ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1990

Seria: INŻYNIERKA ŚRODOWISKA z. 32 Nr kol. 979

Paweł RYLIK

PORÓWNANIE CZTERECH STRUKTUR REGULACJI DOSTAWY CIEPŁA W STACJI ODBIORU C.O.

Streszczenie. W referacie przedstawiono wyniki analizy porównawczej czterech struktur regulacji dostawy ciepła w stacji odbioru ciepła na cele centralnego ogrzewania: nadążnej regulacji temperatury wody (zasilającej, powrotnej i średniej z tych temperatur) oraz stałowartościowej regulacji temperatury w pomieszczeniu. Jako kryterium przyjęto zdolność kompensowania narzuconych zakłóceń w stanie ustalonym. Podstawą do porównania były wyniki obliczeń symulacyjnych. Wobec rozpatrywanych zakłóceń porównywane układy zachowują się w sposób bardzo zróżnicowany. Wyniki wykazują stosunkowo korzystne właściwości układu regulacji temperatury średniej, którego badania będą przedmiotem dalszych prac.

1. Wprowadzenie

Automatyzacja systemów ciepłowniczych, w tym również automatyzacja stacji odbioru, została uznana za podstawę uzyskania znaczących oszczędności energii w ciepłownictwie [2]. Brak jednak do tej pory koncepcji masowego wdrażania tej automatyzacji, wytycznych projektowania i doboru urządzeń, jak również zabezpieczenia produkcji niezbędnych urządzeń. Stosowane obecnie w kraju układy automatyki węzłów c.o. to najczęściej zestawy E.Z.R.T. realizujące nadążną regulację temperatury zasilania w funkcji temp. zewnętrznej lub układy regulacji sumy temperatury zewnętrznej i powrotu, lansowane w okresie kiedy nie było regulatorów nadążnych. Ne mniejszą skalę spotyka się również układy regulacji temperatury w wybranych pomieszczeniach.

W sytuacji kiedy nie można liczyć na seryjną produkcję termostatycznych zaworów grzejnikowych, układy regulacyjne w stacji odbioru należy oceniać również z punktu widzenia warunków cieplnych w ogrzewanym obiekcie. Oceny takiej podjęto się w niniejszym artykule, opierając się na wynikach obliczeń symulacyjnych dla stanu ustalonego.

2. Założenia do obliczeń

Porównywane są następujące struktury regulacji:

1. Nadążna regulacja temperatury zasilania (tw_1),
2. Nadążna regulacja średniej z temperatur zasilania i powrotu ($t_{śr}$).
3. Nadążna regulacja temperatury powrotu (tw_2).
4. Stałowartościowa regulacja średniej temperatury w wybranych pomieszczeniach (t_i).

Podane będą również wyniki dla przypadku braku urządzeń automatycznej regulacji.

Na porównywane układy oddziaływać mogą w przypadku ogólnym następujące zakłócenia (rys. 1):

a) ze strony sieci ciepłowniczej - w postaci odchyłek temperatury i różnicy ciśnień wody sieciowej. Należą tu również zakłócenia spowodowane pracą równoległego lub szeregowo-równoległego złącza c.w.u.,
b) ze strony stacji odbioru i instalacji - w postaci zmian oporów przepływu ciepła w wymienniku, wahań natężenia przepływu wody w obiegu wtórnym oraz wychłodzenia wody instalacyjnej w sieci osiedlowej,
c) ze strony budynku - w postaci zmian warunków oddawania ciepła przez budynek (infiltracja, zyski ciepła).

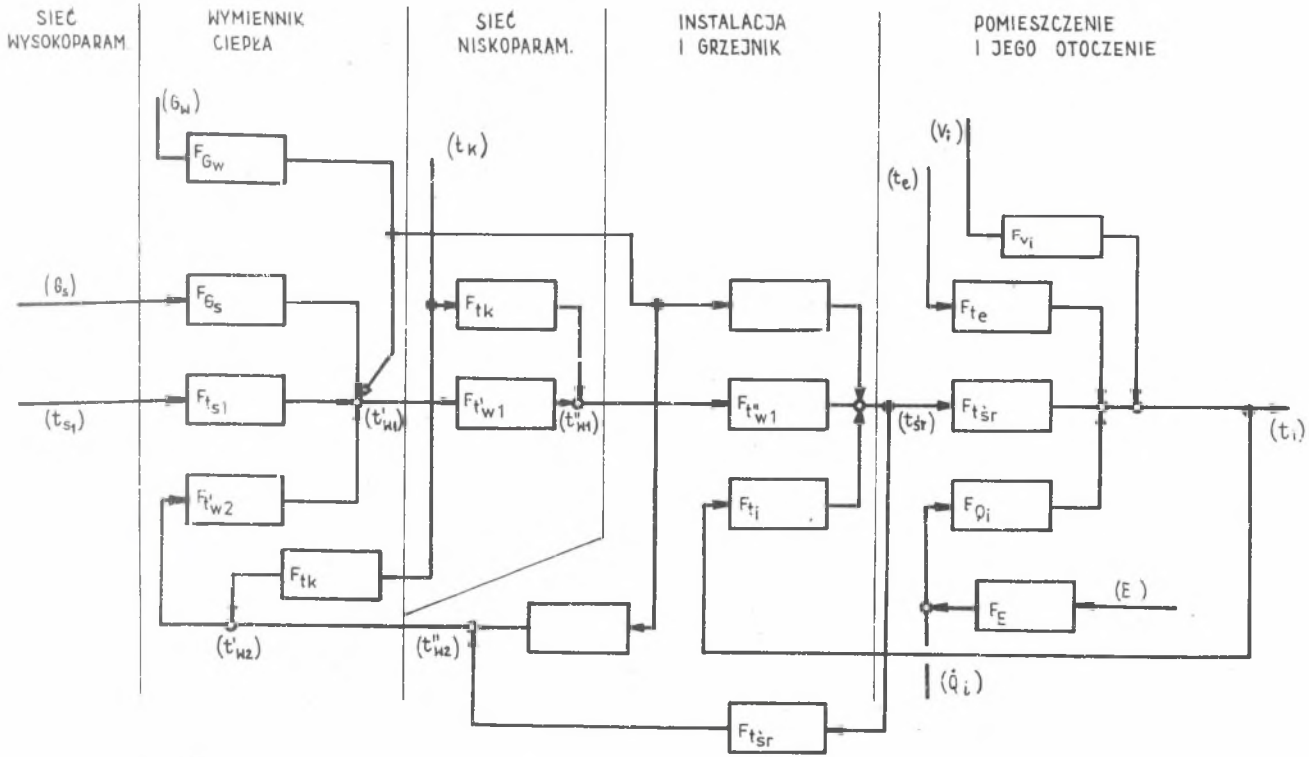
Zakłócenia o charakterze stałym, jak niewłaściwe zwymiarowanie urządzeń stacji odbioru lub instalacji ogrzewczej, czy zmiana współczynnika przenikania ciepła ścian zewnętrznych budynku powinny być skorygowane w sposób trwały przez eksploatatora układu i nie będą tutaj rozpatrywane, podobnie jak i kwestia efektów współpracy ze złączem c.w.u.

Obliczenia oparto na równaniach bilansowych dla wymiennika, grzejnika i ogrzewanego obiektu. Przyjęto typowe wartości temperatury czynników stosowane w ciepłownictwie. Uwzględniono zmienności współczynnika "k" dla wymiennika i grzejnika. Udział strat ciepła na infiltrację i jego zmienność przyjęto według prac Nantki [3].
W każdym przypadku poza rozpatrywanym regulatorem nie było innych urządzeń automatycznej regulacji w układzie. Założono uzyskanie zerowej wartości uchybu ustalonego. Wielkość sterującą stanowił strumień wody sieciowej.

3. Omówienie wyników

3.1. Zakłócenia ze strony sieci ciepłowniczej - odchyłki temperatury i różnicy ciśnień wody sieciowej [1]

W stanach ustalonych zakłócenia te są w pełni korygowane przez wszystkie porównywane układy. W przypadku braku automatycznej regulacji uzyskano przykładowo: zmianę temperatury w pomieszczeniu w granicach ± 2,5 K



Rys. 1. Schemat blokowy oddziaływań i zakłóceń pracy odbioru ciepła na cele centralnego ogrzewania

Fig. 1. Block diagram of the effects and performance disturbances of the heat receiving station for central heating purposes

przy odchyłkach temperatury wody sieciowej ± 10 K oraz zmianę w granicach + 5 ... -7 K przy wahaniach dyspozycyjnej różnicy ciśnień ± 10% (t_e = -20°C).

Osobno analizowano również przebiegi przejściowe i stwierdzono, iż pod tym względem niekorzystnie zachowują się układy regulacji temperatury powrotu i regulacji temperatury pomieszczenia. Omawiane tu zakłócenia są bowiem odbierane przez te układy z dużym opóźnieniem, mogą więc do pewnego stopnia wpłynąć na dostawę ciepła do budynku. Wyniki tych analiz będą opublikowane oddzielnie.

3.2. Zakłócenia ze strony stacji odbioru - zmiana warunków oddawania ciepła przez wymiennik [1]

Podobnie jak w poprzednim przypadku dla stanów ustalonych wszystkie porównywane układy w pełni korygują zakłócenie. W przypadku braku automatycznej regulacji można przykładowo podać dla wymiennika WCO 250 pracującego normalnie w zakresie rozwiniętego ruchu burzliwego, iż różnica grubości osadów na rurkach wymiennika ± 0,4 mm w stosunku do wartości przyjętej przy doborze wymiennika da przy t_e = -20°C skutek w postaci zmian temperatury w ogrzewanym pomieszczeniu ∓ 2 K.

3.3. Zakłócenia ze strony stacji odbioru lub instalacji - odchyłki natężenia przepływu w obiegu wtórnym

Zmiany te powinny być w zasadzie korygowane przez obsługę stacji, nie wszędzie jednak instaluje się przepływomierze w obiegu wtórnym i niewielkie są techniczne możliwości takiej korekcji. Przyczyną zakłóceń może być zużycie bądź zmiana typu pomp, jak również zmiany oporności hydraulicznej obiegu wtórnego - czynniki na ogół trudne do zauważenia w codziennej eksploatacji, o ile brak jest przepływomierza. W modelu przyjętym do obliczeń uwzględniono zarówno zmianę spadku temperatury wody w grzejnikach spowodowaną wahaniami natężenia przepływu, jak i zmianę przyrostu temperatury wody instalacyjnej w wymienniku z tego samego powodu. Kompensuje to w znacznym stopniu rozpatrywane tu zakłócenie, zwłaszcza w przypadku braku automatycznej regulacji.

Wyniki porównania dla t_e = -20°C zestawiono w poniższej tabeli, podającej nadwyżkę lub niedobór mocy i temperaturę w pomieszczeniu.

Regulacja	t_{w1}	$t_{śr}$	t_{w2}	t_i	bez regulacji	Wskaźnik
$\frac{G'_w}{G_w}$ = 0,7	-5,5	0	+7,7	0	-2	ΔQ/Q [%]
	17,8	20	23,1	20	19,2	t_i [%]
$\frac{G'_w}{G_w}$ = 1,3	+3	0	-4	0	+2,2	ΔQ/Q [%]
	21,2	20	18,4	20	20,8	t_i [%]

Biorąc pod uwagę zakres wartości i prawdopodobieństwo wystąpienia takich odchyłek natężenia przepływu wody instalacyjnej, przedstawione wyniki reprezentują stosunkowo niewielkie efekty ekonomiczne z zastosowania automatycznej regulacji. Nasuwają się jednak dość interesujące wnioski:

- dla typowych parametrów pracy instalacja c.o. zasilana z wymiennika ciepła jest bardzo mało wrażliwa na wahania natężenia przepływu po stronie wtórnej, są one bowiem kompensowane zmianami przyrostu temperatury wody w wymienniku,
- regulacja temperatury zasilania daje w tym przypadku gorsze efekty niż brak regulacji w ogóle,
- regulacja temperatury powrotu daje efekt przeciwny do zamierzonego, tj. spadek natężenia przepływu powoduje - za pośrednictwem układu regulacji - taki wzrost temperatury zasilania, że pomieszczenia są w efekcie przegrzewane. Obniżeniu natężenia przepływu towarzyszy bowiem zwiększanie spadku temperatury wody w instalacji.

Regulacja temperatury średniej daje taki sam efekt jak regulacja temperatury pomieszczenia, tj. idealną kompensację zakłóceń.

3.4. Zakłócenie ze strony instalacji - nierównomierny rozdział czynnika na poszczególne grzejniki

Jest to powszechnie spotykane zakłócenie pracy instalacji wewnętrznej c.o., spowodowane niewłaściwą regulacją hydrauliczną (częściowy lub zupełny brak kryz dławiących) oraz zmiennym ciśnieniem grawitacyjnym. Jeżeli założymy w uproszczeniu, że np. połowa ilości grzejników otrzyma o x % więcej czynnika grzejnego, a druga połowa o x % mniej, to sumaryczne natężenie przepływu w instalacji nie ulegnie zmianie, lecz na skutek nieliniowości charakterystyki grzejnika temperatura powrotu ulegnie obniżeniu.

Oczywiście regulacja temperatury w stacji odbioru nie może stanowić remedium na rozregulowanie hydrauliczne instalacji. Warto jednak zauważyć, że układ regulacji działający na bazie temperatury w pomieszczeniu będzie działał fałszywie, w przypadku gdy zakłócenie natężenia przepływu nastąpiło w pomieszczeniu, którego temperatura jest wielkością regulowaną. Przyjmijmy w uproszczeniu, że instalacja ogrzewania składa się z 3 grzejników, z których pierwszy ma o 30% zawyżony, a trzeci o 30% zaniżony przepływ czynnika grzejnego, a drugi grzejnik ma przepływ prawidłowy. Przeanalizowano przy $t_e = -20$ zachowanie takiej instalacji współpracującej z wymiennikową stacją odbioru, w której działają porównywane tu układy automatycznej regulacji, przy czym układ regulacji temperatury w pomieszczeniu działa na podstawie średniej z pomieszczeń 1 i 3.
Odchyłki temperatury w ogrzewanych pomieszczeniach przy wewnętrznym rozregulowaniu hydraulicznym instalacji zestawiono poniżej:

Regulacja	t_{w1}	$t_{śr}$	t_{w2}	$\frac{t_{i1}+t_{i3}}{2}$	bez regulacji
t_{i1} [°C]	17,9	18,2	18,6	18,3	17,2
t_{i2} [°C]	20	20,3	20,7	20,4	19,3
t_{i3} [°C]	21,2	21,5	21,9	21,7	20,5
$\frac{\Delta Q}{Q}$ [%]	1,05	1,06	1,08	1,065	1,03

W tej sytuacji żaden z układów regulacji działający w węźle cieplnym nie może zapewnić zgodności dostawy ciepła z potrzebami. Stosunkowo najbardziej niekorzystnie prezentują się skutki działania regulacji temperatury powrotu.

Wyniki wskazują, jak dużą wagę posiada prawidłowa regulacja hydrauliczna instalacji wewnętrznej c.o. - nawet przy stosowaniu automatycznej regulacji średniej z wybranych temperatur pomieszczeń w budynku.

3.5. Zakłócenie ze strony instalacji - zmiany wychłodzenia wody instalacyjnej w sieci osiedlowej

Zakłócenie to ma szczególną wagę w przypadku stacji grupowych o dużym zasięgu. Likwidacja jego skutków przez obsługę stacji jest trudna do przeprowadzenia, zwłaszcza gdy węzły w budynkach nie są wyposażone w pomiar temperatury, a izolacja sieci osiedlowej ulega stopniowej degradacji na skutek m.in. zalewania kanału wodą. Można w tym przypadku spodziewać się prawidłowej reakcji regulatora temperatury pomieszczenia, natomiast regulator temperatury powrotu będzie nieco zawyżał dostawę ciepła. Dla orientacji w skali zakłócenia przeprowadzano obliczenia bilansowe przyjmując, że przy $t_e = -20^oC$ wychłodzenie wody w sieci osiedlowej jest o 2 K na zasilaniu i 1,5 K na powrocie większe od założonego w projekcie. Skutki takiego zakłócenia są następujące:

Regulacja	t_{w1}	$t_{śr}$	t_{w2}	t_i	bez regulacji
$\frac{\Delta Q}{Q}$ [%]	- 2,2	- 0,2	+ 2	0	- 6,5
t_i [°C]	19,1	19,9	20,8	20	17,4

3.6. Zakłócenie ze strony budynku i jego otoczenia - infiltracja powietrza zewnętrznego i zyski ciepła

W tym przypadku można przewidzieć, iż jedynie układ regulujący temperaturę w pomieszczeniu będzie w stanie w pełni skompensować tego typu zakłócenia. Chcąc jednak oszacować wpływ wyboru wielkości regulowanej (spośród temperatur "dostępnych" w obrębie stacji odbioru) na niedotrzymanie zgodności dostawy ciepła z potrzebami, przeprowadzono obliczenia dla skrajnych, lecz prawdopodobnych wartości zakłóceń.

Średni współczynnik "k" przegród zewnętrznych budynku przyjęto 1,2 W/m^2 K, obliczeniową stratę ciepła na infiltrację - jak dla 1-krotnej wymiany powietrza na godzinę.

W tabelach podano wartości procentowej nadwyżki lub niedoboru mocy cieplnej (w odniesieniu do wartości zapewniającej w danych warunkach $t_i = +20^oC$) przy różnych rodzajach regulacji w stacji odbioru (oraz jej braku) dla zakłóceń w postaci:

- zmienionej ilości powietrza infiltrującego (krotności wymian)
- zysków ciepła.

Procentowa nadwyżka lub niedobór mocy cieplnej przy zakłóceniu w postaci innej niż obliczeniowa częstość wymian powietrza (n) w ogrzewanych pomieszczeniach

Regulacja	t_{w1}	$t_{śr}$	t_{w2}	t_i	bez reg.	wskaźnik
n = 2	-24	-16	-11	0	-30	$\frac{\Delta Q}{Q}$ [%]
n = 0,4	18	13	9	0	20	

Procentowa nadwyżka mocy ogrzewania przy zakłóceniu w postaci zysków ciepła o wartości 5 W/m^3

Regulacja	t_{wi}	$t_{śr}$	t_{w2}	t_i	bez reg.	Wskaźnik
t_e = -20	13	10	8	0	15	$\frac{\Delta Q}{Q}$ [%]
t_e = 0	25	20	26	0	31	

Wyniki obliczeń wskazują na stosunkowo niewielką zdolność układów regulacji temperatury zasilania, powrotu i średniej do kompensowania zmian warunków oddawania ciepła przez budynek i zysków ciepła. Jedyną bowiem informacją dla nich o niedogrzaniu lub przegrzaniu budynku jest temperatura powrotu i instalacji. Nawet zgodne z teoretyczną wartości temperatury powrotu czy też średniej temperaturry grzejnika nie zapewnią w tym przypadku

prawidłowej dostawy ciepła. Najkorzystniej w tych sytuacjach prezentuje się regulacja temperatury powrotu, a następnie regulacja średniej temperatury wody instalacyjnej.

4. Wnioski

Przedstawione wyniki służą jedynie do porównania poszczególnych układów i nie dają podstaw do oceny rzeczywistych efektów ekonomicznych wynikłych z zastosowania automatycznej regulacji. Wiadomo bowiem, że dopuszczenie okresowego niedogrzania budynku pozwala m.in. na znaczne zmniejszenie pojemności zasobników c.w.u. W przypadku idealnego regulatora c.o. efekt ten zostanie zniweczony.

Spośród rozpatrywanych układów automatycznej regulacji dostawy ciepła w stacji odbioru najlepsze własności kompensacji zakłóceń w stanie ustalonym posiada układ działający na bazie temperatury pomieszczeń. Spośród pozostałych układów i w określonych sytuacjach stosunkowo najlepsze efekty uzyskuje się przy regulacji temperatury powrotu i temperatury średniej z zasilania i powrotu. Poważną wadą układu regulacji temperatury powrotu jest jego fałszywe działanie przy zmianach natężenia przepływu w obiegu wtórnym. Dalsze wady tego układu ujawniają się przy analizie pracy omawianych struktur regulacji w stanach przejściowych. Wyniki takiej analizy będą opublikowane osobno.

LITERATURA

[1] Pasek K., Rylik P., Soehrich E., Turkiewicz K.: Analiza warunków użytkowania ciepła przez odbiorców komunalnych - badanie właściwości obiektów regulacji. Etap c4, d4 i e2 - Zadanie 5.8.01.08. PR-8 IOWiOP Gliwice, 1983-1985.

[2] II Konferencja Naukowo-Techniczna "Automatyzacja systemów ciepłowniczych podstawą oszczędności paliw i energii", Wrocław 1983.

[3] Nantka M.: Zużycie a straty ciepła w wielkopłytowym budownictwie mieszkaniowym. Gospodarka Paliwami i Energią, 6-7/1984.

WYKAZ OZNACZEŃ

t - temperatura
Q - strumień ciepła
G - masowe natężenie przepływu wody
V - objętościowe natężenie przepływu powietrza
E - natężenie promieniowania słonecznego
K - współczynnik przenikania ciepła

indeksy:

w1 - wody zasilającej w inst. wewn.
w2 - wody powrotnej w inst. wewn.
s1 - wody zasilającej w sieci
i - w pomieszczeniu
śr - średnia
e - zewnętrzna
K - w kanale

LIST OF SYMBOLS

t - temperature
Q - heat flux
G - mass intensity of water flow
V - volume intensity of water flow
E - intensity of solar radiaton
K - overall heat-transfer coefficient

indexes

w1 - of supply water in internal system
w2 - of return water in internal system
s1 - of supply water in heat distribution network
i - in a room
śr - mean value
e - ecternal
K - in a duct

СРАВНЕНИЕ ЧЕТЫРЕХ СТРУКТУР РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОСТАВКИ ТЕПЛОТЫ В АБОНЕНТСКОМ ВВОДЕ ЦЕНТРАЛНОГО ОТОПЛЕНИЯ

Р е з ю м е

В реферате представлены резултаты сравнителного анализа четырех структур регулирования поставки теплоты в абонентском вводе централного отопления. Как критерий принята способность компенсацiи несколких возмущений в установленном состоянии.
Сравнены резултаты симуляциенных вычислений. Резултаты доказали полезные свойства системы регулирования средней температуры, которая будет предметом далнейших изучений.

COMPARISON OF FOUR STRUCTURES OF HEAT SUPPLY CONTROL
IN A HEAT EXCHANGER STATION

S u m m a r y

The paper prestnts the results of a comparative analysis of four structures of heat supply control in a heat exchanger station for central heating purposes: follow-up control of the water temperature (supply, return and mean) and constant-value control of the room temperature.
The ability to compensate the imposed disturbances in a steady state has been assumed as the criterion. The results of simulating calculation have been the basis for the comparison. The compared systems have reacted in a different way to the disturbances considered. The results indicate relatively advantageous properties of the mean temperature control system the tests od which will be the subject of further work.