z histerezą).

W badaniach zostanie wykorzystany układ regulacji temperatury w pomieszczeniu z regulatorem PI (p.3.2) i nastawy Z-N wyznaczone metodą Zieglera-Nicholsa (p.3.3).



#### **Zadania:**

1. Wykonać układ regulacji z obiektem oraz układ regulacji z modelem tego obiektu
2. Dobrać nastawy na podstawie modelu.

#### **Pytania:**

1. Scharakteryzować stan równowagi układu

#### **Zagadnienia dodatkowe:**

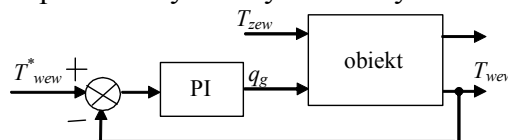
1. Zbadać ....

*Sprawozdanie:*

- dla

### 5.2. Elementy pomiarowe i wykonawcze

**Cel:** Wyodrębnienie elementów pomiarowych i wykonawczych w obwodzie regulacji.



#### **Zadania:**

1. Wykonać
2. Dobrać nastawy na podstawie modelu.

#### **Pytania:**

1. Scharakteryzować stan równowagi układu

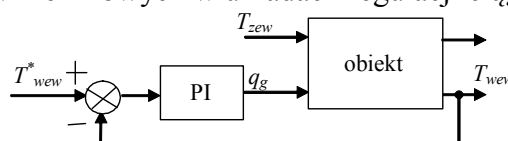
#### **Zagadnienia dodatkowe:**

*Sprawozdanie:*

- dla

### 5.3. Elementy nieliniowe

**Cel:** Zastosowanie elementów nieliniowych w układach regulacji ciągłej



#### **Zadania:**

1. Wykonać
2. Dobrać nastawy na podstawie modelu.

#### **Pytania:**

1. Scharakteryzować stan równowagi układu

#### **Zagadnienia dodatkowe:**

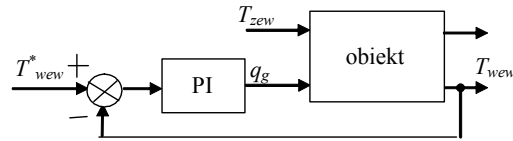
*Sprawozdanie:*

- dla

## 6. Przegląd metod projektowania

### 6.1. Projektowanie na podstawie położenia biegunów

**Cel:** Rzeczywisty obiekt i jego model. Dobór nastaw regulatora na podstawie modelu. Porównanie jakości regulacji własności układu z termostatem (regulatorem dwupołożeniowym z histerezą).



#### **Zadania:**

1. Wykonać
2. Dobrać nastawy na podstawie modelu.

#### **Pytania:**

1. Scharakteryzować stan równowagi układu

#### **Zagadnienia dodatkowe:**

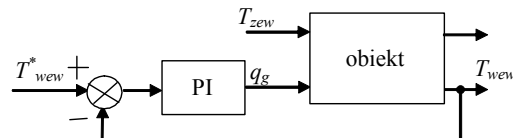
1. Zbadać

*Sprawozdanie:*

- dla

### 6.2. Projektowanie na podstawie charakterystyk częstotliwościowych układu otwartego

**Cel:** Wykorzystanie charakterystyk układu otwartego do projektowania własności układu zamkniętego.



#### **Zadania:**

1. Wykonać
2. Dobrać nastawy na podstawie modelu.

#### **Pytania:**

1. Scharakteryzować stan równowagi układu

#### **Zagadnienia dodatkowe:**

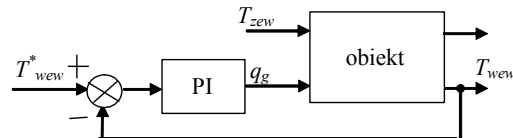
1. Zbadać

*Sprawozdanie:*

- dla

### 6.3. Projektowanie na podstawie charakterystyk częstotliwościowych układu zamkniętego

**Cel:** Wykorzystanie charakterystyk układu otwartego do projektowania własności układu zamkniętego.



#### **Zadania:**

1. Wykonać
2. Dobrać nastawy na podstawie modelu.

#### **Pytania:**

1. Scharakteryzować stan równowagi układu

#### **Zagadnienia dodatkowe:**

1. Zbadać

*Sprawozdanie:*

- dla