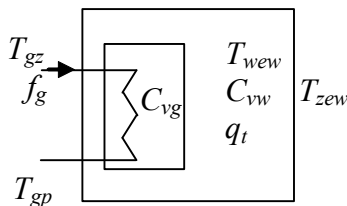


7. Pomieszczenie z grzejnikiem c.o. (obiekt nieliniowy)

Problemy: Model nieliniowego obiektu. Identyfikacja modelu MIMO. Pojedyncza pętla regulacji PI (podstawowy dobór nastaw). Punkty pracy. Wskaźniki jakości.

7.1. Model pomieszczenia z grzejnikiem wodnym

Cel: Znaczenie założeń podczas konstrukcji modelu. Budowa i weryfikacja modelu obiektu. Uruchamianie symulacji od dowolnego stanu ustalonego. Charakterystyki statyczne i dynamiczne.



Ilość ciepła dostarczana do pomieszczenia zależy od temperatury wody zasilającej grzejnik c.o. i od natężenia przepływu wody. Dodatkowym źródłem ciepła mogą być osoby, sprzęt gospodarstwa domowego, itp. Mogą wystąpić też dodatkowe straty ciepła, np. otwarte okno. Te dodatkowe zyski/straty ciepła są uwzględniane w postaci +/- wartości mocy q_t (ciepło „technologiczne”)

Model pomieszczenia z grzejnikiem może odpowiadać dosłownie pojedynczemu pomieszczeniu lub reprezentować cały budynek, przy czym zakłada się, że wszystkie ściany pomieszczenia są zewnętrzne i jednolite. Przedmiotem badań będzie model w postaci równań różniczkowych obiektu złożonego z pomieszczenia i grzejnika, przy wybranym zestawie założeń dotyczących pojemności cieplnej powietrza w pomieszczeniu (C_{vw}), wody w grzejniku (C_{vg}) i materiału ścian (C_{vs}):

a) $C_{vw} \gg C_{vg}$, $C_{vw} \gg C_{vs}$ (wersja uproszczona)

$$C_{vg} \dot{T}_{gp}(t) = c_{pw} \rho_w f_g(t) (T_{gz}(t) - T_{gp}(t)) - K_{cg} (T_{gp}(t) - T_{wew}(t))$$

$$\text{oraz } 0 = K_{cg} (T_{gp}(t) - T_{wew}(t)) - K_{cw} (T_{wew}(t) - T_{zew}(t))$$

b) $C_{vw} \approx C_{vg}$, $C_{vw} \gg C_{vs}$ - wersja podstawowa 1 (pojemność cieplną ścian uwzględnić w formie poprawki do pojemności powietrza w pomieszczeniu C_{vw})

$$\begin{cases} C_{vg} \dot{T}_{gp}(t) = c_{pw} \rho_w f_g(t) (T_{gz}(t) - T_{gp}(t)) - K_{cg} (T_{gp}(t) - T_{wew}(t)) \\ C_{vw} \dot{T}_{wew}(t) = K_{cg} (T_{gp}(t) - T_{wew}(t)) - K_{cw} (T_{wew}(t) - T_{zew}(t)) \end{cases}$$

c) $C_{vw} \gg C_{vg}$, $C_{vw} \approx C_{vs}$ - wersja dokładniejsza

$$\begin{cases} C_{vg} \dot{T}_{gp}(t) = c_{pw} \rho_w f_g(t) (T_{gz}(t) - T_{gp}(t)) - K_{cg} (T_{gp}(t) - T_{wew}(t)) \\ C_{vw} \dot{T}_{wew}(t) = K_{cg} (T_{gp}(t) - T_{wew}(t)) - K_{cw1} (T_{wew}(t) - T_s(t)) \\ C_{vs} \dot{T}_s(t) = K_{cw1} (T_{wew}(t) - T_s(t)) - K_{cw2} (T_s(t) - T_{zew}(t)) \end{cases}$$

Zadania:

1. Uzupelnic model wybrany do badan o zrodlo dodatkowych zyskow/strat ciepla q_t .
2. Wyznaczyc wzory na parametry modelu zakladajac, ze przy temperaturze obliczeniowej $T_{zewN} = -20^\circ\text{C}$ zapotrzebowanie na cieplo wynosi q_N^1 , co zapewnia wewnatrz temperature $T_{wewN} = +20^\circ\text{C}$. To zapotrzebowanie w pelni pokrywa instalacja centralnego ogrzewania ($q_{tN} = 0\text{W}$). Temperatura wody zasilajacej i powracajacej z instalacji w warunkach nominalnych (obliczeniowych) wynosi $T_{gzN} = 90^\circ\text{C}$, $T_{gpN} = 70^\circ\text{C}$.
3. Przygotowac schemat w Simulinku oraz skrypt do uruchomienia symulacji. Czesci skryptu:
 - wartosci nominalne (obliczeniowe) - okreslone na podstawie wirtualnego eksperymentu,
 - identyfikacja parametrów - na podstawie stanu ustalonego i wartosci nominalnych,
 - stan poczatkowy - punkt pracy (stan rownowagi) od ktorego beda uruchamiane symulacje,
 - uruchomienie symulacji i wygenerowanie wykresow.
4. Zweryfikowac poprawnosc modelu (na podstawie zachowania w stanie ustalonym - dla warunkow obliczeniowych oraz w innym punkcie pracy)
5. Sparametryzowac model pomieszczenia (blokowanie, maskowanie), przygotowujac go do wykorzystania w dalszych badaniach (wspolpraca z regulatorem, model budynku):
 - zmienne wejsciowe bloku $T_{zew}, T_{gz}, f_g, q_t$;
 - zmienne wyjsciowe T_{wew}, T_{gp} ;
 - parametry bloku - wspolczynniki przewodnosci i pojemnosci cieplne scian (grzejnika, pomieszczenia) oraz wartosci poczatkowe zmiennych wyjsciowych.

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

¹ np. 1÷2kW w przypadku pojedynczego pomieszczenia, 15÷20kW dla malego budynku

6. Zbadać reakcję obiektu kolejno na zmianę temperatury na zewnątrz, temperatury wody zasilającej instalację, natężenia przepływu wody w instalacji oraz dodatkowe zyski/straty ciepła. Badania wykonać w różnych punktach pracy – nominalnym (N) i innym, np.:

wej. / p.pracy	1	2	3	4
T_{zew0}	N	$N+10$	N	N
T_{gz0}	N	N	$N-10$	N
f_{g0}	N	N	N	$N*0,5$

Uwaga: Symulacje uruchamiać od odpowiedniego stanu ustalonego.

7. Zbadać możliwość regulacji temperatury wewnątrz (T_{wew}) przez sterowanie temperaturą wody zasilającej grzejnik T_{gz} i przez natężenie przepływu wody przez grzejnik f_g , to znaczy:
- wykreślić charakterystyki statyczne: $T_{wew}(T_{gz})$ i $T_{wew}(f_g)$
 - wyznaczyć czułość obiektu na wielkości sterujące.

Pytania:

1. Sklasyfikować i opisać model: rząd, liniowość, unilateralność, zmienne stanu, zmienne wejściowe (sterujące i zakłócenia)
2. Porównaj reakcje obiektu w różnych punktach pracy (czy w różnych punktach pracy reakcja na takie samo zakłócenie jest taka sama¹). Wyjaśnij podobieństwa i różnice
3. Określ i uzasadnij, która z wielkości (T_{gz}, f_g) byłaby lepszą zmienną sterującą?
4. Typowe wartości współczynnika przenikania dla zewnętrznych przegród budowlanych są rzędu $1.2 [W/m^2K]$ w starych budynkach i $0.3 [W/m^2K]$ w budownictwie ekonomicznym. Jaką wartość ma współczynnik przenikania w badanym modelu? Wyjaśnij różnice.

Zagadnienia dodatkowe:

1. Czy w reakcji badanego modelu mogą wystąpić oscylacje, np. dla innych wartości parametrów?
2. Porównać² modele badanego obiektu w wersji uproszczonej i podstawowej
3. Przygotować symulację, która wykreśli charakterystyki statyczne: $T_{wew}(T_{gz})$, $T_{wew}(f_g)$, korzystając z dynamicznego modelu pomieszczenia z grzejnikiem.
4. Wykonaj linearyzację dynamiczną modelu.

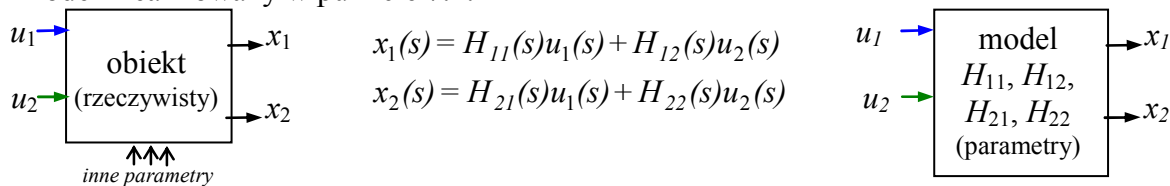
Opracowanie badań:

- 1) Zapewnić poprawność modelu i wykonania symulacji (zawsze uruchamiane od stanu równowagi)
- 2) Reakcja na: skok T_{zew} , skok T_{gz} , skok f_g , skok q_b w 4 różnych punktach pracy. Porównanie reakcji.
- 3) Charakterystyki statyczne T_{wew} od T_{gz} i f_g . Wyznaczenie czułości
- 4) Odpowiedzi i wnioski (odniesienie do wykresów)

7.2. Identyfikacja eksperymentalna modelu

Cel: Eksperymentalne metody wyznaczania prostych modeli. Identyfikacja modeli typu MIMO

Funkcję rzeczywistego obiektu w warunkach laboratoryjnych będzie pełnił obiekt „wirtualny”, czyli model zrealizowany w punkcie 7.1.



Zadania:

1. Zidentyfikować pełny model obiektu ($H_{11}, H_{12}, H_{21}, H_{22}$), który ma dwie zmienne wyjściowe T_{wew} i T_{gp} , stosując:
 - a) model Kűpfműllera, b) model Strejca,
 Na potrzeby tej identyfikacji przyjąć, że obiekt ma dwa wejścia T_{gz} i T_{zew} , natomiast przepływ f_g jest parametrem modelu.
2. Porównać odpowiedzi skokowe modelu (H_{ij}) i obiektu. Sprawdzić zgodność modelu i obiektu w stanie ustalonym. Zaproponować i zastosować miarę oceny dokładności modeli.
3. Powtórz identyfikację w innych punktach pracy (różne wartości początkowe T_{gz0}, T_{zew0} i f_{g0}).

Pytania:

1. Która metoda identyfikacji (Kűpfműllera, Strejca) pozwoliła uzyskać dokładniejszy model?
2. Czy zmiana punktu pracy obiektu ma wpływ na wyniki identyfikacji (parametry modelu).

¹ Porównywane przebiegi przedstawić na jednym wykresie (dodatkowo przesunąć do jednego poziomu)

² Dla porównywania wykonać wykresy na jednym obrazie lub zaproponować wskaźniki. Jak wyjaśnić wyniki?

Zagadnienia dodatkowe:

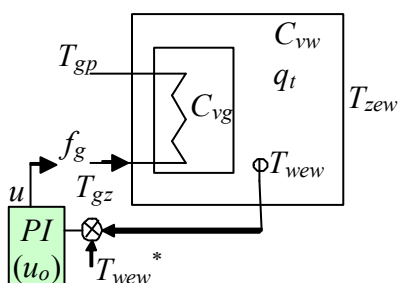
1. Wykonać identyfikację wybranej transmitancji obiektu metodą momentów.
2. Która identyfikacja była najdokładniejsza (Küpfmüllera, Strejca, m.momentów)?
3. Przekształć model Küpfmüllera na funkcję wymierną (stosując aproksymację Padé). Jak to wpłynie na dokładność modelu?
4. Wyznacz model MIMO obiektu gdy obserwujemy dwa wyjścia T_{zew} i T_{gp} , a obiekt ma trzy zmienne wejściowe T_{gz} , T_{zew} i f_g .
5. Wyznacz dokładne transmitancje obiektu (na podstawie równań różniczkowych, definiujących obiekt), zakładając, że przepływ f_g jest parametrem obiektu.
6. Wytlumacz jak pogodzić nieliniowy charakter zależności modelu od przepływu f_g z możliwością identyfikowania transmitancji dla przepływu f_g .

Opracowanie badań:

- 1) Model Küpfmüllera – 4 transmitancje (wykresy z identyfikacją, wartości parametrów). Weryfikacja modeli i oszacowanie błędów w nominalnym i w dowolnym punkcie pracy (inne T_{gz} , T_{zew} i f_g)
- 2) Dla wybranej transmitancji wyznaczyć model Strejca (metoda dowolna ale udokumentować wykonane kroki). Weryfikacja modeli i oszacowanie błędów w nominalnym i w dowolnym punkcie pracy.
- 3) Odpowiedzi i wnioski (odniesienie do wykresów lub tabel)

7.3. Układy regulacji ciągłej PI

Cel: Struktura regulatorów PID (nastawy zależne i niezależne). Własności algorytmu PI. Stan początkowy w punkcie równowagi. Regulacja dla obiektów liniowych i nieliniowych.



Zadaniem układu regulacji jest utrzymywanie zadanej temperatury wewnątrz pomieszczenia. Można to zrealizować sterując temperaturą T_{gz} lub ilością f_g wody przepływającej przez grzejnik.

Zastosowanie regulatora PI jest w tym wypadku najprostszym rozwiązaniem zapewniającym zerowy uchyb regulacji w stanie ustalonym ($e = T_{zew0} - T_{zew0}^* = 0$).

Zadania:

1. Przygotować własny blok regulatora PI z niezależnymi nastawami K_p i $K_i = 1/T_i$ oraz z możliwością ustawiania wartości początkowej zmiennej sterującej (3.2). Wykonać grupowanie i parametryzację boku.
2. Zrealizować układy regulacji temperatury T_{zew} wewnątrz pomieszczenia (objektu z punktu 7.1) z zastosowaniem regulatora PI i dwóch wariantów sterowania – za pomocą temperatury T_{gz} albo przepływu f_g . Przygotować symulacje do uruchamiania w różnych punktach pracy, obliczanych na podstawie równań statycznych obiektu oraz zerowego uchybu regulacji PI w stanie ustalonym.

Uwaga: Odpowiednie wartości początkowe należy wpisać w blokach całkujących modelu obiektu i regulatora.

3. Nastawy dla obu wariantów regulatora dobrać metodą prób i błędów (regulacja nie musi być optymalna, wystarczy, że będzie stabilna).
4. Dla każdego układu wyznaczyć reakcję na skok wartości zadanej temperatury pomieszczeń (T_{zew}^*), skok temperatury na zewnątrz i wystąpienie dodatkowego zysku/straty ciepła w pomieszczeniu. Badania wykonać w różnych punktach pracy (zależnie od zmiennej sterującej):

wej. / p.pracy	1	2	3
T_{zew0}	N	N+10	N
f_{g0}	N	N	N*0,5
T_{zew0}^*	N	N-2	N
$T_{zew0} = T_{zew0}^*$			

wej. / p.pracy	1	2	3
T_{zew0}	N	N+10	N
T_{gz0}	N	N	N-10
T_{zew0}^*	N	N-2	N
$T_{zew0} = T_{zew0}^*$			

Uwaga na poprawność wykonania eksperymentu, tzn. by zmiana wymuszenia była zadawana gdy układ jest w stanie ustalonym (uchyb regulacji wynosi zero):

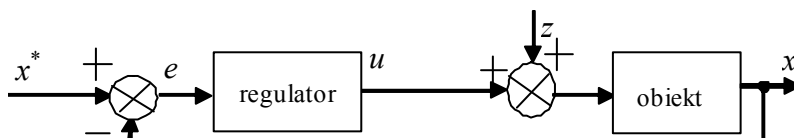
- wer.a) wymuszenie skoku po dojściu układu do stanu ustalonego – wersja minimalna,
 - wer.b) uruchamianie symulacji od stanu nominalnego – wersja uproszczona,
 - wer.c) uruchamianie symulacji od dowolnego stanu ustalonego – wersja podstawowa.
5. Rejestrować przebieg zmiennej procesowej i zmiennej sterującej.

Pytania:

1. Porównać własności układu regulacji PI ze sterowaniem T_{gz} oraz ze sterowaniem f_g . Porównać przede wszystkim uchyb ustalony i czas regulacji. Zwrócić uwagę czy zmienna sterująca nie przekracza zakresu zmienności.
2. Czy nastawy regulatora wyznaczone w jednym punkcie pracy będą równie dobre w innym punkcie pracy? Czy dotyczy to obu układów, tj. ze sterowaniem T_{gz} i f_g ?
3. Czy nastawy dobrane względem zakłóceń na jednym wejściu, będą równie dobre przy analogicznych zakłóceniach na innym wejściu?

Zagadnienia dodatkowe:

1. W bloku regulatora wydzieli przetwornik wielkości pomiarowej i przetwarzanie przez elementy sterujące i wykonawcze.
2. Przedstawić komplet równań stanu dla badanego obiektu łącznie regulatorem PI
3. Jak zmieniają się własności układów regulacji jeśli zostanie zastosowany regulator: a) regulator P; b) regulator PID?
4. Zinterpretować ogólny schemat układu ze sprzężeniem zwrotnym w odniesieniu do badanych układów



Opracowanie badań:

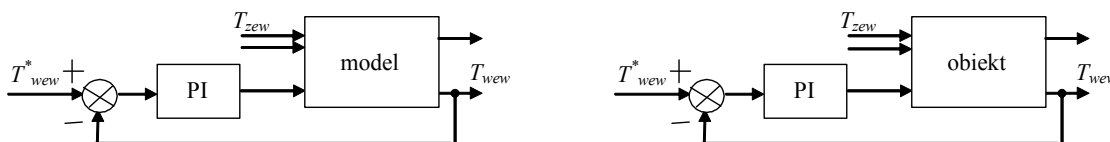
- 1) Dwa układy regulacji (sterowanie T_{gz} i f_g). Zapewnić poprawność modelu i wykonania symulacji
- 2) Wyniki badań w 3 różnych punktach pracy w postaci reakcji na: skok T_{zew} , skok q_p , skok T_{zew}^* oraz T_{gz} lub f_g (odpowiednio do wariantu regulacji). Porównanie reakcji.
- 3) Odpowiedzi i wnioski (odniesienie do wykresów lub tabel)

7.4. Inżynierskie metody doboru nastaw

Cel: Praktyczne (inżynierskie) metody doboru nastaw PID (do zastosowania w warunkach pracy na rzeczywistym obiekcie) i wyznaczenie wskaźników jakości

Zadania:

1. Badania zrealizować dla układów regulacji temperatury przygotowanych w p. 7.3 (ze sterowaniem T_{gz} oraz ze sterowaniem f_g).
2. Dobrać nastawy regulatora stosując wybraną metodę, na przykład I metodę Zieglera-Nicholsa (Z-N), czyli na podstawie odpowiedzi skokowej. Wyznaczone nastawy wprowadzić do regulatora (bez optymalizowania wartości).
3. Zbadać działanie układu regulacji w warunkach teoretycznych, czyli zastosować wyznaczone nastawy do układu regulacji z modelem (wykorzystanym do doboru nastaw).
4. Zbadać działanie układu regulacji w warunkach rzeczywistych (na obiekcie) w różnych punktach pracy – wyznaczyć reakcję na skok wartości zadanej temperatury pomieszczeń, skok temperatury na zewnątrz i wystąpienie dodatkowego zysku/straty ciepła w pomieszczeniu.



5. Rejestrować przebieg zmiennej procesowej i zmiennej sterującej.
6. Zaproponować i zastosować wskaźniki jakości do porównywania badanych układów regulacji.
7. Zbadać wrażliwość układu regulacji na zmiany nastaw regulatora.

Pytania:

1. Czy wyznaczone nastawy zapewnią stabilność regulacji w każdych warunkach pracy? Czy są to nastawy optymalne?
2. Określić jakość regulacji stosując wybrane wskaźniki (bezpośrednie i całkowite).
3. Porównać jakość regulacji w warunkach teoretycznych i w warunkach rzeczywistych.
4. Czy jakość regulacji zależy od punktu pracy?
5. Czy dobrane nastawy dają realny przebieg regulacji ze względu na zmienną sterującą?

Zagadnienia dodatkowe:

1. Czy można zrealizować dobór nastaw regulatora stosując II metodę Zieglera-Nicholsa, tj. na podstawie cyklu granicznego? Jeśli tak – to jak? Jeśli nie – to uzasadnij.
2. Zastosować inny sposób doboru nastaw. Porównać działanie układu regulacji z nastawami dobranymi w różny sposób.

Opracowanie badań:

- 1) Dwa układy regulacji (sterowanie T_{gz} i f_g). Zapewnić poprawność modelu i wykonania symulacji
- 2) Dobór nastaw - wskazać wykorzystywany model i metodę oraz wyznaczone wartości.
- 3) Wyniki badań w 3 różnych punktach pracy w postaci reakcji na: skok T_{zew}^* , skok T_{zew} , skok q_t .
- 4) Tabela do porównania jakości regulacji badanych układów (różne układy, punkty pracy i zakłócenia). Ocena jakości zawiera co najmniej uchyb ustalony i czas regulacji oraz wybrany wskaźnik całkowity.
- 5) Odpowiedzi na pytania (wnioski) zilustrowane wykresami, tabelami

7.5. Opracowanie badań

- 1) Badanie własności obiektu – na podstawie porównania odpowiedzi na wymuszenia skokowe zmiennych wejściowych (T_{zew} , T_{gz} i f_g) w różnych punktach pracy oraz na podstawie charakterystyk statycznych T_{zew} od T_{gz} i f_g .
- 2) Identyfikacja modelu – wyznaczyć wszystkie transmitancje modelu w wybranym punkcie pracy przy założeniu, że przepływ f_g jest parametrem. Określić dokładność modelu w badanym punkcie pracy oraz w innych punktach pracy. Na przykładzie wybranej transmitancji porównać dokładność różnych metod identyfikacji.
- 3) Porównanie różnych układów regulacji temperatury wewnętrznej – ze sterowaniem temperaturą zasilania T_{gz} i ze sterowaniem przepływem wody przez grzejnik f_g
 - Dobrać nastawy metodą inżynierską, np. Z-N (podać stosowane modele i dobrane nastawy)
 - Zastosować wyznaczone nastawy na rzeczywistym obiekcie
 - Zbadać reakcje układów na skokowe zmiany zmiennych wejściowych (w tym T_{zew} , zadana T_{zew} , dodatkowe źródło q_t) w różnych punktach pracy (wg odpowiedniej tabeli)
 - Obserwować zmienną procesową i sterującą (wykresy PV i CV).
 - Ocenic jakość regulacji - określić wartość wybranych wskaźników (bezpośrednich i całkowych)
 - Określić wrażliwość układu na zmianę nastaw
- 4) Porównanie różnych metod doboru nastaw

złożonego obiektu oraz realizować obliczenia zmiennych wyjściowych na podstawie układu równań statycznych całego obiektu:

$$c_{pw}\rho_w f_{g0}(T_{gz0} - T_{gp0}) = K_{cg}(T_{gp0} - T_{zew0}) = K_{cw}(T_{zew0} - T_{zew0})$$

$$q_{k0} = c_{pw}\rho_w f_{k0}^{\text{II}}(T_{kz0} - T_{kp0})$$

czyli układu 3 równań: $q_{k0} = c_{pw}\rho_w f_{g0}(T_{gz0} - T_{gp0}) = K_{cg}(T_{gp0} - T_{zew0}) = K_{cw}(T_{zew0} - T_{zew0})$

Uwaga: Odpowiednie wartości początkowe należy wpisać w blokach całkujących i w blokach opóźnień transportowych.

3. Zweryfikować poprawność modelu (na podstawie zachowania w dowolnym punkcie pracy)
4. Sprawdzić reakcję obiektu w dowolnym punkcie pracy na skokowe wymuszenia na poszczególnych wejściach.
5. Wykonać badania zakładając różne opóźnienia transportowe. W dalszych badaniach układów regulacji założyć opóźnienia o rząd mniejsze od inercji obiektu¹.

Pytania:

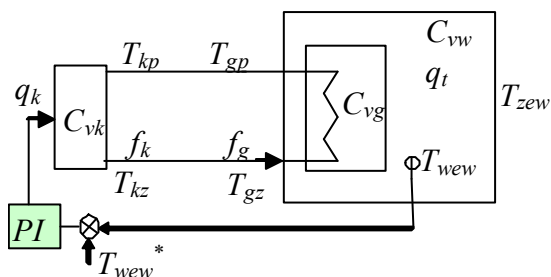
1. Które zmienne są zmiennymi wejściowymi złożonego modelu?
2. Która ze zmiennych wejściowych może być wykorzystana jako zmienna sterująca w układzie regulacji temperatury wewnętrznej?
3. Jaki wpływ na własności obiektu ma wielkość opóźnienia transportowego?

Opracowanie badań:

- 1) Zapewnić poprawność modelu i możliwość wykonania symulacji od dowolnego stanu równowagi
- 2) Reakcja T_{zew} i T_{kp} na: skok T_{zew} , skok q_k , skok q_b , skok f_k (f_g), w wybranym punkcie pracy.
- 3) Charakterystyki statyczne T_{zew} od q_k i f_k .
- 4) Odpowiedzi i wnioski (odniesienie do wykresów)

8.3. Regulacja bezpośrednia

Cel: Regulacja bezpośrednia temperatury wewnątrz, za pomocą sterowania wydajnością kotła.



Zadaniem układu regulacji jest utrzymywanie zadanej temperatury wewnątrz pomieszczenia. Zadanie to realizuje regulator PI sterujący mocą kotła na podstawie bezpośredniego pomiaru T_{zew} . W rzeczywistych warunkach zmiany mocy kotła są ograniczone co do zakresu wartości i szybkości zmian.

Zadania:

1. Zrealizować układ sprzężenia zwrotnego z regulatorem PI, który stabilizuje T_{zew} poprzez zmianę q_k . Przygotować model (skrypt) do uruchamiania w różnych punktach pracy, obliczanych na podstawie równań statycznych obiektu oraz zerowego uchybu regulacji PI w stanie ustalonym.
2. Wybraną metodą inżynierską dobrać nastawy zapewniające stabilność układu (bez optymalizacji). Zastosować nastawy na rzeczywistym obiekcie.
3. Z badać działanie układu regulacji kolejno dla skokowej zmiany wartości zadanej temperatury pomieszczeń, temperatury na zewnątrz i dodatkowego zysku/straty ciepła w pomieszczeniu. Obserwować zmienną procesową i sterującą (wykresy PV, CV). Ocenić jakość regulacji.
4. Sprawdzić możliwość regulacji T_{zew} poprzez sterowanie przepływem f_g , analogicznie jak dla pojedynczego pomieszczenia (7.3)

Pytania:

1. Wskaż w układzie zmienne wejściowe, zmienną procesową, sterującą i wartość zadaną.
2. Czy zastosowana metoda doboru zapewniła: a) stabilność układu regulacji; b) wystarczającą jakość; c) wykonalność (czy zmienna sterująca mieści się w zakresie zmienności?)
3. Skomentować próbę regulacji T_{zew} za pomocą sterowania przepływem.

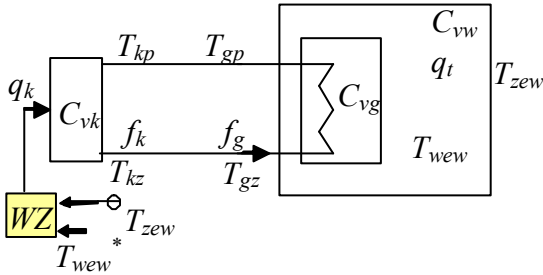
¹ inercja obiektu szacowana na podstawie zastępczego modelu (np. stała czasowa w modelu Kùpfmüllera)

Opracowanie badań:

- 1) Układ regulacji T_{wew} ze sterowaniem q_k . Zapewnienie poprawności modelu i wykonania symulacji. Dobór nastaw - wskazać wykorzystywany model i metodę oraz wyznaczone wartości.
- 2) Reakcja na: skok T_{zew}^* , skok T_{zew} , skok q_t w wybranym punkcie pracy; Zestawienie wybranych wskaźników jakości
- 3) Odpowiedzi na pytania (wnioski) zilustrowane wykresami, tabelami

8.4. Sterowanie w układzie otwartym (pogodowe)

Cel: Stabilizacja temperatury wewnątrz, za pomocą sterowania wydajnością kotła.



W pomieszczeniu należy utrzymywać zadaną temperaturę, jednakże nie ma możliwości pomiaru tej temperatury, np. ze względu na odległość kotłowni od pomieszczenia. Zapotrzebowanie budynku na ciepło zależy głównie od temperatury na zewnątrz, więc na podstawie pomiaru T_{zew} można określić z jaką mocą powinien pracować kocioł.

Traktując cały budynek jako jedno zastępcze pomieszczenie z jednym zastępczym grzejnikiem można napisać bilans:

$$\frac{q}{q_N} = \frac{c_p \rho f_g (T_{gz} - T_{gp})}{c_p \rho f_{gN} (T_{gzN} - T_{gpN})} = \frac{K_{cg} (T_{gsr} - T_{wew})}{K_{cg} (T_{gsrN} - T_{wewN})} = \frac{K_{cw} (T_{wew} - T_{zew})}{K_{cw} (T_{wewN} - T_{zewN})}$$

gdzie q – zapotrzebowanie na ciepło, natomiast $T_{gsr} = T_{gp}$ (zgodnie z założeniem o doskonałym mieszanii). Zmienne (q , T_{gz} , T_{gp} , f_g) i ich wartości nominalne (q_N , T_{gzN} , T_{gpN} , f_{gN}) opisują model budynku w warunkach dowolnych i nominalnych. Na podstawie tego bilansu, zakładając $f=f_N$ można wyznaczyć wzory do obliczania wartości temperatury zasilania T_{kz} ($=T_{gz}$) i powrotu T_{kp} ($=T_{gp}$) oraz mocy q dla określonej wartości temperatury zewnętrznej T_{zew} i wewnętrznej T_{wew} , czyli tak zwane charakterystyki (krzywe) pogodowe:

$$T_{kz} = a_z T_{wew} + b_z T_{zew}, \quad T_{kp} = a_p T_{wew} + b_p T_{zew}, \quad q = a_q T_{wew} + b_q T_{zew}.$$

Zadania:

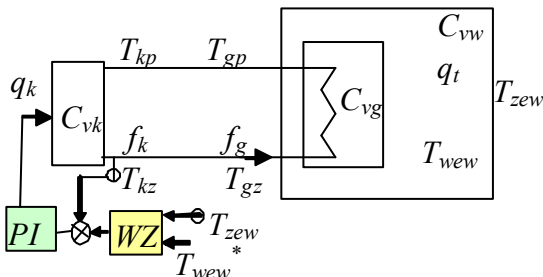
1. Zaimplementować wzór $q = a_q T_{wew} + b_q T_{zew}$ w postaci bloku WZ, który określa zapotrzebowanie na ciepło dla zmierzonej wartości T_{zew} i wybranej wartości temperatury w pomieszczeniu - T_{wew}^* .
2. Zrealizować układ sterowania otwartego, który stabilizuje T_{wew} na zadanej wartości T_{wew}^* , poprzez ustawienie wyliczonej wartości mocy q .
3. Z badać działanie układu kolejno przy zmianie wartości zadanej temperatury pomieszczeń, temperatury na zewnątrz i dodatkowego zysku/straty ciepła w pomieszczeniu.

Opracowanie badań:

- 1) Układ regulacji T_{wew} ze sterowaniem q_k . Zapewnienie poprawności modelu i wykonania symulacji
- 2) Reakcja na: skok T_{zew}^* , skok T_{zew} , skok q_t w wybranym punkcie pracy; Zestawienie wybranych wskaźników jakości
- 3) Odpowiedzi na pytania (wnioski) zilustrowane wykresami, tabelami

8.5. Regulacja pogodowa (jakościowa, pośrednia)

Cel: Regulacja pogodowa jako przykład regulacji pośredniej i zdalnej



Regulator sterujący mocą kotła ma na celu utrzymać zadaną temperaturę wewnątrz pomieszczenia ale realizuje to na podstawie pomiaru temperatury wody zasilającej instalację. Jest to regulacja zdalna wykorzystująca krzywe pogodowe, a w szczególności wartość zadaną T_{kz} obliczoną na podstawie pomiaru T_{zew} i wartości zadanej T_{wew}^* .

Zadania:

1. Zrealizuj układ pośredniej regulacji temperatury T_{wew} na podstawie wartości temperatur mierzonych na kotle (T_{kz} , T_{kp}), czyli tzw. regulację pogodową:
 - wer.a) regulacja temperatury zasilania $T_{kz} = a_z T_{wew} + b_z T_{zew}$,
 - wer.b) regulacja temperatury powrotu $T_{kp} = a_p T_{wew} + b_p T_{zew}$.
2. Dobrać nastawy wybraną metodą inżynierską (bez optymalizacji).

3. Zbadac działanie układu regulacji kolejno przy wartości zadanej temperatury pomieszczeń, zmianie temperatury na zewnątrz i dodatkowego zysku/straty ciepła w pomieszczeniu.

Pytania:

1. Wskaż w układzie zmienne wejściowe, zmienną procesową, sterującą i wartość zadaną.
2. Porównaj własności (jakość) regulacji pogodowej T_{kz} i T_{kp} .
3. Który wariant regulacji pogodowej jest korzystniejszy przy większym opóźnieniu transportowym?

Opracowanie badań:

- 1) Układy regulacji pogodowej T_{kz} i T_{kp} ze sterowaniem q_k . Zapewnienie poprawności modelu i wykonania symulacji. Dobór nastaw - wskazać wykorzystywany model i metodę oraz wyznaczone wartości.
- 2) Reakcja na: skok T_{zew} , skok T_{zew} , skok q_t w wybranym punkcie pracy; Zestawienie wybranych wskaźników jakości
- 3) Odpowiedzi na pytania (wnioski) zilustrowane wykresami, tabelami

8.6. Optymalizacja nastaw

Cel: Zastosowanie narzędzi wspomagających projektowanie układów regulacji udostępnianych z poziomu schematów Matlab/Simulink- PID Tuner, Response Optimization

Zadania:

Badania zrealizować w następujących warunkach:

- a) teoretycznych (narzędzie uruchamiane na modelu, wyniki zastosowane na tym samym modelu),
 - b) rzeczywistych (narzędzie uruchamiane na modelu, a wyniki zastosowane na obiekcie),
 - c) symulacyjnych (narzędzie uruchamiane na obiekcie).
1. Wybrany układ regulacji z blokiem PID Controller (z biblioteki Simulinka):
 - Określić parametry regulatora PID, uruchomić procedurę strojenia regulatora (Tune)
 - Przeanalizować informacje udostępniane przez interfejs
 2. Wybrany układu regulacji z „własnym” blokiem regulatora PI:
 - Wyznaczyć początkowe wartości nastaw metodą inżynierską (np. Z-N).
 - Wyznaczyć wartości wskaźników jakości (w tym błąd statyczny, czas regulacji, przeregulowanie)
 - Dodać blok Check Step Response Characteristic i uruchomić interfejs Response Optimization:
 - Określić docelowe wartości wskaźników, wykonać optymalizację,
 - Przeanalizować informacje udostępniane przez interfejs

Pytania:

1. Jakie metody projektowania są wykorzystywane przez powyższe narzędzia?
2. Porównać wyniki optymalizacji w warunkach teoretycznych, rzeczywistych i symulacyjnych.

8.7. Działanie bloków nieliniowych

Cel: Zastosowanie bloków nieliniowych regulatora PID. Wpływ na wskaźniki jakości

Zadania:

1. Badania zrealizować dla wybranego układu regulacji z „własnym” blokiem regulatora PI. Przygotować skrypt do uruchamiania symulacji od dowolnego stanu równowagi.
2. Wprowadzić blok nasycenia na wyjściu regulatora. Wykonać eksperyment ilustrujący działanie bloku i jego wpływ na wskaźniki jakości (chwilowe przekroczenie zakresu zmienności zmiennej sterującej podczas przeregulowania)
3. Wprowadzić układ anti-windup. Wykonać eksperyment ilustrujący działanie bloku i jego wpływ na wskaźniki jakości (okresowe wyjście układu poza zakres regulacji)
4. Badania powtórzyć dla bloku PID z Simulnka

Pytania:

1. Jak zmieni się przebieg regulacji jeśli zmienna sterująca wejdzie w obszar nasycenia?
2. Jakie inne ograniczenia można wprowadzić do regulatora?

8.8. Opracowanie badań

- 1) Wpływ opóźnienia na własności obiektu (na podstawie zmiennej T_{kp})
- 2) Porównanie układów regulacji bezpośredniej T_{wev} i pośredniej (jakościowej) T_{gz}
 - w obu układach zmienną sterującą jest mocą kotła q_k
 - dobrać nastawy metodą inżynierską, np. Z-N - określić identyfikowaną transmitancję i jej parametry oraz wyznaczone nastawy
 - Zbadać reakcje układów na zmianę wartości zadanej temperatury wewnątrz, temperatury zewnętrznej i dodatkowego źródła ciepła, w wybranym punkcie pracy. Obserwować zmienną procesową i sterującą (wykresy PV, CV).
 - Sprawdzić możliwość sterowania przepływem i skomentować wynik
- 3) Optymalizacja działania wybranego układu regulacji
 - Badania w wybranym punkcie pracy
 - Punktem wyjścia są nastawy dobrane metodą inżynierską (Z-N)
 - Zastosowanie narzędzi:
 - PID Tuner – dobór nastaw i pomiar wskaźników
 - Response Optimization – osiągnięcie założonych wskaźników

a) Warunki symulacyjne – narzędzia zastosowanie wprost na badanym obiekcie

	nastawy	wskaźniki	zapas stabilności	wykresy PV, CV
Z-N		(*)		
PID Tuner				
Response Optimization				

b) Warunki rzeczywiste - narzędzia działają na modelu, wyniki zastosowane na obiekcie

	nastawy	Wskaźniki dla ukł.z modelem	Wskaźniki dla ukł. z obiektem	wykresy PV, CV
Z-N			(*)	
PID Tuner				
Response Optimization				

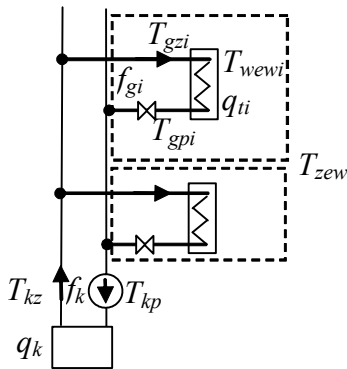
- 4) Wpływ nieliniowości
 - Wybrać układ regulacji i uzupełnić o: a) nasycenie CV; b) anti-windup
 - Obserwować PV i CV. Mierzyć wybrane wskaźniki, w tym czas regulacji
 - Porównać układ bez i z nieliniowościami - zmieniać model lub zmieniać punkt pracy (lepiej)
 - warunki eksperymentu
 - badanie nasycenia gdy układ może osiągnąć wartość zadaną (mieści się w zakresie pracy) ale chwilowe oscylacje CV przekraczają poziom nasycenia
 - badanie anti-windup gdy układ przez pewien czas wychodzi poza zakres pracy

9. Budynek z centralnym ogrzewaniem (c.o.) i regulacją

Problemy: Złożony model budynku. Regulacja centralna bezpośrednia i pośrednia. Zastosowanie macierzy. Analiza liniowa.

9.1. Model termokinetyczny budynku z kotłownią

Cel: Modele złożone.



Do budynku obejmującego kilka pomieszczeń (mieszkań) dostarczane jest ciepło z własnej kotłowni. Przy temperaturze zewnętrznej -20°C piec wytwarza maksymalną moc cieplną, która zapewnia ogrzanie pomieszczeń do temperatury 20°C . W tych warunkach przepływ wody przez grzejniki jest maksymalny.

Przy grzejnikach znajdują się zawory, które umożliwiają sterowanie natężeniem przepływu wody. Przepływ wody przez piec jest równy sumie przepływów przez poszczególne grzejniki.

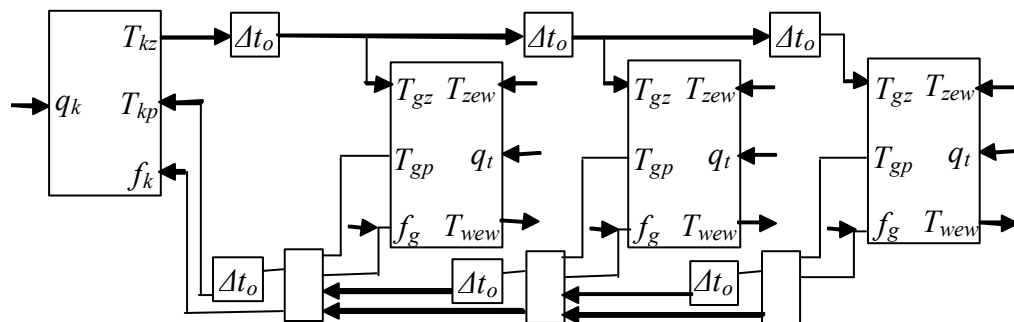
Grzejniki są podłączone do pionu instalacji c.o., przy czym długość przyłącza jest znacznie mniejsza niż odcinki pionu pomiędzy punktami przyłączenia kolejnych grzejników.

Do konstrukcji modelu budynku można wykorzystać modele pomieszczenia (7.1) i kotłowni (8.1), pod warunkiem że:

- pomieszczenia nie wymieniają ciepła między sobą przez wspólne ściany,
- nie ma strat ciepła w pionie instalacji,
- temperatura wody powracającej do kotłowni wynika z mieszania się strumieni wody z poszczególnych grzejników, które mogą być różne zarówno co do ilości jak i temperatury,
- oraz dodatkowo:
 - a) nie ma opóźnień transportowych, otwarty obieg wody (wersja uproszczona)
 - b) występują opóźnienia transportowe a woda krąży w obiegu zamkniętym

Zadania:

- 1) Wykorzystując przygotowane wcześniej modele pomieszczenia (7.1) i kotłowni (8.1), zbudować model budynku składającego się z kilku pomieszczeń (np. trzech). Przy konstrukcji modelu uwzględnić opóźnienia transportowe, które dotyczą tylko sygnału temperatury w pionach instalacji. W modelu instalacji wody powrotnej zastosować węzły mieszające, które obliczają temperaturę i przepływ po zmieszaniu dwóch strumieni wody.



- 2) Zbadać poprawność modelu (symulacja stanu równowagi w warunkach nominalnych).
- 3) Zbadać wpływ opóźnień transportowych na własności obiektu, w szczególności obserwując reakcję temperatury wody powracającej do kotłowni na skokową zmianę mocy kotła. Do dalszych badań przyjąć wartości opóźnień, które mają zauważalny wpływ na własności obiektu (stwierdzony na podstawie przebiegu T_{kp}).
- 4) Zbadać reakcję obiektu na zmianę temperatury na zewnątrz, mocy kotła, dodatkowe zyski/straty ciepła u najbliższego i najdalszego z odbiorców, zmianę strumienia przepływu u najbliższego i najdalszego odbiorcy. Obserwować temperatury w pomieszczeniach oraz temperaturę wody powracającej do kotłowni.

Pytania:

1. Które zmienne są zmiennymi wejściowymi złożonego modelu?
2. Jaki wpływ na własności obiektu mają opóźnienia transportowe?

Zagadnienia dodatkowe:

1. Zaproponować i zrealizować opracowanie prostego modelu zastępczego budynku (budynek jako jedno zastępcze pomieszczenie) i porównać reakcje modelu zastępczego z modelem badanym w ćwiczeniu.
2. Jaki wpływ na własności modelu miałyby zmiana polegająca na przeniesieniu bloków opóźniających do gałęzi reprezentujących przyłącza grzejników (wyznaczając czasy opóźnień proporcjonalnie do odległości od kotłowni) i obliczanie T_{kp} „na raz” ze wszystkich strumieni.

Opracowanie badań:

- 1) Zapewnić poprawność modelu i wykonania symulacji (w punkcie nominalnym)
- 2) Reakcja T_{zew} i T_{kp} na: skok T_{zew} , skok q_b , skok q_t oraz f_g w punkcie nominalnym,
- 3) Odpowiedzi na pytania (wnioski) zilustrowane wykresami, tabelami

9.2. Model termokinetyczny budynku z kotłownią w postaci równań stanu

Cel: Zastosowanie macierzy

Zadania:

- 1) Opierając się na równaniach opisujących budynek z kotłownią (9.1) przedstawić model obiektu w postaci równań stanu, zakładając że:
 - opóźnienia transportowe są zerowe,
 - strumienie przepływu wody w instalacji są stałe (są parametrami układu).
- 2) Wykorzystać przygotowane równania stanu do obliczania dowolnych warunków początkowych badanego modelu, tzn. dla określonych wartości temperatury na zewnątrz, mocy kotła oraz strumieni wody w poszczególnych gałęziach instalacji.
- 3) Zbadać reakcję obiektu na zmianę temperatury na zewnątrz, moc kotła, dodatkowe zyski/straty ciepła u najbliższego i najdalszego z odbiorców, zmianę strumienia przepływu u najdalszego odbiorcy. Obserwować między innymi temperaturę wody powracającej do kotłowni.

Pytania:

1. Określ rząd badanego obiektu?
2. Porównaj własności obiektu w warunkach nominalnych oraz przy założeniu, że przepływy są różne od nominalnych.

Zagadnienia dodatkowe:

1. Przedstaw równania stanu badanego obiektu zakładając, że opóźnienia transportowe są zerowe ale przepływ wody może się zmieniać – zastosuj linearyzację dynamiczną w punkcie pracy.

9.3. Analiza liniowa obiektu

Cel: Zastosowanie narzędzi wspomagających projektowanie układów regulacji udostępnianych z poziomu schematów Matlab/Simulink – Linear Analysis

9.4. Regulacja centralna

Cel: Zapotrzebowanie na ciepło. Różne sposoby regulacji źródła

Regulacja centralna, czyli układ regulacji w źródle ciepła, polega na sterowaniu wydajnością źródła, tak by pokryć aktualne zapotrzebowanie na ciepło u odbiorców, które zależy przede wszystkim od temperatury na zewnątrz. Można to realizować na kilka sposobów, zależnie od wyboru zmiennej procesowej:

- 1) regulacja według temperatury w reprezentatywnym pomieszczeniu,
- 2) regulacja na podstawie wartości średniej u odbiorców,
- 3) regulacja pogodowa (jakościowa) – wg temperatury wody zasilającej lub powrotnej (8.5).

Zadania:

1. Zrealizować układ regulacji według temperatury w reprezentatywnym pomieszczeniu oraz układ regulacji pogodowej wg temperatury wody zasilającej.
2. Zastosować najprostszy regulator zapewniający zerową wartość uchybu. Dobrać nastawy regulatora zapewniające stabilność układu. Zoptymalizować działanie obu układów stosując wybraną metodę dostępną w Matlabie (8.6), tę samą dla wszystkich układów regulacji.

3. Zbadać reakcję na zmiany temperatury zewnętrznej i dodatkowe źródła/straty ciepła w poszczególnych pomieszczeniach. Obserwować temperaturę w pomieszczeniach i temperaturę wody powracającej do kotłowni
4. Zbadać wrażliwość na zmiany nastaw regulatorów.
5. Porównać badane przypadki za pomocą zaproponowanych wskaźniki jakości. Zastosować również liczniki ciepła w pomieszczeniach.

Pytania:

1. Jakie wskaźniki jakości zastosowano do porównania badanych układów?
2. Czy otrzymane wartości wskaźników jakości zależą od punktu pracy układu?
3. Jaki wpływ na układy regulacji mają znaczące opóźnienia transportowe?

Zagadnienia dodatkowe:

1. Zmienić układ regulacji centralnej – zamiast temperatury wody zasilającej regulować temperaturę wody powrotnej.
2. Porównać własności dynamiczne układu z regulacją T_{kz} i T_{kp} .

9.5. Opracowanie badań

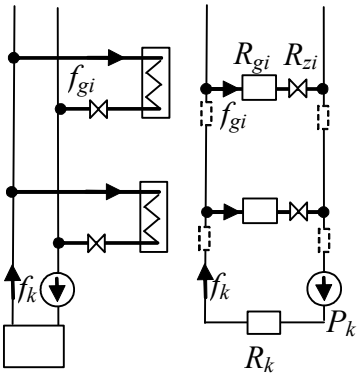
- 1) Przedstawić reakcje obiektu na różne zakłócenia przy założeniu istotnych wartości opóźnień transportowych (obserwować temperaturę pomieszczeń i temperaturę wody powracającej do kotłowni).
- 2) Porównać reakcję obiektu na skokowe zmiany wartości na wejściach w różnych punktach pracy.
- 3) Porównać własności różnych rozwiązań układu regulacji centralnej (zastosować wykresy, wskaźniki jakości, liczniki ciepła).

10. Centralna i lokalna regulacja w budynku z centralnym ogrzewaniem

Problemy: Model termokinetyczny i hydrauliczny. Regulacja centralna (jakościowa) i lokalna

10.1. Budynek z kotłownią – model termokinetyczny i hydrauliczny

Cel: Proste modele hydrauliczne. Modele złożone – współdziałanie obiektów



Przepływ w wody w instalacji jest wymuszany przez pompę, która wytwarza różnicę ciśnień P_k . Rozpływ wody – przepływy w poszczególnych gałęziach zależą od oporów hydraulicznych – stałych (grzejnik, kocioł) i zmiennych (zawory). W prostej wersji modelu hydrauliki nie są uwzględniane straty ciśnienia na przewodach (opory hydrauliczne sieci mniejsze niż opory urządzeń) oraz ciśnienie konieczne do wpompowania wody na określoną wysokość budynku.

Termokinetyczny model budynku, opracowany w 9.1, zostanie rozszerzony o model hydrauliczny sieci c.o., który można wykonać zakładając jeden z wariantów:

- liniową zależność ciśnienia i przepływu, zerowy opór przewodów (wersja minimalna) – zastosowanie analogii do równoległego połączenia rezystorów
- liniową zależność ciśnienia i przepływu, niezerowy opór przewodów (wersja podstawowa) – zastosowanie analogii do szeregowo-równoległego połączenia rezystorów,
- nieliniową zależność ciśnienia i przepływu ($P=Rf^2$), niezerowy opór przewodów – wersja rozszerzona.

Zadania:

- Wykonać i zweryfikować model opisujący zależności hydrauliczne w instalacji. Wykonać grupowanie i parametryzowanie modelu
- Połączyć model hydrauliki z modelem termokinetycznym budynku (9.1). Zbadać poprawność modelu w warunkach nominalnych.
- Zbadać reakcję obiektu na zmianę temperatury na zewnątrz, moc kotła, dodatkowe zyski/straty ciepła u najbliższego i najdalszego z odbiorców, zmianę położenia zaworu u najbliższego i najdalszego odbiorcy. Obserwować między innymi temperaturę wody powracającej do kotłowni.

Pytania:

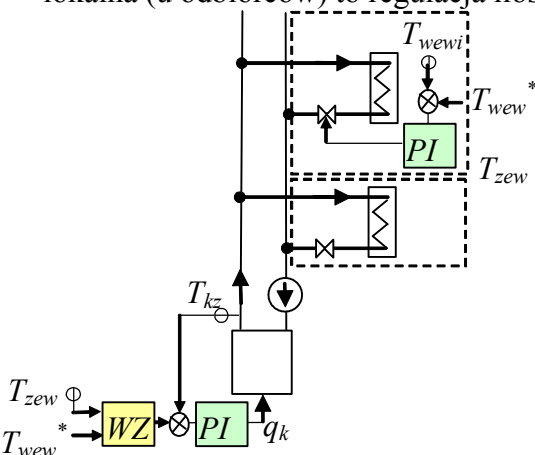
- W jaki sposób dołączenie modelu części hydraulicznej zmienia własności modelu budynku?

10.2. Współdziałanie układów regulacji

Cel: Różne typy regulacji. Współpraca kilku obwodów regulacji.

W układach ciepłowniczych stosowane są następujące typy regulacji:

- regulacja centralna (w źródle ciepła) to regulacja jakościowa (zmiana temperatury) pogodowa
- lokalna (u odbiorców) to regulacja ilościowa (zmiana przepływu) bezpośrednia.



W ogrzewanym budynku wprowadzono:

- centralną regulację jakościową – regulacja temperatury wody zasilającej lub powrotnej przez sterowanie mocą pieca,
- lokalną regulację ilościową – regulacja temperatury w pomieszczeniu przez sterowanie przepływem wody przez grzejnik.

Zadania:

- Porównać własności obiektu w następujących 3 przypadkach:

- bez lokalnej regulacji temperatury pomieszczeń
 - regulacja temperatury typu PI działa tylko w części pomieszczeń
 - we wszystkich pomieszczeniach działa lokalna regulacja temperatury typu PI (dodatkowo)
2. Zbadać reakcję na zmiany temperatury zewnętrznej i dodatkowe źródła/straty ciepła w poszczególnych pomieszczeniach. Obserwować temperaturę w pomieszczeniach i temperaturę wody powracającej do kotłowni
 3. Zbadać wrażliwość na zmiany nastaw regulatorów.
 4. Porównać badane przypadki za pomocą zaproponowanych wskaźniki jakości

Pytania:

1. Jak dobrano nastawy regulatorów?
2. Czy dobór nastaw kolejno dla poszczególnych obwodów gwarantuje stabilność pracy wszystkich układów na raz?
3. Czy nastawy regulatora centralnego dobrane dla obiektu bez regulacji lokalnej będą równie dobre po włączeniu regulacji lokalnej?

Zagadnienia dodatkowe:

1. Zmienić układ regulacji centralnej – zamiast temperatury wody zasilającej regulować temperaturę wody powrotnej.
2. Porównać własności dynamiczne układu z regulacją T_{kz} i T_{kp} .
3. Jak opóźnienia wpływają na własności dynamiczne układów regulacji na obiekcie?

10.3. Ogrzewanie grupy budynków

Cel: Wpływ opóźnień transportowych. Losowe zakłócenia.

Zadania:

1. Zasymulować działanie układu w ciągu doby
 - zmiany temperatury zewnętrznej w postaci sinusoidy
 - losowe zakłócenia - odchylenie temperatury zewnętrznej (zachmurzenie, poryw wiatru) i dodatkowe źródła/zapotrzebowanie na ciepło

10.4. Opracowanie badań

1) Porównać własności termokinetycznego modelu budynku (9.1) z modelem rozszerzonym o część hydrauliczną (10.1). Wybrać charakterystykę, która najwyraźniej zilustruje różnice we własnościach modeli.

2) Porównać własności układu regulacji centralnej współpracującej z regulatorami lokalnymi:

	RC = reg.centralna T_{kz}		RC = reg.centralna T_{kp}^*	
	T_{wew}	T_{kp}	T_{wew}	T_{kp}
RC bez reg.lokalnej				
RC + 1 reg. lokalny				
RC + 3 reg. lokalne				

Zakłócenia: temperatura na zewnątrz, dodatkowe źródła/straty ciepła u poszczególnych odbiorców.
 Obserwacja: temperatur pomieszczeń, temperatury wody powracającej do kotłowni T_{kp}

10.5. Zbiornicze opracowanie badań na temat regulacji w budynku

Porównanie dotyczy następujących układów:

- 1) r.c. Twew – regulacja centralna według temperatury w reprezentatywnym pomieszczeniu
- 2) r.c.p. – regulacja centralna pogodowa (temperatury Tkz)
- 3) r.c.p.+1 r.l. - regulacja centralna pogodowa + regulacja lokalna u 1 odbiorcy
- 4) r.c.p.+3 r.l. - regulacja centralna pogodowa + regulacja lokalna u wszystkich odbiorców
- 5) r.c.p.+3 r.l. + optymalizacja – jw. z dostrajaniem nastaw

Założyć, że najpierw na obiekcie jest uruchamiana regulacja centralna a potem stopniowo włączane są regulatory lokalne. Na sam koniec przeprowadzana jest dostrajanie regulatorów (optymalizacja układu).

W sprawozdaniu (2 strony):

I. Schemat układu z regulatorami

II. Tabela nastaw i scenariusz doboru nastaw

Nastawy	K, Ti dla RC	K, Ti dla RL ₁	K, Ti dla RL ₂	K, Ti dla RL ₃
1) r.c. T_{wew}		-----	-----	-----
2) r.c.p.		-----	-----	-----
3) r.c.p.+1 r.l.			-----	-----
4) r.c.p.+3 r.l.				
5) r.c.p.+3 r.l. + optymalizacja				

gdzie: RC – regulator centralny, RL_x - regulator lokalny u odbiorcy x

Przedstawić (w punktach) zastosowany scenariusz doboru nastaw - co było identyfikowane, jak zostały wyznaczone (policzone) nastaw (metoda lub wzory). Warunek: scenariusz ma być możliwy do zastosowania na rzeczywistym obiekcie (tzn. realny i bezpieczny).

III. Tabela wyników

	dT_{zew}		dT_{wew} (odbiorca x)		dq_t (odbiorca x)	
	wsk.1	wsk.2	wsk.1	wsk.2	wsk.1	wsk.2
1) r.c. T_{wew}						
2) r.c.p.						
3) r.c.p.+1 r.l.						
4) r.c.p.+3 r.l.						
5) r.c.p.+3 r.l. + optymalizacja						

gdzie: wsk.1, wsk.2 – wybrane wskaźniki jakości.

IV. Optymalizacja i najciekawsze wyniki

Dla układu z pełną regulacją (r.c.p.+3r.l.) po dostrojeniu nastaw, które poprawi (zoptymalizuje) jakość regulacji, wybrać najciekawsze zjawiska (właściwości) i zilustrować za pomocą wykresów