

Symulacja dyskretna systemów złożonych

Symulacja ogrzewania pomieszczenia

Emilia Mączka, Weronika Wisz

Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział EAIiB
Informatyka

11.05.2020

Aspekty fizyczne

Zgodnie z prawami termodynamiki, między pomieszczeniem a otoczeniem zachodzi ciągła wymiana ciepła. Obliczeniem ilości traconej energii w postaci ciepła z pomieszczenia zajmuje się fizyka budowli.

Poniżej przedstawimy równania użyte przy obliczaniu energii wytwarzanej przez piec oraz strat ciepła powodowanych częściowym oddaniem jej do otoczenia. W zbudowanym przez nas modelu, aby utrzymać stałą temperaturę w pomieszczeniu stosujemy dwa typy regulatorów (pokojowy i pogodowy, ich działanie jest opisane w sekcji "Regulatory"), które kontrolują ilość ciepła wytwarzanego przez piec.

Ciepło wytwarzane przez piec

Ilość przekazywanego ciepła w czasie obliczamy na podstawie wzoru:

$$\frac{dQ}{dt} = (T_{heater} - T_{room}) \cdot airflow \cdot cp$$

T_{heater} , T_{room} - temperatury odpowiednio na piecu i w pokoju

$airflow$ [kg/s] - strumień masy (masowe natężenie przepływu), miara ilości substancji przepływającej przez wyodrębnioną przestrzeń, obszar lub poprzeczny przekrój w jednostce czasu

cp [$J/kg \cdot K$] - ciepło właściwe, potrzebne do zmiany temperatury ciała w jednostkowej masie o jedną jednostkę

Straty ciepła

Szybkość z jaką przepływa energia cieplna z jednego ośrodka do drugiego nosi nazwę strumienia ciepła. Równanie, które opisuje to zjawisko jest następujące:

$$\frac{dQ}{dt} = U \cdot (T_{room} - T_{out})$$

T_{room} , T_{out} - temperatury odpowiednio w pokoju i na zewnątrz pomieszczenia

$U [W/(m^2 \cdot K)]$ – współczynnik przenikania ciepła, jest to ilość ciepła, która w czasie 1s przepływa przez powierzchnię $1m^2$ danej przegrody budowlanej, przy różnicy temperatur po obu jej stronach równej 1K.

Aby obliczyć współczynnik przenikania ciepła posługujemy się wzorem:

$$U = \frac{\lambda}{d}$$

$\lambda [W/m \cdot K]$ - współczynnik przewodzenia ciepła, jest to ilość ciepła, która przepływa w czasie 1s przez dany materiał o wymiarach 1m x 1m x 1m, prostopadle do niego, przy różnicy temperatur po obu jego stronach równej 1K. Wartości dla wybranych materiałów budowlanych znajdują się w tabeli1

$d [m]$ - grubość przegrody

Współczynniki przenikania ciepła U poszczególnych elementów obudowy budynku mnożymy przez ich powierzchnię ($area [m^2]$). W ten sposób dostajemy współczynniki strat ciepła przez przenikanie ($[W/K]$). Następnie sumujemy współczynniki strat ciepła dla każdego z materiałów użytych w budowie pomieszczenia i na tej podstawie otrzymujemy strumień strat ciepła.

Materiał	Współczynnik przewodzenia ciepła [W/(m·K)]
Wełna mineralna	0,03 – 0,04
Styropian (EPS)	0,032 – 0,045
Drewno	0,16 – 0,3 (sosna i świerk), 0,22 – 0,4 (dąb)
Cegła	0,15 – 1,31
Beton	1 – 1,7
Żelbet	1,7
Szkło okienne	0,8
Szkło zbrojone	1,15
Tynk gipsowy	0,4 – 0,57

Table 1: Wartości współczynnika przewodzenia ciepła dla wybranych materiałów

Zmiana temperatury pomieszczenia w czasie

Wartość temperatury wewnątrz pomieszczenia w czasie (w każdym jego punkcie) jest zależna od ilości dostarczonego przez piec ciepła i strat ciepła do otoczenia. To ciepło rozłożone jest na całą masę powietrza w pomieszczeniu M . Do obliczenia zmian temperatury korzystamy ze wzoru:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\frac{dQ_{heater}}{dt} - \frac{dQ_{losses}}{dt}}{M \cdot cp}$$

$\frac{dQ_{heater}}{dt}$, $\frac{dQ_{losses}}{dt}$ - ilość ciepła dostarczonego i straconego obliczona z wcześniej opisanych wzorów

M [kg] - masa powietrza wewnątrz pomieszczenia, liczymy mnożąc objętość pomieszczenia i gęstość powietrza (1.2250 kg/m^3)

cp [J/kg · K] - ciepło właściwe

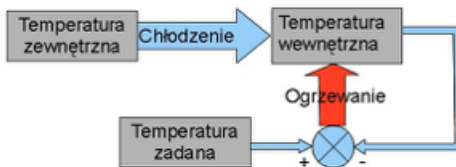
Regulatory

W skład systemu ogrzewania wchodzi regulatory. Ich zadaniem jest kontrolowanie pracy pieca w celu utrzymania określonej przez użytkownika temperatury niezależnie od warunków pogodowych panujących na zewnątrz. Aby zminimalizować ilość energii wytwarzanej przez piec w modelu użyliśmy dwóch regulatorów - pokojowego i pogodowego.

Regulator pokojowy

Regulator pokojowy mierzy panującą wewnątrz pomieszczenia temperaturę, a następnie określa różnicę między temperaturą zadaną a zmierzoną. Na podstawie tej różnicy reguluje ilość dostarczanego ciepła włączając i wyłączając piec. Jest to tak zwana regulacja ze sprzężeniem wstecz. Najprostsze regulatory, np. termostaty, gwarantują jedynie, że temperatura pomieszczenia będzie się zawierać w pewnym przedziale, zwanym histerezą. Najszybciej i najdokładniej reagują regulatory typu PID, taki też zastosowany jest w modelu.

Regulator pokojowy



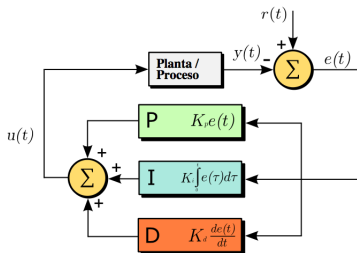
Regulacja pokojowa

Regulator PID

PID to algorytm regulacji, który jest powszechnie wykorzystywany w automatyce, ma on zastosowanie między innymi w systemach ogrzewania. Jego celem jest utrzymanie wartości wyjściowej na określonym poziomie (wartość zadana).

Regulator PID to trzy połączone ze sobą moduły:

- proporcjonalny (P), który kompensuje uchyb bieżący,
- całkujący (I), odpowiedzialny za kompensację skumulowanych uchybów z przeszłości,
- różniczkujący (D) kompensujący przewidywane uchyby w przyszłości



Ogólny wzór przedstawiający zasadę działania kontrolera można przedstawić w następujący sposób:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

$e(t)$ – aktualny błąd pomiędzy wartością zadaną i otrzymaną na wyjściu sterownika

K_p, K_i, K_d - wzmacnienia części odpowiednio proporcjonalnej, całkującej, różniczkującej

Prawidłowe działanie regulatora PID zależy od doboru odpowiednich współczynników elementów. Dobór nastaw regulatora PID nie należy do zadań prostych, pomimo iż sterujemy tylko trzema parametrami.

Opracowano szereg metod doboru nastaw, aby usprawnić żmudny i czasochłonny proces strojenia. Metoda Zieglera-Nicholsa stała się niemal standardową procedurą doboru nastaw regulatora.

Aby obliczyć wartości nastaw regulatora PID metodą Zieglera-Nicholsa, należy wyznaczyć wartość współczynnika wzmocnienie krytycznego K_{kr} (tj. na granicy stabilności). W przypadku nieznanej transmitancji obiektu stosuje się metodę doświadczalną: nastawia się regulator na działanie proporcjonalne i zwiększa wzmocnienie doprowadzając układ do granicy stabilności. W stanie oscylacji należy zmierzyć ich okres P_{kr} (czas trwania jednego cyklu). Znając wartości K_{kr} oraz P_{kr} i posługując się zależnościami z tabeli 2 można obliczyć wartości nastaw dla trzech podstawowych typów regulatora (tj. P, PI oraz PID).

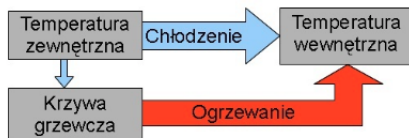
Regulator	K_p	K_i	K_d
P	$0.5K_{kr}$	-	-
PI	$0.45K_{kr}$	$P_{kr}/1.2$	-
PID	$0.6K_{kr}$	$P_{kr}/2$	$P_{kr}/8$

Table 2: Nastawy regulatorów – metoda Zieglera-Nicholsa

Regulator pogodowy

Regulator pogodowy przewiduje ilość potrzebnego ciepła jaką musi wytworzyć piec na podstawie temperatury zewnętrznej. Jest to tak zwana regulacja w przód. To, ile ciepła jest dostarczane w zależności od temperatury zewnętrznej, określa wykres zwany krzywą grzewczą. Powinien on możliwie jak najdokładniej oddawać właściwości energetyczne budynku.

Regulator pogodowy



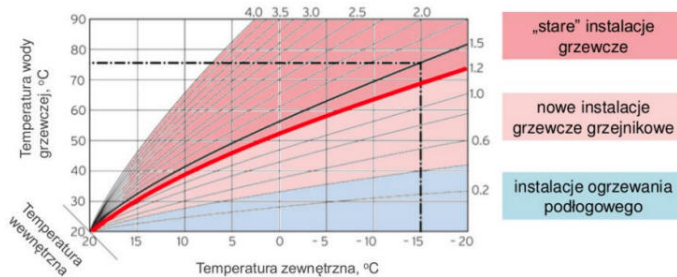
Regulacja pogodowa

Krzywa grzewcza to zależność, jaka występuje między temperaturą zasilania instalacji grzewczej a temperaturą powietrza panującą na zewnątrz.

Krzywa grzewcza określa do jakiej temperatury kocioł ma podgrzewać wodę przy danej temperaturze zewnętrznej. Ta zależność jest opisywana za pomocą dwóch parametrów: nachylenia krzywej oraz jej poziomu.

Prawidłowe ustawienie krzywej grzania jest zadaniem trudnym i wymaga najczęściej długiego okresu czasu, dla niezbędnej obserwacji instalacji.

Wstępny dobór nachylenia krzywej możemy przyjąć na podstawie poniższego wykresu.



Regulatory pokojowe reagują jedynie na wahania temperatury wewnątrz pomieszczenia, zaś regulatory pogodowe — tylko na temperaturę zewnętrzną. W celu zapewnienia optymalnego komfortu cieplnego — minimalnych wahań temperatury w pomieszczeniu wobec zmiennej temperatury zewnętrznej — idealnym rozwiązaniem jest połączenie obu typów regulatorów. Regulator pogodowy umieszczony na kotle reguluje „produkcję ciepła”, kompensując jego straty związane z pogodą. Regulator pokojowy zapewnia możliwość regulacji temperatury w zależności od preferencji użytkownika. Dzięki temu różnica między temperaturą zmierzoną, a nastawioną na regulatorze pokojowym nie waha się mocno i w rezultacie wahania temperatury w pomieszczeniu są najmniejsze.

Przyjęte założenia

W rzeczywistej instalacji ogrzewania istnieje nieco więcej czynników wpływających na zmiany temperaturowe w pomieszczeniu niż w przyjętym przez nas modelu. Nie mają one jednak istotnego znaczenia dla uzyskiwanych w symulacji wyników ilości zużytych kosztów i ciepła, czy przy porównywaniu ich przy różnych technikach ogrzewania. Poniżej wypisane są wstępne założenia dla naszego projektu.

- Wewnątrz pomieszczenia rozkład temperatury jest wyrównany.
- Ruchy konwekcyjne wewnątrz pomieszczenia są pominięte, zakładając się, że pomieszczenie jest puste.
- Urządzenia grzewcze są typu konwekcyjnego i rozmieszczone są w pomieszczeniu równomiernie.
- Pomija się czynniki pogodowe takie jak wilgotność, ciśnienie, wiatr, brana pod uwagę jest tylko temperatura powietrza.