

INSTRUKCJE DO ĆWICZEŃ LABORATORYJNYCH Z CIEPŁOWNICTWA

RÓWNOWAŻENIE HYDRAULICZNE CZ. 1 I 2
PROBLEMY RÓWNOWAŻENIA HYDRAULICZNEGO UKŁADÓW
C.O.

Autorzy:

dr inż. Marcin Klimczak
dr inż. Piotr Kowalski
dr inż. Andrzej Grzegorzczak

20 października 2019

Rozdział 1

Wprowadzenie

Pomiary wykonywane są równolegle na 2 stanowiskach. W trakcie zajęć następuje zamiana stanowisk.

Warunkiem zaliczenia laboratorium jest wykonanie pomiarów wskazanych przez prowadzącego, sporządzenie sprawozdania z pomiarów (opis, wyniki, analiza i wnioski).

Sprawozdanie może być wykonane wspólnie (na stronie tytułowej wymienione są nazwiska wszystkich obecnych na laboratorium osób) albo częściowo lub całkowicie indywidualnie (osoba lub grupa osób umieszcza swoje nazwiska na wykonanym sprawozdaniu lub jego elemencie).

Uwaga: wykonuje się **nie wszystkie** z opisanych niżej pomiarów (wg wskazówek prowadzącego).

Do sprawozdania:

Krótki opis (zestawienie) zaworów IMI Hydronic (dawniej Tour & Anderson): STAD (i jego wersje), STAP, BPV (zakres średnic, ciśnień i temperatur roboczych, do czego służą te zawory).

Dane zaworów: "<http://www.imi-hydronic.com/pl/>" lub wg załączonych kart katalogowych

Rozdział 2

Opis stanowiska [IMI + KAN + Grundfos]

Stanowisko składa się z dwóch części (tablic) nazwanych ŹRÓDŁO i ODBIORNIKI.

UWAGA

1. Pompy uruchamiaj przy zamkniętym zaworze na tłoczeniu.
2. W trakcie wykonywania ćwiczenia, przy zmianach nastaw zaworów regulacyjnych, nie dopuść do przekroczenia na rotametrach przepływów maksymalnych (100 na na skali).

2.1 Uwagi podstawowe

Pomiar różnicy ciśnień oraz przepływu

Przyrząd może mierzyć ciśnienie w dowolnym punkcie instalacji. Przepływ można mierzyć tylko dla zaworów wyspecyfikowanych w pamięci przyrządu. Złączki pomiarowe zaworu należy połączyć z końcówkami węży pomiarowych przyrządu, podłączając ciśnienie wyższe do końcówki czerwonej a niższe do niebieskiej. Dla usunięcia wpływu ciśnienia statycznego należy wykonać zerowanie przy zaworze całkowicie otwartym i przy braku przepływu w instalacji. Po uruchomieniu przyrządu wskaże on różnicę ciśnień (spadek ciśnienia) na zworze regulacyjnym. Jeżeli został wybrany konkretny zawór i wpisana jego aktualna nastawa, to przyrząd pokaże przepływ.

Zerowanie przyrządu Jeżeli w czasie użytkowania przyrządu, gdy końcówki pomiarowe nie są podłączone z zaworem, a przyrząd nie wskazuje wartości zero, to wskazane jest jego zerowanie. Do korekty należy użyć przycisku ZERO. Jeżeli ten błąd przekracza kilka kPa, należy wyczyścić filtry na wejściach ciśnienia do przyrządu. W przypadku powtarzania się błędu należy skontaktować się z serwisem. Korekta zera także nie jest zachowywana w konfiguracji przyrządu. Po ponownym włączeniu przyrządu zero nie jest skorygowane.

Rozdział 3

Pomiary cz.1

3.1 Wykonywanie nastaw na zaworach równoważącym i sposoby pomiaru przepływu w instalacji

1. ZADANIE: Wykonanie pomiarów przepływu i spadku ciśnienia (Δp) na zaworze równoważącym STAD za pomocą przyrządu pomiarowego. Przepływ zmierzony rotametrem przyjmujemy jako przepływ dokładny.
 - (a) Uruchom pompy kotłowe (III bieg pompy – stała charakterystyka)
 - (b) Wykonaj nastawy na zaworach równoważących STAD na całkowity przepływ 1400 l/h. Do pomiarów na zaworach równoważących wykorzystaj przyrząd pomiarowy.
 - (c) Porównaj przepływy uzyskane na
 - Rotametrach
 - Zaworach równoważących STAD za pomocą przyrządu pomiarowego
 - Przepływomierzu ultradźwiękowym
 - (d) Odczytane przepływy [l/h] i wpisać do kolumny 2. Wpisać dane do tabeli 3.1, obliczyć błędy pomiaru (kolumny 6 i 7), sprawdzić graniczny błąd pomiaru (kol.8) dla danej nastawy zaworu STAD (wg karty katalogowe STAD) i porównać wartości z kolumn 7 i 8. Skomentować różnice.
 - (e) Ciekawostka! Zobacz co się stanie jak wyłączysz jedną pompę kotłową! Czy pompa faktycznie jest wyłączona? Jak zmienił się przepływ przy pracującej jednej pompie?
2. ZADANIE: Sprawdź czy punkt pracy pompy obiegowej uzyskany z pomiarów zgadza się z teoretyczną charakterystyką
 - (a) Zmieniając nastawy na zaworze równoważącym, wykonaj pomiar różnicy ciśnień przy wykorzystaniu przyrządu pomiarowego.
 - (b) Za każdym razem porównaj uzyskane przepływy z rotametrem lub przepływomierzem ultradźwiękowym.
 - (c) Narysuj charakterystykę pracy pompy w oparciu o uzyskane wyniki pomiarów. Porównaj charakterystykę producenta z uzyskaną charakterystyką. Skomentuj wyniki

porównania.

3. ZADANIE: Sprawdź jak pracuje sprzęgło hydrauliczne.
 - (a) Przy pracujących obu pompach kotłowych zamknij przepływ, jednym z dostępnych zaworów odcinających, po stronie instalacyjnej. Czy zmienił się przepływ po stronie kotłowej?
 - (b) Włącz pompę instalacyjną. Sprawdź, czy zmienił się przepływ po stronie kotłowej?
 - (c) Wyłącz jedną pompę kotłową. Sprawdź, czy zmienił się przepływ po stronie instalacyjnej?
4. ZADANIE: Zobacz różnicę pracy instalacji w konfiguracji bez i ze sprzęgłem hydraulicznym.
 - (a) Ustaw konfigurację instalacji z wykorzystaniem sprzęgła hydraulicznego.
 - (b) Włącz jedną pompę kotłową i pompę instalacyjną
 - (c) Jednocześnie zamykaj przepływ po stronie instalacyjnej i obserwuj przepływ po stronie kotłowej. Sprawdź, czy zmienił się przepływ po stronie kotłowej?
 - (d) Zmień układ hydrauliczny tak, aby woda płynęła z pominięciem sprzęgła hydraulicznego.
 - (e) Jednocześnie zamykaj przepływ po stronie instalacyjnej i obserwuj przepływ po stronie kotłowej. Sprawdź, czy zmienił się przepływ po stronie kotłowej?
 - (f) Skomentuj uzyskane wyniki obserwacji

3.2 Porównanie pracy naczynia zbiorczego przy montażu po stronie ssawnej i tłocznej pompy

1. ZADANIE: Wykonaj porównania pracy naczynia zbiorczego przy jego montażu przed i za pompą obiegową.
 - (a) Włącz wszystkie pompy obiegowe.
 - (b) Sprawdź ciśnienie w instalacji.
 - (c) Ustaw ciśnienia wstępne w naczyniach zbiorczych równe ciśnieniu w instalacji.
 - (d) Uruchom pompę obiegową, nastaw najwyższą możliwą wysokość podnoszenia pompy.
 - (e) Przy pracującej pompie zamknij na zaworach obsługowych oba naczynia zbiorcze.
 - (f) Zrzuć wodę z naczyń zbiorczych, porównaj uzyskane objętości wody z każdego naczynia. Skomentuj wyniki.
 - (g) Oblicz jak należy nastawić ciśnienie wstępne w naczyniu zbiorczym za pompą przy maksymalnej uzyskanej wysokości podnoszenia pompy zgodnie z [2].
 - (h) Oblicz jak zmieni się pojemność całkowita naczynia zbiorczego przy montażu przed i za pompą zgodnie z [2]. przy uzyskanym poprzednio ciśnieniu wstępnym.

Tab. 3.1. Tabela do zadania 3.2

rotametr		zawór STAD+przeład			bład pomiaru		
odczyt	przepływ	nastawa na zaworze	przepływ	Δp	(2) - (4)	$\frac{ (2)-(4) }{(2)} \cdot 100\%$	bład wg rys.8 zaworu STAD
-	l/h	-	l/h	kPa	l/h	%	%

Rozdział 4

Metody równoważenia hydraulicznego

Na stronie IMI-International Polska (<http://www.imi-hydronic.com/pl/Wsparcie-techniczne/artykuly-i-poradniki-techniczne/ksiki-poradniki-techniczne/>) dostępny jest „Zeszyt nr 2 - Równoważenie przepływów w układach rozdzielczych.pdf” [3].

Z problemami równoważenia hydraulicznego można zapoznać się między innymi w [1,3–11]

Rozdział 5

Pomiary cz.2

5.1 Wstępne nastawy zaworów

Wykonać dobór nastaw zaworów balansowych dla trzech pionów przy następujących założeniach: parametry obliczeniowe instalacji $\Delta t = 20K$, moce poszczególnych pionów zawarto w tab. 5.1

Tab. 5.1. Dane do zadania 5.1

	pion 1	pion 2	pion 3
projektowe obciążenie cieplne pionu, kW	3.49	5.82	4.65
strumień objętościowy pionu, l/h			
straty na zaworach na pionie, kPa	10.0	10.0	10.0
Δp straty liniowe + miejscowe od zaworów do zaworu podpionowego, kPa	3.00	2.00	3.00
minimalne ciśnienie na zaworach balansowych, kPa			
minimalne ciśnienie dyspozycyjne na zaworze podpionowym, kPa			
wymagane ciśnienie na zaworach balansowych, kPa			
nastawa na zaworach balansowych, kPa			

5.2 Regulacja metodą proporcjonalną

Wykonać regulację proporcjonalną dla trzech pionów przy założeniach przepływów obliczeniowych z zadania 5.1:

Tab. 5.2. Tabela do zadania 5.2

Etap I					
$V, m^3/h$					
$V_N, m^3/h$					
$V/V_N, m^3/h$					
Etap II					
$V, m^3/h$					
$V/V_N, m^3/h$					
Etap III					
$V, m^3/h$					
$V/V_N, m^3/h$					
Etap IV					
$V, m^3/h$					
$V/V_N, m^3/h$					

5.3 Regulacja metodą kompensacyjną

Wykonać regulację kompensacyjną dla trzech pionów przy założeniach przepływów obliczeniowych z zadania 5.1:

Rozdział 6

Sprawozdanie

6.1 Sprawozdanie – ćwiczenie 3.2

W sprawozdaniu umieścić wymagane w instrukcji Pomiary cz.1 tabele, charakterystyki i komentarze do każdego z punktów niniejszej instrukcji

6.2 Sprawozdanie – metody równoważenia hydraulicznego

Opisać krótko (2-3 strony) 3 podstawowe metody równoważenia hydraulicznego (proporcjonalna, kompensacyjna, „komputerowa” np. „TA Balancing”). Można też korzystać z innych źródeł. (Viktor Pyrkov, Regulacja hydrauliczna systemów ogrzewania i chłodzenia. Teoria i praktyka. wyd. Danfoss oraz Systherm . Wyd. SYSTHERM D. Gazińska s.j. Poznań 2007) [10]

6.3 Sprawozdanie – ćwiczenie 5.1

Przedstawić wyniki obliczeń nastaw dla ćwiczenia, skomentować wyniki.

6.4 Sprawozdanie – ćwiczenie 5.2

Przedstawić wyniki obliczeń regulacji metodą proporcjonalną, opisać poszczególne etapy regulacji.

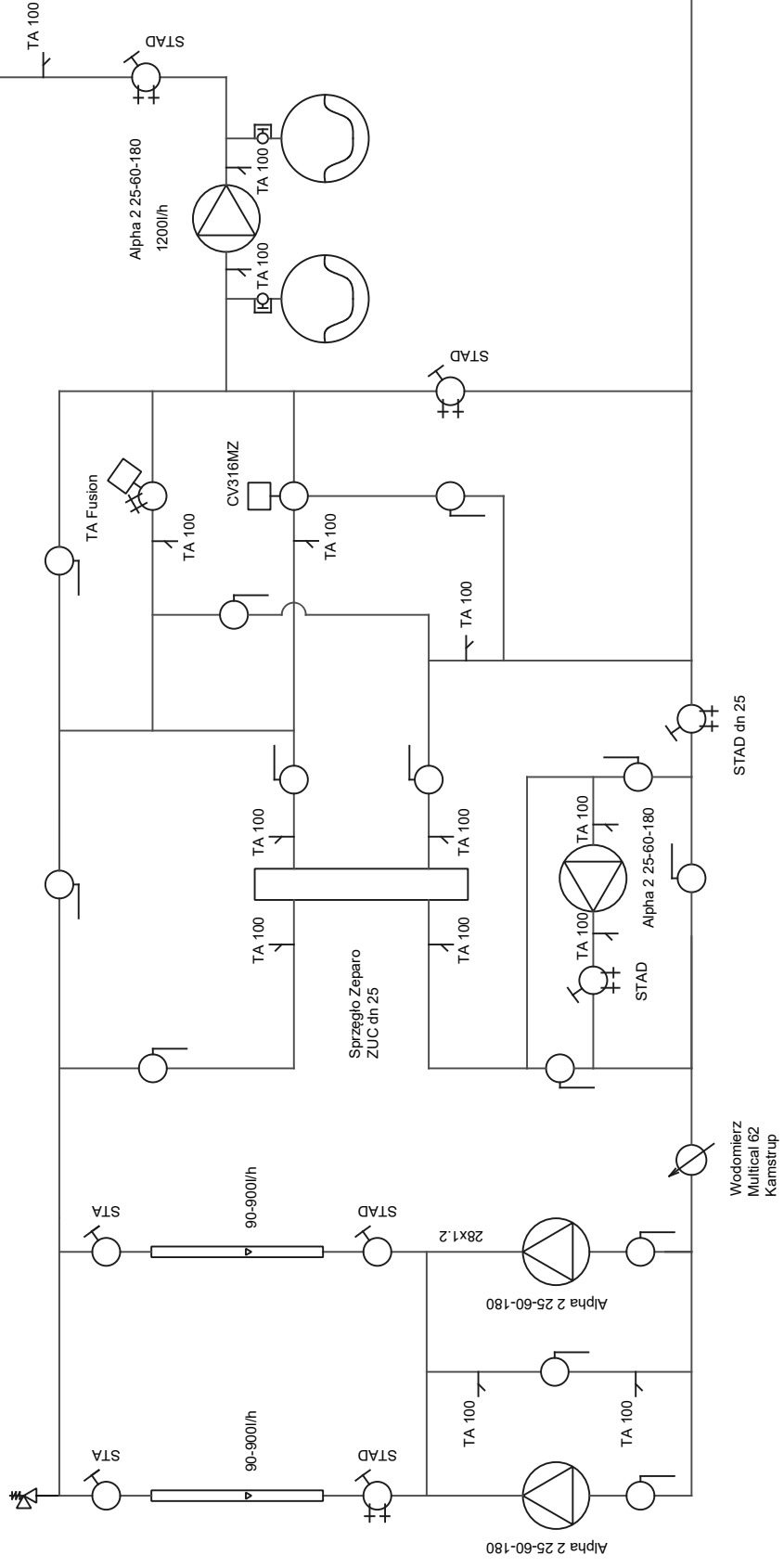
6.5 Sprawozdanie – ćwiczenie 5.3

Przedstawić wyniki obliczeń regulacji metodą kompensacyjną, opisać poszczególne etapy regulacji.

Bibliografia

- [1] Danfoss, hydronic balancing, e-lessons.
- [2] Pn-b-02414 1999 zabezpieczenie instalacji ogrzewań wodnych systemu zamkniętego z naczyniami wzbiorczymi przeponowymi. wymagania.
- [3] *Zeszyt nr 2 - Równoważenie przepływów w układach rozdzielczych.*
- [4] Balancing and control valve sizing for direct-return, variable-flow hydronic systems, 2006.
- [5] Calefii, hydronic balancing, 2011.
- [6] Poradnik techniczny herz, 2016.
- [7] J. C. Carette. Total hydronic balancing (mini seminar experience), 2008.
- [8] H. J. Koch. Hydronic balance.
- [9] R. Petitjean. *Total Hydronic Balancing.* 1994.
- [10] V. Pyrkov. *Regulacja hydrauliczna systemów ogrzewania i chłodzenia. Teoria i praktyka.* SYSTHERM D. Gazińska s.j., 2007.
- [11] C. Wolak. Hydronic balancing.

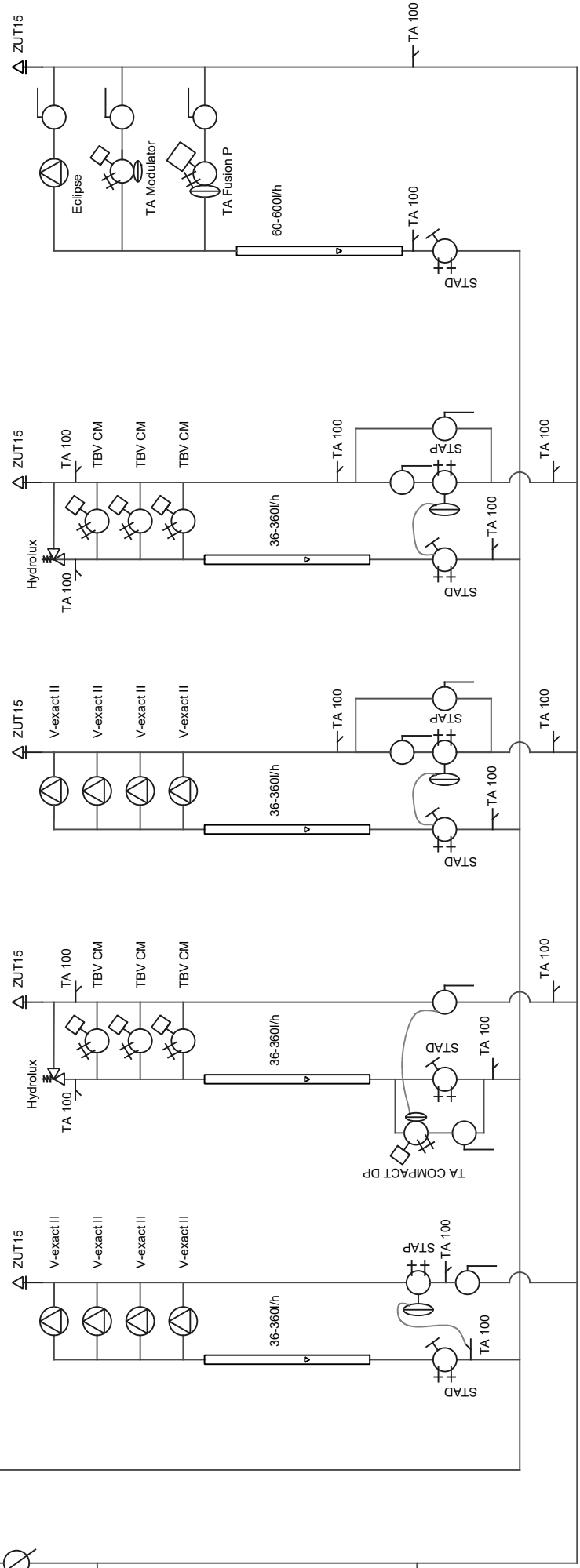
Stanowisko w sali 331, ŹRÓDŁO



Stanowisko w sali 331, ODBIORNIKI

ZUV25

Wodomierz
Multical 62
Kamstrup



10. HYDRAULICZNE RÓWNOWAŻENIE SYSTEMÓW

10.1. DANE OGÓLNE

Podstawowym zadaniem podczas projektowania systemów zapewnienia mikroklimatu jest osiągnięcie komfortu cieplnego przy minimalnym zużyciu energii. Z teoretycznego punktu widzenia jest to zadanie wykonalne. W praktyce podejmuje się obecnie wszystkie możliwe kroki w celu realizacji tego zadania. Charakterystyki nowoczesnych urządzeń i elementów są bliskie ideału, co pozwala uzyskiwać bardzo dobre wyniki. Niemniej, w warunkach rzeczywistych, nawet najbardziej zaawansowane systemy nie są w stanie w pełni sprostać wysokim wymaganiom komfortu cieplnego. Ocenia się, że w 80% systemów powodem ich niedoskonałego działania jest nieodpowiedni podział strumienia wody [42].

Przyczyny nieodpowiedniego podziału strumienia wody są wielorakie, począwszy od uproszczeń przyjmowanych w obliczeniach, przez błędy popełniane podczas montażu systemów, skończywszy na niedotrzymywaniu warunków eksploatacyjnych. W efekcie rozdział strumienia wody odbywa się zgodnie z rzeczywistymi oporami hydraulicznymi obiegów hydraulicznych. Prowadzi to do braku komfortu cieplnego w tych pomieszczeniach, do których doprowadzany jest zbyt mały strumień wody i do przegrzewania w pomieszczeniach, do których doprowadzany strumień wody jest zbyt duży. Ponadto występuje niebezpieczeństwo głośnej pracy systemu oraz nadmierne zużycie energii. Z powyższych względów przed oddaniem systemu do eksploatacji konieczne jest jego hydrauliczne zrównoważenie za pomocą zaworów równoważących.

Jedno z założeń przyjmowanych podczas obliczeń hydraulicznych polega na traktowaniu systemów, w których występują zmienne przepływy wody, jako systemów o stałym przepływie. Opory hydrauliczne elementów tworzących system przyjmuje się jako stałe, podczas gdy w rzeczywistości zmieniają się one w szerokich granicach. W systemach o zmiennym przepływie dodatkowym wymaganiem, jakie powinno być uwzględnione na etapie projektowania, jest stworzenie warunków do efektywnego działania wszystkim elementom systemu. Dla zaworów – podział strumieni, dla systemu zapewnienia mikroklimatu – liniowość regulacji strumienia cieplnego odbiorników końcowych.

Zrównoważenie hydrauliczne systemu wymaga przeprowadzenia czynności przygotowawczych, które obejmują zapoznanie się z dokumentacją techniczną systemu i instrukcjami obsługi zaworów oraz innych elementów tworzących system. Następnie sprawdza się stan techniczny, poprawność działania i montażu poszczególnych elementów systemu. Po tych czynnościach system jest równoważony.

Znacznie trudniej wykonuje się czynności przygotowawcze w systemach zmodernizowanych. W takim przypadku straty ciepła dla poszczególnych pomieszczeń z reguły obliczane są na nowo i są podstawą do obliczeń hydraulicznych systemu. Wysoka dokładność takich obliczeń w znacznym stopniu ułatwia późniejsze równoważenie systemu.

Przed równoważeniem sprawdzana jest szczelność systemu, system jest płukany i odpowietrzany, oczyszcza się filtry. Wszystkie zawory regulacyjne nastawia się na pozycje pełnego otwarcia (jedyne sposoby wykrycia pomieszczeń przegrzanych i niedo-

grzanych). W przypadku zaworów termostatycznych pokrywa (kapturek, głowica termostatyczna) nie może naciskać jego trzpienia.

Przed przystąpieniem do równoważenia systemu należy przeanalizować jego działanie zwracając uwagę na pojedyncze przypadki i generalne odstępstwa rzeczywistych temperatur w pomieszczeniach od wartości wymaganych. Pojedyncze przypadki obejmują niedogrzanie lub przegrzanie określonych pomieszczeń. Generalne odstępstwa oznaczają niedogrzanie lub przegrzanie całych pięter, pomieszczeń znajdujących się po różnych stronach budynku, pionów, itp.

Jeżeli podczas sprawdzania systemu określone pomieszczenie jest niedogrzone, w pierwszej kolejności należy upewnić się, czy powodem takiego stanu rzeczy nie jest dławienie przepływu wynikające np. z błędów montażowych. Z reguły blokada przepływu pojawia się w miejscach występowania lokalnych strat ciśnienia, a więc przy zaworach, filtrach, itp. Wykrycie miejsca lokalizacji blokady polega na stwierdzeniu występowania uskoku temperatury na powierzchni rury i odbywa się ręcznie lub za pomocą termometru, wchodzącego w skład przyrządu PFM 3000. Jeżeli temperatura nie ulega zmianie, to hydrauliczne równoważenie systemu jest konieczne.

Ogólnie przyczyny występowania niekorzystnych warunków temperaturowych w pomieszczeniach można podzielić na eksploatacyjne i przedeksploatacyjne.

W systemach jednorurowych brak zrównoważenia hydraulicznego podczas eksploatacji powstaje na skutek regulacji systemu ogrzewania podczas sezonu grzewczego (otwieranie i zamykanie zaworów regulacyjnych). Zjawisku eksploatacyjnego nierównoważenia hydraulicznego systemu należy zapobiegać na etapie jego projektowania.

Po usunięciu generalnych nieprawidłowości można przystąpić do równoważenia systemu. Istnieją następujące metody hydraulicznego równoważenia systemu:

- spadku temperatury;
- wstępnej nastawy zaworów;
- proporcjonalna;
- kompensacyjna;
- komputerowa.

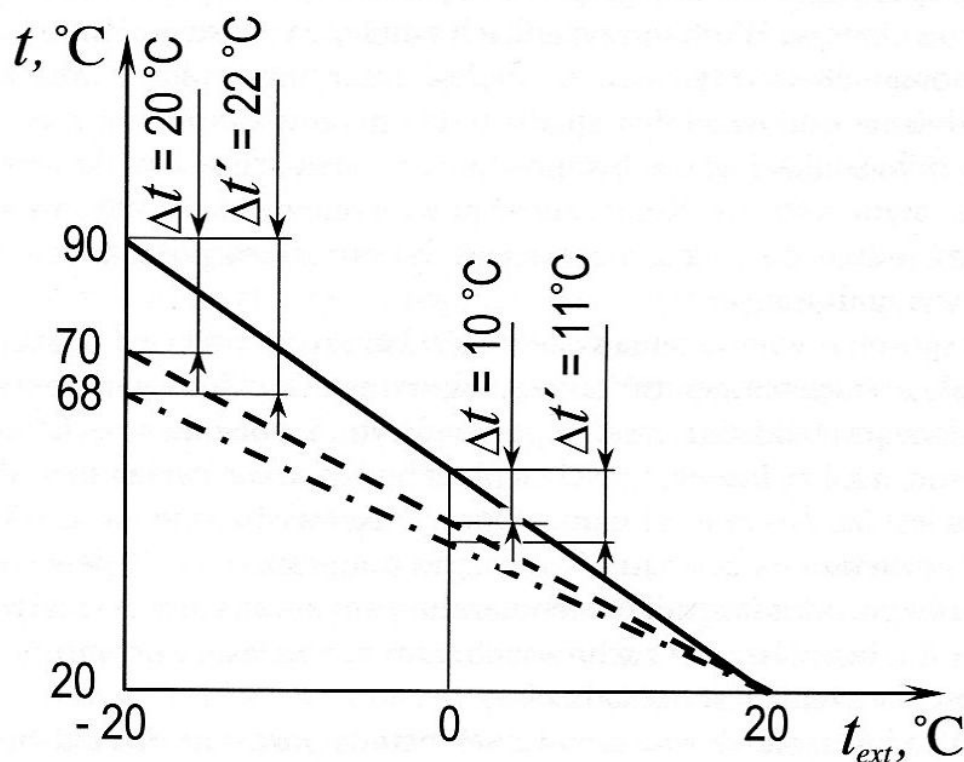
Powyższe sposoby i metody są szczegółowo opisane w literaturze [20; 44; 45]. W dalszej części uwaga skupiona będzie jedynie na tych cechach i możliwościach, które pojawiły się ostatnio w związku ze stosowaniem nowoczesnych urządzeń oraz nowym podejściem do wyboru zaworów i odbiorników końcowych.

Równoważenie systemu zapewnienia mikroklimatu przez zastosowanie ręcznych zaworów równoważących jest procedurą czasochłonną i kosztowną. Proces ten staje się znacznie prostszym i tańszym przez zastosowanie w systemie automatycznych zaworów równoważących, automatycznych ograniczników przepływu, automatycznych stabilizatorów przepływu itp., zamiast ręcznych zaworów równoważących.

10.2. METODA SPADKU TEMPERATURY

Podstawą metody jest równanie (2.2), z którego wynika, że w zrównoważonym systemie różnica temperatur czynnika grzewczego Δt na wlocie i wylocie wszystkich odbiorników końcowych powinna być taka sama. Jeżeli strumienie czynnika grzewczego są nieodpowiednie, to warunek ten nie jest spełniony. Przyjęto, że odbiorniki osiągają projektowe wydajności jedynie dla nominalnych strumieni czynnika grzewczego. Zbyt mały strumień czynnika grzewczego obniża moc cieplną odbiornika, natomiast zbyt duży nie powoduje znaczącego jej wzrostu (patrz rys. 6.7). W tym przypadku różnica temperatur czynnika grzewczego jest określana dla warunków nominalnych (obliczeniowych) – równanie (2.2). Równocześnie nie uwzględnia się, że odbiornik dobrano dla 1,15 razy powiększonych strat ciepła z pomieszczenia (patrz pkt. 6.3). W efekcie różnica temperatur czynnika grzewczego $\Delta t'$ będzie wyższa od wartości Δt ponieważ strumień czynnika grzewczego będzie niższy. Zatem omawiana różnica temperatur powinna być określana z uwzględnieniem przewymiarowania odbiorników (z reguły o jedną pozycję wyżej w typoszeregu).

Na rys. 10.1 przedstawiono sposób określania powyższej różnicy temperatur. Linia ciągła opisuje zmiany temperatury czynnika grzewczego zasilającego odbiornik. Linia przerywana pokazuje temperaturę czynnika grzewczego na wylocie z odbiornika. Linia kreskowo-kropkowa oznacza temperaturę czynnika grzewczego opuszczającego przewymiarowany odbiornik. Na osi odciętych naniesiono temperaturę powietrza zewnętrznego t_{ext} . Jako początek osi odciętych przyjęto obliczeniową temperaturę zewnętrzną



Rys. 10.1. Określenie wymaganego spadku temperatur.

dla systemu ogrzewania (np. -20°C). Koniec osi odciętych odpowiada obliczeniowej temperaturze wewnętrznej (np. 20°C). Na osi rzędnych naniesiono temperaturę czynnika grzewczego zasilającego i opuszczającego odbiornik. Temperatura czynnika grzewczego na wlocie do odbiornika jest z reguły przyjmowana jako równa temperaturze czynnika grzewczego na wylocie ze źródła ciepła (kotła), np. 90°C . W dokładniejszych obliczeniach należałoby uwzględnić schłodzenie czynnika grzewczego w rurach zasilających. Temperatura czynnika grzewczego w rurach powrotnych, np. 68°C , zależy od różnicy średniej temperatury czynnika grzewczego w odbiorniku (z uwzględnieniem jego przewymiarowania) i temperatury powietrza w równaniu (6.1).

Dla obliczeniowej zewnętrznej temperatury powietrza różnica temperatur czynnika grzewczego na wlocie i wylocie z odbiornika jest w przybliżeniu równa $\Delta t' = 22^{\circ}\text{C}$. Gdy temperatura powietrza na zewnątrz i wewnątrz pomieszczenia są sobie równe i wynoszą np. 20°C omawiana różnica temperatur ma wartość $\Delta t' = 0$. Pośrednie wartości $\Delta t'$ wyznacza się metodą interpolacji liniowej. Przykładowo, dla temperatury $t_{ext} = 0^{\circ}\text{C}$ odpowiadającej 50% przedziału zmienności temperatury zewnętrznej, różnica temperatur czynnika grzewczego stanowi 50% maksymalnej wartości tej różnicy, czyli $\Delta t' = 11^{\circ}\text{C}$.

Równoważenie systemu przeprowadza się za pomocą nastaw przesłony nastawy wstępnej termoregulatora lub zaworu równoważącego, zamontowanego na orurowaniu odbiornika aż do uzyskania odpowiedniej różnicy temperatur czynnika grzewczego. W tym czasie termoregulator powinien być maksymalnie otwarty (tzn. pokrywa ochronna zaworu powinna być luźno nasunięta). W ten sposób wpływ przewymiarowania odbiornika jest eliminowany przez zmniejszenie strumienia czynnika grzewczego wywołane wzrostem oporu hydraulicznego przesłony nastawy wstępnej termoregulatora lub zaworu równoważącego. W obu przypadkach zmniejsza się strumień czynnika grzewczego w termoregulatorze i tym samym maleje autorytet cieplny pomieszczenia. Procedura uzyskiwania odpowiednich spadków temperatur czynnika grzewczego w poszczególnych odbiornikach może być powtarzana wielokrotnie aż do uzyskania stanu równowagi w całym systemie. Konieczność powtórzeń wynika z oddziaływania nastaw poszczególnych odbiorników na charakterystyki wszystkich pozostałych odbiorników (również już wyregulowanych).

Powyższy sposób równoważenia systemu jest bardzo nieprecyzyjny, szczególnie, gdy występują małe różnice temperatur takie jak w systemach chłodzenia wentylatorowego, w sufitach chłodzących lub ogrzewaniu podłogowym. Z powodu bezwładności cieplnej samego systemu, a także bezwładności cieplnej budynku omawiana metoda równoważenia systemu jest bardzo czasochłonna. Oprócz tego wymagane jest utrzymanie stałej temperatury powietrza na zewnątrz i wewnątrz pomieszczenia. Z powyższych względów metoda równoważenia spadków temperatury stosowana jest dla małych systemów ogrzewania w dni bezwietrzne i zachmurzone. Im niższa jest temperatura zewnętrzna, tym wynik równoważenia jest dokładniejszy.

Niezależnie od wszystkich wad omawianej metody pozostaje ona jedyną możliwą do zastosowania przy równoważeniu odbiorników w obrębie danego pionu lub gałęzi, jeżeli orurowanie tych odbiorników nie jest wyposażone w zawory równoważące z króćca-

mi pomiarowymi. Jeżeli takie zawory istnieją, to problem staje się znacznie prostszy. Stosuje się wówczas metodę proporcjonalną lub kompensacyjną. Jeżeli w pionie lub gałęzi zastosowano automatyczny zawór równoważący, to odbiorniki równoważone są również uproszczoną metodą wstępnej nastawy zaworów. Zakłada się przy tym, że automatycznie utrzymywana różnica ciśnień w całości przypada na spadek ciśnienia w termoregulatorze, tzn. pomija się spadki ciśnienia w rurach i odbiorniku. Nastawa przesłony nastawy wstępnej termoregulatora dobierana jest stosownie do wartości współczynnika przepływu (przepustowości) termoregulatora, określonego z równania podanego w tabeli 3.1, w którym spadek ciśnienia jest równy różnicy ciśnień automatycznie utrzymywanej przez zawór równoważący.

Stosując metodę równoważenia spadku temperatury należy uwzględnić wpływ przewymiarowania odbiornika na zmianę temperatury opuszczającego go czynnika grzewczego.

10.3. METODA WSTĘPNEJ NASTAWY ZAWORÓW

Podstawą metody są obliczenia hydrauliczne przeprowadzane podczas projektowania systemu. Metoda stosowana jest przed zainstalowaniem systemu. Obiegi hydrauliczne są równoważone za pomocą nastaw każdego zaworu równoważącego i termoregulatora. Nastawy określane są dla współczynnika przepływu k_v . W praktyce omawiana metoda pomija wpływ zmian roboczych charakterystyk przepływowych zaworów spowodowanych działaniem autorytetu zewnętrznego, co nie w pełni odpowiada rzeczywistym charakterystykom systemu.

W niniejszej książce wpływ autorytetu zewnętrznego na charakterystyki przepływowe zaworów równoważących i termoregulatorów został rozpatrzony, a wyniki przedstawiono w przykładach 3; 6; 9; 13; 14 i 15.

Wadą omawianej metody jest nieuwzględnianie różnic powstających na etapie instalowania systemu zapewnienia mikroklimatu. Ponadto, określanie strat ciśnienia we wszystkich elementach systemu jest zadaniem bardzo skomplikowanym, a wyniki obliczeń nie zawsze wystarczająco dokładnie odpowiadają rzeczywistości. Jedną z przyczyn jest założenie stałości współczynników lokalnych strat ciśnienia w całym zakresie zmienności strumienia czynnika grzewczego i nie uwzględnianie ich wzajemnego oddziaływania. Z powyższego względu metoda powyższa nie wyklucza konieczności skorygowania nastaw zaworów po zainstalowaniu systemu. Nastawa zaworu równoważającego podczas równoważenia systemu określana jest w sposób przedstawiony w przykładzie 4 z wykorzystaniem równań (3.25; 3.31; 3.36; 3.37) zależnie od typu roboczej charakterystyki przepływowej.

Podczas korygowania nastaw zaworów równoważących uściślana jest wartość ciśnienia dyspozycyjnego obwodu regulowanego. W tym celu mierzone są straty ciśnienia na zamkniętych zaworach równoważących.

Stosując metodę wstępnej nastawy zaworów powinno się uwzględniać wpływ zewnętrznego autorytetu (przy $a < 0,5$) na charakterystykę przepływową zaworów oraz możliwość realizacji regulacji przez te zawory.

10.4. METODA PROPORCJONALNA

Podstawą metody jest znajomość prawidłowości w zmianach strumienia czynnika grzewczego w równolegle połączonych częściach systemu podczas regulowania jednej z nich. Zakłada się, że w rozbudowanych systemach regulowanie jednego z zaworów, wchodzącego w skład danego modułu, nie wpływa proporcjonalnie na parametry pozostałych zaworów w tym module. Równocześnie proporcjonalna zależność pomiędzy zaworami zachodzi w przypadku oddziaływania, spowodowanego działaniem głównego zaworu równoważącego danego modułu. Moduł jest częścią systemu, składającą się ze zbioru pionów i gałęzi, regulowanych za pomocą głównego zaworu. W omawianym przypadku każdy pion lub gałąź powinny mieć również swoje zawory równoważące. Wówczas, stosując omawianą metodę, można na wstępie uzyskać ten sam stopień nierównoważenia, tzn. takie same stosunki rzeczywistego V i nominalnego V_N strumienia czynnika grzewczego w pionach i gałęziach, tworzących dany moduł. Następnie, za pomocą głównego zaworu równoważącego należy nastawić nominalny strumień czynnika grzewczego we wszystkich pionach i gałęziach jednocześnie.

Zastosowanie omawianej metody wymaga podziału systemu na hierarchiczne moduły zawierające główne zawory równoważące. Zbiór modułów niższego rzędu składa się na moduł wyższego rzędu. Równoważenie rozpoczyna się od modułów niższego rzędu. Następnie, moduły równoważy się między sobą, przechodzi do modułów wyższych rzędów i dochodzi do głównego zaworu równoważącego całego systemu.

Omawiana metoda może mieć wiele kombinacji. Stosować należy metodę najbardziej oszczędną. Wybór powinien brać pod uwagę następujące kryteria:

- uzyskanie możliwie niskiego ciśnienia dyspozycyjnego w systemie;
- uzyskanie możliwie wysokich zewnętrznych autorytetów zaworów.

Oba kryteria wskazują, że najlepszym rozwiązaniem jest uzyskanie minimalnych oporów przepływu w głównym obiegu cyrkulacyjnym systemu. Aby to osiągnąć, spadek ciśnienia w zaworze równoważącym również powinien być minimalny. Wartość tego spadku określa się biorąc pod uwagę dokładność urządzeń do pomiaru różnic ciśnień, która z reguły nie jest mniejsza niż 3 kPa. W zaworach równoważących z kryzą pomiarową (MSV-C) dokładność ta nie jest niższa niż 1 kPa [38].

Tabela 10.2. Proporcjonalne równoważenie modułu systemu.

		Zawory równoważące			
		Główny	1	2	3
Działanie					
Etap I					
Regulacja		–	max ↻	max ↻	max ↻
Wyznaczenie	$V, \text{m}^3/\text{h}$	650	200	350	100
	$V_N, \text{m}^3/\text{h}$	400	120	200	80
	V/V_N	–	1,7	1,8	1,3
Etap II					
Regulacja		–	↻	↻	–
Wyznaczenie	$V, \text{m}^3/\text{h}$	560	170	280	110
	V/V_N	–	1,4	1,4	1,4
Etap III					
Regulacja		↻	–	–	–
Wyznaczenie	$V, \text{m}^3/\text{h}$	400	120	200	80
	V/V_N	1,0	1,0	1,0	1,0

W tabeli 10.2 zestawiono główne etapy omawianej metody zastosowanej do równoważenia modułu składającego się z trzech pionów z zaworami równoważącymi typu MSV-C. Głównym zaworem równoważącym modułu jest MSV-C, względnie MSV-F2. Strzałki pokazują czynności, jakie należy wykonać z zaworami. Częściowe otwarcie zaworu oznaczono strzałką skierowaną przeciwnie do ruchu wskazówek zegara. Częściowe zamknięcie zaworu oznaczono strzałką skierowaną zgodnie z ruchem wskazówek zegara. Strzałka z dopiskiem „max” oznacza pełne otwarcie zaworu.

W czasie pierwszego etapu równoważenia systemu, w celu zmniejszenia straty ciśnienia przy przetłaczaniu czynnika grzewczego, zawór równoważący głównego obiegu cyrkulacyjnego danego modułu jest w pełni otwarty. Najczęściej jest to zawór najbar-

dziej oddalony. Dopuszczalne jest przy tym nieznaczne przymknięcie pozostałych zaworów modułu. Jeżeli nie zidentyfikowano w sposób jednoznaczny głównego obiegu cyrkulacyjnego, wówczas wszystkie zawory w danym module powinny być maksymalnie otwarte. Następnie, w każdym zaworze za pomocą przyrządu pomiarowego typu PFM 3000, określa się strumień czynnika grzewczego V przepływającego przez ten zawór. Otrzymane wyniki są porównywane z wartościami nominalnymi V_N : V/V_N . Wartość tego stosunku będzie najmniejsza dla zaworu 3 głównego obiegu cyrkulacyjnego modułu.

Celem drugiego etapu jest uzyskanie w zaworach 2 i 1 w przybliżeniu takich samych wartości stosunku V/V_N , jaki występuje w zaworze 3. Osiąga się to przez częściowe przymknięcie wymienionych zaworów. Działania prowadzone są metodą kolejnych przybliżeń. Należy przy tym pamiętać, że zmianie spadku ciśnienia rzędu 10...15% odpowiada zmiana strumienia czynnika grzewczego wynosząca 3...4%.

Etap trzeci kończy procedurę równoważenia modułu. Za pomocą głównego zaworu równoważającego na podstawie wskazań przyrządu PFM 3000 nastawia się projektową (nominalną) wartość strumienia czynnika grzewczego, tzn., $V/V_N = 1$. Zgodnie z zasadą proporcjonalności na wszystkich zaworach danego modułu wystąpi $V/V_N = 1$, co kończy równoważenie danego modułu.

Podobne procedury stosuje się do pozostałych modułów systemu. Następnie moduły są grupowane w moduł wyższego rzędu i równoważone ze sobą. Grupując i równoważąc (regulując) moduły dochodzi się ostatecznie do głównego zaworu równoważającego całego systemu, który z reguły zamontowany jest blisko pompy na rurze powrotnej pionu. Konieczny stopień zamknięcia tego zaworu służy do oceny celowości jego zamiany lub zamiany pompy na inną z danego typoszeregu.

Omawiana metoda równoważenia systemu definitywnie eliminuje rozbieżności pomiędzy rzeczywistymi i nominalnymi strumieniami czynnika grzewczego w obiegach hydraulicznych systemu. Należy zauważyć, że w zaworach z wbudowaną kryzą pomiarową, mianowicie w zaworach typu MSV-C, omawiane rozbieżności nie występują. Wynika to z faktu, że pomiar strumienia płynu dokonywany jest za pomocą wbudowanej kryzy pomiarowej, a nie na podstawie spadku ciśnienia w otworze regulacyjnym, mającym różny współczynnik przepływu przy każdej nastawie (patrz przykład 7). Dla zaworu bez kryzy pomiarowej każdą zmianę jego nastawy powinno się wskazywać na przyrządzie PFM 3000. Dla zaworu MSV-C z kryzą pomiarową – należy wskazać współczynnik przepływu tylko raz dla wszystkich pomiarów.

Zawory typu MSV-C i MSV-F2 w stanie maksymalnego otwarcia powodują nieznaczne straty ciśnienia. Zawory te mają odpowiednio wykładniczą i liniowo-wykładniczą charakterystykę przepływową, co jest bardzo korzystne dla działania systemu. Równocześnie konieczność stosowania dużej liczby zaworów równoważających (na każdym hierarchicznym poziomie) powoduje zmniejszenie zewnętrznych autorytetów termoregulatorów i tym samym oddala projektanta od stworzenia systemu o idealnych właściwościach regulacyjnych (patrz rys. 6.5). Ponadto, duża liczba zaworów wymaga zasto-

sowania pompy o większej wysokości podnoszenia, co podnosi koszty przetłaczania czynnika grzewczego w systemie. Wszystkie powyższe niedogodności można usunąć zastępując zawory 1, 2 i 3 automatycznymi zaworami równoważącymi. Wówczas nie ma potrzeby stosowania głównych zaworów oraz równoważenia obiegów hydraulicznych. Równoważenie systemu odbywa się automatycznie.

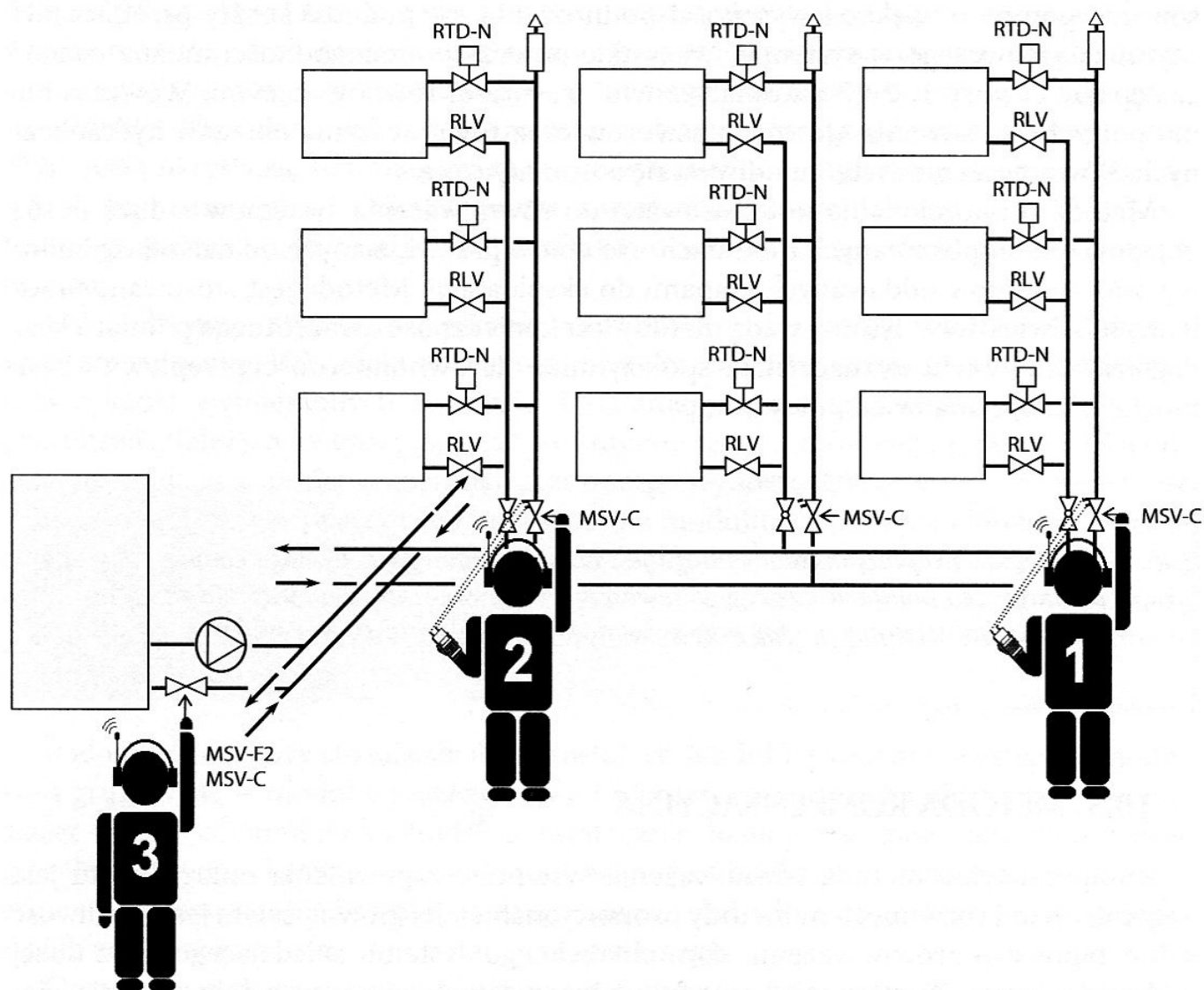
Metoda proporcjonalna jest stosowana do równoważenia systemów z dużą liczbą obiegów o skomplikowanych modułach, systemów przewidzianych do dalszej rozbudowy oraz systemów oddawanych etapami do eksploatacji. Metoda jest stosowana przez jedną lub dwie osoby. Istotną wadą metody jest konieczność dwukrotnego pomiaru każdego zaworu (w celu wyznaczenia współczynnika nierównomierności przepływu) i brak możliwości optymalizacji pracy pompy.

Metoda proporcjonalna wymaga jest czasochłonna, gdyż wymaga co najmniej dwukrotnego pomiaru każdego z zaworów równoważących. Ponadto nie zapewnia optymalnej pracy pompy przy zrównoważeniu hydraulicznym systemu.

10.5. METODA KOMPENSACYJNA

Kompensacyjna metoda równoważenia systemów zapewnienia mikroklimatu jest uogólnieniem i rozwinięciem metody proporcjonalnej. Jej główną zaletą jest możliwość jednoetapowego zrównoważenia skomplikowanego systemu składającego się z dużej liczby odgałęzień. W metodzie kompensacyjnej nie ma konieczności dokonywania wielu pomiarów, co w zasadniczy sposób skraca czas jej stosowania. Oszczędności czasu występują również dzięki możliwości równoważenia wydzielonych fragmentów systemu, podczas gdy pozostałe fragmenty są dopiero instalowane. Warunkiem jest działanie obwodu obejmującego pompę. Wadą metody jest konieczność zatrudnienia trzech osób z radiotelefonami i użycia dwóch przyrządów pomiarowych, np. PFM 3000 lub innego typu. Niekiedy osoby dokonujące równoważenia systemu komunikują się ze sobą przez uderzanie w rury, co eliminuje potrzebę stosowania radiotelefonów. Sposób ten może być jednak stosowany tylko w systemach z rurami metalowymi.

Istota metody polega na nastawieniu na zaworze równoważącym głównego obiegu cyrkulacyjnego spadku ciśnienia równego 3 kPa (1 kPa na MSV-C). Jest to tzw. zawór wzorcowy. Z reguły jest nim ostatni zawór (najbardziej odległy). Wszystkie zawory podlegające regulacji powinny być otwarte. Osoba nr 3 na podstawie informacji uzyskiwanej od osoby nr 1, dokonuje regulacji zaworu partnerskiego w taki sposób, aby uzyskać w zaworze wzorcowym wymagany spadek ciśnienia (i tym samym wymagany strumień czynnika grzewczego). Zaworem partnerskim może być zarówno główny zawór modułu, jak i główny zawór całego systemu.



Rys. 10.2. Równoważenie systemu metodą kompensacyjną.

W ciągu całego czasu równoważenia systemu osoba nr 1 powinna obserwować wskazania manometru i pilnować zadanego spadku ciśnienia w zaworze wzorcowym. Osoba nr 1 przekazuje informację o wszelkich zmianach wspomnianego spadku ciśnienia, wywołanych działaniami osoby nr 2 osobie nr 3. Osoba nr 3 dokonuje regulacji zaworu partnerskiego w taki sposób, aby spadek ciśnienia w zaworze wzorcowym wynosił 3 kPa (1 kPa na MSV-C).

Osoba nr 2 dokonuje nastaw kolejnych zaworów stopniowo zbliżając się do zaworu partnerskiego. Zakończenie regulacji danego zaworu i przejście do kolejnego następuje z chwilą uzyskania projektowej (nominalnej) wartości strumienia czynnika grzewczego na danym zaworze równoważącym i osiągnięciu (za pomocą zaworu partnerskiego) spadku ciśnienia 3 kPa (1 kPa na MSV-C) na zaworze wzorcowym.

Procedura powyższa jest stosowana dla wszystkich pozostałych odgałęzień systemu.

Metoda kompensacyjna przeznaczona jest do systemów z ręcznymi zaworami równoważącymi przy zapewnieniu zaworów partnerskich na wszystkich obiegach. Jeżeli w pionach lub gałęziach systemu zastosowano automatyczne zawory równoważące, to nie ma konieczności równoważenia systemu w opisany wyżej sposób. W takim przypadku regulacja odbędzie się w sposób automatyczny. W systemach, w których w przyszłości przewiduje się zastąpienie ręcznych zaworów równoważących automatycznymi zaworami równoważącymi, zaleca się stosowanie zestawu zaworów o napędzie ręcznym USV-I+USV-M, który może być przekształcony w zestaw zaworów automatycznych USV-I+USV-PV (patrz pkt. 5.2).

W podsumowaniu należy podkreślić, że równoważenie systemu jest procedurą czasochłonną i kosztowną. Już na etapie projektowania systemu należy ocenić jej koszt i porównać z możliwością zastosowania automatycznych zaworów równoważących. Dodatkowym argumentem na rzecz stosowania wspomnianych zaworów jest znaczna poprawa funkcjonalności systemu, co przeanalizowano w pkt. 5.1.

Metoda kompensacyjna jest udoskonaloną wersją metody proporcjonalnej. Można ją zrealizować przy jednokrotnym pomiarze każdego zaworu regulacyjnego. Metoda umożliwia optymalizację pracy pompy. Konieczne jednak jest posiadanie co najmniej dwóch urządzeń pomiarowych oraz odpowiedniej ilości zaworów równoważących w systemie (zawory partnerskie).

10.6. METODA KOMPUTEROWA

Podstawą metody komputerowej jest zastosowanie mikroprocesorów do diagnostyki zaworów oraz określania ich nastaw podczas równoważenia systemów. Przyrządem najnowszej generacji stosowanym w metodzie komputerowej jest uniwersalny miernik typu PFM 3000 (rys. 10.3). Miernik ten jest przeznaczony do wodnych systemów zapewnienia mikroklimatu, zarówno grzewczych, jak i chłodzących. Służy do optymalizacji przepływów w systemie, przyjmując jako kryterium minimalizację strat energii. Przyrząd wykonuje skomplikowane obliczenia i określa sposób zrównoważenia systemu. Posiada liczny zbiór wbudowanych funkcji, które pozwalają oszczędzać czas i ułatwiają pracę.

Przyrząd PFM 3000 charakteryzuje się małą masą i wymiarami. Obudowa przyrządu jest wodo- i wstrząsoodporna. Posiada czterowierszowy podświetlany ekran. Może być używany w trudnych warunkach klimatycznych. Jest wyposażony w standardowe złącze RS232 i oprogramowanie służące do opracowywania wyników pomiarów.

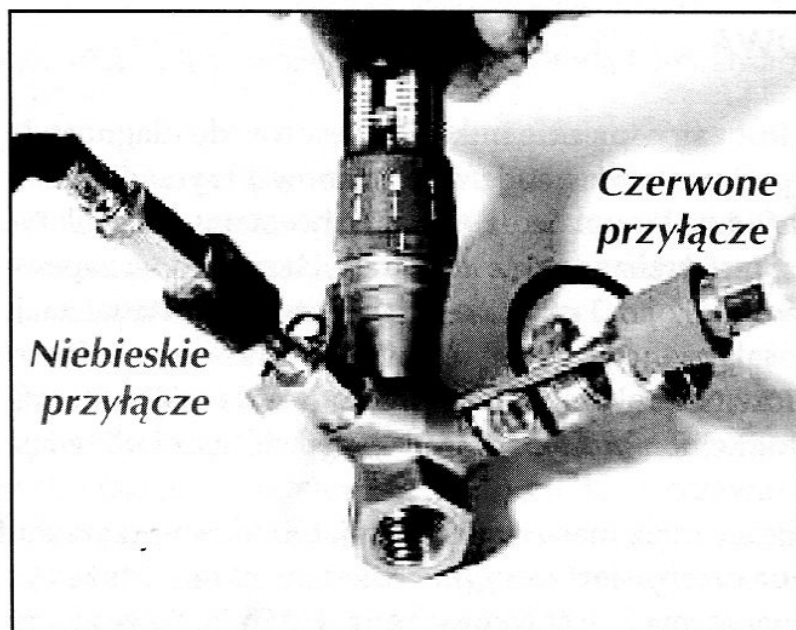


Rys. 10.3. Przyrząd pomiarowy typu PFM 3000.

dokładność pomiarów umożliwia precyzyjne określenie parametrów hydraulicznych systemu.

Przyrząd posiada dwa króćce do pomiaru ciśnienia zaopatrzone w uniwersalne szybkie złącza z elastycznymi przewodami impulsowymi. Przeciwne końce przewodów impulsowych są łączone w identyczny sposób do króćców zaworów równoważących (rys. 10.4). Przyłącze przewodu impulsowego oznaczone kolorem czerwonym jest przeznaczone

Manometr do pomiaru różnicy ciśnień z wyświetlaczem cyfrowym jest podstawowym modułem omawianego przyrządu. Posiada wbudowany czujnik ciśnienia różnicowego. Łączy w sobie wszystkie zalety technologii cyfrowej – posiada kompensację temperatury i kompensację nieliniowości czujnika. Umożliwia pomiar nad- i podciśnienia oraz pomiar różnicy ciśnień (ciśnienia różnicowego). Wartość strumienia czynnika grzewczego jest określana na podstawie spadku ciśnienia na zaworze równoważącym lub w węźle pomiarowym i pozwala na automatyczne wskazanie odpowiednich dla zrównoważenia systemu nastaw zaworów. Wysoka



Rys. 10.4. Przyłączanie przewodów do zaworu MSV-C.

czony do odbioru wyższego ciśnienia w porównaniu z ciśnieniem odbieranym przez przyłączy koloru niebieskiego.

Zewnętrzny czujnik temperatury jest kolejnym podstawowym modułem omawianego przyrządu. Czujnik ten jest przeznaczony do pomiaru temperatury czynnika grzewczego. Połączenie czujnika z przyrządem pomiarowym odbywa się za pomocą złącza RS232. Wymiary czujnika są dostosowane do wymiarów króćców pomiarowych w zaworze równoważącym. Pomiaru temperatury dokonuje się po stronie odpływowej zaworu wewnątrz króćca pomiarowego.

Wbudowany przepływomierz jest przyrządem pomiarowym niezbędnym przy hydraulicznym równoważeniu systemów. Strumień czynnika grzewczego jest obliczany na podstawie spadku ciśnienia w zaworze równoważącym lub w węźle pomiarowym. Aby umożliwić takie obliczenia w pamięci przyrządu zapisano charakterystyki około 200 zaworów i innych elementów armatury. Przyrząd posiada również wbudowaną funkcję umożliwiającą korygowanie obliczeń ze względu na obecność w wodzie dodatków przeciwzamarzaniu.

Moduł przeznaczony do obliczeń wstępnych nastaw zaworów działa równolegle do modułu obliczającego strumień czynnika grzewczego. Wstępne nastawy obliczane są z uwzględnieniem charakterystyk zaworów zapisanych w pamięci przyrządu.

Przyrząd posiada moduł rejestracji danych, który działa w czasie rzeczywistym. W pamięci przyrządu rejestrowane są dane dotyczące ciśnienia, różnicy ciśnień, strumienia czynnika grzewczego, temperatury czynnika grzewczego, typu zaworu, jego nastawy wstępnej oraz dane niezbędne do identyfikacji wyników pomiarów, co umożliwia analizę i obróbkę wyników na komputerze typu PC. Podczas długotrwałych pomiarów przyrząd automatycznie przechodzi w stan „czuwania”. Wykorzystywana jest przy tym specjalna funkcja zasilania wewnętrznego. Obwód rejestracji czasu posiada dodatkowe zasilanie z baterii litowej.

Przyrząd PFM 3000 może rejestrować dane z różnych punktów systemu z uwzględnieniem ich bieżącego stanu. Istnieje możliwość wyboru rejestracji cyklicznej (okresowej) lub cząstkowej. Działanie takie, odbywające się z wydzieleniem czasu niezbędnego do obróbki i analizy danych, pomaga w podejmowaniu właściwych decyzji.

Dane zebrane przez PFM 3000 są przesyłane do PC za pomocą oprogramowania dostarczanego wraz z przyrządem. Oprogramowanie umożliwia prezentację wyników w postaci diagramów lub tablic. Istnieje zgodność danych ze standardami stosowanymi w PC. Dane mogą być przetwarzane za pomocą edytorów tekstów, programów graficznych i programów typu bazy danych. Plan postępowania mającego na celu zrównoważenie systemu jest przygotowywany z wykorzystaniem komputera PC. Każdy plan zawiera informacje na temat głównych zaworów, ciśnienia wlotowego, struktury gałęzi i ich podłączenia do wspólnego drzewa.

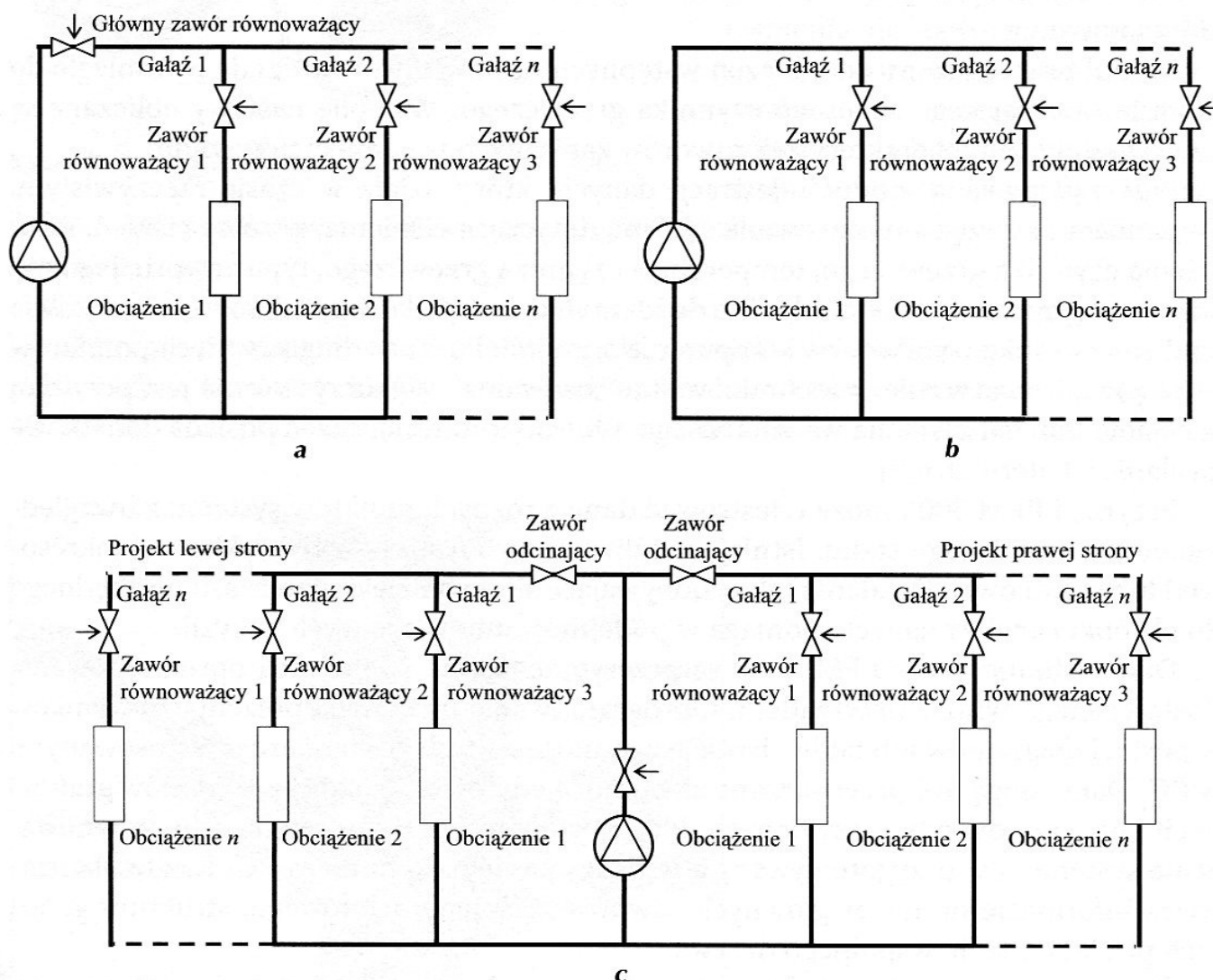
Omawiany przyrząd posiada opcje wyboru języka oraz jednostek. Informacje wyświetlane są na czterowierszowym ekranie (rys. 10.5). W pierwszym wierszu podawane są wartości mierzonych wielkości i czas rzeczywisty. Drugi wiersz podaje jednostki. Po-

Pressure 11:00 16.225 kPa	Temp. 11:15 90.0 °C Medium Propylenoglykol	Time 12:17 2.09.2003	Flow 12:20 135.5 m ³ /h MSV-C DN25 Preset 6.0	Prj L. Gavro 4, b Vět VCHOD 21 Qr 12.435 m ³ /h Qa 12.335 m ³ /h
------------------------------	---	-------------------------	---	---

Rys. 10.5. Wskaźniki informacyjne dot. parametrów zaworów na monitorze PFM 3000.

zostałe wiersze zawierają informacje pomocnicze (średnicę nominalną zaworu, jego nastawę, dane porównawcze).

Przyrząd PFM 3000 przeznaczony jest do równoważenia systemu o dużym stopniu skomplikowania (dużej liczbie gałęzi). Pamięć przyrządu zawiera informacje o dwóch systemach lub ich gałęziach i obejmuje dane dotyczące wszystkich zaworów równoważących (maksymalnie 32 szt.). Mnogość wariantów systemów o dużej liczbie gałęzi da



Rys. 10.6. Schematy równoważenia systemów: **a** – z głównym zaworem równoważącym; **b** – bez głównego zaworu równoważącego; **c** – z kilkoma rozgałęzieniami za pompą.

się sprowadzić do trzech podstawowych schematów (rys. 10.6), których cechy szczególne są uwzględniane podczas opracowywania danych. W przypadku schematów przedstawionych na rys. 10.6,a i 10.6,b należy wybrać opcję „zawór główny” (wspólny zawór). W schemacie rys. 10.6,b należy dodatkowo podać projektową wartość ciśnienia dyspozycyjnego w systemie. Charakterystyczną cechą schematu pokazanego na rys. 10.6,c jest konieczność jego podziału na części składowe. W pierwszej kolejności dokonuje się pomiarów, obliczeń i równoważenia lewej strony schematu. W tym czasie prawa strona jest wyłączona (odcięta). Następnie postępuje się identycznie z prawą stroną. Dane o schemacie mogą być wprowadzane do przyrządu w warunkach biurowych, korzystając z projektu systemu. W razie potrzeby dane o strukturze systemu i jego elementach są korygowane zgodnie ze stanem rzeczywistym.

Podstawą algorytmu obliczeń jest założenie o stałości ciśnienia czynnika grzewczego na wlocie do regulowanego systemu lub na wlocie do jego gałęzi. Ponadto wyklucza się istnienie w regulowanym systemie (lub gałęzi) zaworów ze sprzężeniem zwrotnym (automatycznych zaworów równoważących na pionach lub gałęziach, termoregulatorów, itp.). Z tego powodu termoregulatory podczas równoważenia systemu powinny mieć luźno nałożone kapturki ochronne lub usunięte główce termostatyczne.

Podczas pomiarów określa się:

- ciśnienie dyspozycyjne w systemie (lub jego części);
- strumień czynnika grzewczego we wszystkich zaworach równoważących, łącznie z zaworami głównymi, dla nastawy wstępnej nr 3, lub nastaw 1,5...2 w systemach o małej wartości ciśnienia dyspozycyjnego;
- spadek ciśnienia w każdym zaworze w stanie maksymalnego zamknięcia w sytuacji gdy nastawy wstępne pozostałych zaworów mają wartość 3;
- temperaturę wody.

Przed rozpoczęciem obliczeń sprawdzana jest zgodność liczby zaworów występujących w schemacie systemu i liczby zaworów poddanych badaniu. Czynność ta ma za zadanie wykrycie zaworów omyłkowo pominiętych podczas pomiarów. W wyniku obliczeń na ekranie przyrządu wyświetlane są kolejno nastawy poszczególnych (wszystkich) zaworów, łącznie z zaworem głównym.

Metoda komputerowa wykorzystuje zaawansowane technologie i ułatwia równoważenie systemu.

Nastawy i optymalizacji pracy systemu dokonuje jedna osoba przy pomocy wielofunkcyjnego przyrządu PFM-3000.