

Stanisław LEGIEĆ
Krystyna TURKIEWICZ

PROPOZYCJA REGULACJI DOSTAWY CIEPŁA I WARUNKÓW HYDRAULICZNYCH W SYSTEMACH CIEPŁOWNICZYCH AGLOMERACJI MIEJSKO-PRZEMYSŁOWYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono propozycję rozwiązania regulacji dostawy ciepła i warunków hydraulicznych w postaci układów hierarchicznych dla aglomeracji miejsko-przemysłowych charakteryzujących się dużymi różnicami wysokościowymi terenu i przemieszaniem odbiorców ciepła.

1. Wprowadzenie

Problemy regulacji i automatyzacji stanowią jedno z trudniejszych i nie rozpracowanych do końca zagadnień w ciepłownictwie.

Najogólniej, zadania układów regulacji w systemach ciepłowniczych sprowadzają się do zapewnienia prawidłowości działania tych systemów przez:

- zapewnienie prawidłowej dostawy ciepła do odbiorców - regulacja dostawy ciepła,
- utrzymanie odpowiednich wartości ciśnień nośnika - regulacja warunków hydraulicznych.

Regulacja dostawy ciepła odpowiednio do aktualnych potrzeb cieplnych odbiorców wymaga znajomości:

- charakterystyk potrzeb cieplnych obiektów odbierających ciepło,
- charakterystyk regulacyjnych urządzeń odbierających ciepło,
- metod zaspokajania tych potrzeb.

Wielkość i zmienność potrzeb cieplnych zależy od zewnętrznych warunków klimatycznych i sposobu eksploatacji pomieszczeń oraz (dla potrzeb c.w.u. i technologicznych) od ciągłości i wymagań odnośnie do parametrów procesu technologicznego. Natomiast dostawa ciepła jest to ilość ciepła, jaką zostanie odebrana przez poszczególne odbiory z sieci ciepłowniczej w danych warunkach eksploatacyjnych oraz przy uwzględnieniu sposobu rozwiązania stacji odbioru i poszczególnych instalacji.

Bilanse potrzeb i dostawy ciepła powinny uwzględnić zmienność w czasie zakłóceń odbioru ciepła oraz dynamikę procesu dostawy ciepła.

Z uwagi na pracę systemu ciepłowniczego ważne jest rozpoznanie zmienności ilości ciepła dostarczanego przez poszczególne urządzenia oraz wynikających stąd zmienności natężeń przepływu nośnika ciepła.

Regulacja warunków hydraulicznych ma na celu:

- a) utrzymanie parametrów ciśnieniowych nośnika ciepła w granicach zapewniających prawidłową pracę systemów; przez prawidłową pracę należy rozumieć umożliwienie działania regulatorom dostawy ciepła w odbiorach,
- b) zabezpieczenie elementów systemów przed przekroczeniem wartości dopuszczalnych ciśnień nośnika ciepła.

Jednym z zagadnień wchodzących w skład tej regulacji jest wytworzenie ciśnień dyspozycyjnych zapewniających prawidłowe przepływy nośnika ciepła. W tym zakresie zagadnienia regulacji warunków hydraulicznych wiążą się z zagadnieniami regulacji dostawy ciepła. Ze względu na znaczne pofałdowanie terenu, charakter i przemieszanie odbiorów ciepła miejsko-przemysłowych najtrudniejsze obiekty z punktu widzenia regulacji nie tylko w skali Polski stanowią aglomeracje BOP, GOP, ROW.

Zagadnienia i propozycja rozwiązań regulacji systemów ciepłowniczych w tego typu aglomeracjach są tematem niniejszego artykułu.

2. Regulacja dostawy ciepła

Regulacja dostawy ciepła odpowiednio do chwilowych potrzeb może być prowadzona przy stałym przepływie czynnika przez urządzenia odbierające ciepło (wtedy parametrem prowadzonym jest temperatura zasilania) lub przy stałej temperaturze zasilania (wtedy parametrem regulowanym jest ilość przepływającego czynnika grzejącego). Trzecim sposobem jest połączenie regulacji jakościowej i ilościowej, czyli regulacja mieszana.

W powszechnie stosowanej centralnej regulacji jakościowej dostawy ciepła program zmienności temperatur nośnika na wyjściu ze źródła jest ustalony przez rozwiązanie układów równań. Równania te opisują strumienie ciepła dostarczonego z nośnikiem do urządzeń grzejnych, przenikające przez kolejne przegrody i uchodzące jako straty ciepła do otoczenia lub odbierane przez inny nośnik ciepła w urządzeniu technologicznym.

Równania są rozwiązywane, przyjmując, że proces ogrzewania stanowi szereg stanów ustalonych oraz dodatkowo zakładając:

- stały przepływ nośnika ciepła przez oddane do eksploatacji odbiory i niewłączanie nowych,
- stałą temperaturę powietrza w pomieszczeniu,
- zmienność potrzeb ciepłych jedynie z temperaturą powietrza zewnętrznego,
- jeden typ grzejnika i elementu redukcyjnego.

Na rys. 1 przedstawiono zestaw programów zmienności temperatur dla wybranych podstawowych typów urządzeń grzejnych (wyłączając odbiory technologiczne i cwu).

Dla porównania przedstawiono również program regulacji temperatur wykonany na podstawie danych zawartych w opracowaniu "Wytyczne ustalenia temperatur wody w źródłach ciepła i sieciach ciepłych" wydanym przez FIGPE w 1975 r.

Jak widać z wykresów, wymagania poszczególnych odbiorców odnośnie do programu zmienności temperatury zasilania bardzo odbiegają od siebie. W konsekwencji regulacja wg zaleceń FIGPE prowadzi do dużych różnic między potrzebami a dostawą ciepła. W aglomeracjach miejsko-przemysłowych, w których duży udział odbiorców ciepła stanowią obiekty przemysłowe, ilości ciepła dostarczanego w ciągu roku wynoszą ok. 125% w stosunku do potrzeb (rys. 2a i b).

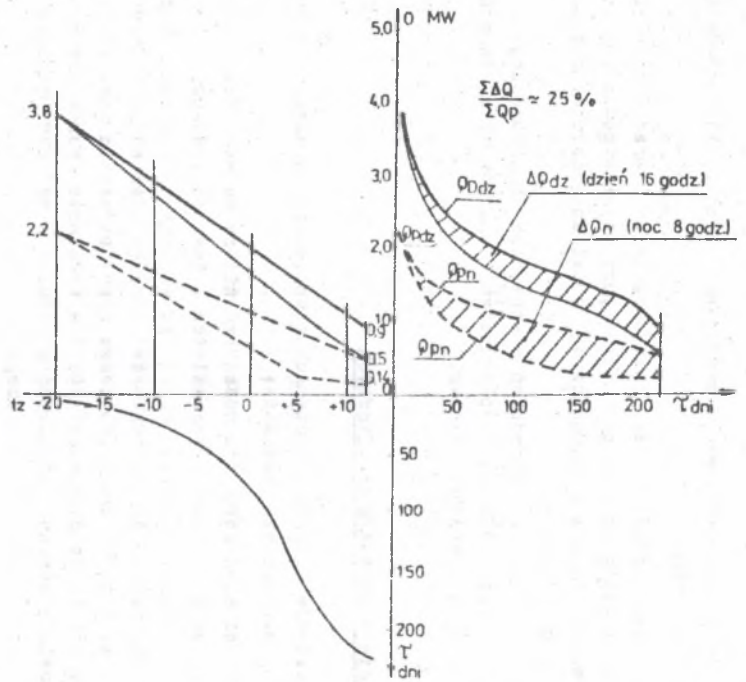
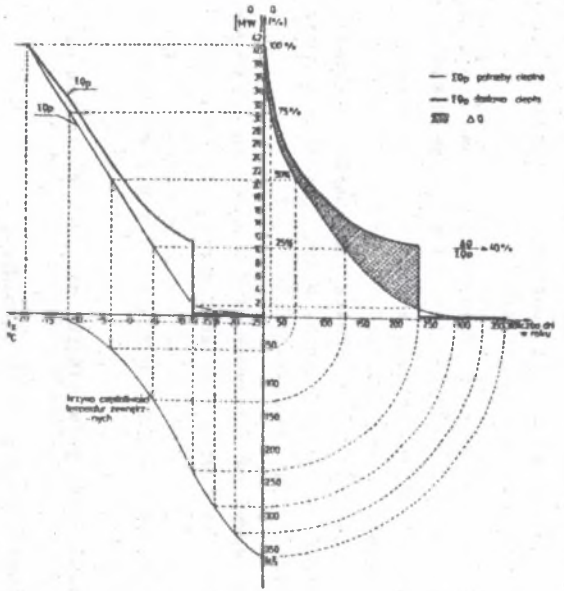
Wprowadzenie jako odbiorcy ciepła z systemu - ciepłej wody użytkowej stwarza konieczność utrzymania, jako najniższej, temperatury zasilania 70°C (rys. 1), a stosowana automatyczna regulacja dostawy ciepła dla cwu powoduje zmiany przepływu - wbrew założeniom regulacji jakościowej. Równocześnie w dużych systemach ciepłowniczych zmienności przepływów pojawiają się na skutek podłączania do sieci nowych obiektów w sezonie grzewczym oraz wyłączenia dopływu nośnika ciepła do pewnych odbiorców w zależności od potrzeb ich eksploatacji. Czynniki te powodują dalsze zróżnicowanie między potrzebami a dostawą ciepła przy jej centralnej jakościowej regulacji. Dodatkowo jeszcze należy wziąć pod uwagę straty ciepła przesyłu i opóźnienia transportowe oraz awarie, których to czynników nie można pominąć w sieciach ciepłych dalekiego zasięgu o dużej ilości odbiorców ciepła, a które wpływają na końcowy efekt dostawy ciepła.

Wymienione czynniki uniemożliwiające prawidłową dostawę ciepła przy jej centralnej jakościowej regulacji wpłynęły na decyzję wprowadzenia regulacji mieszanej - centralnej jakościowej i indywidualnej lub grupowej ilościowej.

Przy wyposażaniu systemów ciepłowniczych w układy automatycznej regulacji dostawy ciepła należy zwrócić uwagę na dwa zagadnienia:

- 1) czy dotychczas stosowany sposób ustalania programu zmienności temperatur nie powinien być zmodyfikowany,
- 2) czy w dużych systemach jest możliwe spełnienie funkcji przez układy regulacji ilościowej w stacjach odbioru ciepła bez stosowania układów regulacji warunków hydraulicznych w sieciach. To zagadnienie zostanie omówione w pkt. 3 artykułu.

ad 1) Dla systemów wyposażonych w układy automatycznej regulacji dostawy ciepła jako dane wyjściowe dla opracowania programu zmienności temperatur należałoby przyjmować równania ujmujące charakterystykę statyczną regulacji jakościowo-ilościowej urządzeń, zmienności potrzeb ciepłych od-



Rys. 2a i 2b. Wykres potrzeb i dostawy ciepła dla zakładu przemysłowego.

biorców oraz program dostawy poszczególnymi urządzeniami. Dodatkowo należy brać pod uwagę:

- ekonomię pracy źródła ciepła, zwłaszcza typu EC oraz dostosowanie wartości temperatury wody do parametrów pary uzyskiwanej z upustów turbin,
- dostosowanie obiegów ciepłowniczych źródeł do ilościowych zmian przepływów nośnika ciepła,
- ekonomię rozwiązywania zagadnień energetycznych aglomeracji i możliwość włączenia do działalności ciepłownictwa odbiorców wymagających stażej podwyższonej temperatury nośnika.

3. Regulacja warunków hydraulicznych

Dobór układów ciśnień w systemach ciepłowniczych wiąże się ze spełnieniem trzech podstawowych warunków:

- a) wartości ciśnień roboczych muszą być niższe od wartości dopuszczalnych ciśnień roboczych dla poszczególnych elementów systemu,
- b) wartości ciśnień roboczych muszą być większe od minimalnych ciśnień roboczych, zabezpieczających przed odparowaniem nośnika przy najwyższych jego temperaturach lub przed zapowietrzeniem instalacji,
- c) wartość ciśnienia dyspozycyjnego dla pokonania oporów przepływu nośnika powinna zapewnić możliwość uzyskania wymaganego strumienia w każdym obiegu systemu ciepłowniczego.

Warunki te pozwalają na określenie wartości ciśnień roboczych zapewniających prawidłowość spełnienia przez system ciepłowniczy zasadniczej funkcji, jaką jest dostawa ciepła i muszą być spełnione w każdym z trzech stanów eksploatacyjnych, a mianowicie:

- maksymalnych przewidywanych projektem przepływów nośnika, przy których występują największe spadki ciśnień w sieciach rozprowadzających,
- minimalnych przepływów nośnika spowodowanych największym przedkswieniem układów regulacji dostawy ciepła,
- zaniku przepływu nośnika na skutek zamknięcia zawieradeł magistrali lub zaniku energii do przetłaczania. W tym przypadku w systemie wystąpi ciśnienie spoczynku lub średnie ciśnienie zładu.

Decydujący wpływ na układy ciśnień w sieciach cieplnych mają: zmienność przepływów nośnika ciepła oraz konfiguracja terenu.

3.1. W p ł y w z m i a n p r z e p ł y w ó w n a u k ł a d y c i ś n i e ń

Na zmienność przepływów nośnika ciepła w systemach ciepłowniczych wpływają:

- 1) zmiany sumarycznych potrzeb cieplnych,

- 2) przyjęte metody zaspokajania potrzeb cieplnych i programy działania odbiorców,
- 3) zastosowane programy zmienności temperatur nośnika ciepła,
- 4) sposób rozwiązania regulacji dostawy ciepła i stopień automatyzacji systemu.

Równocześnie można wyodrębnić zmienności przepływów:

- wewnątrzdobowe - wynikające z bilansów dostawy ciepła,
- roczne - wynikające ze zmian sumarycznych potrzeb cieplnych w sezonie grzewczym i poza sezonem,
- wieloletnie - wynikające z rozwoju aglomeracji miejskiej i systemu ciepłowniczego.

Jak wynika z przeprowadzonych analiz, przy wprowadzeniu korekt ilościowych przy centralnej jakościowej regulacji dostawy ciepła prowadzonej tradycyjnie w systemach ciepłowniczych aglomeracji miejsko-przemysłowych, przepływ nośnika ciepła w okresie grzewczym maleje do 30 a nawet 25% ilości nominalnej.

Zmiany przepływów powodują zmiany spadków oraz układów ciśnień wzdłuż tras sieci. Ustabilizowanie wartości ciśnień w pewnym punkcie sieci powoduje powstawanie odchyłek od wartości ciśnień, które występowały poprzednio. Wartość chwilowego spadku ciśnienia w pojedynczej działce można wyrazić wzorem:

$$\Delta p_x = \Delta p_n \cdot \psi^2$$

gdzie:

Δp_x - spadek ciśnienia w działce przy przepływie G_x ,

Δp_n - spadek ciśnienia w działce przy przepływie G_n ,

$$\psi = \frac{G_x}{G_n},$$

G_x - chwilowy przepływ w działce,

G_n - obliczeniowy przepływ w działce.

Przy stabilizacji warunków zasilania układu sieciowego zmiany spadków ciśnienia spowodują (rys. 3):

- zmianę wartości ciśnień dyspozycyjnych w poszczególnych punktach układu sieciowego,

co pociąga za sobą:

- wtórne rozregulowania włączonych a nie regulowanych odbiorców,
- duże wymagania co do zakresu pracy zainstalowanych układów automatycznej regulacji u odbiorców zautomatyzowanych,

i tanich stacji odbioru ciepła, a również o wartości ciśnienia dyspozycyjnego dla transportu decydują:

- różnice poziomów terenu obsługiwanego przez sieć i wynikające z nich wartości minimalnego ciśnienia w każdym punkcie układu sieciowego,
- wartości ciśnień dopuszczalnych dla urządzeń w poszczególnych punktach układu sieciowego,
- wymagane ciśnienie dyspozycyjne dla stacji odbioru ciepła.

Szczegółowo zagadnienia te zostały omówione w poprzednim artykule^{x)}.

4. Propozycje rozwiązań technologii działania systemów pracujących w warunkach aglomeracji miejsko-przemysłowych

Dla terenów o dużym zróżnicowaniu wysokości wymieszanych odbiorcach ciepła miejsko-przemysłowych proponuje się tworzenie systemów ciepłowniczych przez szeregowo-równoległe łączenie różnego typu wyodrębnionych zestawów urządzeń.

Wyodrębniony zestaw urządzeń jest to zestaw wydzielony z ogólnego systemu stacjami regulacyjnymi.

Celowość tworzenia układów hierarchicznych wynika:

- ze sprzeczności pomiędzy wymaganymi dyspozycyjnymi ciśnieniami dla transportu a wartościami dopuszczalnych ciśnień roboczych w istniejących sieciach,
- z ukształtowaniem terenu, przy którym w sieciach tradycyjnych, wartości ciśnień w obiektach lokalizowanych nisko przekraczałyby wartość ciśnienia dopuszczalnego,
- z dużej ilości różnorodnych odbiorców objętych uciepłowaniem,
- z niższych ogólnych kosztów automatyzacji przez stosowanie regulatorów grupowych, a zmniejszenie dużej ilości regulatorów indywidualnych,
- z umożliwienia sukcesywnego wdrażania automatyzacji.

Wprowadzono pojęcie stacji regulacyjnej, w odróżnieniu od potocznie używanego określenia węzeł, celem wyraźnego zróżnicowania funkcji.

Stacja regulacyjna - stanowi przede wszystkim zespół urządzeń regulacyjnych, pomiarowych oraz zabezpieczających, zainstalowanych we wspólnej obudowie budowlanej. Mogą być tu również zabudowane urządzenia ogólnej obsługi technicznej, ale zawsze dominującą funkcją jest regulacja.

Węzły - stanowią zespół urządzeń obsługi technicznej, z niewielkim uzupełnieniem w niezbędną aparaturę kontrolno-pomiarową. Przykładowo: węzły zawierają sekcyjne, odmulaczy, rozdzielacze, urządzeń kompensacyjnych itp.

^{x)} Dotyczy artykułu K. Turkiewicz, H. Ciuman, M. Ewich pt. "Wpływ konfiguracji terenu na zasięg sieci ciepłych".

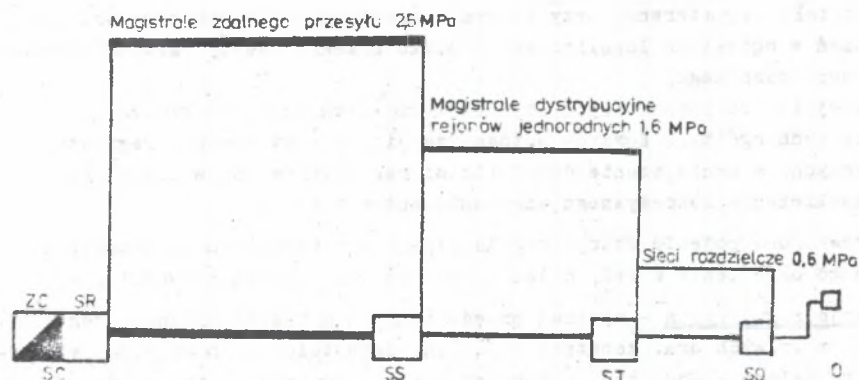
Jednym z podstawowych zagadnień tworzenie układu hierarchicznego jest określenie zasad podziału całego systemu na mniejsze jednostki, wyodrębniające się z całego układu w sposób naturalny, wynikający z konieczności zaspokojenia potrzeb wszystkich odbiorców.

Jako wydzielone zestawy proponuje się wyodrębnić:

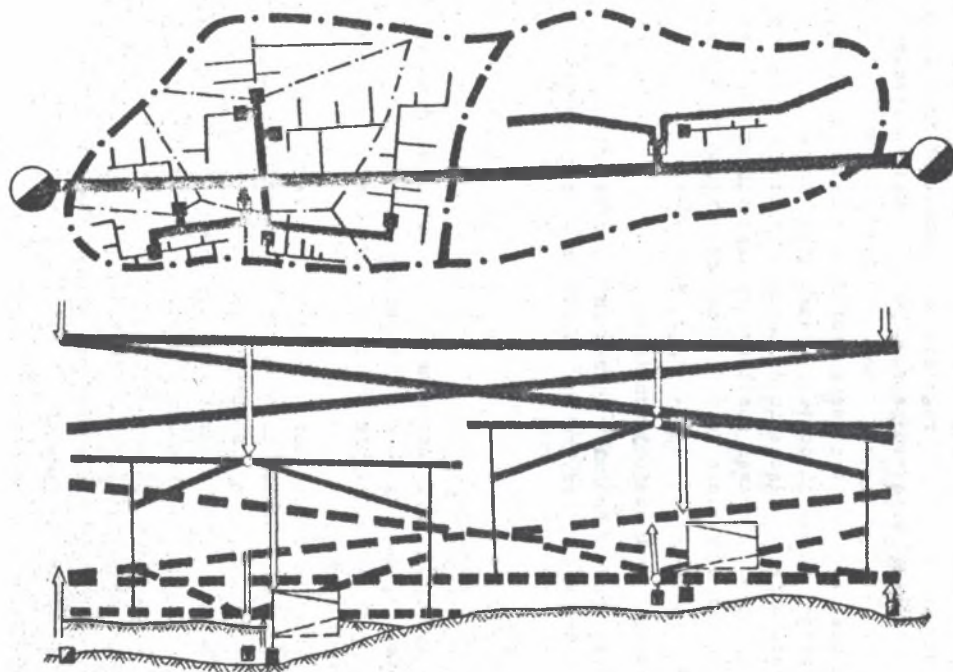
- elementarną jednostkę dla indywidualnej regulacji dostawy ciepła, którą może być:
 - pojedynczy grzejnik,
 - zestaw elementów grzejnych w pomieszczeniu,
 - mieszkanie,
- obiekt ogrzewany z instalacjami i stacją odbioru,
- grupa obiektów stanowiąca jednostkę regulacyjną wraz z siecią rozdzielczą i stacją transmisji,
- układ sieciowy rozprowadzający nośnik po obszarze uciepłownienia,
- obiegi wewnętrzne źródeł ciepła.













Proponowany układ hierarchiczny elementów systemu ilustruje rysunek 4, a schemat technologiczny rysunek 5.

Wprowadzenie w strukturze funkcyjnej następnego elementu po obiekcie i instalacjach odbiorów, tzw. jednostki regulacyjnej, podyktowane jest żądaniem opanowaniem rozległych i stale rozwijających się systemów ciepłowniczych.



Rys. 4. Układ hierarchiczny elementów proponowanych systemów ciepłowniczych
 O - odbiór ciepła - element grzejny lub grupa jednorodnych elementów grzejnych, SO - stacja odbioru - zabezpieczenie i regulacja instalacji obiektów ogrzewanych, ST - stacja transmisji - zabezpieczenie i stabilizacja warunków dla odbioru jednostki regulowanej, SS - stacja spinająca - redukcja ciśnienia dla magistral dystrybucyjnych w rejonach jednorodnych, SC - stacja ciepła w skład której wchodzi: ZC - źródło ciepła - zespół urządzeń wytwarzających ciepło, SR - stacja rozdzielcza - zespół urządzeń regulacyjnych i stabilizujących oraz rozdzielających ciepło do poszczególnych magistral zdalnego przesyłu



-  źródła ciepła
-  stacje rozdzielcze
-  stacje spinające
-  stacje transmisji
- Sieci:
 -  magistrale zdalnego przesyłu
 -  magistrale jednorodnych rejonów ciepłowniczych
 -  rozdzielcze jednostek regulacyjnych
- Granice:
 -  jednorodnych rejonów ciepłowniczych
 -  jednostek regulacyjnych
- Linie ciśnień w sieciach
mag. zdal. mag. rozd. przesyłu J.R.C. J.R.
 -  dopuszczalnych i zasilania
 -  minimalnych i powrotu
 -  kierunki działań regulacyjnych

Rys. 5. Schemat technologiczny układów hierarchicznych

Celowość tworzenia takich jednostek uzasadnia się:

- 1) ułatwieniem obsługi - przez uporządkowanie systemu sieciowego i stworzenie szeregu równolegle działających systemów elementarnych, które w minimalnym stopniu są wzajemnie zależne,
- 2) uproszczeniem i ułatwieniem wykonywania przedsezonowych regulacji wstępnych (nastawczych), zwłaszcza w początkowych okresach przed wprowadzeniem kompleksowej automatyzacji do ciepłownictwa,
- 3) ukierunkowaniem wprowadzenia kompleksowej automatyzacji, gdzie w pierwszej kolejności przewiduje się automatyzowanie stacji transmisji zasilającej sieci rozdzielcze, a w dalszej kolejności stacji odbiorów ciepła,
- 4) zastosowaniem wstępnej regulacji parametrów nośnika ciepła, znacznym obniżeniem wymagań stawianych regulatorom w odbiorach (możliwość całkowitego wyeliminowania urządzeń regulacyjnych w odcinku sieciowym stacji odbiorów),
- 5) stworzeniem możliwości występowania odbiorców o niższym standardzie, bez automatycznej regulacji dostawy ciepła (np. garaże),
- 6) znacznym ułatwieniem we włączeniu do zdalnych systemów ciepłowniczych istniejących obecnie ogrzewań zasilanych z własnych źródeł ciepła. W wielu przypadkach ogrzewania te mają obniżoną wartość ciśnienia dopuszczalnego, ze względu na grzejniki ($P_{\text{dopm}} = 0,4 \text{ MPa}$).

W skład jednostki regulacyjnej wchodzi:

- odbiorcy ciepła wraz ze swoimi urządzeniami ciepłowniczymi,
- sieci rozdzielcze wraz z przyłączami do odbiorów oraz osprzętem i armaturą,
- stacja transmisji.

Zadania stacji transmisji:

1. Regulacja układu ciśnień i dostosowanie wartości ciśnień na wejściu do sieci rozdzielczej do potrzeb stacji odbiorów.
2. Stabilizacja wartości ciśnienia dyspozycyjnego dla sieci rozdzielczych jednostki regulacyjnej.
3. Zabezpieczenie sieci rozdzielczej przed przekroczeniem ciśnień dopuszczalnych oraz przed spadkiem ciśnień poniżej wartości minimalnych (stabilizacja wartości ciśnienia spoczynku).
4. Napełnienie obiegów sieci rozdzielczej i uzupełnienie nośnika.
5. W pewnych rozwiązaniach - regulacja wartości temperatury nośnika w rurociągu zasilającym sieci rozdzielczej.
6. Przy stosowaniu grupowych stacji produkujących ciepłą wodę użytkową - produkcja tej wody i preperowanie wody pitnej dla potrzeb c.w.u.
7. Ogólna obsługa techniczna systemu.

Podział obszaru uciepłownienia na jednorodne rejony ciepłownicze (JRC) wprowadzono dla uniknięcia układów hydraulicznie połączonych, w których różnice posadowienia elementów grzejnych są większe od wartości ich ciśnień dopuszczalnych oraz stosowania długich stacji transmisji (z przetłaczaniem nośnika ciepła).

Zadaniem stacji spinających jest:

- przystosowanie parametrów ciśnieniowych nośnika do wymagań sieci magistralnych dystrybucyjnych. Nie przewiduje się regulacji temperatur nośnika,
- kontrola ilości nośnika i ciepła pobieranego przez system sieciowy magistrali dystrybucyjnych,
- ogólna obsługa techniczna,
- zabezpieczenie sieci magistralnych dystrybucyjnych przed przeniesieniem ciśnień z sieci magistralnych zdalnego przesyłu.

Sieci magistralne zdalnego przesyłu stanowią podstawowy układ dystrybucji nośnika wewnątrz aglomeracji oraz element umożliwiający wprowadzenie ciągłej współpracy źródeł ciepła. Dla zróżnicowania terenu wymienionych wcześniej aglomeracji ciśnienia dopuszczalne dla wszystkich elementów tych sieci powinny wynosić 2,5 MPa.

W źródłach ciepła - najwyższej stojących elementach w strukturze hierarchicznej systemu dostawy ciepła - proponuje się wydzielić stacje rozdzielcze, w skład których wchodziłyby urządzenia służące do wytwarzania i regulacji parametrów nośnika, jak również jego rozdziału do poszczególnych magistrali.

Rozwiązanie systemu ciepłowniczego w oparciu o układy hierarchiczne umożliwia współpracę źródeł oraz zwiększenie niezawodności dostawy ciepła przez pierścieniowanie sieci.

Z uwagi na nierozpoznanie wielu czynników, których destruktywne działanie mogłoby się pojawić podczas realizacji układów, wskazane jest poprzeczenie wdrożeń ukierunkowanymi pracami naukowo-badawczymi oraz poligonowymi.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОДАЧ ТЕПЛА И ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ГОРОДСКИХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ АГЛОМЕРАЦИЯХ

Р е з ю м е

В статье представлены предложения решения регулирования подач тепла и гидравлических условий в виде иерархических систем для городских и промышленных агломераций, характеризующихся большой дифференциацией по высоте территории и передвижением потребителей тепла.

REGULATION OF HEAT SUPPLY AND HYDRAULIC CONDITIONS IN HEAT SYSTEMS OF
URBAN INDUSTRIAL AGGLOMERATIONS

S u m m a r y

A concept of regulation system of heat supply and hydraulic conditions is proposed in the form of hierarchical systems for urban-industrial agglomerations with great height differences and mixture of heat customers.