

SPRAWOZDANIE Z LABORATORIUM SYMULACJI PROCESÓW DYNAMICZNYCH

Karol Kozłowski
Piotr Komoniewski

Grupa lab.:

Termin:
wtorek/np 13:00

Data:
5 XI 2007

Ćwiczenie nr 1

Symulacja temperatury pomieszczenia.

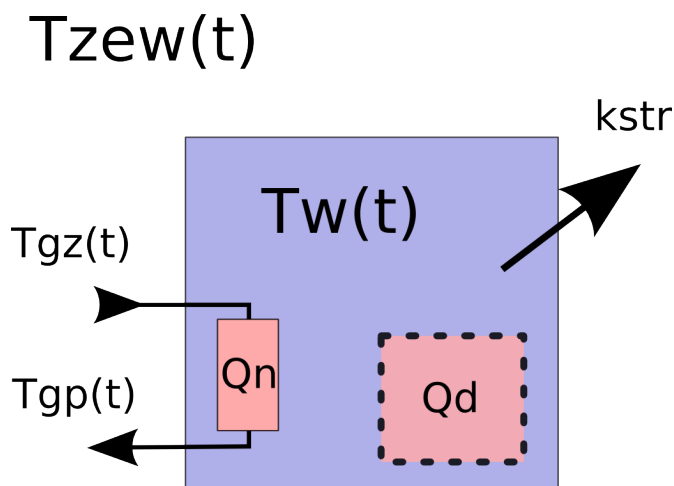
Ocena

1.Cel Ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest symulacja warunków temperaturowych panujących w pomieszczeniu. Obiekt uwzględnia następujące warunki: straty ciepła wyprowadzane na zewnątrz pomieszczenia oraz źródło ciepła w postaci grzejnika z gorącą wodą znajdującego się wewnątrz tego pomieszczenia.

2.Przebieg ćwiczenia

2.1.Model obiektu



Rysunek 1: Schemat modelowanego obiektu

Obiekt modelowany jest przez następujący układ równań:

$$Q_w(t) = c_{pp} \cdot \rho_p \cdot V_w \cdot T_w(t) = C_{vw} \cdot T_w(t) \quad \text{– równanie stanu ciepła w pomieszczeniu (1)}$$

$$Q_g(t) = c_{pw} \cdot \rho_w \cdot V_g \cdot T_{gsr}(t) = C_{vg} \cdot T_{gsr}(t) \quad \text{– równanie stanu ciepła w grzejniku (2)}$$

$Q_w(t)$ – ciepło wody, $Q_g(t)$ – ciepło grzejnika

$$c_{pp} = 1000 \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right] - \text{c. właściwe powietrza}, \quad c_{pw} = 4127 \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right] - \text{c. właściwe wody}$$

ρ_p – gęstość powietrza, ρ_w – gęstość wody

V_g – objętość grzejnika, V_w – objętość wnętrza

$T_w(t)$ – temperatura wody, $T_{gsr}(t)$ – średnia temperatura grzejnika

$$T_{gsr}(t) = \frac{T_{gz}(t) + T_{gp}(t)}{2} \Rightarrow T_{gp}(t) = 2 \cdot T_{gsr}(t) - T_{gz}(t) \quad (3)$$

$T_{gz}(t)$ – temperatura wody wpływającej do grzejnika

$T_{gp}(t)$ – temperatura wody wypływającej z grzejnika

równania zmiany stanu magazynu:

$$C_{vw} \cdot \dot{T}_w(t) = k_g \cdot (T_{gsr}(t) - T_w(t)) - k_{str} \cdot (T_w(t) - T_{zew}(t)) + Q_d \quad (4)$$

$$C_{vg} \cdot \dot{T}_{gsr}(t) = c_{pw} \cdot \rho_w \cdot f(t) \cdot T_{gz}(t) - c_{pw} \cdot \rho_w \cdot f(t) \cdot T_{gp}(t) - k_g \cdot (T_{gsr}(t) - T_w(t)) \quad (5)$$

po podstawieniu wzoru (3) do równania (5) i uproszczeniu wyniku otrzymamy:

$$C_{vg} \cdot \dot{T}_{gsr}(t) = 2 \cdot c_{pw} \cdot \rho_w \cdot f(t) \cdot (T_{gz}(t) - T_{gsr}(t)) - k_g \cdot (T_{gsr}(t) - T_w(t)) \quad (6)$$

Równanie stanu ustalonego ($\dot{T}_{gsr}(t) = 0$, $\dot{T}_w(t) = 0$):

$$k_g \cdot (T_{gsr}(t) - T_w(t)) = k_{str} \cdot (T_w(t) - T_{zew}(t)) = 2 \cdot c_{pw} \cdot \rho_w \cdot f(t) \cdot (T_{gz}(t) - T_{gsr}(t)) = Q_N$$

$$k_g = \frac{Q_N}{T_{gsr}(t) - T_w(t)} - \text{współczynnik wymiany ciepłej grzejnik} \leftrightarrow \text{pomieszczenie}$$

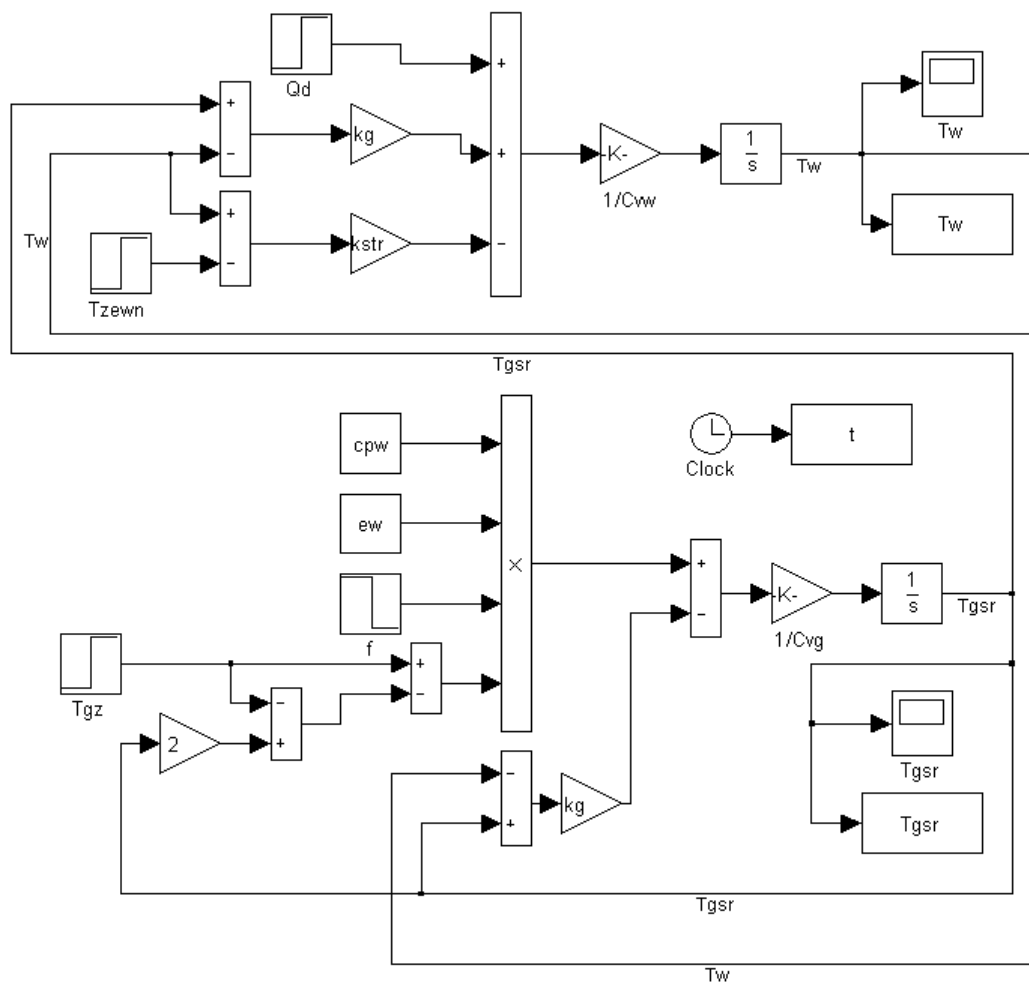
$$k_{str} = \frac{Q_N}{T_w(t) - T_{zew}(t)} - \text{współczynnik wymiany ciepłej pomieszczenie} \leftrightarrow \text{zewnątrz}$$

$$f(t) = \frac{Q_N}{2 \cdot c_{pw} \cdot \rho_w \cdot (T_{gz}(t) - T_{gsr}(t))} - \text{współczynnik przepływu cieczy w grzejniku}$$

Rozwiązanie układu równań (4) i (6) w st. ustalonym za pomocą programu Mathematica:

```
Simplify[Solve[0 == kg * (Tgsr0 - Tw0) - kstr * (Tw0 - Tzew0) + Qd0, Tw0]]
Simplify[
  Solve[{0 == kg * (Tgsr0 - Tw0) - kstr * (Tw0 - Tzew0) + Qd0,
    0 == 2 * cpw * ew * fN * (Tgz0 - Tgsr0) - kg * (Tgsr0 - Tw0)}, {Tw0, Tgsr0}]]
{{Tw0 -> (Qd0 + kg Tgsr0 + kstr Tzew0) / (kg + kstr)}}
{{Tw0 -> (kg (Qd0 + kstr Tzew0) + 2 cpw ew fN (Qd0 + kg Tgz0 + kstr Tzew0) /
  (kg kstr + 2 cpw ew fN (kg + kstr)),
  Tgsr0 -> (2 cpw ew fN kstr Tgz0 + kg (Qd0 + 2 cpw ew fN Tgz0 + kstr Tzew0) /
  (kg kstr + 2 cpw ew fN (kg + kstr)))}}
```

2.2. Komputerowy model obiektu



Rysunek 2: Model obiektu wykonany w środowisku simulink

2.3. Symulacja

Skrypt symulacyjny:

```

1 % Parametry obiektu
2 PgN      = 5000;           %moc nominalna pieca
3 TwN      = 20;            %temp wewn
4 TgzN     = 90;            % TgzN/TgpN = 90/70
5 TgpN     = 70;            %temp zewn
6 TzewN    = -20;
7
8 cpw      = 4175;          %ciepło właściwe wody
9 ew       = 1000;          %gęstość wody
10 Vw      = 0.1 * 1 * 1;    %objętość grzejnika
11 Cvw     = cpw * ew * Vw;  %pojemność cieplna
12
13 cpp     = 1000;          %ciepło właściwe powietrza
14 ep      = 1.2;           %gęstość pow
15 Vp      = 3 * 2.5 * 3;    %objętość pomieszczenia
16 Cvg     = cpp * ep * Vp;  %pojemność cieplna
17
18 TgsrN   = (TgzN + TgpN)/2; %średnia nominalna temp grzejnika

```

```

19 kg      = PgN / (TgsrN - TwN);      %wsp wymiany - grzejnik pow
20 kstr     = PgN / (TwN - TzewN);      %wsp strat
21 fN       = PgN / (2 * cpw * ew * (TgzN - TgsrN));
22
23 % Warunki Początkowe
24 Qd0      = 0;                       %ciepła dodatkowe
25 f0       = fN;                       %przepływ wody w grzejniku
26 Tgz0     = TgzN;                     %temp grzejnika
27 Tzew0    = TzewN;                     %temp zewnętrzna
28
29 %Średnia temp grzejnika
30 Tgsr0     = (2 * cpw * ew * fN * kstr * Tgz0 + kg * (Qd0 + 2 * cpw * ew
* fN * Tgz0 + kstr * Tzew0))/(kg * kstr + 2 * cpw * ew * fN * (kg + kstr));
31 %Średnia temp wnętrza
32 Tw0      = (Qd0 + kg * Tgsr0 + kstr * Tzew0) / (kg + kstr);
33
34 % Zakłócenia
35 Qd1      = Qd0;
36 t1       = 2000;                     %czas zakłócenia
37 Tgz1     = Tgz0;                     %temp grzejnika
38 Tzew1    = Tzew0;                     %temp zewnętrzna
39 f1       = f0;                       %przepływ wody w grzejniku
40
41 % Symulacja
42 model    = 'sim1_model';
43 params   = [0, 10, 20, 30, 40, 50, 60];
44 colors   = ['r', 'g', 'b', 'c', 'm', 'y', 'k'];
45 legen    = 'DELTA';
46
47 clf;
48
49 subplot(2,1,1);
50
51 hold on;
52 grid on;
53 for a = 1:size(params,2);
54     Tzew1 = params(a);
55     sim(model);
56     plot(t,Tw, colors(a));
57 end
58 hold off;
59
60 xlabel('czas [s]');
61 ylabel('temperatura [C]');
62 title('Wpływ T_{zew} na temperaturę pomieszczenia');
63 legend();
64
65 subplot(2,1,2);
66
67 hold on;
68 grid on;
69 for a = 1:size(params,2);
70     Tzew1 = params(a);
71     sim(model);
72     plot(t,Tgsr, colors(a));
73 end
74 hold off;
75
76 xlabel('czas [s]');
77 ylabel('temperatura [C]');
78 title('Wpływ T_{zew} na temperaturę średnią grzejnika');
79 legend();

```

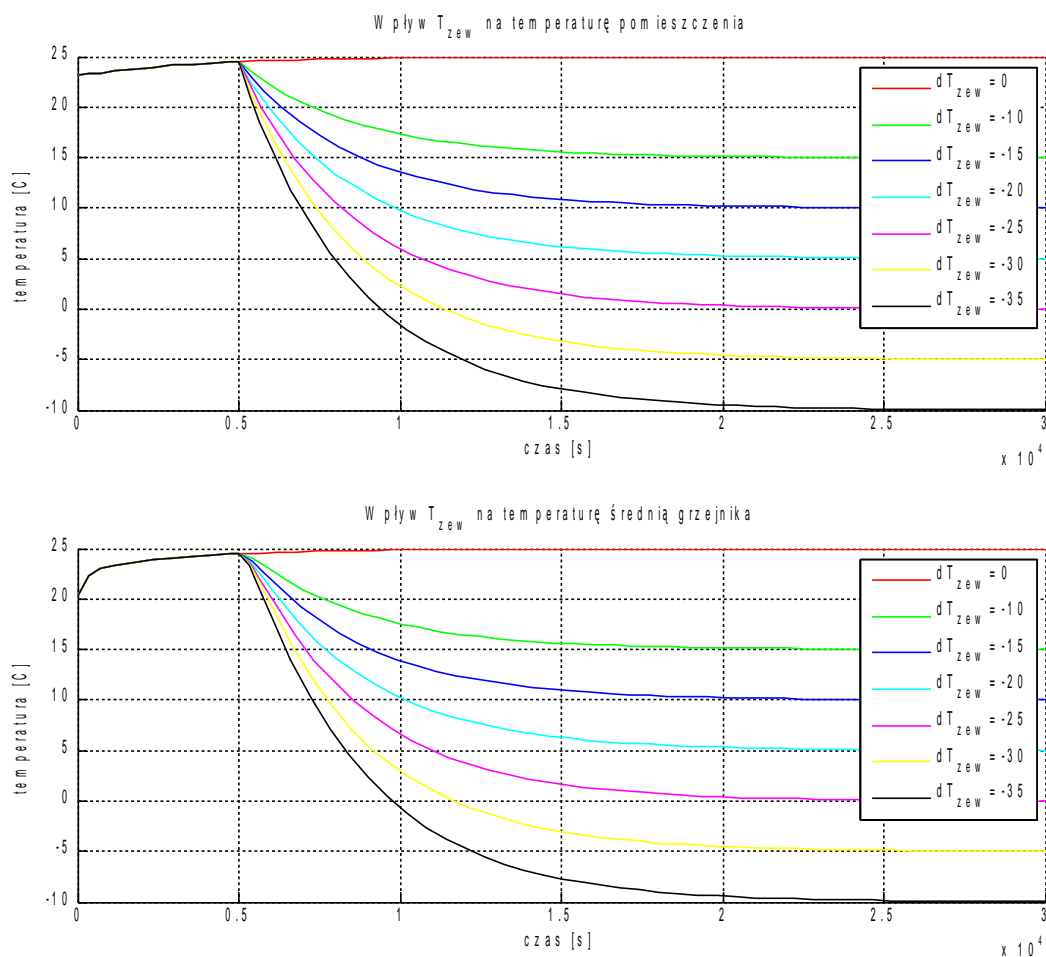
2.4.Przebiegi czasowe

a) Wpływ temperatury zewnętrznej na temperaturę pomieszczenia i grzejnika.

Warunki początkowe:

- temperatura zewnętrzna 25 st. C
- temperatura grzejnika 20 st. C
- brak źródeł ciepła ($f(t)=0$, $Q_d=0$)

W chwili $t(1)=5000[s]$ nastąpił spadek T_{zew} o $[0, 10, 15, 20, 25, 30, 35]$ st. C



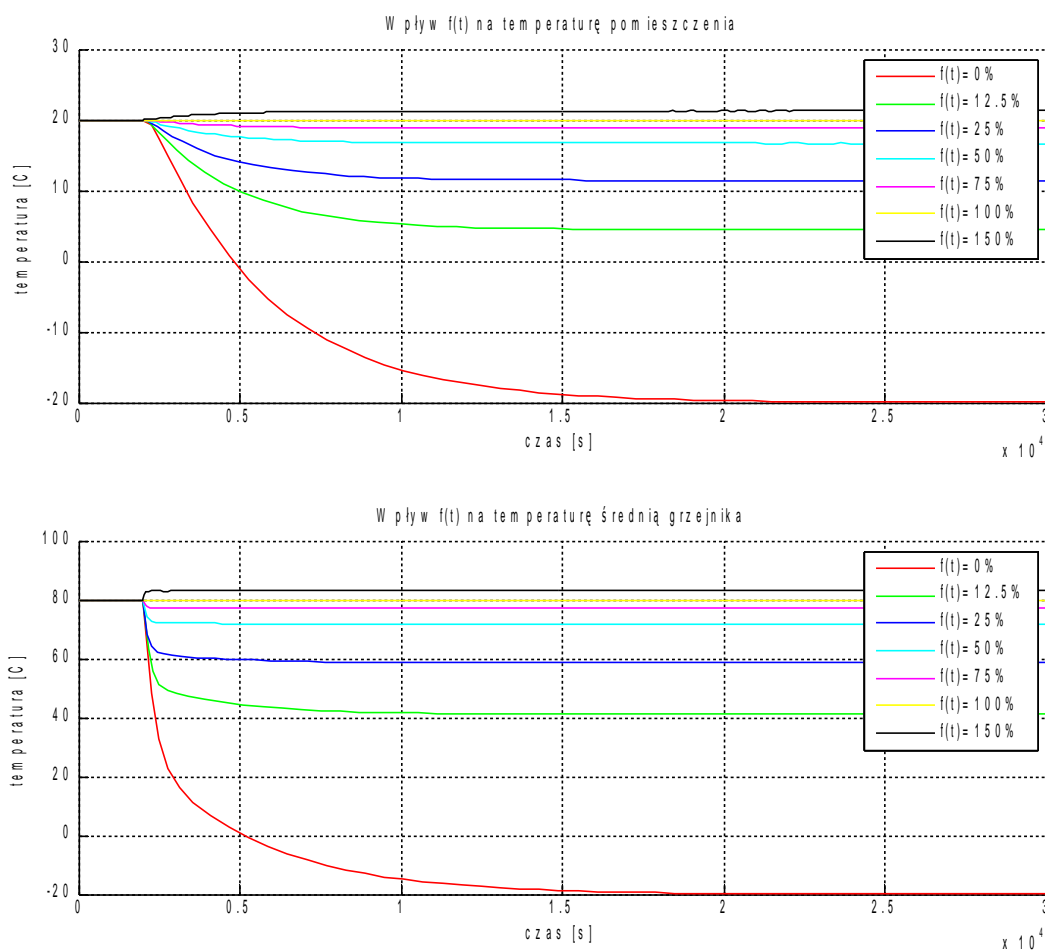
Rysunek 3: Wpływ temperatury zewnętrznej na temperaturę pomieszczenia i grzejnika ($t_1 = 2k$)

b) Wpływ przepływności grzejnika na temperaturę pomieszczenia i grzejnika.

Warunki początkowe:

- temperatura zewnętrzna -20 st. C (nominalna)
- temperatura grzejnika 90 st. C (nominalna)
- brak dodatkowego źródła ciepła ($Q_d=0$)

W chwili $t(1)=2000[s]$ nastąpił spadek przepływności grzejnika $f(t)*[0,0.125,0.25,0.5,0.75,1,1.5]$



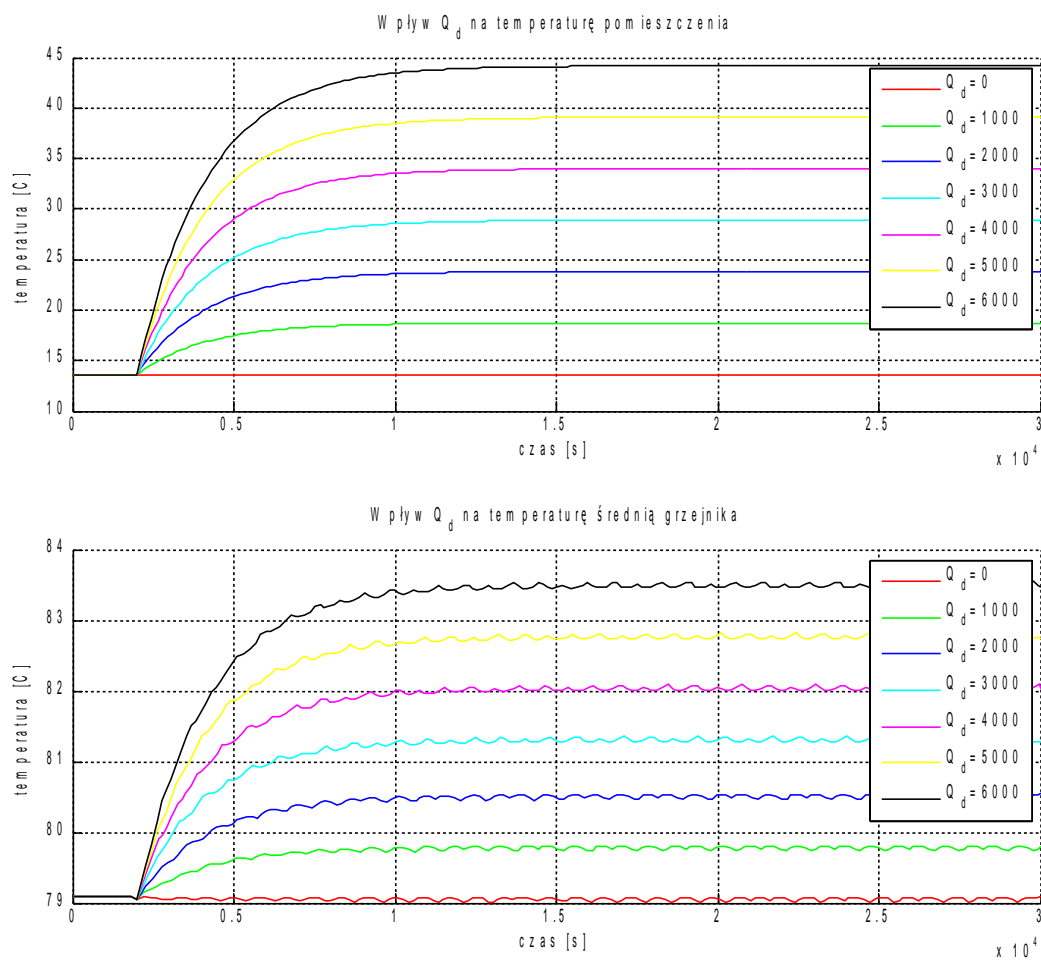
Rysunek 4: Wpływ przepływności grzejnika na temperaturę pomieszczenia i grzejnika

c) Wpływ przepływności grzejnika na temperaturę pomieszczenia i grzejnika.

Warunki początkowe:

- temperatura zewnętrzna -30 st. C (nominalna)
- temperatura grzejnika 90 st. C (nominalna)

W chwili $t(1)=2000[s]$ w pomieszczeniu włączone zostało dodatkowe źródło ciepła $Q_d=\{0,1000,2000,3000,4000,5000,6000\}$



Rysunek 5: Wpływ dodatkowego źródła ciepła na temperaturę pomieszczenia i grzejnika

2.5. Postać operatorowa

```
In[5]:= Simplify[
  Solve[ {  $\frac{Qd0 s + kg Tgsr - kg Tw - kstr Tw - Cvw s Tw + kstr Tzew}{s} == 0,$ 
     $\frac{4 cpw ew f (Tgsr - Tgz) + s (Cvg s Tgsr + kg (Tgsr - Tw))}{s} == 0$  }, {Tw, Tgsr} ] ]

Out[5]= { { Tw →  $\frac{s (kg + Cvg s) (Qd0 s + kstr Tzew) + 4 cpw ew f (Qd0 s + kg Tgz + kstr Tzew)}{4 cpw ew f (kg + kstr + Cvw s) + s (Cvg s (kstr + Cvw s) + kg (kstr + (Cvg + Cvw) s))}$  ,
  Tgsr →  $\frac{4 cpw ew f (kstr + Cvw s) Tgz + kg (Qd0 s^2 + 4 cpw ew f Tgz + kstr s Tzew)}{4 cpw ew f (kg + kstr + Cvw s) + s (Cvg s (kstr + Cvw s) + kg (kstr + (Cvg + Cvw) s))}$  } }
```

3. Wnioski

- Symulacja pierwsza dowodzi, iż spadek temperatury zewnętrznej powoduje liniowy spadek temperatury w pomieszczeniu i grzejniku.
- Kolejna symulacja pokazuje, że zmiana przepływności cieczy w grzejniku ma wykładniczy wpływ zarówno na temperaturę grzejnika jak i na temperaturę pomieszczenia.
- Ostatnia symulacja udowadnia, że wzrost temperatury w pomieszczeniu i grzejniku jest wprost proporcjonalny do wartości zewnętrznego źródła ciepła.
- Środowisko matlab i simulink jest potężnym narzędziem pozwalającym przeprowadzać różnorakie symulacje i obliczenia.