

Tadeusz Chlipalski, Stanisław Legieć

#### ZAGADNIENIA REGULACJI SIECI CIEPŁOWNICZYCH

Sieć ciepłownicza jest obiektem podlegającym dwom rodzajom zakłóceń. Jeden z nich jest związany z cyklem zabudowy zasilanego obszaru i charakteryzuje się skokową zmiennością układu hydraulicznego, drugi rodzaj, związany z technologią sieci, wynika ze zmienności zewnętrznych warunków klimatycznych względnie wewnętrznych technologicznych, decydujących o potrzebach ciepłych odbiorników. Układ regulacyjny sieci ma, w ogólnym ujęciu, zapewnić pokrycie tych potrzeb w każdych warunkach zewnętrznych, niezależnie od pojawiających się w sieci zakłóceń hydraulicznych. Zadanie to może spełnić albo bezpośrednio, w samym odbiorniku, przez uzależnienie dostawy ciepła do obiektu od ukształtowanych w nim parametrów mikroklimatu, albo pośrednio, przez takie prowadzenie ciepłych parametrów czynnika grzejącego, aby każdy odbiornik otrzymał obliczoną teoretycznie porcję ciepła.

W pierwszym wypadku, kontrola warunków hydraulicznych sieci jest o tyle potrzebna, aby zapewnić regulatorowi optymalny zakres pracy, w drugim wypadku przedmiotem regulacji jest właśnie układ ciśnień i temperatura w sieci rozdzielającej ciepło.

Każda z koncepcji stwarza inne konsekwencje w odniesieniu do instalacji budynku, systemu węzła i charakterystyki statycznej sieci i każda wyłania szereg odmiennych problemów technicznych i ekonomicznych.

Rozpatrując możliwości i ograniczenia jednej czy drugiej koncepcji należy również wziąć pod uwagę fakt, że istniejące sieci obsługują instalacje o systemach tradycyjnych i że okres najbliższych kilku lat nie wprowadzi zasadniczej zmiany w ich koncepcji. Jakkolwiek nowe budownictwo zacznie się stopniowo nastawiać na opracowane w międzyczasie systemy regulacyjne, to ich ogólne rozpowszechnienie będzie zależać zarówno od uzyska-

nych praktycznie wyników, jak i od możliwości wprowadzenia odpowiednich urządzeń do produkcji.

System stosowany obecnie, polegający na centralnej jakościowej regulacji, jest niewystarczająco sprawny, nie tyle z powodu niedostatków systemu, ile wskutek zaniedbań w wyposażeniu sieci i węzłów oraz braku odpowiedniej sprawności wszystkich elementów składowych układu. Długi jeszcze okres dzielący nas od pełnej automatyzacji sieci, węzłów i grzejników powinien zarówno wyłonić koncepcję opartą o własne możliwości produkcyjne jak i przygotować istniejące układy ciepłownicze do ich przyjęcia.

Taka właśnie koncepcja jest przedmiotem niniejszej pracy.

## 1. Charakterystyka układu ciepłowniczego

### 1.1. Zakłócenia występujące w układzie

Układ ten składa się ze źródła ciepła, sieci magistralnej, odgałęzień rozdzielczych i odbiorników. Każdy z tych członów posiada swoją odrębną problematykę i podlega różnym zakłóceniom związanym między innymi z rozbudową układu. Z wyjątkiem układów wydzielonych terenowo (osiedle, zakład przemysłowy, o własnym źródle ciepła), wszystkie układy większe posiadają swój długi cykl rozbudowy i praktycznie biorąc, nigdy nie osiągają stanu docelowego. W okresie tym pojawiają się skokowe zmiany układu hydraulicznego spowodowane czy to przyłączeniem nowych odbiorców, rozbudową magistrali i odgałęzień czy też włączeniem nowych źródeł energii krążenia w centrali lub na sieci magistralnej (przepompownie), a także i nowych źródeł ciepła. Zakłócenia te, możliwe w zasadzie do przewidzenia, występują na obu końcach układu ciepłowniczego w formie zmiany ciśnień dyspozycyjnych w magistrali i od strony wzrastających sukcesywnie odbiorców, w formie zmiany oporności właściwej, różnej dla każdego odgałęzienia od magistrali.

Dodatkowe zakłócenia może wprowadzić sam budynek ogrzewany z sieci ciepłowniczej. Jego potrzeby cieplne określa norma PN-56/B-03406, przyjmując oficjalne współczynniki i ustalając sposób obliczania strat podstawowych i dodatków do strat. Służą one

do obliczenia powierzchni ogrzewalnych dla warunków obliczeniowych. W praktyce obserwujemy poważne odstępstwa od rzeczywistych potrzeb wynikające częściowo z niedokładności projektowania i wykonawstwa, częściej jednak z niezgodności przyjętych założeń z rzeczywistością. Chodzi przede wszystkim o materiały i konstrukcję przegród budowlanych, układ ciśnień w ogrzewanym budynku, mający związek z jego wysokością, szczelnością i układem funkcjonalnym, nieokreśloność rzeczywistych warunków meteorologicznych (wiatr, nasłonecznienie) oraz wilgotność budowlana, zmienna w czasie eksploatacji budynku. Rozbieżność pomiędzy rzeczywistymi chwilowymi stratami a obliczonymi może przekroczyć  $\pm 10\%$ .

### 1.2. Układ hydrauliczny sieci

Przepływ czynnika w sieciach ciepłowniczych jest z reguły burzliwy i charakteryzuje się wartością liczby Reynoldsa powyżej  $10^5$ . W pionach instalacji wewnętrznej wartość ta spada  $1 \div 5 \cdot 10^4$ , zaś w gałązkach grzejnikowych ruch ma charakter przejściowo-laminarny względnie nawet wyraźnie laminarny.

Związek pomiędzy natężeniem przepływu czynnika "G", opornością właściwą sieci "r" i stratą ciśnienia wynika z wzoru podstawowego:

$$\Delta p = \left( \lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \frac{w^2 l}{2g} = r G^2$$

w którym współczynnik oporu liniowego  $\lambda$  jest funkcją Re i szorstkości przewodu. W postaci ogólnej wzoru  $\Delta p = r G^n$  możemy uważać oporność właściwą za stałą, co oznacza, że zmienność  $\lambda$  będzie uwzględniona w zmiennym wykładniku "n". Przyjmując natomiast proporcjonalność strat ciśnienia do  $G^2$  otrzymamy zmienność oporności "r" z przepływem. Zmienność ta jest poważna przy niskich wartościach liczby Reynoldsa natomiast w sieciach zewnętrznych, przy wyraźnie burzliwym charakterze ruchu, jest niewielka i może być we wstępnych obliczeniach pominięta.

Przy obiegach równoległych, charakteryzujących sieć ciepłowniczą, obliczamy zastępczą oporność właściwą wg wzoru:

$$r_z = \frac{1}{\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots\right)^2}$$

Oporność właściwa sieci jest więc jej parametrem konstrukcyjnym i nie zależy od przepływu ani różnicy ciśnień. W prostej konsekwencji możemy przyjąć, że zmiana ciśnienia przyłożona do danego węzła nie wpływa na poszczególne rozprawy i ich proporcje, pod założeniem oczywiście, że ruch jest we wszystkich obiegach burzliwy i zmienność współczynnika oporu liniowego  $\lambda$  jest jednakowa. Warunek ten może natomiast nie być spełniony w obiegach grzejnikowych instalacji wewnętrznych charakteryzujących się niską wartością  $Re$  i poważną, w tym zakresie, zmiennością współczynnika

### 1.3. Zmienność potrzeb cieplnych

Odrębny rodzaj zakłóceń wprowadza zależność potrzeb cieplnych przyłączonych obiektów od czynników klimatycznych. Zależność ta jest w przybliżeniu liniowa dla większości obiektów i może być wyrażona wzorem

$$\varphi_x = \frac{Q_x}{Q_o} = \frac{t_p - t_{zx}}{t_p - t_z}$$

gdzie indeks  $o$  oznacza stan obliczeniowy, indeks  $x$  - stan chwilowy, zaś  $t_p$  i  $t_z$  - temperatury wnętrza i zewnętrzną (traktowane jako temperatury wynikowe, uwzględniające wiatr, napromieniowanie itd.).

Z ogólnej postaci tego wzoru  $\varphi_x = a - b t_{zx}$  widać zależność nachylenia prostej od współczynnika "b" ( $= \frac{1}{t_p - t_z}$ ).

W obiektach o dużym przeszkleeniu (niektóre hale przemysłowe i specjalne obiekty komunalne) pojawia się również dodatkowa zależność (od  $t_z$ ) temperatury pomieszczenia ( $t_p$ ) traktowanej jako wielkość termometryczna. W tym wypadku warunek zrównoważonego komfortu cieplnego spełnia inna wielkość, będąca kombinacją temperatury powietrza i ścian otaczających (czasem też wilgotności względnej i prędkości powietrza) i nazwana tempe-



raturą wynikową (Missenard). Można więc przyjąć, że zależność potrzeb ciepłych od temperatury zewnętrznej dla różnych obiektów może być opisana pękiem linii zbliżonych do prostych i że obiekty o różnym przeznaczeniu reagują w różny sposób na zmianę warunków zewnętrznych.

#### 1.4. Charakterystyka urządzeń grzejnych

1.4.1. Zmienności potrzeb ciepłych obiektu musi odpowiadać analogiczna zmienność wydatku cieplnego urządzeń grzejnych, którą z kolei uzyskujemy przez ciągłą lub pulsacyjną zmianę średniej temperatury grzejnika. Zmiana ta może być zrealizowana jakościowo, przez zmianę temperatury zasilania względnie ilościowo, przez dławienie przepływu czynnika grzejnego. Zależność wydatku cieplnego grzejnika od jego średniej temperatury nie jest liniowa ze względu na zmienność współczynnika przenikania ciepła ( $k$ ) grzejnika z temperaturą. Określa to przyjmowana ogólnie zależność:

$$k_x = k_0 \left( \frac{\psi_x}{\psi_0} \right)^m$$

gdzie

$k_0$  - wartość obciążeniowa przy nominalnej różnicy

$$\psi_0 = \left( \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_p \right)$$

$k_x$  - wartość zmieniona

$$\text{przy } \psi_x = \left( \frac{t_{w1x} + t_{w2x}}{2} - t_p \right)$$

Wykładnik "m" zależy od typu grzejnika (płyta promieniująca, rura żebrowa, grzejnik członowy, konwektor) i przyjmuje wartość od 0,1 do 0,6 odpowiednio.

Wydatek cieplny grzejnika jest określony wzorem

$$Q_x = k_x F \psi_x = \phi_x \cdot Q_0$$

Kojarząc oba wzory, dochodzimy do zależności średniej temperatury grzejnika

$$t_{w\bar{s}r} \text{ od } (\varphi_x) \frac{1}{1+n}$$

1.4.2. Instalacja wewnętrzna otrzymuje ciepło z sieci zewnętrznej bezpośrednio lub pośrednio przez wymiennik. Węzły bezpośrednio wykorzystują do wywołania krążenia wewnętrznego energię sieciową (hydroelewator), energię dodatkową (zmieszanie pompowe) względnie energię pochodzącą z własnych działań grawitacyjnych (system indukowany). Węzły wymiennikowe posługują się po stronie krążenia wtórnego wymuszeniem (pompa) lub grawitacją.

Węzły wymiennikowe wprowadzają, przy jakościowej regulacji sieci dodatkową zależność wydatku cieplnego instalacji od temperatury wody sieciowej, zaś węzły hydroelewatorowe wykazują zależność swojej charakterystyki od przepływu.

## 2. Regulacja jakościowa i ilościowa

Zmiana średniej temperatury grzejnika a więc i jego wydajności cieplnej, odpowiednio do chwilowych potrzeb, następuje albo przy stałym natężeniu przepływu czynnika przez grzejnik, wtedy parametrem prowadzonym jest temperatura zasilania, albo przy stałej temperaturze zasilania, wtedy parametrem regulowanym jest ilość przepływającego czynnika. Metody te nie są równoważne gdyż powodują różne reakcje wtórne układu grzejnego i hydraulicznego.

2.1. Przy regulacji jakościowej, wobec stałości przepływu, spadek temperatury wody w grzejniku " $\Delta t_w$ " zmienia się liniowo z obciążeniem cieplnym  $\varphi_x$ , co wynika z równania  $Q_x = G_o \cdot c \cdot (\Delta t_w)_x$ . Można więc wyznaczyć program prowadzenia temperatury zasilania dla wszystkich warunków zewnętrznych według równania

$$(t_{w1})_x = t_p + \psi_o \varphi_x \frac{1}{1+n} + \frac{1}{2} \Delta t_o \varphi_x$$

Równomierność rozplywów nie ulega większym zakłóceniom, poza tymi, które są związane z działaniami grawitacyjnymi, indukującymi się w pionach instalacji wewnętrznej.

Programowanie temperatury czynnika napotyka na zasadniczo trudność objęcia jednolitym układem regulacyjnym instalacji wyposażonych w elementy grzejne o różnych charakterystykach cieplnych (p. 1.3 i 1.4.1). Problem ten występuje mniej wyraźnie w sieciach obsługujących obiekty komunalne, posługujące się przeważnie jednym typem grzejnika, jest jednak źródłem trudności eksploatacyjnych w obiektach przemysłowych o przemieszanym typie odbiorów.

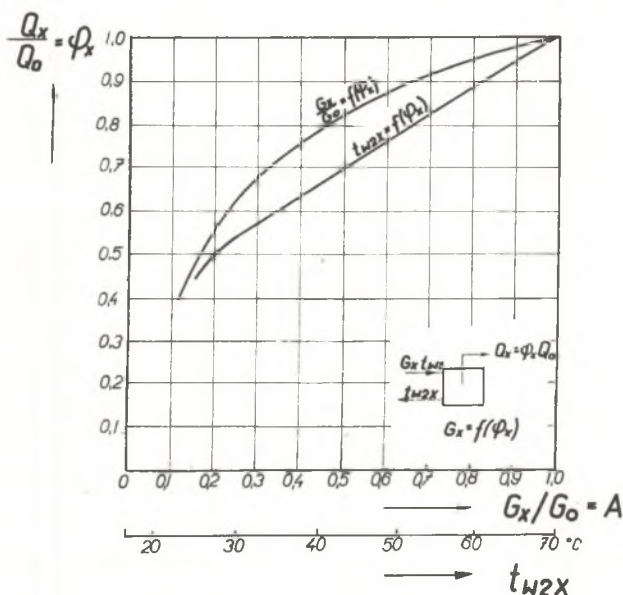
2.2. Regulacja ilościowa. Równość  $Q_x = G_x \cdot c \cdot (\Delta t_w)_x$  może być spełniona przy dowolnym stosunku czynników iloczynu  $G \cdot \Delta t_w$  z tym, że jego wartość ma być uzależniona od współczynnika obciążenia  $\phi_x$ . Średnia temperatura wody w grzejniku ( $\frac{t_{1x} + t_{2x}}{2} = t_{w \text{ sr}}$ ) musi przy tym zmieniać się według krzywej odpowiadającej jego charakterystyce cieplnej. Jeżeli  $t_{1x} = \text{const}$ , mamy do czynienia z regulacją czysto ilościową, jeżeli zmienia się według jakiegoś programu - regulacja staje się ilościowo-jakościowa. Przy specjalnie dobranym programie, takim, że  $G = \text{const}$  - regulacja przechodzi w czysto jakościową.

Przy regulacji czysto ilościowej zmienność natężenia przepływu według  $\phi_x$  odpowiada krzywej przedstawionej na wykresie nr 1. Z przebiegu tej zależności wynikają dwa wnioski: 1<sup>o</sup> - przy zmniejszaniu się współczynnika obciążenia " $\phi_x$ " (wzrost  $t_z$ ) przepływ gwałtownie spada, charakter ruchu w przewodach zmienia się na laminarny i równomierność rozplywów ulega znacznym zakłóceniom. Powoduje to ograniczenia zakresu stosowania tego typu regulacji; 2<sup>o</sup> - powiększanie przepływu, ponad wartość nominalną w nieznaczny sposób zwiększa wydajność cieplną grzejników.

Jak widać każda z metod regulacji średniej temperatury wody w grzejnikach posiada swoje wady. Przy jakościowej powstają trudności w dostosowaniu programu temperaturowego do charakterystyk cieplnych różnych odbiorników oraz marnotrawstwo energii krążenia nominalnych ilości wody, niezależnie od obciąże-

nia ciepłego. Przy ilościowej - kłopoty z rozplywem czynnika i urządzeniami regulującymi przepływ.

Wydaje się że praktycznych rozwiązań należy szukać w regulacji jakościowo-ilościowej, w której temperatura będzie ste-



Rys. 1. Zależność względnego wydatku ciepłego grzejnika od przepływu przy regulacji ilościowej

Założenia: temperatura pomieszczenia = 0, grzejnik radiatorowy  $k_{grz}$  - zmienne z temperaturą w granicach 7,0-5,5 kcal/m<sup>2</sup>h deg

rowana centralnie według programu odpowiadającego odbiornikowi o charakterystyce "najwyższej" korygując ilościowo, jeżeli nie wszystkie pozostałe, to przynajmniej te najbardziej odbiegające. Wtedy większość odbiorów komunalnych, o charakterystykach pośrednich, wykaże w okresach cieplejszych temperaturę pomieszczeń nadążną za temperaturą zewnętrzną, co zresztą jest korzystne ze względu na sezonową aklimatyzację ustroju ludzkiego do warunków zewnętrznych. Wykresy takie, dla specyficznych sieci śląskich (odbioru mieszane przemysłowo-komunalne) zostały opracowane w Katedrze Ogrzewnictwa i Ochrony Atmosfery, Politechniki Śląskiej.



### 3. Układ regulacyjny

3.1. W przeprowadzonej analizie metod dostosowania dostawy ciepła do chwilowych potrzeb, nie konkretyzowano ani systemu regulacji ani sposobu przekazania impulsu na ozłony wykonawcze układu regulacyjnego. System regulacji wiąże się ściśle z wyborem takiej wielkości mierzonej, która w razie odchylenia od wartości zadanej, zawiązuje cały szereg działań zdążających do likwidacji tego odchylenia.

Wielkością w ten sposób regulowaną, której odchylenie jest impulsem dla regulatora, może być temperatura pomieszczenia, temperatura wody zasilającej lub spadek temperatury wody w instalacji. W pierwszym wypadku impulsująca wielkość mierzona ( $t_p$ ) jest właśnie celem procesu ciepłowniczego, w dwóch następnych cel ten jest osiągany pośrednio, pod założeniem, że wartość zadana będziemy zmieniać w zależności od innego parametru zakłócającego (w tym wypadku od temperatury zewnętrznej) tak, aby efekt grzejny ( $t_p$ ) mógł być osiągnięty. Sygnał biegnie po torze otwartym i osiągnięcie ostatecznego efektu jest zależne od poprawności założonej relacji pomiędzy parametrem sterowanym a parametrem podstawowym tj. temperaturą wnętrza.

Porównajmy, dla przykładu trzy urządzenia regulacyjne:

3.1.1. Automatyczna regulacja grzejnika w której wejściem do regulatora jest temperatura wewnętrzna

3.1.2. Automatyczna regulacja przepływu w węźle budynku, korzystająca z impulsu pobranego od temperatury jednego z typowych pomieszczeń.

3.1.3. Sterowanie temperatury zasilania dla budynku, grupy lub całej sieci.

W przypadku 3.1.1. temperatura pomieszczenia, przy sprawnie działającym regulatorze, może być, niezależnie od warunków zewnętrznych, utrzymana w zadanej wysokości. Jest to właściwa regulacja o układzie zamkniętym.

W przypadku 3.1.2 jedynie pomieszczenie zaopatrzone w czujnik temperatury osiąga wartość żadaną. Pozostałe mogą wykazywać odchylenia, nie przekazywane na regulator, o wielkości za-

leżnej od teoretycznej zgodności ich charakterystyki cieplnej z charakterystyką pomieszczenia mierzonego.

Przypadek 3.1.3 ma wyraźny charakter sterowania a poprawność efektu zależy wyłącznie od zgodności strat cieplnych wszystkich pomieszczeń z obliczonymi teoretycznie oraz od pełnej poprawności obliczeń hydraulicznych i cieplnych układu grzejnego.

W obu ostatnich wypadkach liczymy wyraźnie na poprawność rozprywu czynnika w sieci rozdzielczej i instalacji wewnętrznej oraz zachowanie żądanych proporcji przepływów we wszystkich warunkach temperaturowych i hydraulicznych sieci magistralnej.

3.2. W opisanych wyżej przykładach rozróżniono dwie podstawowe możliwości regulacyjne: regulacja z impulsu płynącego od parametru kontrolowanego tj. temperatury wewnętrznej oraz sterowanie parametrów cieplnych czynnika grzejnego, konkretnie temperatury czynnika. W rzeczywistości pierwsza metoda nie może się obejść bez drugiej, choćby ze względu na konieczne ograniczenie zakresu pracy regulatorów.

W metodzie drugiej, czysto jakościowej, muszą być spełnione dwa podstawowe warunki:

3.2.1. Równomierność rozprywów czynnika na piony i grzejniki w instalacji wewnętrznej oraz na poszczególne węzły z sieci rozdzielczej.

3.2.2. Zgodność teoretycznych przyjęć (charakterystyka cieplna budynku, dobór grzejników) z rzeczywistymi faktami.

Istnieje trzecia możliwość, najbardziej godna wzięcia pod uwagę a mianowicie skojarzenie regulacji indywidualnej (o charakterze ilościowym) z jakościową. Jest ona właśnie przedmiotem opracowanej koncepcji jako regulacja jakościowa ze stabilizacją hydrauliczną i korekcją cieplną.

3.3. Stabilizacja hydrauliczna jest i dziś (jakkolwiek niezbyt konsekwentnie) stosowana w formie ograniczeń przepływów w węzłach budynkowych i podstawowych węzłach sieciowych (kryzy dławiące). Wobec pulsujących ciśnień w magistrali (p. rozdz. 1.1) przyjmuje się powszechnie metodę wymiany kryz za każdym

razem gdy pojawi się nowy odbiornik. Można temu zaradzić przez włączenie we właściwym miejscu pomiędzy magistralą, będącą jednym ze źródeł zmienności ciśnień dyspozycyjnych, a odgałęzieniem osiedlowym, regulatora stabilizującego różnicę ciśnień oraz przyjmując odpowiednią metodę stabilizacji trwałej w węzłach budynkowych. Metoda ta jest opisana, jako regulacja nastawcza w rozdziale 4.

3.4. Regulacja korekcyjna polega na ilościowej korekcyi przepływu i jest zlokalizowana w węźle przyłączeniowym względnie, w dalszej przyszłości, na indywidualnych grzejnikach lub ich grupach. Wymagałoby to stosowania niezależnych regulatorów względnie zmiany koncepcji instalacji wewnętrznych, tak by pozwolić na swobodną kontrolę grupy grzejników jednego mieszkania przez użytkownika, z zastosowaniem oczywiście licznika ciepła lub tylko przepływu pobieranego czynnika grzejącego.

Do grupy tej należy również sposób podany w p. 3.1.2 próbowany obecnie na sieci warszawskiej.

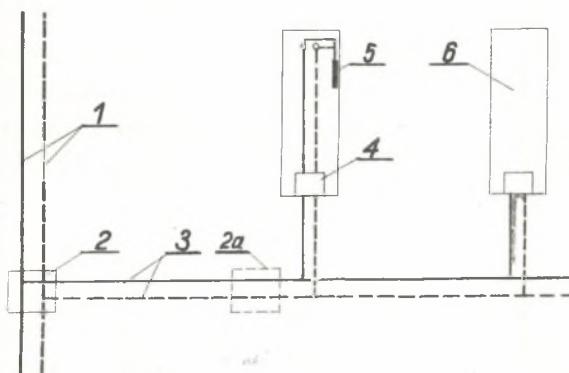
#### 4. Regulacja nastawcza (wstępna)

Jest to regulacja trwała i dotyczy sieci rozdzielczej o ustabilizowanej na wejściu różnicy ciśnień. Sieć ta podlega ze swej strony pewnym zakłóceniom hydraulicznym spowodowanym zmiennością przepływów przez poszczególne odcinki, wskutek dołączania coraz to nowych odbiorników. Wielkość tych zmian zależy od miejsca przyłączenia i stosunku przyłączonej mocy cieplnej do mocy całej grupy. Celem określenia zakresu tych zmienności przeprowadzono na kilku przykładach (jeden z nich dotyczył aktualnej sieci katowickiej, gałąź NS-EC Chorzów) obliczenie odchyłek od zadanych przepływów, zakładając rozbudowę osiedla od stanu prawie zerowego do docelowego, raz od końca, raz od początku sieci. Założono docelowe zakryzowanie wszystkich węzłów. Uzyskano następujące wnioski:

4.1. Rozregulowanie przepływów jest mniejsze przy obciążeniu sieci od początku. Rozregulowanie maksymalne  $\approx + 13\%$  globalnego przepływu nominalnego oraz  $+ 26\%$  przejściowo w ostatnim kolejno budynku, gdy rozbudowa osiągnie ok. 50% obiektów.

Dzieląc okres rozbudowy osiedla na 5 etapów otrzymany dla poszczególnych etapów nadmiar krążącego ozywnika: 7%, 12%, 13%, 10%, 0%.

4.2. Jeżeli obszar zasilany siecią składa się z poszczególnych odległych od siebie osiedli lub zakładów, wtedy rozregulowanie rośnie z ich wzajemną odległością. Generalna stabilizacja ciśnienia dyspozycyjnego dla całego obszaru powinna w tym wypadku być przesunięta jak najbliżej osiedli (miejsce 2a na rys. 2), względnie podzielona na poszczególne osiedla. Wtedy rozregulowanie osiągnie minimum, jak w p. 4.1.



Rys. 2. Schemat układu sieci ciepłowniczej

1 - sieć magistralna, 2, 2a - alternatywne umieszczenie podstawy regulującej warunki hydrauliczne, 3 - odgałęzienie sieciowe, 4 - węzeł budynku z ewentualnym regulatorem korekcyjnym, 5 - regulator korekcyjny w pomieszczeniu, 6 - budynek

Wniosek ostateczny można sformułować następująco:

Wszystkie węzły budynkowe powinny być od początku zakryzowane docelowo. W zupełnie sporadycznych wypadkach (gdy sieć jest obciążana od końca) można najdalszy budynek przejściowo podłączyć. Wyrażane jeszcze ciągle obawy, że rozbudowa układów ciepłowniczych wiąże się z nieustannym przekryzowywaniem, są pozostawione podstaw, należy jednak dodać, że warunkiem utrzymania nominalnych lub zbliżonych do nominalnych rozpiętości jest stabilizacja różnicy ciśnień w podstawowych węzłach sieci.



## 5. Stabilizacja warunków hydraulicznych sieci

Stabilizacja różnicy ciśnień może być dokonana dla takiego obwodu, w którym nie występują poważne zmiany w jego oporności właściwej w czasie ruchu.

Indywidualna instalacja, posiadająca z natury rzeczy oporność ustaloną, spełnia zawsze ten warunek.

W wypadku grupy budynków oporność ulega zmianie za każdym razem gdy jest przyłączana nowa instalacja, jednak w rozdziale 4 wyjaśniono, że zakryzowanie odbiorników na stan docelowy pozwala ograniczyć rozregulowanie rozpliwów do minimum i w tym wypadku, pod warunkiem jednak zachowania dla całego tego obwodu ustalonej różnicy ciśnień.

Należy zwrócić tu uwagę na to, że stabilizacja różnicy ciśnień dla pojedynczego odbiornika jest równoznaczna ze stabilizacją przepływu i stąd próby zastosowania zaworu stałego wydatku, nie udanego pod względem konstrukcyjnym i wycofanego z produkcji. Również i pod względem cieplnym regulator taki może spełnić swoje zadanie jedynie w wypadku pełnego dostosowania programu temperaturowego sieci do potrzeb danego budynku. Przewodząc program generalny, zadowolający odbiorniki o różnej charakterystyce, nie możemy spodziewać się pozytywnych wyników.

Tak więc stabilizacja różnicy ciśnień powinna odnosić się przede wszystkim do podstawowych węzłów sieci, przy czym odbiorniki przyłączone poza regulatorem powinny spełniać warunek jednorodności pod względem swojej charakterystyki, co omówiono szczegółowo w rozdziale 2. W wypadku większych odstępstw w programie temperaturowym, odbiorniki poważnie odstające powinny otrzymać dodatkową regulację korekcyjną. Funkcja regulatora polega na przejmowaniu dwóch różnych zakłóceń:

- od strony magistrali - zmiany ciśnień dyspozycyjnych
- od strony odbiorników - zmiany przepływu spowodowanej korekcjami przepływu w węzłach budynkowych.

Stabilizacja warunków hydraulicznych ma się więc odnosić do różnic ciśnień w podstawowych węzłach sieci a nie do przepływu. Pod względem koncepcji konstrukcyjnej stabilizator składa się z dwóch regulatorów, na zasilaniu i powrocie, przyjmujących impuls od odchylenia różnicy ciśnień oraz ciśnienia manometrycz-

nego w przewodzie powrotnym. Ciśnienie to powinno być kontrolowane celem utrzymania dla każdej głównej gałęzi właściwego dla niej ciśnienia statycznego (różnice w pionowym ukształtowaniu terenu i wysokościach budynków). Praca stabilizatora polega na tym, że utrzymuje stałą różnicę ciśnień na wyjściu niezależnie od zmieniającej się oporności właściwej przyłączonej gałęzi. Oporność ta, jak podano wyżej, zmienia się zarówno wskutek rozbudowy gałęzi, jak i wskutek ewentualnej ingerencji regulatorów korekcyjnych w węzłach budynkowych.

## 6. Regulacja korekcyjna

Potrzeba wprowadzania dla niektórych odbiorników korekcji została objaśniona w punkcie 3.4 rozdz. 3.

Występuje ona przy generalnie jakościowej regulacji sieci ciepłowniczej, prowadzonej według programu odpowiadającego najbardziej odstającej charakterystyce odbioru (najwyższej), z ewentualnym kilkustopniowym zapasem ze względu na nieprzewidziane potrzeby oraz konieczność utrzymywania automatów w stałej gotowości do pracy.

Sposób przeprowadzenia korekcji zależy od rodzaju węzła. Przy złączu bezpośrednim korekta jest ilościowa, przy wymiennikowym - ilościowa korekta obiegu pierwotnego, przetwarza się na jakościową w obiegu wtórnym (układ pomp obiegu wewnętrznego daje stałą ilość krążącej wody).

Ten typ regulacji wydaje się być najbardziej godnym polecenia, gdyż łączy w sobie zalety stabilności pracy układu jakościowego z możliwością dostosowania wydajności cieplnej do indywidualnych potrzeb poszczególnych odbiorców.

## 7. Wybór koncepcji regulacji

7.1. Rozważania przeprowadzone w poprzednich rozdziałach prowadzą do wniosku, że do dyskusji są dwa możliwe systemy kontroli pracy układów ciepłowniczych:

- I. Sterowanie parametrów cieplnych czynnika przy ustawionych rozpiętościach.

II. Automatyczna kontrola zadanego efektu ogrzewniczego u poszczególnych odbiorców.

ad I. W wypadku 1, warunki hydrauliczne w sieci muszą być kontrolowane tak, aby zapewnić prawidłowy rozptyw czynnika. Będzie to jednoznaczne z prawidłowym rozptywem ciepła tylko w wypadku gdy projekt i wykonawstwo instalacji będą prawidłowe. Regulacja ruchowa ma charakter jakościowy z możliwością korekcji ilościowej dla niektórych odbiorników, jeżeli ich charakterystyka cieplna odbiega od typowej w danej sieci.

ad II. W wypadku 2, wskutek zastosowania automatów dozujących ciepło dla poszczególnych obiektów, wzgl. grzejników, następuje pewne uniezależnienie funkcji grzejnej od warunków ciśnieniowych w sieci. Rozptyw czynnika w sieci jest ciągle zmienny, zależnie od chwilowego ustawienia regulatorów. Temperatura zasilania może być prowadzona na poziomie dowolnym, byle wyższym od potrzebnego do pokrycia chwilowych potrzeb cieplnych obiektu.

Metoda druga daje niewątpliwie wyższy poziom komfortu cieplnego, gdyż jest on bezpośrednio kontrolowany w miejscu odbioru jednak jej praktyczna skuteczność zależy od pewnych warunków, których obecne sieci nie są w stanie spełnić. Automatyzacja wymaga przygotowania całego układu do jej przyjęcia, elementy składowe systemu muszą być w swojej podstawowej funkcji wysokosprawne, musi być również zapewniony wysoki standard obsługi i wykonawstwa, a także możliwość wymiany lub naprawy niesprawnego członu.

Porównanie nakładów pracy i kosztów wprowadzenia jednego lub drugiego systemu daje raczej preferencję alternatywie pierwszej, która już dziś jest możliwa do realizacji, a nie przeszkadza przejściu na bezpośrednią kontrolę warunków mikroklimatu, tj. metodę drugą, w chwili gdy odpowiednie urządzenia automatyczne będą osiągalne.

## 7.2. Regulacja jakościowa ze stabilizacją hydrauliczną i korekcją cieplną

Regulacja jakościowa jest do chwili obecnej jedyną metodą stosowaną w Polsce. Nie daje dobrych wyników ze względu na zaniedbania w przygotowaniu sieci i odbiorników. Brak ustawienia rozpyłów, rozpoznania charakterystyk przyłączonych odbiorników i odpowiedniego wyposażenia pomiarowego i regulacyjnego. Należy zdać sobie sprawę, że usunięcie tych braków i usprawnienie całego układu jest procesem długim, jednak koniecznym, zarówno dla pierwszej jak i dla drugiej alternatywy.

Obecny system regulacji jakościowej musi przejść ewolucję, której program można ustalić następująco:

Etap 1 - przygotowawczy, ma doprowadzić do rozpoznania statycznych i dynamicznych charakterystyk sieci oraz cieplnych charakterystyk odbiorników. Pozwoli to z jednej strony na opracowanie zasad i zaleceń projektowania następnych układów sieciowych (np. łączenie jednorodnych odbiorników w grupy, wydzielanie gałęzi przemysłowych lub stosowania zasilania trójprzewodowego, preferowanie najkorzystniejszych typów węzłów przyłączeniowych ...), z drugiej strony pozwoli na zastosowanie optymalnych programów sterowania temperatury czynnika.

W etapie tym należy również ujednoczyć i uzupełnić wyposażenie pomiarowo-kontrolne węzłów budynkowych i podstawowych węzłów sieciowych.

Etap 2 - Etap ten ma doprowadzić do uporządkowania układu hydraulicznego sieci, zaczynając od stabilizacji rozpyłów przez poszczególne węzły (kryzowanie docelowe), połączonej z kontrolą ciśnień dyspozycyjnych w podstawowych węzłach sieci. Kontrola ta, oparta o możliwości pomiaru i regulacji ciśnień w tych węzłach (komory stabilizujące), pozwoli na okresowe dostosowywanie różnic ciśnień do zmieniającej się z postępującą rozbudową, charakterystyki hydraulicznej danej gałęzi.

W następnej kolejności należy opracować automatyzację urządzeń, regulacyjnych w komorach (regulator stabilizujący).

Etap 3 - Pierwsze dwa etapy doprowadzają do porządku i możliwości pełnej kontroli pracy sieci ciepłowniczej oraz w pe-



wien sposób regulują dostawę ciepła do poszczególnych odbiorników. Umożliwiają również wpływ na instalacje mniej sprawne przez przestawienie przepływu czynnika (korekta kryzy w węźle). Jednolity program temperaturowy zasilania, dobrany np. do instalacji konwektorowych lub węzłów wymiennikowych, powoduje różny przebieg temperatury wnętrza w ciągu sezonu ogrzewniczego w innych instalacjach - stałość tej temperatury lub pewną nadążność za temperaturą zewnętrzną. Wynikiem pierwszych dwóch etapów będzie poprawa rozplywu ciepła i dzięki temu, racjonalna i bardziej ekonomiczna niż dotąd eksploatacja.

W trzecim etapie może zostać w pełni zastosowana automatyczna kontrola prawidłowych warunków mikroklimatu w poszczególnych odbiornikach. Kontrola ta będzie polegać na jakościowej korekcji przepływu według pojawiających się odchylen temperatury wnętrza od zadanej. Program centralnej regulacji temperatury czynnika będzie mógł być zmieniony tak, aby obsłużyć instalacje wszelkiego rodzaju, zapewniając równocześnie niezależność parametrów mikroklimatu od przypadkowych odstępstw charakterystyki cieplnej i hydraulicznej zasilanych obiektów. Stabilizacja warunków hydraulicznych w sieci i odbiornikach (p. etap 2) jest i w tym wypadku konieczna dla zapewnienia regulatorom optymalnych warunków pracy.

## S t r e s z c z e n i e

Omówiono zagadnienia metod kontroli rozdziału czynnika i ciepła w systemach ciepłowniczych. Rozpatrzono alternatywnie regulację właściwą, impulsowaną temperaturą pomieszczenia oraz układ otwarty, w którym temperatura wody sieciowej zmienia się zależnie od obciążenia oraz rozpoznania zależności tej temperatury od chwilowych potrzeb cieplnych. Różne względy dyktują konieczność preferowania okresowo tej drugiej alternatywy, przy czym należy położyć nacisk na stabilizację układu hydraulicznego sieci, który ulega w czasie rozbudowy układu ciepło-

niczego poważnym zakłóceniom. Omówiono również założenia funkcjonalne i konstrukcyjne regulatorów: stabilizującego i korekcyjnego, umożliwiającego objęcie odbiorników różnego typu w jednolity system regulacji jakościowo-ilościowej.

## ВПРОСЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

### Р е з ю м е

Обсуждено вопросы метода контроля распределения теплоносителя и тепла в системах центрального теплоснабжения. Рассмотрено регуляцию с импульсом от температуры помещения, а также открытую систему, в которой температура сетевой воды изменяется зависимо от распознаной мгновенной нагрузки. Разные взгляды предписывают необходимость рекомендовать вторую альтернативу. При этом надо специально обратить внимание на гидравлическую стабилизацию сети, которая во время развёртывания системы теплоснабжения нарушается. Обсуждено тоже функциональные и конструктивные предположения для регуляторов: стабилизационного и коррекционного, чтобы сделать возможным обнять приёмники разного типа в однородную систему качественно-количественной регуляции.

## THE PROBLEMS OF DISTRICT HEATING SYSTEMS CONTROL

## S u m m a r y

The problems of various methods of hot water flow and heat distribution control in polish heating systems are outlined in this paper. Of the two ways available; proper automatic control with room temperature as controlled variable and open - loop system, the preference is for the present given to the second one.

The hot water temperature varies in proportion to the load caused by changes in outdoor temperature, according to prearranged relationship in both temperatures and, in this case the hydraulic conditions in main and distribution lines must be automatically controlled in order to counteract to the pressure head changes due to the development of the area supplied from a central plant and, accordingly, to the increase of specific resistance of distribution pipes system. The structural demands as to the pressure and heat supply controller and device are also discussed.