



RÓWNOWAŻENIE PRZEPŁYWÓW W UKŁADACH ROZDZIELCZYCH

*Najbardziej efektywna metoda równoważenia przepływów wody
w układach rozdzielczych systemów grzewczych i chłodniczych*



Franz Josef Spital, Austria

„Równoważenie przepływów w układach rozdzielczych“ jest drugą z kolei publikacją z serii TA, przeznaczoną dla osób zajmujących się urządzeniami grzewczymi i chłodniczymi. Zeszyt Nr 1 dotyczy hydraulicznego równoważenia przepływów w obwodach regulacyjnych. Zeszyt Nr 3 dotyczy równoważenia przepływów w instalacjach c.o. wraz z grzejnikami, a Zeszyt Nr 4 - stabilizacji ciśnienia różnicowego.

Publikacja ta została przygotowana dla specjalistów z różnych krajów, a w związku z tym można spotkać się z pewnymi nazwami i symbolami, które nie są używane we wszystkich krajach. Mamy jednak nadzieję, że nie spowoduje to większych problemów ze zrozumieniem treści Poradnika TA.

Autor: Robert Petitjean - inżynier mechanik, dyrektor techniczny firmy Tour & Andersson Hydronics.
Przygotowanie Poradnika TA: Tour & Andersson Hydronics AB, Ljung, Szwecja, Wydanie 2.
Tłumaczenie z języka angielskiego: dr inż. Roman Wichowski.
Korekta techniczna: mgr inż. Alfred Angres.

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część tego Poradnika nie może być reprodukowana w jakiegokolwiek postaci bez pisemnego zezwolenia firmy Tour & Andersson Hydronics.

Spis treści

Poradnik ten dotyczy metod równoważenia hydraulicznego.

Hydrauliczne równoważenie obwodów regulacyjnych przedstawiono w Zeszycie Nr 1.

Hydrauliczne równoważenie przepływów w układach instalacji c.o. wraz z grzejnikami przedstawiono w Zeszycie Nr 3.

W Zeszycie Nr 4 zostanie przedstawiona stabilizacja ciśnienia różnicowego w obwodach regulacyjnych.

1. Dlaczego równoważymy przepływy?	5
2. Niezbędne urządzenia	7
3. Prace przygotowawcze	9
3.1. Planowanie procedury równoważenia przy biurku	9
<i>Dokładna analiza projektu całej instalacji</i>	
<i>Wybór odpowiedniej metody równoważenia</i>	
3.2. Podział instalacji na moduły	10
<i>Teoria i praktyka</i>	
<i>Zasada proporcjonalności</i>	
<i>Moduł może być częścią większego modułu</i>	
<i>Co to jest równoważenie optymalne?</i>	
<i>Gdzie potrzebne są zawory równoważące?</i>	
<i>Dokładność ustawienia przepływów</i>	
4. Metoda proporcjonalna	15
5. Metoda kompensacyjna	17
5.1. Rozwinięcie metody proporcjonalnej	17
5.2. Zawór odniesienia i zawór wspólny	18
5.3. Nastawa zaworu odniesienia	19
5.4. Niezbędne wyposażenie	20
5.5. Równoważenie odbiorników na odgałęzieniu	20
5.6. Równoważenie odgałęzień przy pionach	22
5.7. Równoważenie pionów od głównego przewodu rozdzielczego ..	23
5.8. Nastawa zaworu odniesienia, gdy straty ciśnienia na odbiornikach różnią się znacznie między sobą	24

Spis treści

6. Metoda równoważenia TA Balance	26
6.1. Przygotowanie do procedury równoważenia	27
6.2. Procedura równoważenia	27
6.3. Wzajemne równoważenie modułów na pionach	28
6.4. Wzajemne równoważenie pionów	29
7. Przykłady różnych układów	31
7.1. Układy o zmiennych przepływach z zaworami równoważącymi ..	31
7.2. Układ z zaworem nadmiarowo-upustowym BPV i zaworami równoważącymi	32
7.3. Układ z zaworami STAP na każdym pionie	34
7.4. Układ z zaworami STAP na każdym odgałęzieniu	35
7.5. Układ z zaworami STAP przed każdym zaworem regulacyjnym dwudrogowym	37
7.6. Układ rozdzielczy o stałym przepływie w obiegu pierwotnym z pompami w obiegu wtórnym	38
7.7. Układ rozdzielczy o stałym przepływie w obiegu pierwotnym i z zaworami trójdrogowymi	39
7.8. Układy rozdzielcze instalacji ciepłej wody użytkowej z zaworami równoważącymi	40
7.9. Układ rozdzielczy ciepłej wody użytkowej z zaworami termostatycznymi TA-Therm	44

ZAŁĄCZNIKI

A. Metoda nastawy wstępnej	45
B. Ponowne obliczanie przepływów przy przewymiarowaniu odbiorników końcowych	46
C. Dobór zaworów równoważących	47
D. Montaż zaworów równoważących	50
E. Szczegółowa instrukcja prac przygotowawczych	51
F. Więcej na temat „Dlaczego równoważymy instalacje?“	53
F.1. Muszą być zachowane przepływy obliczeniowe we wszystkich odbiornikach końcowych	53
F.2. Stabilizacja ciśnienia różnicowego	57
F.3. Przepływy muszą być zgodne na granicy rozdziału obiegów ..	65
G. Problemy związane z równoważeniem i analiza pracy instalacji	68
G.1. Problemy wspólne	68
G.2. Szybkie usuwanie usterek	69
G.3. Dokładna analiza pracy instalacji	69

1. Dlaczego równoważymy przepływy?

(Więcej na ten temat w Załączniku F)

Zasadniczym celem projektowania instalacji grzewczych i klimatyzacyjnych jest zapewnienie odpowiednich warunków mikroklimatu wewnątrz pomieszczeń. Praktyka dowodzi jednak, że ten cel nie zawsze udaje się osiągnąć nawet w nowych budynkach, w których zastosowano nowoczesne urządzenia grzewcze i klimatyzacyjne sterowane zaawansowanymi technologicznie regulatorami. Można przy tym zaobserwować następujące problemy:

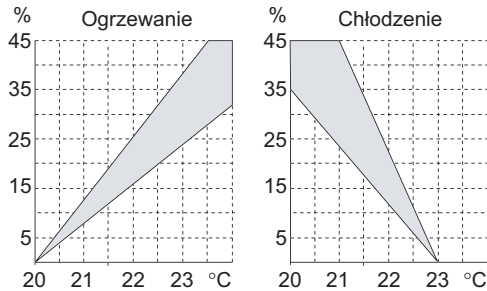
1. Zadana temperatura nie jest osiągana we wszystkich pomieszczeniach szczególnie przy dużych zmianach obciążenia.
2. Temperatura wewnętrzna oscyluje wokół wartości zadanej pomimo zastosowania nowoczesnych regulatorów. Wahania temperatury występują przy niskich i średnich obciążeniach.
3. Pomimo zapasu mocy w źródle, niemożliwe jest uzyskanie mocy nominalnej we wszystkich odbiornikach, co jest szczególnie widoczne podczas uruchamiania instalacji lub po tzw. obniżeniu nocnym względnie sobotnio-niedzielnym.

Problemy tego rodzaju występują dość często, ponieważ zawory regulacyjne nie zapewniają odpowiednich przepływów. Zastosowana automatyka regulacyjna może pracować efektywnie tylko wtedy, gdy osiągalne są przepływy obliczeniowe /projektowe/ w każdej części instalacji i gdy źródło ciepła pracuje w warunkach obliczeniowych. Jedynym sposobem uzyskania przepływów obliczeniowych jest zrównoważenie hydrauliczne całej instalacji. Równoważenie hydrauliczne oznacza dopasowanie przepływów do warunków obliczeniowych za pomocą odpowiednich zaworów równoważących, zamontowanych zarówno po stronie źródła, jak i systemu rozdzielczego.

Należy przestrzegać spełnienia następujących warunków:

1. Jednostki produkujące ciepło muszą być zrównoważone w celu uzyskania przepływów obliczeniowych w każdym kotle lub wytwornicy wody lodowej. Poza tym przepływ w każdej jednostce powinien być utrzymany na stałym poziomie. Wahania przepływu wpływają na zmniejszenie wydajności, zmniejszenie żywotności kotła lub wytwornicy wody lodowej oraz powodują kłopoty w regulacji.
2. Przepływy należy równoważyć także w systemach rozdzielczych, aby zapewnić we wszystkich odbiornikach przepływy obliczeniowe niezależnie od stopnia obciążenia instalacji.
3. Należy zrównoważyć obwody regulacyjne, aby doprowadzić do właściwych warunków pracy dla zaworów regulacyjnych i dopasowania przepływów po stronie pierwotnej i wtórnej.
4. Równoważenie instalacji przy wykorzystaniu ręcznych zaworów równoważących daje możliwości wykrycia większości nieprawidłowości dotyczących zagadnień hydraulicznych, a także pozwala określić przewymiarowanie pompy, które można skorygować, co przyczyni się do optymalizacji kosztów pompowania.
5. Do zrównoważonej hydraulicznie instalacji można wykorzystywać regulator główny lub regulator z funkcją optyimizatora, gdy wszystkie pomieszczenia reagują tak samo na zmiany temperatury. Jeżeli średnia temperatura wewnętrzna w pomieszczeniu różni się od wartości obliczeniowej z powodu braku zrównoważenia hydraulicznego instalacji c.o., to należy pamiętać, że pogorszą się warunki mikroklimatu, których poprawa może być kosztowna.

1. Dlaczego równoważymy przepływy? (Więcej na ten temat w Załączniku F)



Rys.1.1: Zużycie energii (ogrzewanie i chłodzenie) w zależności od średniej temperatury wewnętrznej w pomieszczeniu.

Dlaczego średnia temperatura wewnętrzna jest wyższa w przypadku instalacji, która nie jest zrównoważona? W okresie niskich temperatur zewnętrznych pomieszczenia usytuowane bliżej źródła ciepła (kocioł, węzeł ciepły) są często przegrzewane, podczas gdy pomieszczenia położone na wyższych kondygnacjach są zbyt chłodne. W takiej sytuacji mieszkańcy wymuszają podwyższenie temperatury zasilania całego budynku, a wówczas lokatorzy mieszkający na wyższych piętrach przestają narzekać, a lokatorzy mieszkający na niższych piętrach otwierają okna. W okresie lata, kiedy będziemy mieli do czynienia z klimatyzacją, powietrze będzie chłodniejsze w pomieszczeniach usytuowanych bliżej stacji klimatyzacyjnej, a zbyt ciepło będzie na wyższych piętrach.

W pojedynczym pomieszczeniu temperatura wewnętrzna o jeden stopień wyższa lub o jeden stopień niższa od temperatury w pozostałych pomieszczeniach rzadko wpływa na tzw. warunki komfortu cieplnego jak również koszty zużytej energii. Jeżeli jednak niewłaściwa jest średnia temperatura wewnętrzna w budynku, to ma to znaczący wpływ na wzrost kosztów ogrzewania. Średnia temperatura wewnętrzna w budynku wyższa o jeden stopień ponad zadane 20°C powoduje wzrost kosztów ogrzewania co najmniej o 8% w Europie Środkowej i o 12% w Europie Południowej. Podczas chłodzenia w okresie letnim, jeden stopień poniżej zadanych 23°C powoduje wzrost kosztów klimatyzacji o 15% w krajach europejskich (rys.1.1).

Systemy grzewczo-wentylacyjne projektuje się dla warunków obliczeniowych, odpowiadających maksymalnemu obciążeniu. Jeżeli źródło ciepła (chłodu) nie może zapewnić pełnej mocy we wszystkich obiegach instalacji z powodu braku zrównoważenia hydraulicznego w warunkach obliczeniowych (projektowych), to instalacja taka nie jest poprawnie zaprojektowana.

Zawory regulacyjne są całkowicie otwarte, gdy wymagana jest pełna moc i nie mogą wówczas regulować przepływów. Poza tym zawory regulacyjne są zwykle przewymiarowane i nie mogą one brać udziału w równoważeniu instalacji. W takiej sytuacji niezbędne jest hydrauliczne zrównoważenie instalacji.

Każdego dnia, po nocnym obniżeniu, wymagane jest dostarczenie pełnej mocy w celu spełnienia warunków komfortu cieplnego. Prawidłowo zrównoważona instalacja wyrównuje temperaturę wewnętrzną bardzo szybko. Jeżeli nastąpi to 30 minut wcześniej, to zaoszczędzimy 6% energii zużytej w ciągu dnia. Stanowi to bardzo często większą wartość niż wszystkie koszty pompowania w ciągu jednej doby.

Bardzo ważną sprawą jest skompensowanie przewymiarowanej pompy. Do wykrycia stopnia przewymiarowania pompy mogą być wykorzystane zawory równoważące. W czasie procesu równoważenia pokazane są zbyt duże ciśnienia przed pompą na zaworach równoważących. Należy wówczas skorygować ten błąd przewymiarowania poprzez redukcję prędkości obrotowej pompy lub wyważenie wirnika.

Równoważenie hydrauliczne wymaga stosowania właściwych urządzeń w celu poprawnego przeprowadzenia tego procesu. Najbardziej nadaje się do tego ręczny zawór równoważący, który pozwala otrzymać prawidłowe przepływy dla warunków obliczeniowych.

2. Niezbędne urządzenia

Do wykonania równoważenia niezbędne są trzy elementy:

- urządzenia do pomiaru i regulacji przepływu,
- przyrząd pomiarowy,
- procedura równoważenia.

Urządzenia do pomiaru i regulacji przepływu

Należą do nich:

Zawory równoważące, które łączą cechy kryzy nastawnej, umożliwiającej pomiar przepływu, z cechami ręcznego zaworu regulacyjnego, umożliwiającemu odczyt i blokadę nastawy.

Występują bardzo duże różnice pomiędzy zaworami regulacyjnymi, produkowanymi przez różne firmy. W praktyce przekłada się to na różnice w dokładności regulacji parametrów klimatu wewnętrznego, różnice w wielkości zaoszczędzonej energii i wreszcie różnice w nakładach pracy, które trzeba ponieść na fizyczne wykonanie równoważenia instalacji.

Firma TA Hydronics, której urządzenia są szeroko stosowane w świecie, zaspokaja różne wymagania rynku i oferuje odpowiednie urządzenia pomiarowe do pomiaru stałych jak i zmiennych przepływów, a także zawory równoważące.

Poniżej przedstawiono pewne wyróżniające się cechy urządzeń regulacyjnych, produkowanych przez firmę TA:



*Zawór równoważący STAD
o średnicach od 15 do 50 mm*

*Zawór równoważący STAF
o średnicach 20 do 300 mm*

*Zawór różnicy ciśnień STAP
o średnicach 15 do 50 mm
(100 mm)*

Zawory równoważące i urządzenia kryzujące

- Dokładność pomiaru przepływu dla zaworów równoważących lepsza niż $\pm 5\%$, a dla kryz dławiących lepsza niż $\pm 3\%$.
- Zawory o średnicy do 50 mm mają cztery pełne obroty od pozycji otwarcia do zamknięcia. Przy większych średnicach mają odpowiednio 8, 12 i 16 pełnych obrotów.
- Zawory równoważące dostępne są w następujących wykonaniach: z gwintem wewnętrznym, kołnierzowe, z końcówkami do spawania lub lutowania, z końcówkami rowkowanymi i ze złączkami zaciskowymi.
- Zawory o średnicy do 50 mm są wykonane z tzw. Ametalu, jedynego stopu na odlewy ciśnieniowe, który spełnia wszelkie wymagania w zakresie odporności na obciążenia dynamiczne i na zjawisko odcynkowania (korozja selektywna mosiądzów).

2. Niezbędne urządzenia

Zawór różnicy ciśnień

- Wielkość nastaw w zakresie 10 do 80 kPa (160 kPa).
- Maksymalny spadek ciśnienia na zaworze 250 kPa
- Służy do stabilizacji ciśnienia różnicowego przed zaworami regulacyjnymi oraz w obwodach regulacyjnych instalacji c.o.



Przyrząd pomiarowy

Pomiary parametrów hydraulicznych instalacji wymagane są w celu poznania rzeczywistego przepływu i osiągnięcia przepływu obliczeniowego (projektowego), a także w celu określenia wielkości ciśnienia różnicowego, które powinno występować w poszczególnych częściach instalacji. Do tego celu służy między innymi przyrząd pomiarowy, który jest także doskonałym narzędziem diagnostycznym, pomocnym w znajdowaniu usterek w różnych systemach hydraulicznych oraz może służyć do analizy działania całego systemu.



Przyrząd pomiarowy CBI firmy TA Hydronics posiada wszystkie niezbędne cechy spełniające powyższe wymagania, to jest:

- Umożliwia pomiary i rejestrację ciśnienia różnicowego, przepływu i temperatury na zaworach STAD, STAF, STAP/STAM i innych zaworach firmy TA Hydronics.
- Jest zaprogramowany do określenia nastaw zaworów przy równoważeniu hydraulicznym, prowadzonym zarówno metodą TA jak i TA Balance.
- Posiada dwukierunkową komunikację z PC.
- Dokonuje korekcji obliczeń dla mediów niezamarzających.
- Cechuje go duża pojemność pamięci, pozwalająca przechowywać dane 1000 zaworów i 24000 wartości rejestrowanych.
- Wyposażony jest w graficzny wyświetlacz, zapewniający możliwość nadawania nazw literowych instalacjom i zaworom.

Zawór nadmiarowo-upustowy

W systemach o zmiennych przepływach można zastosować zawór nadmiarowo-upustowy firmy TA typu BPV, który realizuje następujące funkcje:

- zapewnienie minimalnego przepływu dla bezpiecznej pracy pompy;
- redukcja spadku temperatury w przewodach instalacji;
- stabilizacja ciśnienia różnicowego przed odbiornikami ciepła.



Zawór typu BPV posiada funkcję pełnego zamykania i płynną nastawę wartości zadanej w granicach 10-60 kPa. Dostępne średnice zaworu wynoszą 15 do 32 mm (1/2" do 1 1/4").

3. Prace przygotowawcze

Równoważenie przepływów wody powinno być przeprowadzone po odpowiednim ustawieniu urządzeń regulacyjnych.

Procedurę równoważenia należy przygotować bardzo starannie. Zapewni to lepsze wyniki końcowe, uzyskane w krótszym czasie.

Należy przygotować schematy całej instalacji i przeanalizować je szczegółowo w celu dobrego zrozumienia zasad jej funkcjonowania. Należy także przeprowadzić wizję lokalną dla uniknięcia straty czasu przy rozwiązywaniu problemów praktycznych, jak np. poszukiwanie kluczy do zamkniętych pomieszczeń, czy też próby zidentyfikowania nie istniejącego zaworu równoważającego. Instrukcje szczegółowe przedstawiono w Załączniku E.

3.1. Planowanie procedury równoważenia

Dokładna analiza projektu całej instalacji

Należy zapoznać się z rysunkami instalacji w celu zrozumienia całego projektu i zasad działania systemu. Trzeba zidentyfikować obwody regulacyjne i układy rozdzielcze wraz z zaworami równoważącymi. Należy podzielić cały układ na moduły, zgodnie z punktem 3.2.

W układach rozdzielczych czteroprzewodowych powinno się przygotować oddzielne rysunki dla instalacji grzewczych i chłodniczych. Czasami dobrym rozwiązaniem może być wykreślenie schematu obiegu głównego z pominięciem wszystkich szczegółów, które nie dotyczą zagadnienia równoważenia przepływów.

Wybór odpowiedniej metody równoważenia

Jeżeli przepływ wody zostanie nastawiony za pomocą zaworu równoważającego, to zmienia się strata ciśnienia na zaworze i w przewodzie. Zmieniają się także ciśnienia różnicowe na pozostałych zaworach równoważących. Każda zmiana przepływu powoduje zaburzenie przepływu na wyregulowanych już zaworach, ponieważ poszczególne obiegi są interakcyjne, czyli wzajemnie na siebie oddziałują. Podstawowa różnica pomiędzy poszczególnymi metodami równoważenia polega na tym, w jaki sposób kompensuje się wzajemne oddziaływanie różnych obiegów. Pewne metody nie wyrównują w ogóle zmian przepływów, wywołanych wzajemnym oddziaływaniem obiegów. Oznacza to, że osoba przeprowadzająca równoważenie musi ustawiać ten sam zawór równoważący kilkakrotnie, aż przepływ końcowy osiągnie żadaną wielkość. Inne metody pozwalają na całkowite zrównoważenie przepływów. Do takich metod można zaliczyć metodę proporcjonalną, metodę kompensacyjną TA i metodę równoważenia TA Balance. Metody te zostały przedstawione w Poradniku TA.

Metoda kompensacyjna jest rozwinięciem metody proporcjonalnej. Zalecane jest stosowanie tej metody, ponieważ daje ona lepsze wyniki w krótszym czasie. Metoda równoważenia TA Balance jest metodą najłatwiejszą, wymagającą jedynie jednej osoby do przeprowadzania procedury równoważenia i jednego przyrządu pomiarowego.

Jednak ani metoda proporcjonalna ani metoda kompensacyjna nie może być stosowana do równoważenia przepływów w tzw. układach Tichelmann'a. W takim przypadku należy zastosować tzw. metodę iteracyjną, tj. regulować wielokrotnie przepływy w całym układzie tak długo, dopóki nie otrzymamy przepływów zgodnych z obliczeniowymi. Można też obliczać właściwe nastawy zaworów równoważących za pomocą komputera lub ręcznie.

Zeszyt Nr 1 Poradnika TA „Hydrauliczne równoważenie obwodów regulacyjnych“ podaje w sposób efektywny, krok po kroku, metody równoważenia przepływów w 23 przykładowych układach regulacyjnych, z wykorzystaniem zaworów regulacyjnych dwudrogowych i trójdrogowych.

3.2. Podział instalacji na moduły

Teoria i praktyka

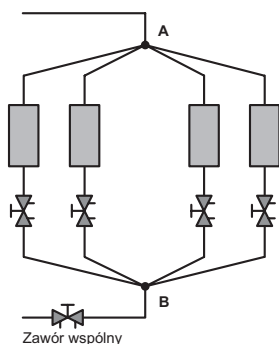
Z teoretycznego punktu widzenia, wystarczające jest zastosowanie jednego zaworu równoważącego dla jednego odbiornika końcowego w celu stworzenia właściwego rozdziału przepływów w układzie rozdzielczym. Niezbędne jest przy tym prawidłowe obliczenie wielkości nastaw wszystkich zaworów równoważących i wykonanie instalacji zgodnie z projektem technicznym.

Jeżeli zmieni się jeden lub kilka przepływów, to wszystkie pozostałe przepływy będą podlegać większej lub mniejszej zmianie, o czym już wcześniej wspomniano. Otrzymanie prawidłowych przepływów może wymagać serii długich i żmudnych poprawek.

W praktyce prawidłowym rozwiązaniem jest podział większych układów na mniejsze moduły i instalowanie zaworów równoważących w taki sposób, aby regulacja przepływu w dowolnym punkcie systemu mogła być wyrównana tylko przez zmianę nastawy jednego lub kilku zaworów równoważących.

Zasada proporcjonalności

Odbiorniki końcowe na rys.3.1 tworzą moduł. Zaburzenie zewnętrzne w stosunku do modułu powoduje zmianę różnicy ciśnień pomiędzy punktami A i B. Ponieważ wielkość przepływu zależy od różnicy ciśnień, przepływy we wszystkich odbiornikach końcowych zmieniają się w tej samej proporcji.

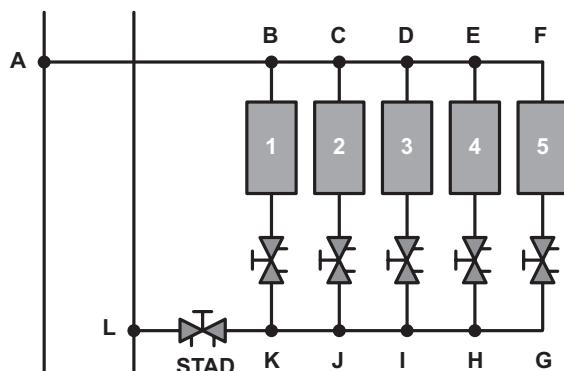


Rys.3.1. Zaburzenie zewnętrzne ma taki sam wpływ na każdy odbiornik końcowy w danym module

Przepływ przez odbiorniki końcowe może być kontrolowany przez pomiar przepływu w jednym z odbiorników, który może być odbiornikiem odniesienia. Zawór równoważący wspólny dla wszystkich odbiorników może wyrównywać wpływ zaburzeń zewnętrznych na przepływy w odbiornikach końcowych całego modułu. Zawór ten nazywamy zaworem wspólnym.

Odbiorniki końcowe są zazwyczaj połączone w sposób przedstawiony na rys.3.2. Przepływ wody przez odgałęzienie zależy od różnicy ciśnień pomiędzy punktami A i L. Każda zmiana tego ciśnienia wpływa na wielkość przepływu w każdym z odbiorników końcowych w takiej samej proporcji.

3. Prace przygotowawcze

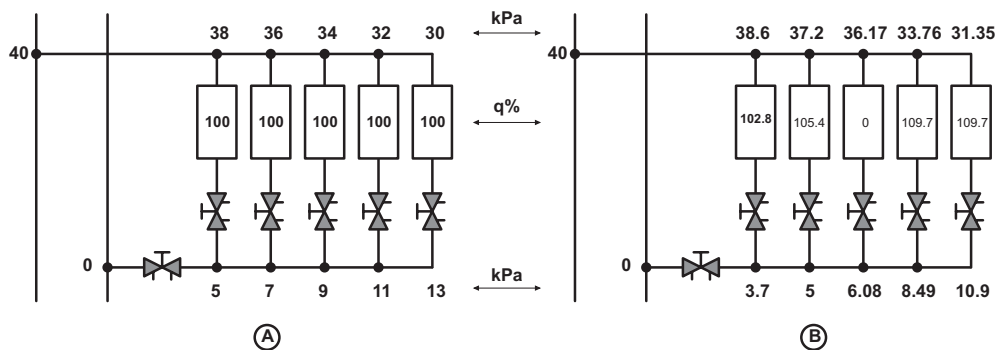


Rys3.2 Odgałęzienie z kilkoma odbiornikami końcowymi tworzy modul równoważenia. Zawór STAD jest zaworem wspólnym, który może kompensować zaburzenia zewnętrzne.

Co się jednak stanie, gdy wywołamy zaburzenie, które jest zaburzeniem wewnętrznym w stosunku do modułu, np. przez zamknięcie zaworu równoważającego przy odbiorniku nr 3?

Będzie to miało silny wpływ na przepływy w przewodach CD i IJ, a tym samym na straty ciśnienia w tych przewodach. Różnica ciśnień pomiędzy punktami E i H zmieni się w znacznym stopniu, co wpłynie na wielkość przepływów w odbiornikach 4 i 5 w takiej samej proporcji.

Fakt wyłączenia odbiornika 3 ma niewielki wpływ na całkowity przepływ w przewodach AB i KL. Straty ciśnienia w tych przewodach zmienią się w niewielkim stopniu. Różnica ciśnień pomiędzy punktami B i K nieco się tylko zmieni, a odbiornik 1 nie będzie reagować na zaburzenia w takiej samej proporcji jak odbiorniki 4 i 5. Tym samym zasada proporcjonalnej zmiany przepływów nie ma zastosowania w przypadku zaburzeń wewnętrznych, jak to pokazano na rys. 3.3.



Rys. 3.3. Przy zaburzeniach wewnętrznych przepływy nie zmieniają się proporcjonalnie

3. Prace przygotowawcze

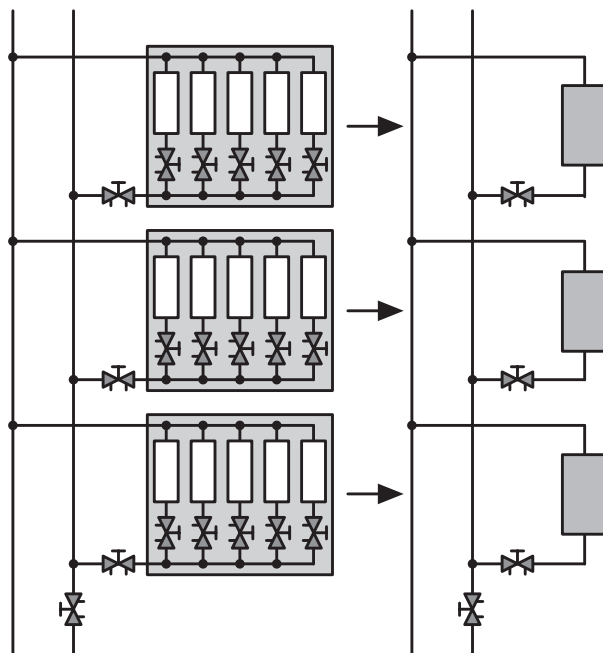
Przepływy zmieniają się proporcjonalnie w danym module tylko wtedy, gdy straty ciśnienia zależą od przepływu q w takiej samej zależności w każdym miejscu danego modułu. Nie ma to jednak miejsca w rzeczywistości, ponieważ straty ciśnienia w przewodach zależą od $q^{1,87}$, a straty ciśnienia na zaworach zależą od q^2 . Dla małych przepływów możemy spotkać się nawet z ruchem laminarnym, a wówczas straty ciśnienia zmieniają się w funkcji liniowej w zależności od przepływu. Zasada proporcjonalności może być stosowana tylko wtedy, gdy chcemy wykręcić wielkości odchyłek od przepływów obliczeniowych. Jest to jeden z powodów, dla których najbardziej dokładną metodą równoważenia jest metoda kompensacyjna, przedstawiona w rozdziale 5. Wówczas zapewnione zostaną przepływy obliczeniowe w czasie całego procesu równoważenia każdego z modułów.

Moduł może być częścią większego modułu

Gdy odbiorniki zamontowane na odgałęzieniu są wzajemnie równoważone, można rozpatrywać dane odgałęzienie jako tzw. „czarną skrzynkę“, tj. oddzielny moduł. Elementy tego modułu reagują w sposób proporcjonalny na ustawianie przepływów zewnętrznych. Takie zaburzenia mogą być łatwo wyrównane za pomocą zaworu wspólnego.

W następnym kroku równożyczy się przepływy między modułami w postaci odgałęzień. Wykorzystuje się w tym celu zawór równoważący, zamontowany na pionie, jako zawór wspólny.

Ostatecznie równożyczy się przepływy we wszystkich pionach przy założeniu, że tworzą one moduł, a zawór równoważący na głównym przewodzie rozdzielczym jest tzw. zaworem wspólnym.



Rys.3.4 Każde odgałęzienie od pionu tworzy nowy moduł

3. Prace przygotowawcze

Co to jest równoważenie optymalne?

Na rysunku 3.5 pokazano dwa moduły, które są równoważone. Liczby na rysunku oznaczają straty ciśnienia na każdym z odbiorników i straty ciśnienia na zaworach równoważących. W obu przypadkach (rys.3.5a i rys.3.5b) wymagane są odpowiednie ciśnienia różnicowe przed każdym z odbiorników, aby otrzymać przepływ obliczeniowy. Straty ciśnienia są różnie rozłożone w obu przypadkach pomiędzy zaworami równoważącymi a zaworem wspólnym.

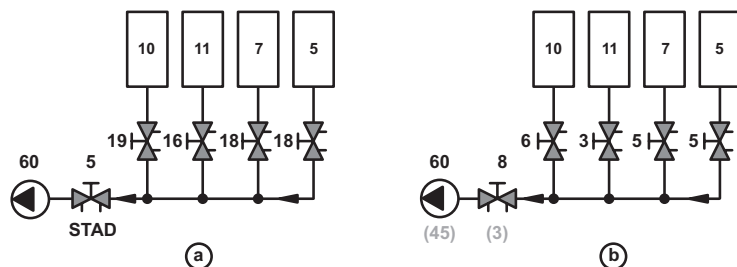
Który z prezentowanych przykładów równoważenia jest lepszy?

Równoważenie optymalne oznacza, że:

- (1) autorytet zaworów regulacyjnych jest zwiększony do maksymalnej wartości;
- (2) znane jest przewymiarowanie pompy i można tak zmieniać wysokość podnoszenia, aby zminimalizować koszty pompowania wody.

Równoważenie optymalne ma miejsce wtedy, gdy bierze się pod uwagę najmniejsze możliwe straty ciśnienia na zaworach równoważących przy odbiornikach końcowych (co najmniej 3 kPa dla dokładnego pomiaru przepływu). Pozostały nadmiar ciśnienia jest równoważony zaworem wspólnym.

Przykład równoważenia jak na rys. (b) jest lepszy, ponieważ najmniejsze są straty ciśnienia na wszystkich zaworach równoważących przed odbiornikami w celu otrzymania przepływów obliczeniowych. Warto zauważyć, że równoważenie optymalne wymaga zainstalowania w obiegu zaworu wspólnego.



Rys. 3.5. Układ z odbiornikami końcowymi może być równoważony różnymi sposobami, ale tylko jeden ze sposobów jest optymalny.

Zawór wspólny pozwala wykazać nadwyżkę ciśnienia różnicowego. Wówczas może być odpowiednio zmniejszona prędkość obrotowa pompy, a zawór wspólny ponownie otwarty. W przykładzie (b) straty ciśnienia na zaworze wspólnym i wysokość ciśnienia na pompie mogą być zredukowane o 15 kPa, co prowadzi do zmniejszenia kosztów pompowania o 25%.

Gdzie potrzebne są zawory równoważące?

We wniosku końcowym można powiedzieć, że zawory równoważące powinny być instalowane w taki sposób, aby możliwe było stworzenie modułów, które mogą być równoważone niezależnie od reszty instalacji. A zatem każdy odbiornik końcowy, każde odgałęzienie, każdy pion, każdy przewód główny rozdzielczy i każda jednostka produkująca energię (ciepło lub zimno), powinny być wyposażone w zawory równoważące.

W takich przypadkach łatwo jest regulować układ, w którym wystąpiły pewne zmiany w stosunku do projektu, np. pewne błędy konstrukcyjne oraz przewymiarowanie przewodów i urządzeń. Zaoszczędzi to czasu i pozwoli na optymalne zrównoważenie. Układy rozdzielcze mogą być równoważone i odbierane stopniowo, bez wykonywania ponownego równoważenia po ostatecznym przekazaniu całej instalacji do eksploatacji.

Zawory równoważące są także stosowane dla wykrywania usterek i zamykania przepływów w czasie naprawy i konserwacji instalacji.

3. Prace przygotowawcze

Dokładność ustawienia przepływów

Przed przystąpieniem do procedury równoważenia, należy określić stopień dokładności z jaką będą równoważone przepływy.

W praktyce dokładność ta zależy od wymaganej dokładności w odniesieniu do temperatury wewnętrznej, a także od innych czynników, takich jak regulacja temperatury zasilania oraz stosunek wymaganej do zainstalowanej mocy odbiornika. Można spotkać się z wymaganiami odnośnie stopnia dokładności określania przepływów projektowych w granicach od 0 do +5%. Nie ma jednak technicznego uzasadnienia dla takich wymagań, między innymi z tego powodu, że nie przykładą się większej wagi do rzeczywistej temperatury wody zasilającej dla najdalszych odbiorników. Szczególnie w przypadku zmiennych przepływów, temperatura zasilania nie jest taka sama na początku i na końcu danego obiegu. Poza tym przepływy są często obliczane w oparciu o wymaganą moc, a potem rzadko korygowane w zależności od zainstalowanej mocy. Przewymiarowanie odbiornika końcowego o 25% powinno być skompensowane redukcją przepływu wody w granicach 40%. Jeżeli się tego nie przeprowadzi, nie ma możliwości regulacji przepływów w danym obiegu z dokładnością 5%, ponieważ wielkość błędu początkowego wynosi około 40%.

Podprzepływy nie mogą być kompensowane w obiegach regulacyjnych i ma to bezpośredni wpływ na działanie instalacji przy maksymalnym jej obciążeniu, które musi być zredukowane. Nadprzepływy nie wpływają bezpośrednio na działanie instalacji i mogą być skompensowane w obiegach regulacyjnych. Można zatem zaakceptować występowanie nadprzepływów, szczególnie gdy mają niewielki wpływ na temperaturę wewnętrzną i pomijając ich szkodliwy wpływ na prawidłową pracę instalacji. Gdy zawory regulacyjne są całkowicie otwarte, co ma np. miejsce w czasie rozruchu instalacji, nadprzepływy powodują występowanie podprzepływów w niektórych częściach instalacji i niemożliwe jest uzyskanie wymaganej temperatury wody przy dużych obciążeniach. Przyczyną tego jest brak zgodności pomiędzy przepływami w źródle i w przewodach rozdzielczych. Z tego powodu należy także ograniczać nadprzepływy. Ostatecznie powinno się ograniczać zarówno podprzepływy jak i nadprzepływy w takim samym stosunku, aby otrzymać odpowiedni stopień dokładności regulacji $\pm x$ %.

Na szczęście, gdy wielkość przepływu jest bliska wartości obliczeniowej, nie ma to większego wpływu na temperatury wewnętrzne. Przyjmując odchyłki temperatury wewnętrznej, ze względu na niedokładność uzyskania przepływów obliczeniowych, rzędu $\pm 0.5^\circ\text{C}$ przy pełnym obciążeniu, wartość dokładności regulacji „x” wynosi:

$$x = \frac{\pm 100 \cdot (t_{sc} - t_{ic})}{(t_{sc} - t_{rc}) \cdot (t_{ic} - t_{ec} - a_{ic})}$$

gdzie:

- t_{sc} : obliczeniowa temperatura zasilania;
- t_{ic} : obliczeniowa temperatura wewnętrzna;
- t_{rc} : obliczeniowa temperatura powrotu;
- t_{ec} : obliczeniowa temperatura zewnętrzna;
- a_{ic} : wpływ zysków ciepła na temperaturę wewnętrzną.

Przykłady:

Ogrzewanie: $t_{sc} = 80^\circ\text{C}$; $t_{rc} = 60^\circ\text{C}$; $t_{ic} = 20^\circ\text{C}$; $t_{ec} = -10^\circ\text{C}$; $a_{ic} = 2^\circ\text{C}$; $x = \pm 10\%$
Chłodzenie: $t_{sc} = 6^\circ\text{C}$; $t_{rc} = 12^\circ\text{C}$; $t_{ic} = 22^\circ\text{C}$; $t_{ec} = 35^\circ\text{C}$; $a_{ic} = 5^\circ\text{C}$; $x = \pm 15\%$

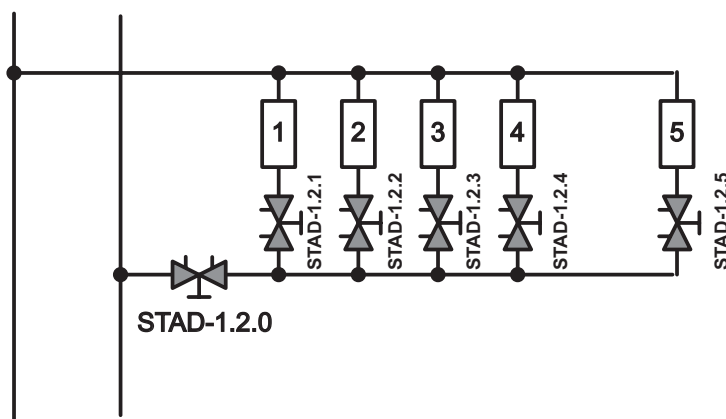
4. Metoda proporcjonalna

Zmiany ciśnienia różnicowego w obiegach wpływają na zmianę przepływów w poszczególnych odbiornikach w takiej samej proporcji. Ta fundamentalna zasada jest podstawą metody proporcjonalnej.

Przedstawiono tu metodę proporcjonalną, której krótki opis poprzedza metodę kompensacyjną z rozdziału 5 i metodę równoważenia TA Balance z rozdziału 6. Więcej informacji na ten temat można znaleźć w podręczniku firmy TA pt. „Total Hydronic Balancing“, wydanie drugie, rozdział 5.4.

Poniżej przedstawia się krok po kroku równoważenie jednego odgałęzienia od pionu.

1. Pomierzyć przepływy we wszystkich odbiornikach w wybranym odgałęzieniu z zaworem równoważącym (STAD-1.2.0) całkowicie otwartym.



Rys.4.1: Równoważenie odbiorników na odgałęzieniu

2. Dla każdego z odbiorników obliczyć współczynnik przepływu $\lambda = \text{przepływ pomierzony} / \text{przepływ obliczeniowy}$. Ustalić odbiornik o najmniejszym współczynniku przepływu. Nazwać ten odbiornik „odbiornikiem wskaźnikowym“. Gdy odbiorniki mają takie same straty ciśnienia przy przepływie obliczeniowym, to odbiornik 5 będzie miał zwykle najmniejszy współczynnik przepływu, ponieważ wystąpi tam najmniejsze ciśnienie różnicowe. Gdy odbiorniki nie mają takich samych strat ciśnienia, dowolny z nich może mieć najmniejszy współczynnik przepływu.
3. Wykorzystać zawór równoważący przed ostatnim odbiornikiem na odgałęzieniu jako zawór odniesienia (STAD.1.2.5 na rysunku 4.1).
4. Tak nastawić zawór odniesienia STAD-1.2.5, aby $\lambda_5 = \lambda_{\min}$. Zablokować zawór STAD-1.2.5 przy wybranej nastawie (wkręcić wewnętrzny trzpień do oporu). Podłączyć przyrząd CBI w celu ciągłego pomiaru przepływów.

4. Metoda proporcjonalna

5. Nastawić zawór STAD-1.2.4 w taki sposób, aby $\lambda_4 = \lambda_5$. Zmieni to nieco współczynnik przepływu λ_5 . Gdy nastawa zaworu STAD-1.2.4 zmieni przepływ na zaworze odniesienia o więcej niż 5%, wówczas zawór STAD-1.2.4 musi zostać ponownie nastawiony, aby λ_4 było równe nowej wartości λ_5 . Należy teraz zablokować nastawę zaworu STAD-1.2.4.
6. Wyregulować przepływy przez wszystkie odbiorniki, podłączone do danego odgałęzienia. Przesuwać się stopniowo w kierunku pompy, ustawiając zawory zgodnie z p. 5. Gdy zawór STAD-1.2.2 zostanie nastawiony, współczynnik przepływu λ_5 zmieni się, a współczynniki λ_3 i λ_4 będą równe λ_5 . Odbiorniki końcowe 3, 4 i 5 zostaną zrównoważone względem siebie. Stanowi to wyjaśnienie dlaczego tylko ostatni odbiornik może być traktowany jako odbiornik odniesienia. Gdy zrównoważone zostaną wszystkie odbiorniki końcowe względem siebie, wówczas możliwe jest takie nastawienie zaworu wspólnego STAD-1.2.0, aby $\lambda_5 = 1$. Wszystkie pozostałe współczynniki przepływu $\lambda_4, \lambda_3, \lambda_2$ i λ_1 powinny być równe 1. Powyższa operacja przeprowadzona jest automatycznie po wykonaniu ostatniego zrównoważenia przepływów w instalacji.
7. Powtarzać tę samą procedurę dla wszystkich odgałęzień na tym samym pionie.

Uwaga: Zamiast regulacji przepływu na zaworze odniesienia (obwód 5), można wykonać tę samą czynność na ostatnim zaworze zrównoważonym. Dla przykładu, po nastawieniu zaworu zrównoważającego w obiegu 2, nowa wartość współczynnika przepływu dla wszystkich zaworów zrównoważających obiegów 3, 4 i 5 jest taka sama, a przepływ może być pomierzony na zaworze zrównoważającym w obiegu 3 zamiast posługiwania się zaworem odniesienia (obieg 5). Może to wpłynąć na zaoszczędzenie czasu pracy osoby przeprowadzającej zrównoważenie, która musi posługiwać się dwoma przyrządami CBI (CBIa i CBIb).

Gdy zrównoważony zostanie obwód regulacyjny nr 3, przyrząd CBIa pozostanie na nim. Pracownik przechodzi do obwodu nr 2 i wykonuje zrównoważenie, posługując się przyrządem pomiarowym CBIb dla skorygowania wielkości przepływu. Wraca następnie do obwodu 3, gdzie wykonuje pomiar nowego przepływu i zabiera przyrząd CBIa. Koryguje wielkość przepływu w obwodzie 2 i bez przenoszenia przyrządu CBIb z tego obwodu przechodzi do obwodu 1 z przyrządem pomiarowym CBIa i następnie czynność tę powtarza.

Należy pamiętać, że zrównoważenie proporcjonalne jest ważne tylko wtedy, gdy współczynniki przepływu pozostaną bliskie jedności (patrz uwagi przedstawione na końcu rozdziału 3.2). Warunek ten jest spełniony tylko w metodzie kompensacyjnej.

5. Metoda kompensacyjna (Metoda TA)

Metoda kompensacyjna jest rozwinięciem metody proporcjonalnej. Posiada ona następujące zalety:

Etapowe przekazywanie elementów instalacji do eksploatacji: można równoważyć instalację stopniowo wraz z jej wykonywaniem, bez potrzeby ponownego równoważenia kompletnej instalacji, gdy zostanie ona oddana do użytku w całości.

Szybkie przekazanie instalacji do użytku: metoda ta skraca w znacznym stopniu czas równoważenia, ponieważ nie zachodzi potrzeba wstępnego pomiaru przepływów przez wszystkie zawory równoważące i obliczania wszystkich współczynników przepływu. Wymagana jest tylko jednorazowa nastawa każdego z zaworów równoważących.

Minimalizacja kosztów pompowania: po zakończeniu procedury równoważenia przepływów, można odczytać przewymiarowanie pompy bezpośrednio na głównym zaworze równoważącym. Można także zredukować wielkość ciśnienia na pompie. Dzięki temu można osiągnąć duże oszczędności energii, szczególnie w układach chłodniczych.

5.1. Rozwinięcie metody proporcjonalnej

Metoda kompensacyjna jest rozwinięciem metody proporcjonalnej w odniesieniu do bardzo ważnego problemu, mającego miejsce w procedurze równoważenia, tj. utrzymania odpowiednich współczynników przepływu w sposób automatyczny, aby były równe w przybliżeniu jedności podczas całej procedury równoważenia przepływów.

Metoda ta daje następujące korzyści:

a) Stopniowe przekazywanie do eksploatacji:

- Instalacja, która podlega równoważeniu, może zostać podzielona na moduły. W praktyce oznacza to, że instalacja może być oddawana do eksploatacji etapowo, po wykonaniu pewnych zamkniętych modułów i nie ma potrzeby ponownego równoważenia całej instalacji po jej kompletnym wykonaniu.

b) Szybkie przekazanie do eksploatacji:

- Nie ma potrzeby pomiaru przepływów we wszystkich gałęziach i pionach. Nie wykonuje się także obliczeń współczynników przepływu dla określenia początkowego punktu procedury równoważenia instalacji.
- Równoważenie można rozpocząć od dowolnego pionu (powinno się jednak wyłączyć piony, które nie są aktualnie równoważone).
- Nie należy przejmować się przyczynami zbyt dużych przepływów przez pompę główną i zbyt małą różnicą ciśnień, która jest niezbędna do wystąpienia takich przepływów wody, które będzie można pomierzyć.
- Wymagana jest tylko jedna regulacja przepływów na każdym zaworze równoważącym.

c) Koszty pompowania mogą być zminimalizowane:

- Metoda kompensacyjna minimalizuje automatycznie straty ciśnienia na zaworach równoważących. Każde przewymiarowanie pompy głównej jest sygnalizowane na głównym zaworze równoważącym. Gdy takie przewymiarowanie ma miejsce, wskazana jest wymiana pompy na mniejszą.
- Nastawę pompy o zmiennej prędkości obrotowej można zoptymalizować.

5.2. Zawór odniesienia i zawór wspólny

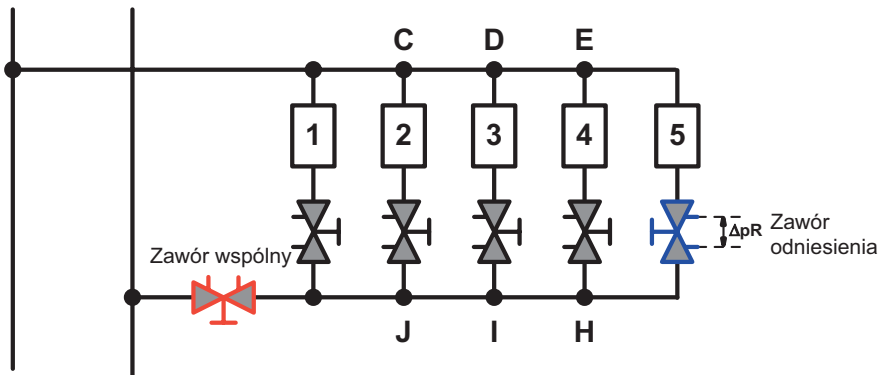
Gdy przepływ jest regulowany zaworem równoważącym, zmieniają się straty ciśnienia na zaworach i w przewodach. Skutkiem tego są zmiany spadku ciśnienia na innych zaworach równoważących. Zmiana przepływu na jednym zaworze równoważącym powoduje zmianę przepływu na zaworach, które zostały już poddane procedurze regulacji. Powoduje to często konieczność równoważenia przepływów na tych samych zaworach kilkakrotnie.

Metoda kompensacyjna eliminuje tę niedogodność. Przepływ przez każdy zawór równoważący jest ustawiany tylko raz. W metodzie tej zakłada się, że możliwy jest pomiar zaburzeń przepływu, które mają miejsce w trakcie regulacji zaworu równoważącego, a także występuje możliwość kompensacji tych zaburzeń.

Zaburzenia wykrywane są na najdalej położonym od pompy zaworze równoważącym, który jest nazywany zaworem odniesienia. Podstawą tego jest pomiar wielkości strat ciśnienia.

Zaburzenie jest wówczas wyrównywane za pomocą zaworu, który ma wpływ na wielkość przepływu w całym odgałęzieniu i jest nazywany zaworem wspólnym. Za pomocą tego zaworu reguluje się wielkość spadku ciśnienia na zaworze odniesienia do jego wielkości początkowej, gdy tylko pojawi się zaburzenie.

Początkiem równoważenia w tej metodzie jest regulacja przepływu do wartości obliczeniowej na zaworze odniesienia, zgodnie ze szczegółową procedurą przedstawioną poniżej. W wyniku tego otrzymamy pewien spadek ciśnienia Δp_R (rys.5.1), który będzie kontrolowany w sposób ciągły. Zawór odniesienia zostaje zablokowany przy tej wielkości nastawy.



Rys.5.1. W czasie procedury równoważenia wybiera się zawór odniesienia zamontowany przy odbiorniku znajdującym się najdalej od pompy. Zawór wspólny określa całkowity przepływ w gałęzi.

Ponieważ poprawna jest już teraz wielkość przepływu, prawidłowe są także spadki ciśnienia na odbiorniku 5, na zaworze równoważącym i na pozostałej armaturze. Poprawna jest także wielkość ciśnienia różnicowego Δp_{EH} , a w związku z tym można przystąpić do równoważenia przepływu na odbiorniku 4.

Gdy wyreguluje się przepływ na odbiorniku 4, spadek ciśnienia Δp_R zmieni się nieznacznie na zaworze odniesienia, którego wielkość nastawy została zablokowana. Wskazuje to na zaburzenia przepływu, które pochodzą od regulacji przepływu na odbiorniku 4.

5. Metoda kompensacyjna

Musimy teraz nastawić spadek ciśnienia Δp_R na jego wartość początkową za pomocą zaworu wspólnego. Innymi słowy - musimy powrócić do przepływu obliczeniowego, kompensując zaburzenie zaworem wspólnym.

Ponieważ przepływy w obiegach 4 i 5 mają teraz wartości przepływów obliczeniowych, ciśnienie różnicowe Δp_{DI} na odbiorniku 3 jest także równe wartości obliczeniowej. Można więc teraz przystąpić do regulacji przepływu przez to odgałęzienie.

Równoważenie przepływu przez odbiornik 3 spowoduje powstanie zaburzeń, które są wykrywane na zaworze odniesienia i kompensowane zaworem wspólnym. Ponowne ustalenie przepływu obliczeniowego w odgałęzieniu odbiornika 5 powoduje automatycznie powrót ciśnienia różnicowego Δp_{EH} i przepływu w odgałęzieniu odbiornika 4 odpowiadającego przepływowi obliczeniowemu.

Procedura ta jest poprawna niezależnie od liczby odbiorników końcowych, podłączonych do danej gałęzi. Regulacja przepływu musi być przeprowadzona przy poruszaniu się w kierunku do pompy, zaczynając procedurę od zaworu odniesienia. Ta sama procedura jest następnie stosowana do równoważenia przepływów przez piony. Ostatnie odgałęzienie pionu (położone najdalej od pompy), jest wykorzystywane jako odgałęzienie odniesienia (porównawcze), a zawór równoważący na pionie staje się zaworem wspólnym

5.3. Nastawa zaworu odniesienia

Przyjąć spadek ciśnienia Δp_R tak mały, jak jest to tylko możliwe, a z drugiej strony dostatecznie duży, aby spełnione były dwa następujące warunki:

- **Minimalny spadek ciśnienia, zapewniający właściwą dokładność pomiaru, powinien wynosić 3 kPa.**

Przyrząd CBI jest urządzeniem wskazującym przepływy dla spadków ciśnienia nie niższych niż 0,5 kPa. Jednak ze względu na możliwe pulsacje ciśnienia w instalacji przy niskim ciśnieniu na zaworze równoważącym, zaleca się, aby $\Delta p_R > 3$ kPa.

Wartość K_v może być obliczona, dla spadku ciśnienia równego co najmniej 3 kPa, za pomocą wzoru:

$$K_v = 5,8 q \text{ [m}^3/\text{h]} \quad \text{lub} \quad K_v = 21 q \text{ [l/s]}$$

Innym, prostszym sposobem, jest ustalenie właściwej nastawy na zaworze odniesienia za pomocą przyrządu CBI.

- **Minimalne straty ciśnienia przy całkowicie otwartym zaworze.**

Jeżeli strata ciśnienia jest większa niż 3 kPa dla przepływu obliczeniowego przy całkowicie otwartym zaworze równoważącym, to oczywiście nie jest możliwe uzyskanie spadku ciśnienia na zaworze równoważącym rzędu 3 kPa. Zachodzi potrzeba spełnienia drugiego warunku w odniesieniu do ciśnienia Δp_R , które powinno być co najmniej równe stratom ciśnienia na całkowicie otwartym zaworze równoważącym dla przepływu obliczeniowego. W tym wypadku zawór równoważący jako zawór odniesienia jest całkowicie otwarty.

Gdy przyjmimy właściwą wartość ciśnienia Δp_R , należy tak ustawić zawór odniesienia, aby otrzymać wartość Δp_R dla przepływu obliczeniowego. Należy stosować przyrząd CBI lub nomogram dla określenia właściwej nastawy na zaworze. Następnie zablokować pokrętkę zaworu.

Aby otrzymać odpowiednią wartość Δp_R , a zatem i przepływ obliczeniowy, należy wyregulować zawór wspólny. Jest to zawsze możliwe do przeprowadzenia, ponieważ pozostałe piony są zamknięte, a straty ciśnienia w przewodzie głównym są niewielkie. Ciśnienie dyspozycyjne jest zatem wyższe niż zwykle. Nadwyżka tego ciśnienia jest odłożona na zaworze wspólnym. Gdy występuje znaczna różnica pomiędzy stratami ciśnienia w obiegach różnych odbiorników, należy zapoznać się z punktem 5.8.

5.4. Niezbędne wyposażenie

Potrzebne są dwa przyrządy CBI do pomiaru spadków ciśnienia i przepływów na zaworach równoważących.

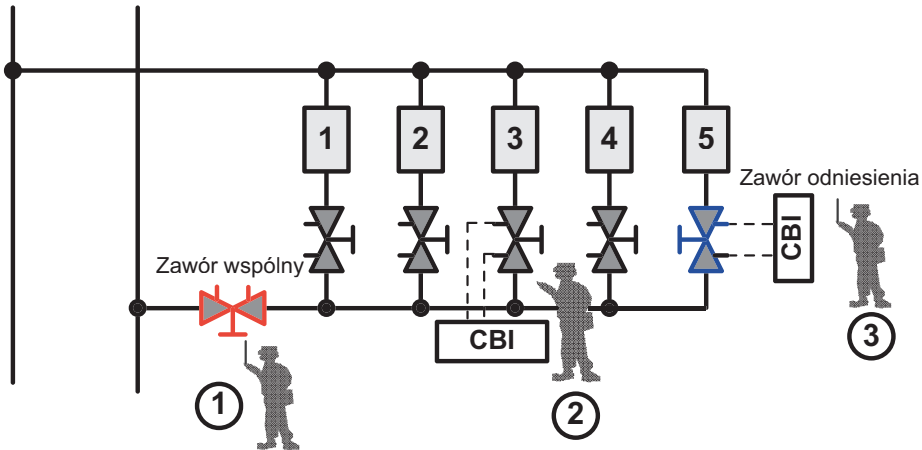


5.5. Równoważenie odbiorników na odgałęzieniu

Wybrać dowolny pion, np. najbliższy położony od pompy. Zapewni to odpowiednie ciśnienie dyspozycyjne dla wybranego pionu. Wybrać dowolne odgałęzienie od pionu. Zwykle nie ma potrzeby zamykania dopływu do innych odgałęzień od pionu. Jedynie w przypadku, gdy niektóre odgałęzienia posiadają obejścia, które mogą tworzyć krótkie obwody, należy ograniczyć przepływy przez te obejścia.

1. Określić nastawę zaworu odniesienia, aby w warunkach przepływu obliczeniowego uzyskać żądaną wartość Δp_R , tj. zwykle 3 kPa. Stosować przyrząd CBI lub nomogram dla określenia prawidłowej wielkości nastawy zaworu.
2. Nastawić zawór odniesienia zgodnie z określoną wielkością nastawy i zablokować go (zakręcić wewnętrzny trzpień do oporu).
3. Podłączyć przetwornik przyrządu CBI do zaworu odniesienia.
4. Pracownik nr 1 reguluje zawór wspólny, aby otrzymać żądaną wartość ciśnienia Δp_R na zaworze odniesienia. Informacja o bieżącej wartości Δp_R jest przekazywana do pracownika nr 1 przez pracownika nr 3 za pomocą np. telefonu komórkowego. Działanie to pozwoli otrzymać przepływ obliczeniowy w odbiorniku 5. Jeżeli nie możemy uzyskać żądanej wartości ciśnienia Δp_R , to przyczyną tego może być to, że nie zrównoważone odbiorniki na danym odgałęzieniu otrzymują zbyt duże przepływy. Należy wówczas zamknąć taką ilość tych odbiorników, aby otrzymać żądaną wartość ciśnienia Δp_R .

5. Metoda kompensacyjna

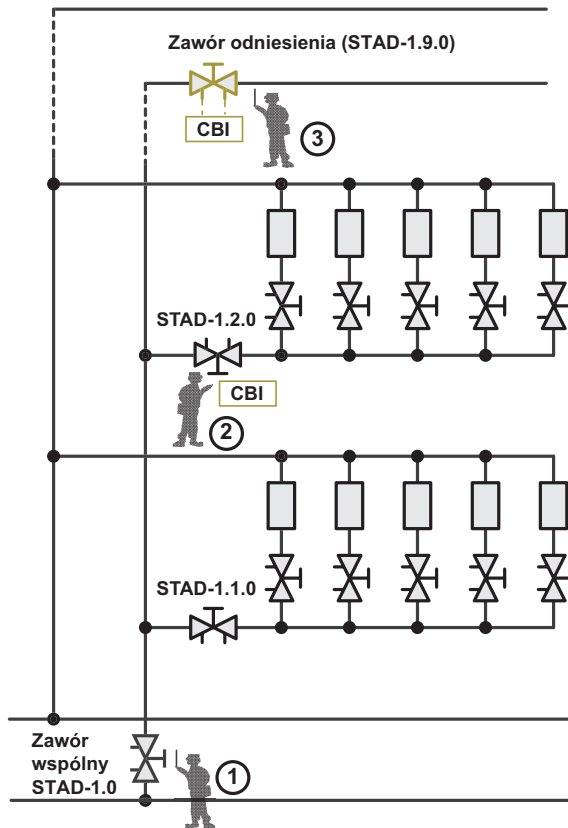


Rys.5.2. Równoważenie odbiorników na odgałęzieniu

5. Pracownik nr 2 nastawia przepływ obliczeniowy w odbiorniku 4, korzystając z funkcji Computer przyrządu CBI. Oblicza wielkość nastawy, przy której otrzymamy przepływ obliczeniowy. W czasie całej procedury równoważenia, pracownik nr 1 przez cały czas reguluje zawór wspólny, aby utrzymać Δp_R , odpowiadającą wartości początkowej.
6. Pracownik nr 2 nastawia przepływy kolejno w każdym z odbiorników, przesuając się w kierunku odbiornika 1, postępując zgodnie z punktem 5. Uzyskamy w ten sposób zrównoważenie wszystkich obiegów przez odbiorniki w danym odgałęzieniu.

Uwaga: Równoważenie może wykonywać także dwóch pracowników z dwoma przyrządami CBI (CBIa i CBIb). W czasie równoważenia obiegu przez odbiornik 3 przy wykorzystaniu przyrządu CBIa, pracownik może sprawdzić zmianę przepływu w obiegu przez odbiornik 4 (CBIb) zamiast przechodzić do obiegu porównawczego (odbiornik 5). Porozumiewa się on z pracownikiem nr 1, aby ustawić odpowiedni przepływ w odbiorniku 4, zabiera przyrząd CBIb, który był podłączony do tego obiegu i ostatecznie nastawia przepływ w obiegu przez odbiornik 3. Pozostawia przyrząd CBIa podłączony do obiegu przez odbiornik 3 i przechodzi z przyrządem CBIb do obiegu przez odbiornik 2, wykonując te samą procedurę i sprawdzając wielkość przepływu przez obieg z odbiornikiem 3. Procedurę powtarza się w odniesieniu do wszystkich zaworów.

5.6. Równoważenie odgałęzień przy pionach



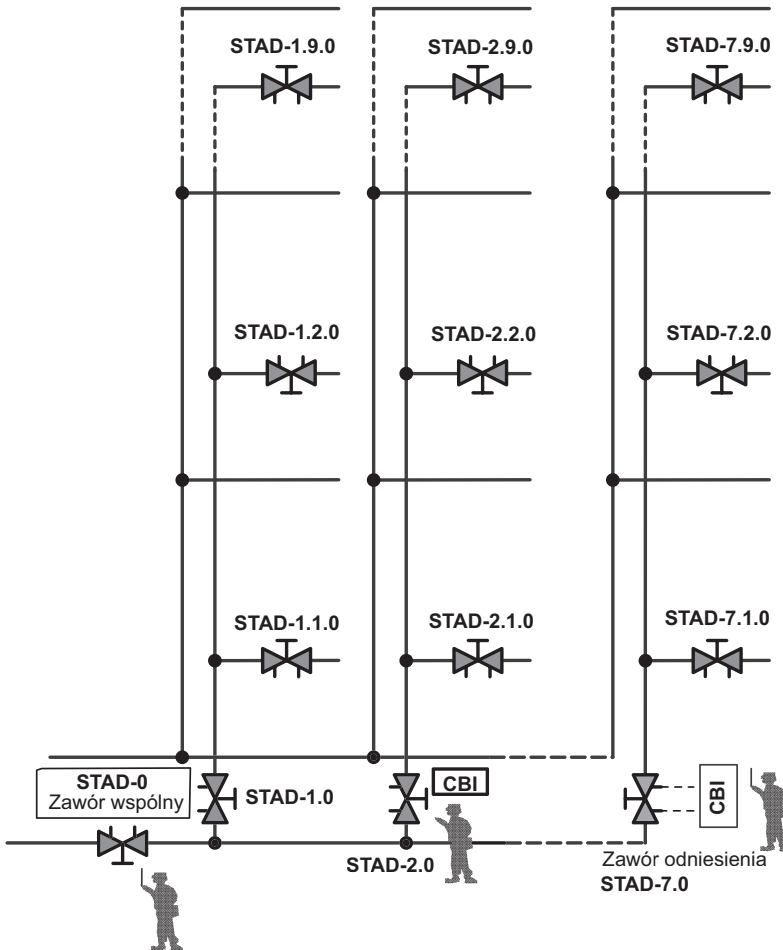
Rys.5.3. Równoważenie odgałęzień przy pionach

1. Określić wartość nastawy zaworu odniesienia STAD-1.9.0, która daje przepływ obliczeniowy dla wymaganej wartości Δp_R , tj. zwykle 3 kPa. Stosować przyrząd CBI lub nomogram w celu określenia właściwej nastawy.
2. Nastawić określoną wartość nastawy na zaworze odniesienia i zablokować zawór (zakręcić wewnętrzny trzpień do oporu).
3. Podłączyć przetwornik CBI do zaworu odniesienia.
4. Pracownik nr 1 reguluje nastawę zaworu wspólnego tak, aby uzyskać straty ciśnienia Δp_R na zaworze odniesienia. Daje to w konsekwencji przepływ obliczeniowy w odgałęzieniu odniesienia. Jeżeli nie możemy uzyskaćżądanego spadku ciśnienia Δp_R , to przyczyną tego mogą być nie zrównoważone odgałęzienia od pionu, które otrzymują zbyt duże przepływy. W takim wypadku należy zamknąć tyle odgałęzień, ile jest wymagane dla otrzymaniażądanego spadku ciśnienia Δp_R .

5. Metoda kompensacyjna

- Pracownik nr 2 ustawia przepływ obliczeniowy w odgałęzieniu 1.2.0, korzystając z funkcji Computer przyrządu CBI. Oblicza wielkość, przy której otrzymamy przepływ obliczeniowy. W czasie całej tej procedury, pracownik nr 1 ustawia przez cały czas zawór wspólny, aby otrzymać przepływ obliczeniowy, odpowiadający jego wartości początkowej.
- Pracownik nr 2 równoważy przepływy w każdej gałęzi, postępując w kierunku odgałęzienia 1.1.0, zgodnie z procedurą równoważenia przedstawioną w punkcie 5. Są teraz równoważone wszystkie odgałęzienia od pionu, niezależnie od dyspozycyjnego ciśnienia różnicowego na pionie.

5.7. Równoważenie pionów od głównego przewodu rozdzielczego



Rys.5.4. Równoważenie pionów

5. Metoda kompensacyjna

Procedura równoważenia jest dokładnie taka sama jak w przypadku równoważenia odgałęzień od pionów. Zaworem odniesienia jest teraz zawór STAD-7.0, a zaworem wspólnym - zawór STAD-0.

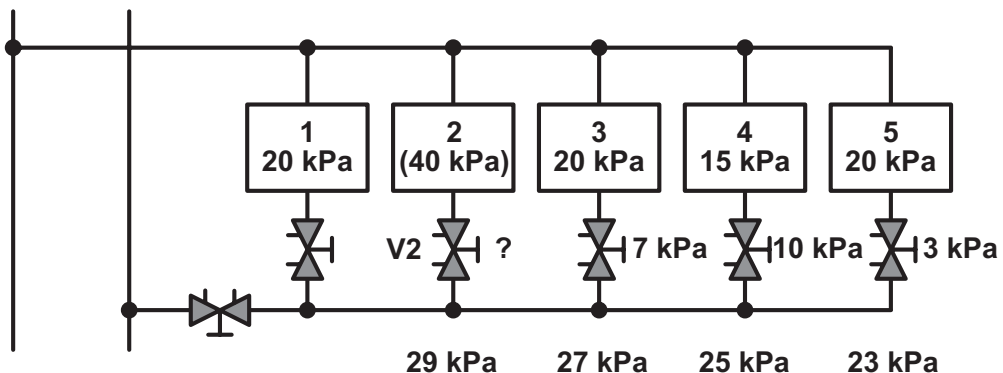
Gdy zakończymy równoważenie przepływów w pionach 7.0, 6.0, 5.0, itd., oznacza to, że zrównoważyliśmy całą instalację i uzyskaliśmy przepływy obliczeniowe, a powstałe na zaworze STAD-0 straty ciśnienia określają stopień przewymiarowania pompy. Gdy nadwyżka ciśnienia jest zbyt duża, właściwym rozwiązaniem może być wymiana pompy na mniejszą.

Gdy stosujemy pompy o zmiennej prędkości obrotowej, nie jest wówczas potrzebny zawór STAD-0. Maksymalna prędkość jest tak dobierana, aby otrzymać odpowiednie przepływy obliczeniowe przez zawór wspólny, zamontowany na jednym z pionów. Wszystkie pozostałe przepływy będą automatycznie odpowiadały wartościom obliczeniowym.

5.8. Nastawa zaworu odniesienia gdy straty ciśnienia na odbiornikach różnią się znacznie między sobą

Jeżeli spadki ciśnienia na poszczególnych odbiornikach znacznie się różnią między sobą, utrzymanie ciśnienia Δp_R na zaworze odniesienia na poziomie 3 kPa może nie być wystarczające, aby uzyskać odpowiednią różnicę ciśnień przed pozostałymi odbiornikami końcowymi. Problem ten jest rozwiązany w metodzie proporcjonalnej przez stosowanie tego samego współczynnika przepływu dla zaworu odniesienia, jaki ustalono na drodze pomiarów w tzw. obiegu wskaźnikowym. Jednak w metodzie proporcjonalnej często przeszacowuje się wartość Δp_R i wówczas proces równoważenia nie jest optymalny (zbyt duże straty ciśnienia na zaworach równoważących). Sposób uzyskania właściwej wartości ciśnienia Δp_R został przedstawiony poniżej.

Odgałęzienie przedstawione na rys. 5.6 posiada odbiorniki końcowe o różnych stratach ciśnienia.



Rys.5.6. Gdy przyjmiemy spadek ciśnienia rzędu 3 kPa dla zaworu odniesienia, to różnica ciśnień (ciśnienie dyspozycyjne) może być zbyt mała dla obiegu wskaźnikowego, którym jest w przykładzie jak na rysunku - odbiornik 2.

5. Metoda kompensacyjna

Przyjmijmy wartość Δp_R w oparciu o zalecenia podane w punkcie 5.3, tj. w wysokości 3 kPa. Tę wartość wstępną oznaczamy jako Δp_{Ro} . Procedurę równoważenia prowadzimy następnie zgodnie z metodą kompensacyjną.

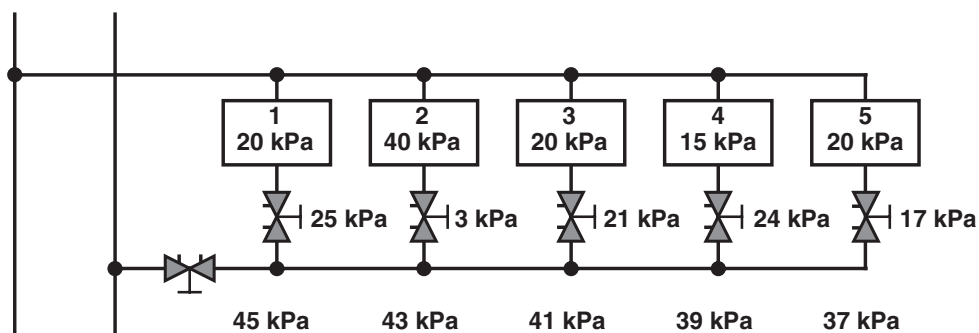
Gdy dojdziemy do „obiegu wskaźnikowego“ należy zauważyć, że nie jest możliwe uzyskanie przepływu obliczeniowego, ponieważ ciśnienie różnicowe wynosi tylko 29 kPa, a potrzebne jest ciśnienie wyższe od 40 kPa, aby otrzymać przepływ obliczeniowy. Procedura równoważenia jest następująca:

1. Zamknąć zawór równoważący (V2) w obiegu wskaźnikowym i ustawić poprawny przepływ w obiegu odniesienia za pomocą zaworu wspólnego. Pomierzyć ciśnienie różnicowe na zaworze V2. Oznaczyć to ciśnienie jako Δp_o .
2. Nastawić zawór V2 tak, aby spadek ciśnienia wyniósł w przybliżeniu 3 kPa dla przepływu obliczeniowego.
3. Otworzyć zawór wspólny w celu uzyskania przepływu obliczeniowego w obwodzie wskaźnikowym.
4. Pomierzyć wielkość przepływu w obwodzie odniesienia. Obliczyć wskaźnik przepływu $\lambda = \text{przepływ pomierzony} / \text{przepływ projektowy}$.
5. Na zaworze odniesienia należy ustawić nową wartość ciśnienia Δp_R , którą obliczamy ze wzoru:

$$\text{Nowe } \Delta p_R = \Delta p_{Ro} + \Delta p_o \cdot (\lambda^2 - 1)$$

6. Nastawić zawór odniesienia tak, aby otrzymać przepływ obliczeniowy dla tego spadku ciśnienia i następnie ponownie zrównoważyć całe odgańlenie.

Wyniki tego postępowania przedstawiono na rys. 5.7.



Rys.5.7. Ciśnienia różnicowe (ciśnienia dyspozycyjne) w poszczególnych obiegach i straty ciśnienia na zaworach równoważących i odbiornikach końcowych.

6. Metoda równoważenia TA Balance

Metoda równoważenia TA Balance polega na wykorzystaniu programu komputerowego, który został zainstalowany do przyrządu pomiarowego CBI. Posiada ona te same trzy podstawowe cechy metody kompensacyjnej plus dodatkowo daje możliwość równoważenia hydraulicznego instalacji przez jednego pracownika, który posługuje się jednym przyrządem CBI przy równoważeniu całego systemu:

Zalety metody TA są następujące:

Stopniowe przekazywanie do eksploatacji:

- Instalacja, która podlega równoważeniu, może zostać podzielona na moduły. W praktyce oznacza to, że instalacja może być oddawana do eksploatacji etapowo, po wykonaniu pewnych zamkniętych modułów i nie ma potrzeby ponownego równoważenia całej instalacji po jej kompletnym wykonaniu.

Szybkie przekazanie do eksploatacji:

- Nie ma potrzeby pomiaru przepływów we wszystkich gałęziach i pionach. Nie wykonuje się także obliczeń współczynników przepływu dla określenia początkowego punktu procedury równoważenia instalacji. Wymagane jest tylko jednorazowe ustawienie przepływu na każdym zaworze równoważącym.

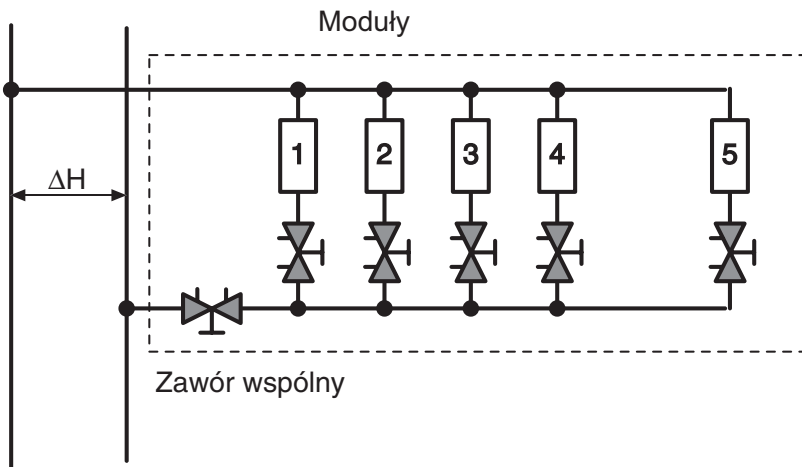
Koszty pompowania mogą być zminimalizowane:

- Po zakończeniu procedury równoważenia można odczytać przewymiarowanie pompy na głównym zaworze równoważącym. Można wówczas zredukować w odpowiedni sposób ciśnienie na pompie. Bardzo często możemy uzyskać duże oszczędności energii w instalacjach klimatyzacyjnych.

Jeden pracownik i jeden przyrząd:

- Po przeprowadzeniu pomiarów wartości ciśnień i przepływów, oblicza się za pomocą odpowiedniego programu komputerowego, zainstalowanego w przyrządzie CBI, właściwe nastawy na zaworach równoważących w celu otrzymania wymaganych przepływów obliczeniowych (projektowych).

W programie komputerowym zakłada się, że instalacja została podzielona na moduły. Przypomina się tutaj, że moduł może zawierać kilka obiegów podłączonych do tego samego przewodu zasilającego i powrotnego. Każdy z obiegów wchodzących w skład modułu ma własny zawór równoważący, a moduł posiada dodatkowy zawór równoważący, który nazywany jest zaworem wspólnym.



Rys.6.1: Moduł hydrauliczny tworzy kilka obiegów podłączonych do tego samego przewodu zasilającego i powrotnego.

6.1. Przygotowanie do procedury równoważenia

W czasie pomiarów ciśnienie różnicowe ΔH na wejściu do modułu powinno być stałe. Wartość ciśnienia ΔH nie ma większego znaczenia dopóki nie wystąpi ciśnienie, które jest niewystarczające dla uzyskania poprawnych pomiarów. Z tego powodu piony i moduły, które nie zostały jeszcze zrównoważone, a które mogą powodować występowanie nadprzepływów, powinny być odcięte za pomocą zaworów. Aby być pewnym, że spadki ciśnienia na zaworach równoważących będą wystarczające dla uzyskania poprawnych pomiarów, należy ustawić zawór równoważący na 50% otwarcia (dla zaworu STAD - 2 obroty), ewentualnie zgodnie z wykonanymi wcześniej obliczeniami. Zawór wspólny dla całego modułu, który będzie równoważony, musi być otwarty całkowicie w czasie procedury równoważenia.

Metoda równoważenia TA wymaga, aby zawory zostały ponumerowane zgodnie z rys.6.1. Pierwszy zawór za zaworem wspólnym musi otrzymać numer 1, a następnie kolejne zawory będą otrzymywać kolejne numery, jak to pokazano na rys.6.1. Zawór wspólny nie jest oznaczony numerem.

6.2. Procedura równoważenia

Należy wykonywać pomiary na jednym module w danym czasie.

Przyrząd pomiarowy CBI pokazuje na wyświetlaczu każdy krok procedury równoważenia. Dla każdego zaworu w danym module, w dowolnej kolejności, musi być zastosowana następująca procedura:

1. Wprowadzić kolejny numer zaworu, jego rodzaj, średnicę i bieżące położenie nastawy (np. 1, STAD, DN 20, nastawa 2).
2. Wprowadzić wymaganą wielkość przepływu.
3. Pomiar przepływu jest wówczas przeprowadzany automatycznie.
4. Zamknąć zawór całkowicie.
5. Przeprowadzony zostanie automatycznie pomiar ciśnienia różnicowego.
6. Ponownie otworzyć zawór do jego początkowego otwarcia.
7. Gdy pomierzone zostaną wszystkie zawory równoważące w danym module, przyrząd CBI wymaga pomiarów ciśnienia Δp na zaworze wspólnym przy całkowitym jego zamknięciu.

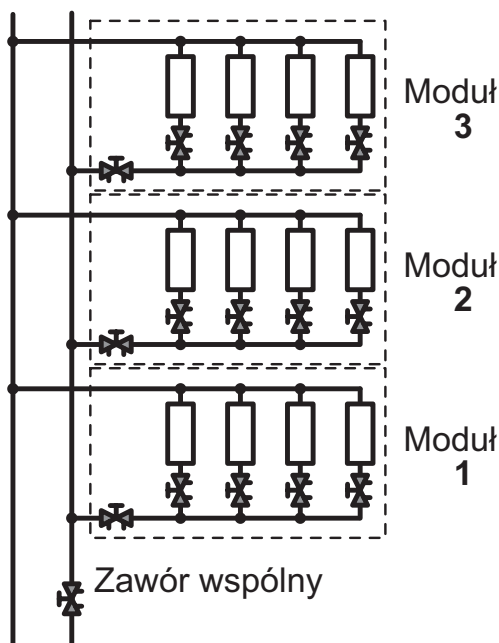
Po wykonaniu wszystkich kroków powyższej procedury równoważenia, przyrząd CBI oblicza właściwe nastawy zaworów równoważących w module. Należy ustawić nastawy tych zaworów zgodnie z obliczeniami.

Przyrząd CBI ustala obwód wskaźnikowy (jest to obieg przez odbiornik wymagający największego ciśnienia różnicowego) i podaje minimalną wartość ciśnienia różnicowego, która powinna wystąpić na zaworze równoważącym wskaźnikowym, co jest niezbędnym warunkiem dla wykonania prawidłowego pomiaru przepływu. Wartość tego ciśnienia wynosi zwykle 3 kPa, ale może być ona zmieniona, jeżeli zachodzi taka potrzeba. Nastawy pozostałych zaworów równoważących są obliczane automatycznie, aby otrzymać zrównoważenie każdego z elementów danego modułu. Nastawy te nie zależą od bieżącej wielkości ciśnienia różnicowego ΔH , które występuje w module.

Po wykonaniu tych czynności nie uzyskamy jeszcze wymaganych przepływów obliczeniowych. Będzie to miało miejsce dopiero wtedy, gdy na zaworze wspólnym zostanie ustawiona właściwa wielkość przepływu. Czynności związane z tym wystąpią w dalszej części procedury równoważenia.

6.3. Wzajemne równoważenie modułów na pionach

Po zrównoważeniu każdego z modułów, podłączonych do tego samego pionu, poszczególne moduły muszą być równoważone wzajemnie między sobą. Każdy moduł jest teraz analizowany jako obwód dla którego zawór równoważający jest zaworem wspólnym w tym module. Procedura równoważenia metodą TA zawiera obliczenia nastaw zaworów wspólnych w modułach 1,2 i 3, które obejmują odbiorniki podłączone do danego pionu.

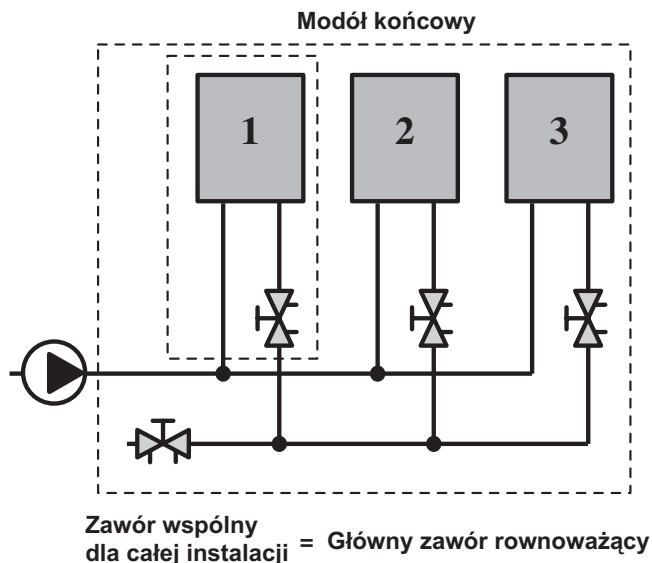


Rys.6.2. Przykład modułu z pionem centralnego ogrzewania zawierającego moduły 1,2, i 3 z odbiornikami przyłączonymi do wspólnego pionu

Moduł z pionem centralnego ogrzewania powinien być zrównoważony po zrównoważeniu poszczególnych modułów z odbiornikami przyłączonymi do wspólnego pionu. Sposób przeprowadzenia procedury równoważenia tego pionu jest podobny jak modułów wchodzących w skład modułu podstawowego.

6.4. Wzajemne równoważenie pionów

Gdy wszystkie piony będą równoważone indywidualnie, muszą one tworzyć moduł. Zawór wspólny tego modułu jest wówczas głównym zaworem równoważającym, który jest związany z pompą obiegową, zainstalowaną na przewodzie rozdzielczym.



Rys.6.3. Wszystkie piony c.o. tworzą moduł końcowy

W tym nowym module, przewody pionowe są równoważone wzajemnie między sobą, przy wykorzystaniu tej samej procedury równoważenia.

Ostatecznie, regulacja całego przepływu jest wykonywana za pomocą głównego zaworu równoważającego. Po zakończeniu tej procedury, wszystkie obwody regulacyjne w całej instalacji powinny posiadać wymagane przepływy obliczeniowe (projektowe). W celu zweryfikowania tej procedury, należy wykonać pomiary przepływów na wybranych zaworach równoważających.

Wydruk z komputera dostarczy nam listę z wykazem nastaw i innych danych, jeżeli tylko dane te zostały zapisane w przyrządzie pomiarowym CBI.

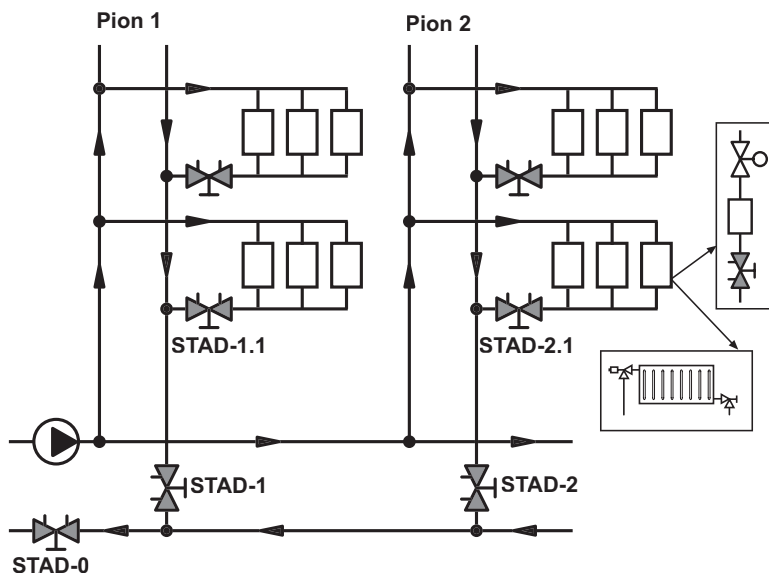
Wszystkie nadwyżki ciśnień są odkładane na głównym zaworze równoważającym. Jeżeli nadwyżki te są zbyt wysokie, to można zredukować prędkość obrotową pompy (pompa o zmiennej prędkości obrotowej). Przy pompie o stałej prędkości obrotowej można wymienić wirnik, co doprowadzi do zmniejszenia wysokości ciśnienia na pompie, a tym samym do obniżenia kosztów pompowania. W pewnych przypadkach stopień przewymiarowania pompy jest tak duży, że powinno się wymienić pompę na mniejszą.

Jeżeli w obiegu jest zamontowana pompa o zmiennej prędkości obrotowej, to nie ma potrzeby instalowania głównego zaworu równoważającego w danej instalacji. Przeprowadza się wówczas regulację maksymalnej prędkości obrotowej pompy, aby otrzymać przepływ obliczeniowy przez zawór wspólny jednego z pionów. Wszystkie pozostałe przepływy zostaną automatycznie wyregulowane tak, aby przepływy przez te zawory odpowiadały przepływom obliczeniowym.

Uwagi:

1. W czasie pomiarów wykonywanych na jednym module, należy unikać wpływu zaburzeń zewnętrznych (np. przez odcięcie pozostałych pionów). Zaburzenia takie mogą powodować występowanie pewnych błędów w modelu matematycznym, który został opracowany przez firmę TA dla przyrządu pomiarowego CBI. W końcowym efekcie możemy otrzymać odchyłki od wymaganych przepływów, które odpowiadają obliczonym nastawom.
2. W czasie pomiarów ciśnienia różnicowego na całkowicie zamkniętym zaworze równoważącym, należy pamiętać, że istnieje mechaniczne zabezpieczenie przyrządu CBI, które automatycznie zabezpiecza przyrząd, gdy różnica ciśnień jest wyższa od 200 kPa.
3. Metoda równoważenia TA Balance jest najszybszą metodą równoważenia przepływów, ponieważ do równoważenia potrzebny jest tylko jeden pracownik, stosujący dość prostą procedurę równoważenia. Jednak w porównaniu do metody kompensacyjnej, pracownik ten musi więcej razy odwiedzać każdy z zaworów równoważących w celu wykonania poprawnych pomiarów. W konsekwencji tego, jeżeli jest bardzo trudny dostęp do zaworów równoważących, to metoda kompensacyjna może się okazać metodą bardziej ekonomiczną.

7.1. Układy o zmiennych przepływach z zaworami równoważącymi



Rys.7.1. Ogólny przykład układu rozdzielczego

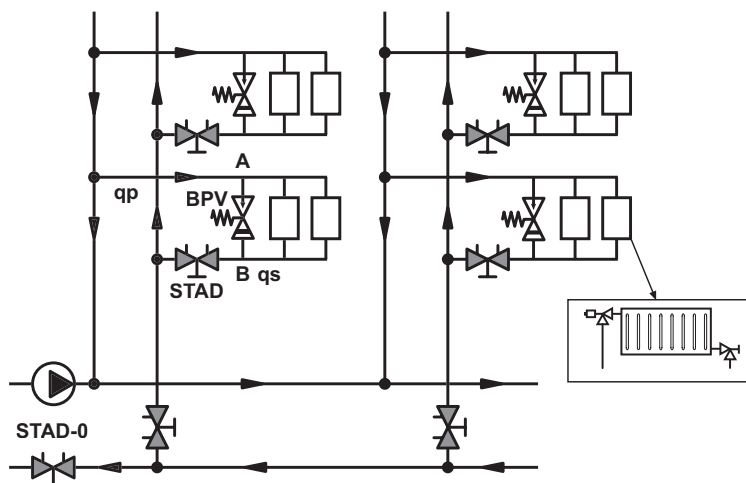
Układ został podzielony na dwa moduły:

Zawór STAD-1.1 jest zaworem wspólnym dla pierwszego odgałęzienia przy pierwszym pionie. Zawór STAD-1 jest zaworem wspólnym dla całego modułu z pionem pierwszym, a zawór STAD-0 jest głównym zaworem wspólnym.

Gdy odbiornikami końcowymi są grzejniki, ustawia się nastawy wstępne na zaworach termostacyjnych w taki sposób, aby spadek ciśnienia na zaworze w wysokości 10 kPa odpowiadał przepływowi obliczeniowemu. Hydrauliczne równoważenie instalacji przeprowadza się zwykle przed zamontowaniem głowic na zaworach termostacyjnych.

Aby zrównoważyć układ pokazany na rys.7.1, zaleca się zastosowanie metody kompensacyjnej (rozdział 5) lub metody równoważenia TA Balance (rozdział 6). Główny zawór równoważący STAD-0 pokazuje stopień przewymiarowania pompy i należy zdecydować co do sposobu ograniczenia przez nią przepływu. Jeżeli zainstalowana została pompa o zmiennej prędkości obrotowej, to nie jest wymagana obecność głównego zaworu równoważającego STAD-0. W takim przypadku należy tak wyregulować prędkość obrotową pompy, aby otrzymać przepływ obliczeniowy na zaworze równoważającym jednego z pionów.

7.2. Układ z zaworem nadmiarowo-upustowym BPV i zaworami równoważącymi



Rys.7.2. Na każdym odgałęzieniu znajduje się zawór nadmiarowo-upustowy, który utrzymuje stałą różnicę ciśnień pomiędzy punktami A i B.

Taki układ jest stosowany przede wszystkim w instalacjach centralnego ogrzewania, z odbiornikami końcowymi w postaci grzejników.

Na każdym odgałęzieniu, zaopatrującym w ciepło kilka grzejników lub innych odbiorników ciepła, zamontowane zostały zawory równoważące, które współdziałają z zaworami nadmiarowo-upustowymi BPV.

Jeżeli zamknięty zostanie zawór regulacyjny przed odbiornikami, ciśnienie różnicowe AB ma wówczas tendencję wzrostową. Jeżeli wartość tego ciśnienia przekroczy wielkość nastawy zaworu BPV, to zawór ten znacznie się otwiera. Wzrastająca wielkość przepływu przez zawór nadmiarowo-upustowy BPV spowoduje odpowiedni spadek ciśnienia na zaworze równoważącym STAD, który utrzymuje w przybliżeniu stałą wartość ciśnienia różnicowego pomiędzy punktami A i B. Gdyby nie było zaworu równoważącego, zawór BPV otwarty lub zamknięty, byłby poddawany bezpośredniemu działaniu różnicy ciśnień, która występuje pomiędzy pionem zasilającym i powrotnym. Zawór BPV nie może sam stabilizować ciśnienia po stronie pierwotnej, a w związku z tym musi on współpracować z zaworem równoważącym.

Zawory grzejnikowe są nastawiane wstępnie na spadek ciśnienia rzędu 10 kPa, któremu powinny odpowiadać przepływy obliczeniowe. Równoważenie instalacji przeprowadza się podobnie jak to miało miejsce dla schematu z rys. 7.1 przy całkowicie zamkniętych zaworach nadmiarowo-upustowych typu BPV. Gdy cała instalacja zostanie zrównoważona, dobiera się nastawę na zaworach BPV wynoszącą 15 kPa, co wynika ze spadku ciśnienia na zaworach termostatycznych w wysokości 10 kPa plus 5 kPa. Należy tu podkreślić, że istnieją różne metody równoważenia układów z zaworami BPV, ale metoda przedstawiona tutaj jest metodą najprostsza.

7. Przykłady różnych układów

Przykład:

Cisnienie dyspozycyjne po stronie pierwotnej wynosi 40 kPa. W czasie procedury równoważenia wywołano spadek ciśnienia na zaworze równoważącym zamontowanym na odgałęzieniu w wysokości 27 kPa, aby otrzymać poprawną wielkość przepływu przez odgałęzienie w wysokości 600 l/h. Oznacza to, że różnica ciśnień pomiędzy punktami A i B dla warunków obliczeniowych (projektowych) wynosi teraz $40 - 27 = 13$ kPa. Termostatyczne zawory grzejnikowe zostały nastawione na ciśnienie różnicowe w wysokości 10 kPa. Aby jednak otrzymać prawidłowe wielkości przepływów w całym układzie, taka wielkość ciśnienia rzędu 10 kPa powinna znajdować się w połowie odgałęzienia, a na początku tego odgałęzienia wielkość ta powinna wynosić około 13 kPa.

Rozpatrzmy teraz taką sytuację, przy której niektóre zawory termostatyczne są zamknięte, co powoduje wzrost przepływów q_s po stronie wtórnej. Poniższa tablica pokazuje zmieniające się wartości przepływów i ciśnień różnicowych

Przepływy po stronie wtórnej q_s	Przepływy Przez zawór BPV	Δp_{AB}	Przepływy po stronie pierwotnej q_p
600	0	13,0	600
576	1	15,0	577
562	14	15,1	576
400	162	16,5	562
100	430	18,9	530
0	525	20,6	525

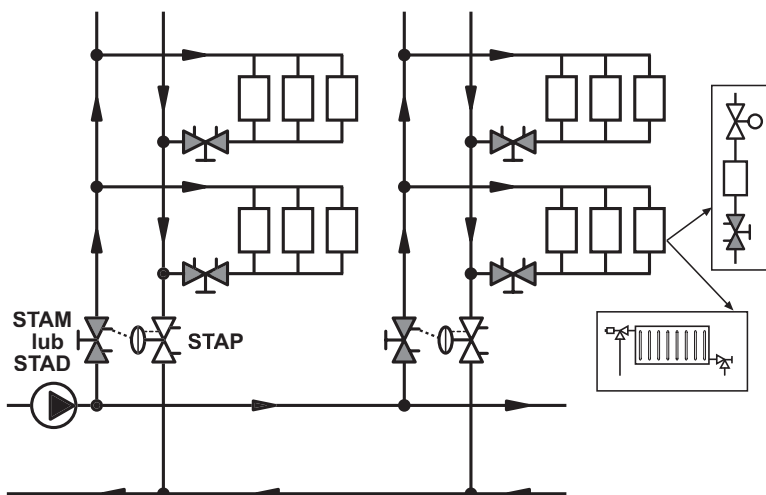
Tablica 7.1. Gdy zawory termostatyczne zamykają się, zawór BPV otwiera się stopniowo.

Gdy przepływ po stronie pierwotnej zmniejszy się tylko z 600 l/h do 525 l/h, to ciśnienie różnicowe w wysokości 40 kPa pozostanie praktycznie nie zmienione.

Zawór nadmiarowo-upustowy BPV zaczyna się otwierać, gdy ciśnienie Δp_{AB} osiągnie nastawioną wartość 15 kPa. Gdy wszystkie zawory termostatyczne są zamknięte, ciśnienie różnicowe Δp_{AB} wyniesie 20,6 kPa i ciśnienie to przekroczyłoby wartość 40 kPa, gdyby nie było zainstalowanego zaworu BPV.

Główny zawór równoważący STAD-0 pokazuje stopień przewymiarowania pompy i w związku z tym należy doprowadzić do zrównoważenia przepływów przez przewymiarowaną pompę. Jeżeli zainstalowana została pompa o zmiennej prędkości obrotowej, to nie jest wymagana obecność głównego zaworu równoważącego STAD-0. W takim wypadku należy tak wyregulować prędkość obrotową pompy, aby otrzymać przepływ obliczeniowy na zaworze równoważącym jednego z pionów.

7.3. Układ z zaworami STAP na każdym pionie



Rys. 7.3. Zawór regulacyjny STAP stabilizuje ciśnienie różnicowe w każdym z pionów.

W dużych instalacjach, wysokość ciśnienia na pompie może być zbyt wysoka lub może wahać się, co będzie niebezpieczne dla odbiorników końcowych. W takim wypadku ciśnienie różnicowe jest stabilizowane do odpowiedniej wartości na początku każdego z pionów za pomocą regulatora różnicy ciśnień typu STAP.

Każdy pion jest modulem, który może być rozpatrywany niezależnie od pozostałych pionów w czasie procedury równoważenia. Zanim zaczniemy równoważyć dowolny z pionów, zawór STAP powinien być całkowicie otwarty i nie należy wykonywać żadnych manewrów tym zaworem, aby można było otrzymać żądane przepływy wody w czasie procedury równoważenia. Najwłaściwszym sposobem wykonania tego jest zamknięcie kurka odwadniającego na zaworze STAM lub STAD na przewodzie zasilającym i odciążenie górnej części membrany (podłączyć końcówkę przyrządu CBI do górnej części zaworu STAP).

Gdy odbiornikami końcowymi energii są grzejniki, wykonuje się nastawę zaworów termostatycznych tak, aby otrzymać przepływy obliczeniowe dla ciśnienia różnicowego równego 10 kPa.

Gdy każdy z odbiorników końcowych wyposażony jest w zawór równoważący, to równoważy się poszczególne obiegi na danym odgałęzieniu wzajemnie względem siebie zanim przejdzie się do równoważenia poszczególnych odgałęzień za pomocą metody kompensacyjnej lub metody równoważenia TA Balance.

Po zrównoważeniu przepływów przez piony, wykonujemy odpowiednią nastawę zaworu STAP, aby otrzymać przepływ obliczeniowy, który może zostać pomierzony za pomocą zaworu STAM (STAD), zamontowanego na początku pionu. Piony nie są równoważone wzajemnie względem siebie.

Uwaga:

Niektórzy projektanci dają zawory nadmiarowo-upustowe (BPV) na końcu każdego z pionów, aby otrzymać przepływ minimalny, gdy zamknięte są wszystkie zawory regulacyjne. Inną metodą jest zaopatrzenie niektórych odbiorników końcowych w zawory trójdrogowe zamiast stosowania zaworów regulacyjnych dwudrogowych. Otrzymane w ten sposób przepływy minimalne mają następujące zalety:

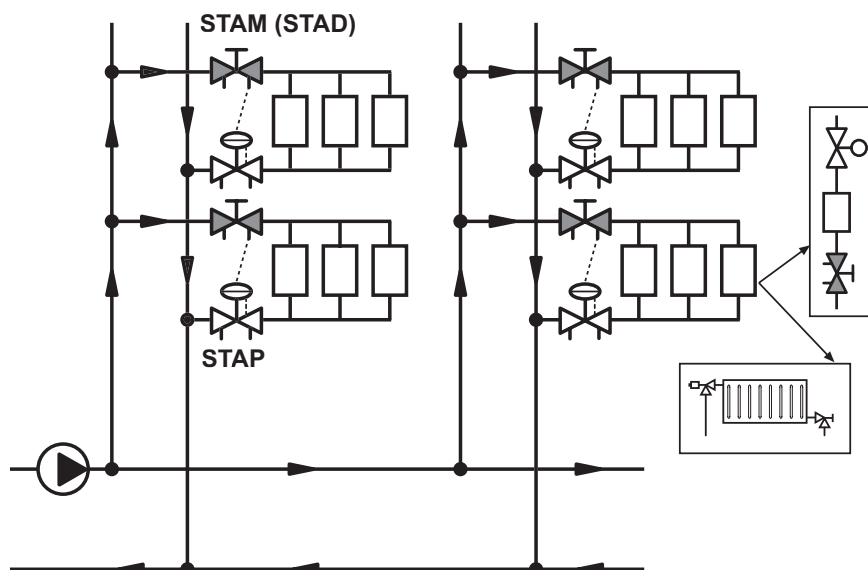
7. Przykłady różnych układów

1. Przepływ wody przez pompę nie spada poniżej wartości minimalnej.
2. Gdy przepływ wody jest zbyt mały, mają miejsce większe spadki temperatury ΔT w przewodach c.o. i nie możemy wówczas uzyskać właściwej temperatury obliczeniowej w odbiornikach, która jest zbyt niska w przypadku instalacji centralnego ogrzewania i zbyt wysoka w przypadku klimatyzacji. Zapewnienie minimalnego przepływu w danym obiegu redukuje ten niekorzystny wpływ.
3. Gdy zostaną zamknięte wszystkie zawory regulacyjne, wówczas zawór różnicy ciśnień typu STAP także się zamknie. We wszystkich przewodach powrotnych, podłączonych do danego pionu, następuje zmniejszenie ciśnienia statycznego z powodu obniżenia temperatury wody w obiegu zamkniętym. Ciśnienie różnicowe na zaworach regulacyjnych będzie tak wysokie, że zawór regulacyjny, który otworzy się jako pierwszy będzie głośno pracował. Minimalny przepływ pozwala uniknąć takich problemów.

Nastawa zaworu BPV powinna być przeprowadzona zgodnie z poniższą procedurą:

- W czasie wykorzystywania w procedurze równoważenia zaworu STAP, wszystkie odgałęzienia od pionu powinny być zamknięte.
- Ustawić taką nastawę zaworu STAM (STAD), aby otrzymać minimalny spadek ciśnienia równy 3 kPa przy przepływie równym 25% przepływu obliczeniowego.
- Ustawić taką nastawę zaworu BPV, aby otrzymać 25% przepływu obliczeniowego przez pion, który zostanie pomierzony za pomocą zaworu STAM (STAD).
- Zawór STAM (STAD) powinien być ponownie całkowicie otwarty, a wszystkie odgałęzienia będą pracować w normalnych warunkach.

7.4. Układ z zaworami STAP na każdym odgałęzieniu



Rys.7.4a. Zawór regulacyjny STAP stabilizuje ciśnienie różnicowe w każdym odgałęzieniu.

7. Przykłady różnych układów

Stabilizacja ciśnienia różnicowego w każdym odgałęzieniu pozwala uzyskać przed każdym z odbiorników końcowych odpowiednie ciśnienie dyspozycyjne. Każde z odgałęzień jest równoważone niezależnie od drugiego.

Gdy odbiornikami końcowymi są grzejniki, wówczas wykonuje się nastawy zaworów termostatycznych na ciśnienie różnicowe rzędu 10 kPa, odpowiadające przepływowi obliczeniowemu.

Gdy każdy z odbiorników końcowych posiada swój własny zawór równoważący, to odbiorniki te należy równoważyć wzajemnie względem siebie, wykorzystując w tym celu metodę kompensacyjną lub metodę równoważenia TA Balance.

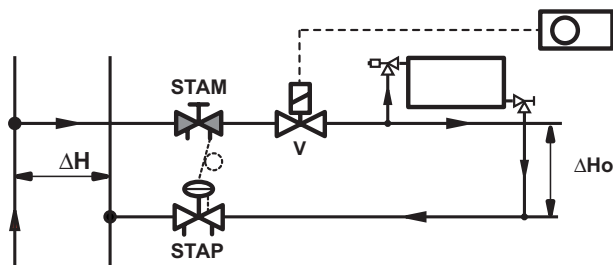
Gdy równoważone jest odgałęzienie, należy wówczas tak ustawić nastawę zaworu STAP, aby otrzymać przepływ obliczeniowy, który może zostać pomierzony za pomocą zaworu STAM (STAD), zamontowanego na gałęzi zasilającej.

Niektórzy projektanci proponują montaż na końcu każdego z odgałęzień zaworów nadmiarowo-upustowych (BPV), aby zachować minimalny przepływ, gdy wszystkie zawory regulacyjne zostaną zamknięte. Zapewnia to minimalny przepływ przez pompę, gdy wszystkie zawory regulacyjne przed odbiornikami końcowymi zostaną zamknięte. Więcej informacji na ten temat - patrz punkt 7.3, a także poniższy przykład.

Nie ma potrzeby wzajemnego równoważenia odgałęzień, a także pionów.

Przykład:

Jest powszechnie stosowaną zasadą wyposażenie każdego mieszkania w budynku mieszkalnym w jeden zawór STAP zgodnie z rys. 7.4b. Zawór regulacyjny typu otwórz-zamknij współpracuje z zaworem termostatycznym, który reaguje na temperaturę otaczającego powietrza w pomieszczeniu.

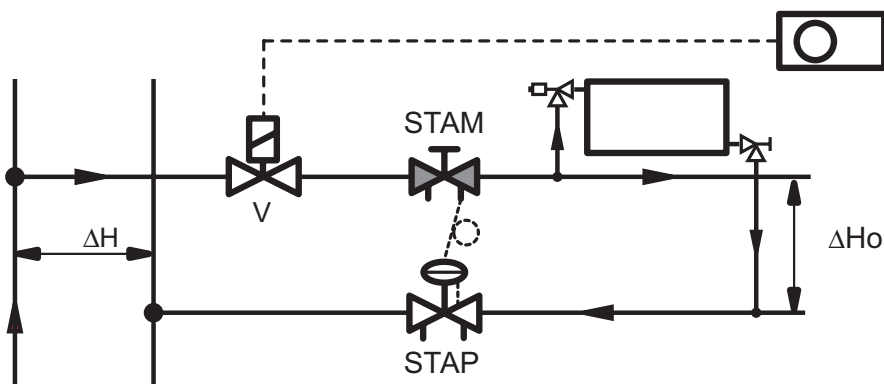


Rys.7.4b. Przykład niewłaściwego rozwiązania z zaworem regulacyjnym zamontowanym za zaworem pomiarowym STAM.

Gdy zawór regulacyjny jest zamontowany jak na rys.7.4b, to ciśnienie różnicowe ΔH_0 odpowiada ciśnieniu różnicowemu otrzymanemu na zaworze STAP pomniejszonemu o zmienną wartość spadku ciśnienia na zaworze regulacyjnym V. W związku z tym przy takim rozwiązaniu nie ma dobrej stabilizacji ciśnienia ΔH_0 .

Kolejny problem jest następujący: gdy zawór regulacyjny V zamyka się, zawór STAP poddany jest ciśnieniu różnicowemu ΔH i także się zamyka. Wszystkie obiegi po stronie wtórnej poddane są zmniejszonemu ciśnieniu statycznemu, co wynika z obniżenia temperatury wody w obiegach zamkniętych. Ciśnienie Δp na zaworze „V” i zaworze STAP wzrasta w sposób gwałtowny. Gdy zawór regulacyjny „V” zacznie się ponownie otwierać, może powstawać hałas na skutek kawitacji, która ma miejsce na zaworze „V”. Problem ten można rozwiązać poprzez umieszczenie zaworu regulacyjnego na przewodzie powrotnym, blisko zaworu STAP.

Poprawny schemat takiego układu pokazano na rys.7.4c.

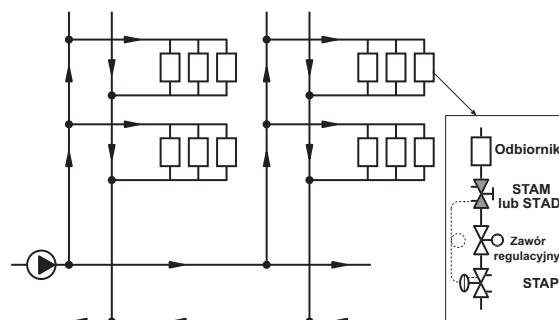


Rys.7.4c. Zawór regulacyjny zamontowany został przed zaworem pomiarowym STAM

Gdy zawór regulacyjny zamyka się, ciśnienie różnicowe ΔH_o spada do zera, a zawór STAP otwiera się całkowicie (rys.7.4c). Instalacja po stronie wtórnej jest zasilana z przewodu rozdzielczego i w związku z tym ciśnienie statyczne nie zmienia się, przez co unikamy problemów omawianych wcześniej i przedstawionych na rys.7.4b. Poza tym w tym wypadku bardziej prawidłowa jest stabilizacja ciśnienia różnicowego ΔH_o .

Jak widać z powyższych rozważań, niewielkie zmiany na etapie projektowania, mogą być przyczyną bardzo poważnych problemów związanych z poprawnym działaniem instalacji.

7.5. Układ z zaworami STAP przed każdym zaworem regulacyjnym dwudrogowym



Rys.7.5. Utrzymywane jest stałe ciśnienie różnicowe na każdym zaworze regulacyjnym przy wykorzystaniu zaworu STAP

Na każdym zaworze regulacyjnym utrzymywana jest stała wartość ciśnienia Δp za pomocą regulatora STAP. Z punktu widzenia regulacji, jest to najlepsze rozwiązanie. Poza tym w takim wypadku mamy zapewnione automatycznie zrównoważenie obiegów.

Dla każdego z obiegów przez odbiorniki końcowe zawór regulacyjny jest całkowicie otwarty i wykonuje się taką nastawę zaworu STAP, aby otrzymać przepływ obliczeniowy. W każdym przypadku, gdy zawór regulacyjny jest otwarty całkowicie, otrzymujemy przepływ obliczeniowy i nie ma nigdy miejsca przewymiarowanie zaworu regulacyjnego. Poza tym, gdy ciśnienie różnicowe na zaworze regulacyjnym jest stałe, autorytet tego zaworu jest bliski jedności.

7. Przykłady różnych układów

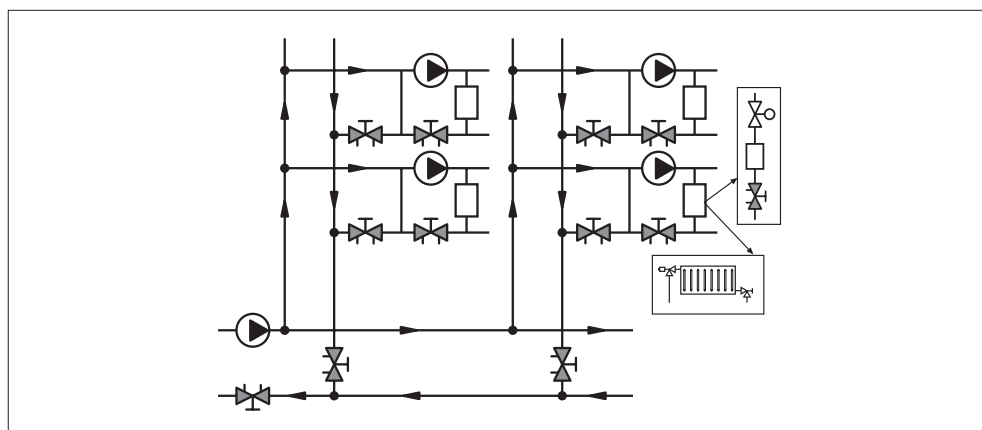
Procedura równoważenia ogranicza się tylko do wykonania wyżej przedstawionych czynności. Odbiorniki końcowe, odgałęzienia, i piony nie muszą być równoważone wzajemnie między sobą, ponieważ równoważenie takie odbywa się automatycznie.

Możemy teraz zadać pytanie: co zdarzy się, jeżeli tylko niektóre zawory regulacyjne współpracują z zaworami STAP, a pozostałe - nie.

W takim wypadku powinniśmy powrócić do rysunku 7.1, który pokazuje schemat z zaworami równoważącymi zainstalowanymi na odgałęzieniach i pionach. Równoważenie takiej instalacji jest wykonywane przy całkowicie otwartym zaworze STAP. Przypomina się także w tym miejscu, że zalecane jest tu stosowanie zaworu STAD zamiast zaworu STAM. Zawór STAD jest używany jako zwykły zawór równoważący w czasie procedury równoważenia. Gdy instalacja zostanie zrównoważona, procedura równoważenia w odniesieniu do każdego zaworu STAP jest następująca:

- Zawór STAD połączony z zaworem STAP jest ponownie otwarty przy nastawie tak dobranej, aby otrzymać spadek ciśnienia w wysokości co najmniej 3 kPa dla przepływu obliczeniowego.
- Nastawa zaworu STAP musi być tak ustawiona, aby otrzymać przepływ obliczeniowy na zaworze regulacyjnym przy całkowitym jego otwarciu. Wielkość przepływu jest mierzona za pomocą zaworu równoważącego STAD.

7.6. Układ rozdzielczy o stałym przepływie w obiegu pierwotnym z pompami w obiegu wtórnym



Rys.7.6. Układ rozdzielczy o stałym przepływie w obiegu pierwotnym i zmiennym przepływie w obiegu wtórnym.

Gdy w systemie znajduje się tylko jedno źródło energii, wówczas najlepszym rozwiązaniem jest układ rozdzielczy o stałym przepływie. Wysokość ciśnienia pompy zainstalowanej w obiegu pierwotnym równoważy straty ciśnienia w źródle i przewodach obiegu pierwotnego. Każdy obieg po stronie wtórnej jest wyposażony w pompę obiegową.

7. Przykłady różnych układów

Określenie przepływu cyrkulacyjnego

Jeżeli przyjmiemy, że najdalej położony użytkownik jest zaopatrywany w ciepłą wodę o temperaturze zasilania t_s pomniejszonej o ΔT , to możemy obliczyć wielkość minimalnego przepływu cyrkulacyjnego q_1 ze wzoru:

$$q_1 = \frac{0,86 \cdot P_m}{\Delta T}$$

gdzie:

P_m straty ciepła w przewodach zasilających, W.

Należy tu wziąć pod uwagę sumę strat w przewodach:

$\Sigma L + \Sigma d = [SA + AC + AE] + [d_b + d_c + d_d + d_e]$ (rys.7.8a).

ΔT dopuszczalny spadek temperatury ciepłej wody (5 K).

q_1 w l/h.

Dla spadku temperatury ΔT rzędu 40 K pomiędzy temperaturą wody na wyjściu z instalacji a otaczającym powietrzem, straty ciepła wynoszą około 10 W/m, niezależnie od średnicy przewodu. Ma to miejsce wtedy, gdy grubość izolacji przy współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda=0,036$, równa jest 0,7 x średnica zewnętrzna przewodu (bez izolacji).

Oczywiste, że najlepszym rozwiązaniem byłoby obliczenie przepływów przy uwzględnieniu rzeczywistej grubości izolacji przewodów ciepłej wody. Znacznie lepsze szacunkowe obliczenia mogą być wykonane przy wykorzystaniu następującego wzoru empirycznego:

$$P = \frac{\Delta T}{40} \cdot \left(3 + \frac{5 \cdot de}{3,5 + \frac{0,036 \cdot I}{\lambda}} \right) \quad [\text{W/m}]$$

gdzie:

I grubość izolacji, mm

de zewnętrzna średnica przewodu bez izolacji, mm

λ współczynnik przewodzenia ciepła, W/m K.

Dla $\Delta T = 40$ i $\lambda = 0,036$ (wełna szklana), wzór przyjmie następującą postać:

$$P = 3 + \frac{5 \cdot de}{3,5 + I} ; \text{gdzie: } de < 100 \text{ mm}$$

Gdy instalacja rozdzielcza c.w.u. jest zrównoważona poprawnie, nie ma możliwości wystąpienia niewłaściwych przepływów. Jeżeli wielkość przepływu zostanie zredukowana o 50%, przy temperaturze ciepłej wody na wyjściu równej 60°C, najdalej położony użytkownik otrzyma wodę o temperaturze +51°C zamiast projektowych +55°C. W takim wypadku wzrasta jednak ryzyko rozmnażania się bakterii *Legionella*.

W poniższym przykładzie przeanalizujemy następujące hipotezę:

$t_s = 60^\circ\text{C}$; $t_r = 55^\circ\text{C}$, a $P = 10$ W/m. Otrzymamy zatem:

$$q_1 = \frac{0,86 \cdot 10}{(60-55)} \cdot (\Sigma L + \Sigma d) = 1,72 \cdot (\Sigma L + \Sigma d)$$

znając wielkość przepływu całkowitego, możemy obliczyć przepływy w każdym odgałęzieniu. Zaczynamy od punktu S (rys. 7.8a), gdzie zlokalizowany jest czujnik temperatury, temperatura wody na wejściu do odgałęzienia A może być obliczona ze wzoru:

$$t_a = t_s - \frac{0,86 \cdot P_{SA}}{q_1} \quad \text{gdzie: } P_{SA} = \text{straty ciepła na odcinku S.A.}$$

7. Przykłady różnych układów

Dla pierwszego odgałęzienia straty ciepła $Z_{AC} = P_{AC} + P_{xd_b} + P_{xd_c}$. Możemy zatem obliczyć kolejno temperatury w węzłach i wymagane przepływy, co pokazano poniżej.

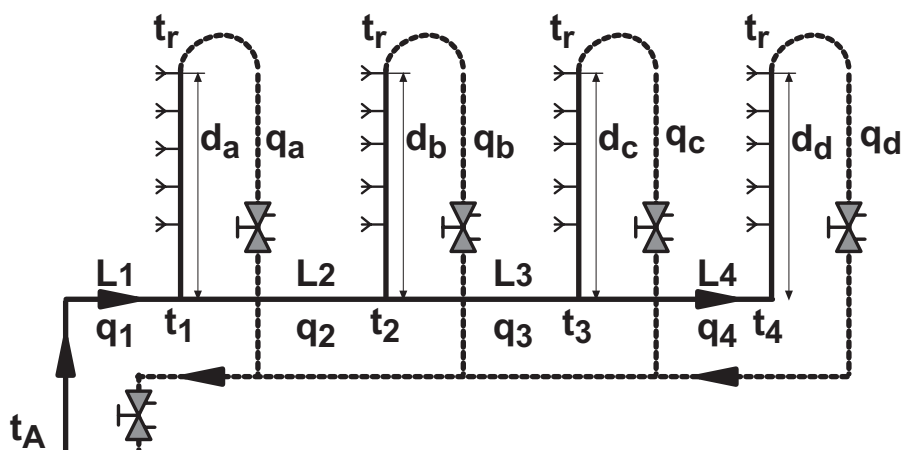
$q_{AB} = \frac{0,86 \cdot Z_{AC}}{t_A - 55}$	$t_B = t_A - \frac{0,86 \cdot P_{AB}}{q_{AB}}$	$q_b = \frac{0,86 \cdot P_{db}}{t_B - 55}$
$q_{BC} = q_{AB} - q_b$	$t_C = t_B - \frac{0,86 \cdot P_{BC}}{q_{BC}}$	$q_c = \frac{0,86 \cdot P_{dc}}{t_C - 55}$

Ponieważ przepływ $q_{AD} = q_1 - q_{AB}$, możemy zatem obliczyć temperaturę t_D w drugim odgałęzieniu w taki sam sposób jak pokazano wyżej. Taka systematyczna i prosta procedura obliczeniowa może być zastosowana nawet w odniesieniu do bardzo skomplikowanych układów.

Jeżeli znane są już wielkości przepływów, to możemy łatwo zrównoważyć instalację ciepłej wody, wykorzystując w tym celu metodę kompensacji lub metodę równoważenia TA.

Dla wstępnego oszacowania wysokości ciśnienia na pompie, można pominąć straty ciśnienia w przewodzie zasilającym. Analizując przewód cyrkulacyjny, proponuje się obliczać ciśnienie $H = 10 + 0,15 (L_{SE} + de) + 3$ kPa dla każdego zaworu równoważącego podłączonego szeregowo (trzeci zawór w tym przykładzie). Jeżeli na przykład $L_{SE} + de = 100$ m, wówczas $H = 10 + 15 + 9 = 34$ kPa. W powyższym wzorze przyjęto spadek ciśnienia na wymienniku ciepła, zaworze zwrotnym i armaturze w wysokości 10 kPa, a spadek ciśnienia w przewodzie cyrkulacyjnym przyjęto jako 0,15 kPa/m.

Rozpatrując odgałęzienie AC (rys.7.8a), ale z czterema obiegami rozdzielczymi, dla obliczenia przepływów możemy wykorzystać powyższe wzory. Wzory te mogą być przekształcone do innej postaci, która będzie bardziej odpowiednia dla wykonania odpowiednich obliczeń. Zostanie to wyjaśnione na przykładzie, który przedstawiono poniżej.



Rys.7.8b. Jedno odgałęzienie układu rozdzielczego z czterema obiegami c.w.u.

7. Przykłady różnych układów

Przyjmijmy następujące długości przewodów [m]:

L_1	L_2	L_3	L_4
40	25	20	35
d_a	d_b	d_c	d_d
10	9	11	12

Długości przewodów w metrach

Temperatura na zasileniu odgałęzienia została oznaczona jako t_A , a spodziewana temperatura w przewodzie powrotnym przez t_r . Przyjęto w przykładzie $t_A = 59^\circ\text{C}$ (zakładając stratę 1°C pomiędzy punktami S i A na rys. 7.8a) i $t_r = 55^\circ\text{C}$.

Dla $\Delta T = t_A - t_r = 4\text{ K}$ oraz przy stratach ciepła w przewodach odniesieniu do 1 m równych 10 W/m , przepływ całkowity q_1 wynosi:

$$q_1 = 0,86 \cdot 10 \cdot (\sum L_i + \sum d_i) / (t_A - t_r)$$

a zatem: $q_1 = 2,15 \cdot (40 + 25 + 20 + 35 + 10 + 9 + 11 + 12) = 348\text{ l/h}$

natomiast $t_1 = (t_A - 8,6 \cdot L_1 / q_1)$

Aby otrzymać bardziej odpowiedni wzór, przekształcimy go jak niżej:

$$t_1 = 8,6 \cdot [(t_A - t_r) / 8,6 - L_1 / q_1] + t_r$$

Podstawiając $(t_A - t_r) / 8,6 = \lambda$ i $D_1 = \lambda - L_1 / q_1$, ostatecznie otrzymamy:

$$t_1 = 8,6 \cdot D_1 + t_r ; \text{gdzie: } \lambda = 0,465.$$

$D_1 = \lambda - L_1 / q_1$	$q_a = d_a / D_1$	$q_2 = q_1 - q_a$	$t_1 = 8,6 D_1 + t_r$
$D_2 = D_1 - L_2 / q_2$	$q_b = d_b / D_2$	$q_3 = q_2 - q_b$	$t_2 = 8,6 D_2 + t_r$
$D_3 = D_2 - L_3 / q_3$	$q_c = d_c / D_3$	$q_4 = q_3 - q_c$	$t_3 = 8,6 D_3 + t_r$
$D_4 = D_3 - L_4 / q_4$	$q_d = d_d / D_4$		$t_4 = 8,6 D_4 + t_r$

Zastosowane wzory

Powyższe wzory mogą być wyprowadzone w ten sam sposób dla pozostałych obiegów. Możemy je zastosować do obliczenia przepływów. Obliczenia temperatur nie są wymagane, ale podano je tylko dla informacji.

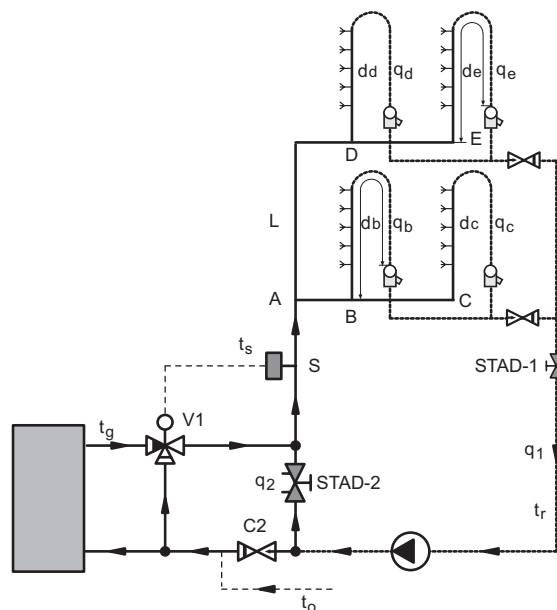
$D_1 = 0,465 - 40 / 348 = 0,351$	$q_a = 10 / 0,351 = 29$	$q_2 = 348 - 29 = 319$	$t_1 = 8,6 \times 0,351 + 55 = 58,0$
$D_2 = 0,351 - 25 / 319 = 0,272$	$q_b = 9 / 0,272 = 33$	$q_3 = 319 - 33 = 286$	$t_2 = 8,6 \times 0,272 + 55 = 57,3$
$D_3 = 0,272 - 20 / 286 = 0,202$	$q_c = 11 / 0,202 = 54$	$q_4 = 286 - 54 = 232$	$t_3 = 8,6 \times 0,202 + 55 = 56,7$
$D_4 = 0,202 - 35 / 232 = 0,051$	$q_d = 12 / 0,051 = 232$	$q_4 = q \times d$	$t_4 = 8,6 \times 0,051 + 55 = 55,4$

Obliczenia numeryczne

Należy tutaj podkreślić, że ostatni obieg wymaga 67% przepływu przez odgałęzienie podczas gdy pierwszy wymaga tylko 8% przepływu. Jeżeli jednak układ rozdzielczy nie jest zrównoważony, to obieg pierwszy otrzyma znacznie większy przepływ niż obieg ostatni. Wstępna wartość szacunkowa wymaganego ciśnienia na pompie wynosi:

$$H = 10 + 0,15(40 + 25 + 20 + 35 + 12) + 3 \times 3 = 39\text{ kPa.}$$

7.9. Układ rozdzielczy ciepłej wody użytkowej z zaworami termostaticznymi TA-Therm



Rys.7.9. Temperatura powrotu w każdym odgałęzieniu jest utrzymywana automatycznie

Na powrocie z każdego obiegu zastosowano zawory termostaticzne (TA-Therm), które utrzymują temperaturę wody powrotnej (cyrkulacyjnej) na wymaganym poziomie. Do zaworu TA-Therm może być podłączony termometr, aby można było zmierzyć temperaturę wody powrotnej. Obliczane są następnie przepływy cyrkulacyjne (rys. 7.8b), aby można było zwymiarować przewody i dobrać pompę cyrkulacyjną. Dla najbardziej oddalonego obiegu, można wstępnie oszacować wysokość ciśnienia na pompie (dla zaworu TA-Therm przy $K_v = 0,3$).

$$\text{Obieg } q_e: \quad H = 10 + 0,15(SE + d_e) + (0,01 q_e/0,3)^2 + 3$$

$$\text{Obieg } q_c: \quad H = 10 + 0,15(SC + d_c) + (0,01 q_c/0,3)^2 + 3$$

Przyjmuje się większą z tych dwóch wartości.

Wielkość K_v podana powyżej jako 0,30 odpowiada odchyłce temperatury wody na zaworze termostaticznym rzędu 2°C , co wynika z wielkości nastawy zaworu TA-Therm.

Metoda nastawy wstępnej

Metoda nastawy wstępnej wymaga, aby projektant obliczył prawidłowe wartości nastaw dla wszystkich zaworów równoważących i naniósł je na rysunki. Zaletą tej metody jest to, że jest ona prostsza dla instalatora wykonującego nastawy na wszystkich zaworach równoważących, zgodnie z projektem instalacji.

Straty ciśnienia przy przepływie projektowym są określane dla każdego odbiornika końcowego i armatury (zawór regulacyjny, przewody, inne zawory i kształtki). Straty ciśnienia pomiędzy pompą a najdalej położonym obiegiem przez odbiornik końcowy są sumowane, dając niezbędną wysokość ciśnienia na pompie.

Następnie dobiera się pompę o najbliższej dostępnej charakterystyce, zapewniającej niezbędny przepływ wody w najdalej położonym obiegu. Różnica pomiędzy wysokością ciśnienia dobranej pompy a teoretyczną wysokością ciśnienia pompy jest nadwyżką ciśnienia, która wystąpi w systemie. Bardzo istotną sprawą jest zlikwidowanie tej nadwyżki ciśnienia. W układach o zmiennych przepływach można ponownie dobrać zawory regulacyjne, aby wyeliminować tę nadwyżkę ciśnienia. Pozostała nadwyżka ciśnienia może być zdławiona na zaworach równoważących.

Wartości nastaw i wielkości przepływów powinny być naniesione na rysunkach projektowych. Upraszcza to w znacznym stopniu prace związane z równoważeniem przepływów w całej instalacji.

Ponieważ metoda wstępnej nastawy jest wykonywana na desce kreślarskiej, konieczne jest wprowadzenie poprawek po wykonaniu całej instalacji, ponieważ rzadko się zdarza, aby instalacja była wykonana w całkowitej zgodności z projektem. Zmiany powykonawcze mogą mieć wpływ na zmianę wielkości przepływów. Przepływy rzeczywiste i wszystkie zmiany na budowie w stosunku do projektu, powinny być uwzględnione w końcowym raporcie dotyczącym równoważenia przepływów.

Ponowne obliczanie przepływów przy przewymiarowaniu odbiorników końcowych

Gdy znane jest zapotrzebowanie mocy cieplnej, można określić wielkość przepływów przez różne odbiorniki końcowe pod warunkiem, że znana jest różnica temperatur ΔT w analizowanych obiegach instalacji.

$$q = \frac{0,86 P}{\Delta T_c} \quad [\text{l/h}] \quad \text{lub}$$

$$q = \frac{P}{4186 \cdot \Delta T_c} \quad [\text{l/s}]$$

Jednak odbiorniki nie zawsze pracują przy obliczeniowej temperaturze zasilania. W praktyce żaden z odbiorników, w wykonanej już instalacji, nie pracuje całkowicie zgodnie z wydajnościami projektowymi.

W zasadzie nie powinno się zakładać, że w oddawanych do użytku instalacjach zamontowano odbiorniki o wydajności, która odpowiada dokładnie wydajności obliczeniowej. W praktyce projektowej rzadko się przyjmuje odbiorniki o wydajnościach zaniżonych w stosunku do obliczeniowych. Zwykle przyjmuje się najbliższe większe wartości w porównaniu z wartościami obliczeniowymi, co prowadzi do przewymiarowania instalacji.

Moc cieplna odbiornika jest określana przez producenta dla warunków nominalnych (indeks dolny „n”). Załóżmy, że odbiornik pracuje w innych warunkach niż warunki nominalne, np. przy innej temperaturze zasilania i został on trochę przewymiarowany. Jeżeli znamy rzeczywistą temperaturę zasilania i stopień przewymiarowania odbiornika, to możemy wykonać ponownie obliczenia, aby przekonać się jaka wielkość przepływu jest wymagana. Wymagane przepływy są zwykle podawane przez producenta.

Należy stosować poniższy wzór dla grzejników:

$$t_r = t_i + \frac{(t_{sn} - t_{in}) \cdot (t_m - t_{in})}{(t_s - t_i) \cdot (P_n / P_c)^{2n}}$$

gdzie:

- t_r - temperatura wody powrotnej (t_m dla warunków nominalnych)
- t_s - temperatura wody zasilającej (t_{sn} dla warunków nominalnych)
- t_i - temperatura wewnętrzna w pomieszczeniu (t_{in} dla warunków nominalnych)
- P_c - wymagana moc grzejnika, W
- P_n - moc zainstalowanego grzejnika dla warunków nominalnych, W.

Jeżeli wartość n nie jest podana przez producenta grzejników, to należy przyjąć $n = 1,3$.

Przykład:

Grzejnik powinien posiadać moc cieplną $P_c = 1000$ W przy temperaturze wewnętrznej w pomieszczeniu $t_i = 22^\circ\text{C}$. Temperatura wody zasilającej wynosi $t_s = 75^\circ\text{C}$. Rzeczywista moc zamontowanego grzejnika wynosi 1500 W i została ona określona dla temperatury zasilania $t_{sn} = 80^\circ\text{C}$ i temperatury powrotu $t_m = 60^\circ\text{C}$ oraz temperatury wewnętrznej $t_{in} = +20^\circ\text{C}$.

Jaki powinien być przepływ przez grzejnik, aby spełnione zostały powyższe warunki?

Po podstawieniu powyższych wartości do wzoru, otrzymamy temperaturę wody powrotnej $t_r = 46^\circ\text{C}$. Rzeczywisty spadek temperatury wynosi zatem $\Delta T = 75 - 46 = 29^\circ\text{C}$, a wielkość przepływu $q = 0,86 \times 1000 / 29 = 30$ l/h.

ZAŁĄCZNIK C

Dobór zaworów równoważących

Zawór równoważący, który jest większy od potrzebnego w danym przypadku zaworu, nie tylko jest droższy, ale musi zostać nastawiony blisko położenia zamknięcia, co obniża dokładność ustawiania przepływów.

Najlepszy zakres pracy dla zaworów równoważących znajduje się pomiędzy 50 a 100% maksymalnego otwarcia zaworu. Dlatego należy dobrać taki zawór równoważący, aby otrzymać wymaganą stratę ciśnienia w tym zakresie nastaw dla przepływu obliczeniowego.

Przy stratach ciśnienia poniżej 3 kPa, dokładność pomiarowa ulega znacznemu zmniejszeniu z powodu zaburzeń przepływu przed zaworem równoważącym, wywołanych pracą pompy, pracą zaworów regulacyjnych, oporów miejscowych, itp. Przy doborze zaworu równoważącego można stosować wzory przedstawione poniżej.

$$K_v = \frac{0,01 \cdot q}{\sqrt{\Delta p}} \quad q \text{ (l/h), } \Delta p \text{ (kPa)}$$

$$K_v = \frac{36 \cdot q}{\sqrt{\Delta p}} \quad q \text{ (l/s), } \Delta p \text{ (kPa)}$$

Przykład:

Zawór równoważący powinien spowodować spadek ciśnienia równy 15 kPa przy przepływie 2000 l/h. Zgodnie z powyższym wzorem $K_v = 5,16$.

Zaworem równoważącym, który ma zbliżoną wartość K_v jest zawór STAD20 (tablica poniżej).

Gdy wymagany spadek ciśnienia nie jest znany, można dokonać doboru zaworu w oparciu o tablicę przedstawioną poniżej.

Tabela doboru						Spadek ciśnienia w przewodach, Pa/m				Prędkość przepływu w przewodzie, m/s					
STAD DN	Kvs	Przepływ wody l/h		Przepływ wody l/s		Zawór otwarty Δp kPa	Rozmiar zaworu +1		Rozmiar zaworu		Rozmiar zaworu +1		Rozmiar zaworu		
							min	max	min	max	min	max	min	max	
10	1,47	100	430	0,028	0,119	0,5	8,6	17	390	76	1332	0,14	0,59	0,23	0,97
15	2,52	350	750	0,097	0,208	1,9	8,9	62	244	268	1085	0,27	0,57	0,48	1,04
20	5,7	650	1600	0,181	0,444	1,3	7,9	61	312	184	990	0,31	0,77	0,49	1,21
25	8,7	1300	2400	0,361	0,667	2,2	7,6	55	167	213	664	0,36	0,66	0,62	1,15
32	14,2	2000	3800	0,556	1,056	2,0	7,2	57	183	119	391	0,41	0,77	0,55	1,04
40	19,2	2800	5700	0,778	1,583	2,1	8,8	33	119	104	390	0,35	0,72	0,57	1,15
50	33,0	4500	11000	1,250	3,056	1,9	11,1	19	77	100	408	0,23	0,57	0,57	1,39
STA-DR															
15	2,00	200	450	0,056	0,125	1,0	5,1	21	97	96	438	0,15	0,34	0,28	0,62
20	2,00	200	600	0,056	0,167	1,0	9,0	7	53	21	167	0,10	0,29	0,15	0,46
25	4,01	600	1200	0,167	0,333	2,2	9,0	13	48	53	193	0,16	0,33	0,29	0,57
STAF															
		m³/h		l/s											
65	95,1	10	25	2,78	6,94	1,1	6,9	38	208	84	467	0,52	1,30	0,72	1,79
80	120	18	38	5,00	10,56	2,3	10,0	31	125	113	463	0,56	1,17	0,94	1,98
100	190	33	60	9,17	16,67	3,0	10,0	34	105	96	297	0,67	1,22	1,02	1,85
125	300	55	95	15,28	26,39	3,4	10,0	35	97	89	251	0,77	1,33	1,12	1,94
150	420	90	150	25,00	41,67	4,6	12,8	24	63	90	235	0,74	1,24	1,26	2,09
200	765	150	270	41,67	75,00	3,8	12,5	20	60	63	189	0,78	1,41	1,24	2,22
250	1185	270	420	75,00	116,67	5,2	12,6	25	58	60	138	1,00	1,55	1,41	2,19
300	1450	400	650	111,11	180,56	7,6	20,1	29	71	53	131	1,16	1,88	1,48	2,40

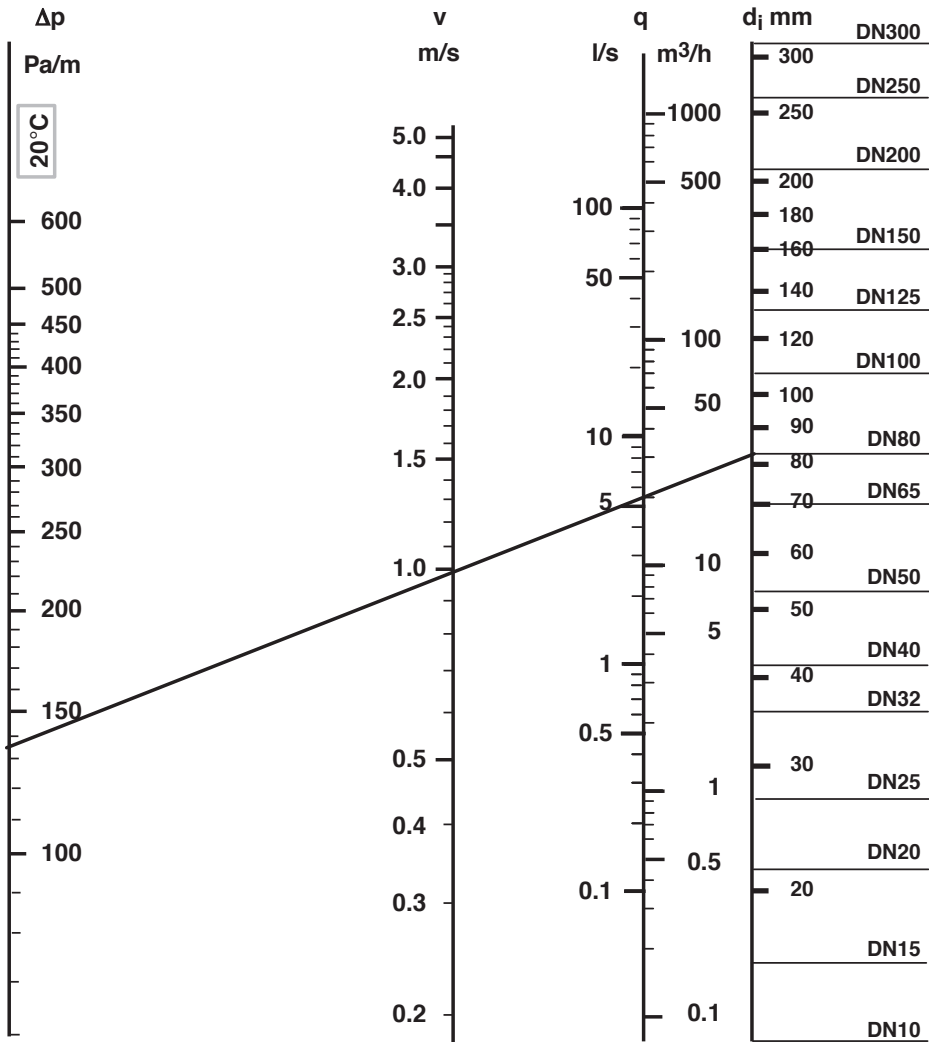
*Dobór zaworów równoważących dla uniknięcia przewymiarowania,
w przypadku gdy nie znana jest wartość spadku ciśnienia*

Należy dobrać zawór równoważący dla przepływu obliczeniowego równego 2000 l/h. Wymagany spadek ciśnienia na zaworze nie jest znany. Ponieważ przepływ zawiera się pomiędzy 1300 a 2400 l/h, wobec tego dobieramy zawór STAD25.

Straty ciśnienia w przewodzie stalowym o średnicy DN25 dla przepływu 2000 l/h wynoszą 530 Pa/m (patrz rys.C1). Gdy straty ciśnienia są zbyt wysokie, należy przyjąć przewód o większej średnicy, np. DN32.

Jest także możliwe dobranie zaworu STAD32, co odpowiada takiej samej średnicy przewodu. Aby otrzymać minimalny spadek ciśnienia na zaworze STAD32 równy 3 kPa dla przepływu 2000 l/h, to nastawa zaworu STAD32 powinna wynosić 3.45 (86% otwarcia). W uzupełnieniu podaje się, że otwarcie powyżej 80% jest zwykle do przyjęcia.

ZAŁĄCZNIK C



Rys. C1. Straty ciśnienia i prędkości przepływu wody o temperaturze 20°C dla przewodów stalowych o chropowatości bezwzględnej 0,05 mm

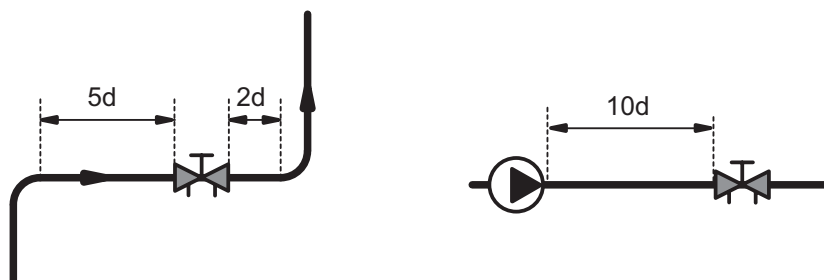
Powyższy nomogram daje możliwość sprawdzenia, czy dobrany zawór równoważący jest zgodny ze średnicą przewodu. Ogólnie można powiedzieć, że średnica przewodu powinna być taka sama lub o jeden rozmiar większa od średnicy zaworu równoważącego.

Przykład:

Mamy przewód o średnicy DN 80, przepływ wody wynosi 20 m³/h, prędkość 1 m/s, a jednostkowy spadek ciśnienia - Δp = 135 Pa/m. Dla takich warunków może być dobrany zawór STAF65 lub zawór STAF80.

Montaż zaworów równoważących

W celu zapewnienia dokładnej regulacji przepływów za pomocą zaworów równoważących wystarczy, aby prosty odcinek przewodu przed zaworem wynosił pięć średnic przewodu, a za zaworem - dwie średnice przewodu.



Rys.D1. Wymagane odcinki proste przewodu przed i za zaworem równoważącym

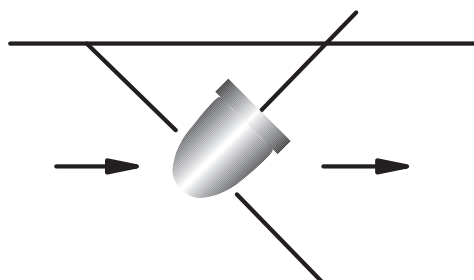
Jeżeli zawór równoważący zostanie zainstalowany za elementem instalacji powodującym silne zaburzenia przepływu, jak np. pompa lub zawór regulacyjny, to w takich wypadkach zaleca się, aby prosty odcinek przewodu przed zaworem równoważącym wynosił minimum 10 średnic przewodu. Na odcinku tym nie wolno instalować żadnych urządzeń, które powodują zaburzenia przepływu, np. czujniki temperatury.

Na zasilaniu czy na powrocie?

Z punktu widzenia hydrauliki nie ma znaczenia, czy zawór równoważący jest zamontowany na przewodzie zasilającym czy na przewodzie powrotnym. Wielkość przepływu w przewodzie zasilającym jest oczywiście taka sama jak w przewodzie powrotnym.

Zawory równoważące, ze względu na łatwiejsze odwodnienie odbiorników, montuje się na przewodzie powrotnym szczególnie w przypadku, gdy zawór równoważący wyposażony jest w odwodnienie umożliwiające spust wody z odbiornika. Zalecane jest takie instalowanie zaworów równoważących z zachowaniem oznaczonego na obudowie kierunku przepływu wody (pod grzyb - patrz rys. D2), ponieważ zapewnia to większą dokładność pomiaru przepływu.

W praktyce zawory równoważące należy instalować w najbardziej dostępnym miejscu, zwracając także uwagę na unikanie zaburzeń przepływów przed zaworami przez różnego rodzaju armaturę.



Rys. D2. Kierunek przepływu powinien być pod grzyb zaworu

Szczegółowa instrukcja prac przygotowawczych

W praktyce wykonywania równoważenia hydraulicznego instalacji zdarza się, że instalatorzy tracą niepotrzebnie czas na poszukiwanie drobnych rzeczy, jak np. klucza do pomieszczenia piwnicznego, w którym znajduje się zawór równoważący, zamontowanego zaworu równoważącego w podwieszonym stropie, utrudnionego dostępu do punktów pomiaru ciśnienia.

Wstępna wizja i zapoznanie się z instalacją w budynku może zaoszczędzić sporo czasu, co jest bardzo istotne w przypadku rozległych instalacji. W czasie takiej wizji należy zwrócić uwagę na następujące sprawy:

- Sprawdzić na rysunkach, czy zostały wyraźnie naniesione wszystkie przepływy dla wszystkich zaworów równoważących. Sprawdzić także, czy wartość przepływu całkowitego odpowiada sumie przepływów częściowych. Jeżeli weźmiemy dla przykładu odgałęzienie, to suma przepływów przez odbiorniki końcowe powinna być równa przepływowi całkowitemu przez odgałęzienie.
- Sprawdzić, czy wykonana w budynku instalacja odpowiada projektowi. Jeżeli jest to konieczne, należy nanieść na rysunkach poprawki powykonawcze, dotyczące np. poszczególnych obiegów i wielkości przepływów.
- Zidentyfikować wszystkie zawory równoważące i sprawdzić, czy będzie do nich dostęp po zakończeniu montażu instalacji. Sprawdzić wielkości tych zaworów i odpowiednio je oznakować.
- Sprawdzić, czy nie są zanieczyszczone przewody, czy są czyste wszystkie filtry i czy przewody zostały odpowietrzone.
- Sprawdzić, czy wszystkie zawory zwrotne zostały zainstalowane prawidłowo i czy nie są zablokowane
- Gdy końcowe odbiorniki są przewymiarowane, sprawdzić czy były ponownie obliczane przepływy (patrz Załącznik B).
- Przy zmianie temperatury między 20°C a 80°C, straty ciśnienia w przewodach mogą zmieniać się nawet o 20%. Z tego powodu ważne jest, aby równoważenie instalacji prze prowadzać przy tej samej temperaturze czynnika grzejjego.
- Należy naładować akumulator w przyrządzie CBI używanym do równoważenia instalacji i sprawdzić, czy dysponujemy wszystkimi niezbędnymi narzędziami i urządzeniami i czy są one w dobrym stanie.

Zanim rozpoczniemy pracę

- Przygotować odpowiednie formularze i niezbędne wyposażenie.
- Sprawdzić, czy wystarczająca jest wysokość ciśnienia statycznego.
- Sprawdzić, czy wszystkie zawory odcinające znajdują się we właściwym położeniu.
- W instalacjach c.o. z grzejnikami wyposażonymi w zawory termostatyczne należy usunąć głowice, aby zawory pozostały całkowicie otwarte.
- Sprawdzić prędkości obrotowe wszystkich pomp. W przypadku pomp o zmiennej prędkości obrotowej, sprawdzić czy pompa pracuje przy pełnej prędkości.

Ogólne zalecenia projektowe

Projekt instalacji hydraulicznej zależy od jej charakterystyki i warunków pracy. W odniesieniu do różnych systemów instalacji rozdzielczych zmiennoprzepływowych, z pompami o stałej i zmiennej prędkości obrotowej, z regulacją modulowaną lub regulacją typu włącz-wyłącz, można zalecić do stosowania następujące uwagi:

1. Należy równoważyć instalację pod względem hydraulicznym dla warunków obliczeniowych (projektowych). Będzie to oznaczało, że zrównoważona instalacja zapewni nam dostarczenie wymaganej mocy cieplnej lub chłodniczej. Bez względu na rodzaj regulacji odbiorników końcowych (modulowana czy też typu włącz-wyłącz), zawory przy odbiornikach końcowych muszą być całkowicie otwarte w czasie równoważenia instalacji.
2. Należy stosować metodę kompensacyjną lub metodę równoważenia TA Balance z wykorzystaniem programu komputerowego w celu zrównoważenia instalacji pod względem hydraulicznym. Zapobiega to podziałowi instalacji na części i znacznie redukuje koszty robocizny. Obie te metody pozwalają na wykrycie przewymiarowania pompy, co prowadzi do obniżki kosztów pompowania.
3. Należy dobierać modulowane zawory regulacyjne dwudrogowe, opierając się na następujących wytycznych:
 - a) odpowiednia charakterystyka zaworu (zwykle stałoprocentowa);
 - b) właściwy wymiar zaworu: przy całkowicie otwartych zaworach regulacyjnych w warunkach obliczeniowych, powinno się wykorzystać co najmniej 50% dyspozycyjnej różnicy ciśnień w danym obiegu w odniesieniu do warunków obliczeniowych;
 - c) autorytet zaworu regulacyjnego nie powinien być niższy niż 0,25.
4. Gdy nie możemy spełnić ostatniego warunku (3c) w niektórych obiegach instalacji, to należy zainstalować miejscowy regulator różnicy ciśnień w tych obiegach, aby poprawić autorytet zaworu regulacyjnego i zmniejszyć ryzyko głośnej pracy zaworu.
5. Jeżeli projektujemy w instalacji pompy o zmiennej prędkości obrotowej, to należy zamontować czujnik ciśnienia różnicowego, aby osiągnąć kompromis pomiędzy minimalizacją kosztów pompowania a ograniczeniem zmian ciśnienia różnicowego na zaworach regulacyjnych.

Więcej na temat „Dlaczego równoważymy instalacje?”

Równoważenie hydrauliczne - koniecznością dla dobrej regulacji

Teoretycznie instalacje grzewcze i klimatyzacyjne mogą spełnić większość wymagań związanych z mikroklimatem w pomieszczeniach i kosztami eksploatacji. Jednak w praktyce nawet najbardziej nowoczesne i skomplikowane regulatory nie spełniają całkowicie tych wymagań. W wyniku tego warunki komfortu cieplnego są zapewniane przy wyższych kosztach eksploatacyjnych niż było zakładane.

Przyczyna tego jest w tym, że często projekty instalacji i urządzeń grzewczych i klimatyzacyjnych nie spełniają pewnych warunków, które są konieczne dla stabilnej pracy instalacji oraz prawidłowej jej regulacji. Można tu przedstawić trzy bardzo ważne warunki:

1. Muszą być zapewnione przepływy obliczeniowe we wszystkich odbiornikach końcowych.
2. Ciśnienie różnicowe na zaworach regulacyjnych nie może się zbytnio zmieniać.
3. Przepływy muszą być zgodne we wszystkich częściach instalacji.

F.1 Muszą być zapewnione przepływy obliczeniowe we wszystkich odbiornikach końcowych

Problemy wspólne

Problemy te są typowym stwierdzeniem, że warunek nr 1 (tj. warunek zapewnienia przepływów obliczeniowych w odbiornikach końcowych) nie jest spełniony:

- Wyższe niż zakładano koszty energii.
- Zainstalowana moc źródła nie zapewnia odpowiednich wydajności odbiorników przy średnich i wysokich obciążeniach.
- Jest zbyt ciepło w niektórych pomieszczeniach budynku i zbyt zimno w innych pomieszczeniach.
- Występuje duże opóźnienie w uzyskaniu właściwej temperatury wewnętrznej po tzw. nocnym obniżeniu.

Otrzymanie prawidłowych przepływów

Moc przekazywana przez odbiorniki końcowe zależy od temperatury zasilania i wielkości przepływu wody. Parametry te podlegają regulacji, aby otrzymać wymaganą temperaturę wewnętrzną w pomieszczeniach. Regulacja możliwa jest tylko wtedy, gdy zapewnione są wymagane przepływy w instalacji.

Niektórzy projektanci uważają, że wystarczy przedstawić przepływy obliczeniowe w projekcie, aby otrzymać to samo w rzeczywistości. Aby jednak otrzymać wymagane przepływy, należy je pomierzyć i zrównoważyć. Do tego celu służy procedura równoważenia hydraulicznego instalacji. Dyskusja na ten temat sprowadza się do pytania: jak to wykonać? Czy jest np. możliwe uzyskanie poprawnych przepływów w przewodach rozdzielczych poprzez dokładne zwymiarowanie całej instalacji? Odpowiedź z punktu widzenia teoretycznego jest pozytywna, ale w praktyce nie jest możliwe spełnienie tego warunku.

Źródła energii, przewody, pompy i odbiorniki końcowe są przyjmowane w celu pokrycia maksymalnego zapotrzebowania na ciepło ewentualnie chłód (o ile nie dobierane jest źródło ze współczynnikiem niejednoczesności obciążenia). Jeżeli jedno z ogniw tego łańcucha nie jest właściwie zwymiarowane, to pozostałe nie będą pracować optymalnie. W wyniku tego nie uzyskamy wymaganych warunków mikroklimatu wewnętrznego w pomieszczeniach.

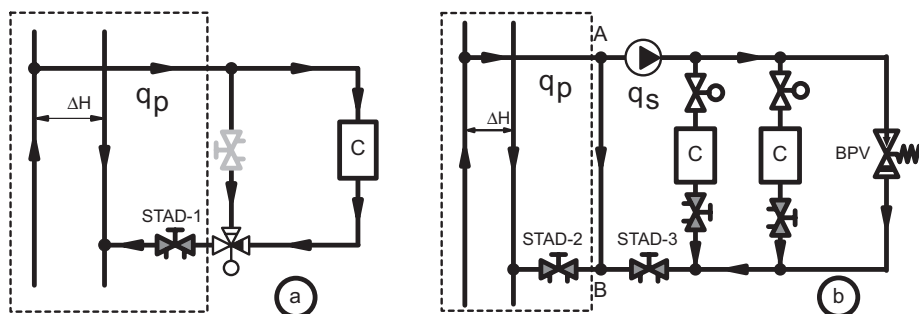
Czasami uważa się, że projektując instalację z pewnymi współczynnikami bezpieczeństwa, zabezpieczymy się przed tymi problemami. Praktyka pokazuje, że jeżeli nawet rozwiążemy pewne problemy, to powstaną inne, związane szczególnie z regulacją instalacji. Nie sposób uniknąć przewymiarowania pewnych elementów i urządzeń, ponieważ musimy je dobierać spośród dostępnych na rynku. Poza tym na etapie projektowania, charakterystyki pewnych urządzeń nie są znane, ponieważ wykonawca dostarcza je w okresie późniejszym. Należy więc dokonać pewnych korekt, biorąc pod uwagę rzeczywistą instalację, która często różni się w pewnych szczegółach od zaprojektowanej.

Równoważenie hydrauliczne pozwala zapewnić wymagane przepływy, skompensować problemy przewymiarowania i umożliwić poprawne wykonanie danej instalacji.

Układy rozdzielcze o stałym przepływie

W układach rozdzielczych o stałym przepływie (rys.F.1a), oblicza się zawory regulacyjne trójdrogowe, aby otrzymać na nich spadki ciśnienia równe co najmniej obliczeniowym spadkom ciśnienia w odbiorniku „C”. Oznacza to, że autorytet zaworu regulacyjnego powinien być równy co najmniej 0,5, co zapewnia właściwą regulację. Gdy spadek ciśnienia w odbiorniku (np. wymiennik) plus spadek ciśnienia na zaworze regulacyjnym wynosi 20 kPa, a ciśnienie dyspozycyjne ΔH jest równe 80 kPa, wówczas na zaworze równoważącym STAD-1 musi być zdławiona różnica w wysokości 60 kPa. Jeżeli tego się nie dokona, to w danym obiegu wystąpią nadprzepływy rzędu 200%, stwarzające duże trudności w regulacji i prawidłowym rozdzieleniu wody w pozostałych częściach instalacji.

Na rys.F.1b zasadniczą rolę odgrywa zawór równoważący STAD-2. Gdyby nie było tego zaworu, przewód obejściowy AB stanowiłby tzw. krótki obieg z bardzo dużym przepływem, powodując występowanie podprzepływów w innych częściach instalacji. Zawór równoważący STAD-2 umożliwi pomiar i regulację przepływu q_p po stronie pierwotnej, aby był on nieznacznie większy od przepływu q_s po stronie wtórnej, który można pomierzyć i wyregulować za pomocą zaworu STAD-3. Jeżeli $q_s > q_p$, to będzie miał miejsce odwrotny przepływ wody przez obejście AB powodując powstanie punktu mieszania w A. Temperatura wody zasilającej wzrośnie w układach klimatyzacyjnych i zmniejszy się w układach ogrzewczych i nie będzie możliwe uzyskanie prawidłowych wydajności na odbiornikach końcowych.

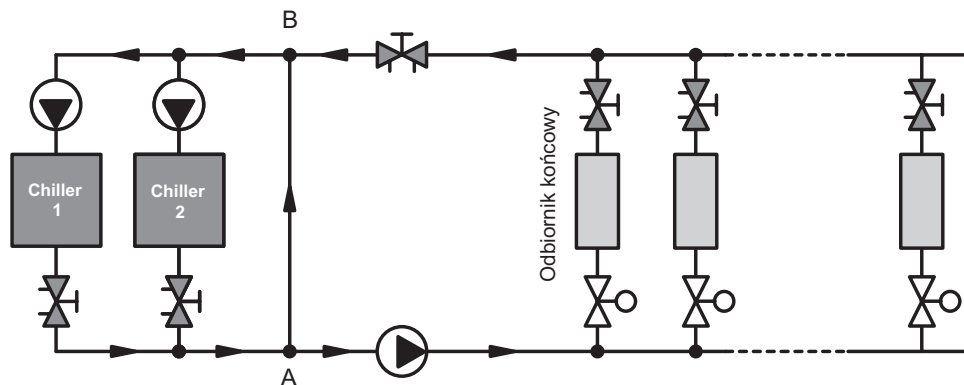


Rys.F.1. Przykłady obiegów ze stałymi przepływami wody w układach rozdzielczych

Równoważenie hydrauliczne zapewni prawidłowy rozdział przepływów w instalacji, zapobiegnie wystąpieniu problemów w eksploatacji instalacji i pozwoli zaworom regulacyjnym na wypełnianie poprawnych funkcji regulacji instalacji.

Układy rozdzielcze o zmiennym przepływie

W układach rozdzielczych o zmiennym przepływie, ma miejsce występowanie podprzepływów przy dużych obciążeniach instalacji.



Rys.F.2. Przykład układu rozdzielczego o zmiennym przepływie

Na pierwszy rzut oka wydaje się nierozsądne równoważenie układów przy pomocy zaworów regulacyjnych dwudrogowych, zainstalowanych przy odbiornikach końcowych, ponieważ zawory regulacyjne przeznaczone są do regulacji przepływów. Równoważenie hydrauliczne powinniśmy uzyskać niejako automatycznie. Jednak nawet po bardzo dokładnych obliczeniach można zauważyć, że zawory regulacyjne z precyzyjnie obliczonymi wielkościami Kvs nie są dostępne na rynku. W wyniku tego większość zaworów regulacyjnych jest przewymiarowana. W trakcie eksploatacji instalacji trudno jest uniknąć całkowitego otwierania zaworów regulacyjnych, ponieważ ma to miejsce w czasie rozruchu instalacji, gdy występują duże zaburzenia przepływów, gdy niektóre zawory termostatyczne są ustawiane na minimalne lub na maksymalne wartości przepływów, ewentualnie gdy zostaną przewymiarowane jakies odbiorniki. We wszystkich tych przypadkach oraz w sytuacji, gdy zawory równoważące nie zostały zamontowane we właściwych miejscach, możemy mieć do czynienia z występowaniem nadprzepływów w niektórych obiegach, które z kolei prowadzą do występowania podprzepływów w innych częściach instalacji.

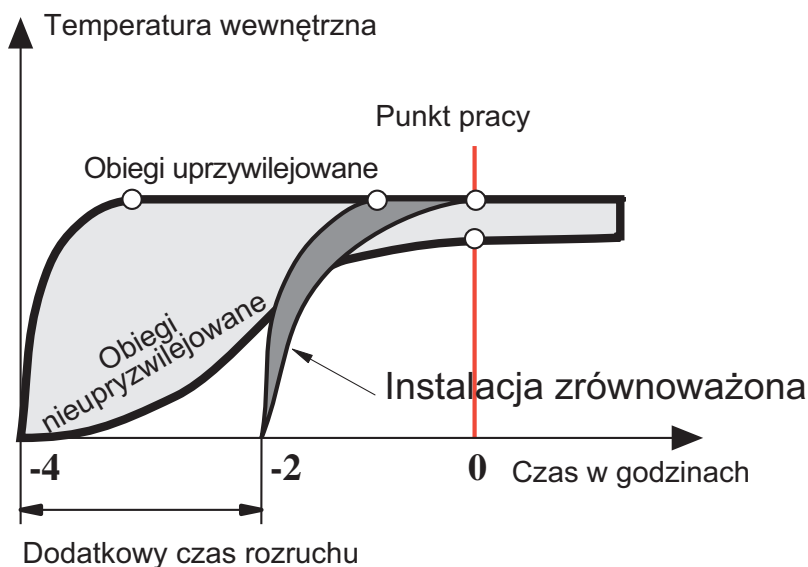
Stosując pompy o zmiennej prędkości obrotowej nie rozwiążemy tych problemów, ponieważ wszystkie przepływy będą zmieniać się proporcjonalnie, gdy zmienia się wysokość ciśnienia na pompie. Taki sposób rozwiązania problemu nadprzepływów powoduje jedynie, że zjawisko podprzepływów będzie miało większe znaczenie.

Cała instalacja jest tak projektowana, aby otrzymać maksymalną wydajność przy maksymalnych obciążeniach. Jest więc zrozumiałe, że maksymalna wydajność powinna być zawsze osiągalna, gdy tylko tego żądamy.

Równoważenie hydrauliczne wykonane dla warunków obliczeniowych gwarantuje, że wszystkie odbiorniki końcowe otrzymują właściwe przepływy, które zapewnią warunki komfortu cieplnego w pomieszczeniach. Przy częściowych obciążeniach, gdy niektóre zawory regulacyjne zamykają się, dyspozycyjna różnica ciśnień w poszczególnych obiegach może tylko wzrosnąć. Jeżeli unikniemy występowania podprzepływów w warunkach obliczeniowych, nie powinny one mieć miejsca także w pozostałych okresach pracy instalacji.

Poranny rozruch instalacji

W układach rozdzielczych o zmiennych przepływach, poranny rozruch instalacji po każdym osłabieniu nocnym jest poważnym problemem, ponieważ większość zaworów regulacyjnych jest całkowicie otwarta. Powoduje to występowanie nadprzepływów, które z kolei wywołują nieprzewidywalne spadki ciśnienia w pewnych miejscach instalacji, co prowadzi do zmniejszenia przepływów przez odbiorniki końcowe. Pewne części instalacji nie otrzymują tak długo odpowiednich przepływów, dopóki nie zostaną przymknięte zawory termostaticzne pod warunkiem, że zostały prawidłowo dobrane nastawy tych zaworów. Rozruch instalacji jest zatem trudnym problemem i wymaga on większej ilości czasu niż można się było spodziewać. Jest to jednocześnie kosztowna operacja z powodu większego zużycia energii. Nierównomierny rozruch instalacji z wykorzystaniem centralnego regulatora nie prowadzi do żadnej optymalizacji warunków pracy takiej instalacji.



Rys.F3. Niezrównoważona hydraulicznie instalacja powinna być uruchamiana wcześniej, co prowadzi do zwiększonego zużycia energii

W układach rozdzielczych o stałym przepływie, podprzepływy i nadprzepływy występują w czasie rozruchu jak i po rozruchu instalacji, powodując znacznie bardziej uciążliwe problemy.

Niezbędne urządzenia do równoważenia hydraulicznego

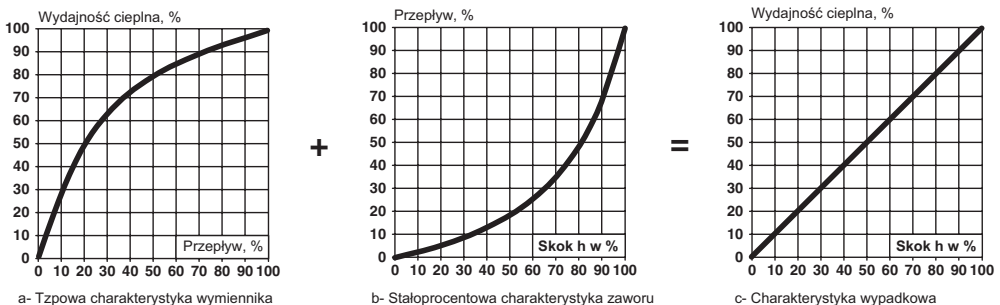
W celu hydraulicznego zrównoważenia instalacji, niezbędne urządzenia muszą spełniać następujące warunki:

- Pomiar przepływu powinien odbywać się z dokładnością około $\pm 5\%$. Procedura równoważenia pozwala sprawdzić, czy instalacja pracuje zgodnie z wymaganiami projektowymi, umożliwi wykrycie usterek i nastawić odpowiednie przepływy.
- Przepływy muszą być łatwe do wyregulowania, co czyni instalację elastyczną w pracy.
- Urządzenie regulacyjne musi zapewnić długi okres jego pracy. Poza tym musi być odporne na agresywną wodę.
- W czasie przepłukiwania strumieniem wody urządzenia regulacyjne nie powinny być usuwane i nie powinny wymagać stosowania specjalnych filtrów.
- Nastawa zaworów równoważących musi być dobrze widoczna i zabezpieczona poprzez ukrytą pamięć. Zakres pełnego dławienia powinien wymagać co najmniej czterech obrotów pokrętki zaworu, aby otrzymać odpowiednią rozdzielczość nastaw.
- Odciążenie grzyba zaworu powinno być zastosowane dla dużych średnic, aby zredukować wielkość momentu obrotowego wymaganego do nastawy zaworu dla zdławienia dużych ciśnień różnicowych.
- Zawory równoważące powinny posiadać funkcję zamknij-otwórz.
- Muszą być dostępne odpowiednie przyrządy pomiarowe, aby można było mierzyć przepływy w prosty sposób bez wykorzystywania dodatkowo nomogramów. Przyrządy powinny zawierać w sobie proste procedury równoważenia i dawać możliwości wydruku raportu dotyczącego procedury równoważenia. Przyrządy powinny także dać możliwości rejestracji w celach diagnostycznych przepływów, ciśnień różnicowych i temperatur.

F.2 Stabilizacja ciśnienia różnicowego

Charakterystyka zaworu regulacyjnego

Charakterystyka zaworu regulacyjnego jest definiowana poprzez zależność pomiędzy przepływem wody przez dany zawór w funkcji otwarcia zaworu przy stałym ciśnieniu różnicowym. Przepływ wody i otwarcie zaworu są przedstawiane w procentach wartości maksymalnych.



Rys.F4. Przyjęcie odwrotnej nieliniowej charakterystyki dla zaworu regulacyjnego kompensuje nieliniowość charakterystyki wymiennika

Dla zaworów o charakterystyce liniowej, przepływ wody jest proporcjonalny do stopnia otwarcia zaworu. Z powodu nieliniowej charakterystyki odbiorników końcowych (rys. F4a), niewielki stopień otwarcia zaworu regulacyjnego powoduje znaczne przepływy przy małych i średnich obciążeniach. Regulowany obieg może w związku z tym być niestabilny przy małych obciążeniach.

Charakterystykę zaworu regulacyjnego dobieramy więc w celu skompensowania nieliniowości odbiornika. W wyniku tego wydajność odbiornika końcowego będzie proporcjonalna do stopnia otwarcia zaworu.

Załóżmy, że wydajność odbiornika stanowi 50% jego wartości obliczeniowej w przypadku, gdy jest on zasilany przez 20% przepływu obliczeniowego. Zawór może być więc tak dobrany, że zapewnia tylko 20% przepływu obliczeniowego, gdy jego stopień otwarcia wynosi 50%. A zatem, gdy ten zawór będzie otwarty w 50%, to otrzymamy 50% obliczeniowej wydajności cieplnej układu (rys. F4c). Jeżeli będzie to prawdziwe dla wszystkich przepływów, to możemy otrzymać charakterystykę zaworu, która kompensuje nieliniowość typowych wymienników ciepła. Charakterystyka ta (rys. F4b) jest nazywana zmodyfikowaną charakterystyką stałoprocentową (EQM).

Aby otrzymać taką charakterystykę muszą być spełnione dwa warunki:

- Ciśnienie różnicowe na zaworze regulacyjnym musi być stałe.
- Przepływ obliczeniowy musi wystąpić przy całkowicie otwartym zaworze regulacyjnym. Jeżeli ciśnienie różnicowe na zaworze regulacyjnym nie jest stałe, albo gdy zawór jest przewymiarowany, to charakterystyka zaworu regulacyjnego będzie zniekształcona i nie będzie można zachować płynności regulacji.

Autorytet zaworu regulacyjnego

Gdy zawór regulacyjny zamyka się, zmniejszają się przepływy i straty ciśnienia w odbiornikach końcowych, przewodach i armaturze. Występująca różnica w spadku ciśnienia zniekształca charakterystykę zaworu regulacyjnego. Odzwierciedla to autorytet zaworu regulacyjnego.

$$\beta = \text{Autorytet zaworu} = \frac{\Delta p_{Vc}}{\Delta p}$$

gdzie: Δp_{Vc} spadek ciśnienia na zaworze regulacyjnym całkowicie otwartym w warunkach przepływu obliczeniowego;

Δp spadek ciśnienia na zaworze zamkniętym.

Wartość licznika jest stała i zależy tylko od wyboru zaworu regulacyjnego oraz od wartości przepływu obliczeniowego. Wartość mianownika odpowiada dyspozycyjnej różnicy ciśnień ΔH w danym obiegu instalacji. Zawór równoważący zainstalowany szeregowo z dobranym zaworem regulacyjnym nie ma wpływu na autorytet zaworu regulacyjnego.

Zawór regulacyjny dobiera się w taki sposób, aby otrzymać jak najlepszy autorytet tego zaworu. Na rynku nie ma jednak pełnej gamy wymaganych wielkości zaworów regulacyjnych, co jest najczęstszą przyczyną ich przewymiarowania. Stosując zawór równoważący możemy otrzymać wymagany przepływ obliczeniowy przy całkowicie otwartym zaworze regulacyjnym. Przy zainstalowaniu zaworu równoważącego otrzymamy także charakterystykę układu, która jest bliższa wymaganej charakterystyki pracy instalacji, przez co poprawia się funkcje regulacyjne (rys. F6b).

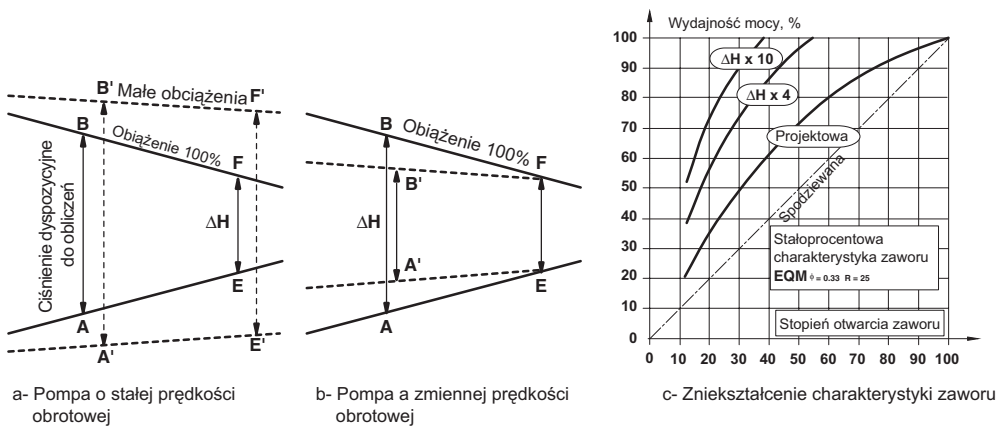
Jeżeli dobierze się właściwą wielkość zaworu równoważącego, to zabezpieczymy się także przed występowaniem lokalnych zbyt wysokich ciśnień w instalacji, które mają miejsce z powodu jej niejednorodności. Otrzymamy tym samym przepływy obliczeniowe we wszystkich odbiornikach dla warunków obliczeniowych. Gdy następnie zawory równoważące całościowo się otworzą, to zawory regulacyjne powinny się zamykać. W takim wypadku potencjalne spadki ciśnienia na zaworach równoważących przechodzą do zaworów regulacyjnych, a zawory równoważące nie powodują dodatkowych spadków ciśnienia.

Poza tym, jeżeli została przewymiarowana pompa, to zawory regulacyjne przy całkowitym ich otwarciu spowodują powstanie nadprzepływów i mogą przejść zwiększone ciśnienia. Przewymiarowanie pompy nigdy nie zostanie wykryte w takim wypadku, ale procedura równoważenia pozwoli to zrobić, a przewymiarowanie pompy można skompensować np. poprzez zmianę prędkości obrotowej.

W pewnych wyjątkowych przypadkach można znaleźć odpowiedni zawór regulacyjny z regulacją wielkości nastawy Kvs , ale problemem będzie znalezienie prawidłowej wartości tej nastawy. Nie ma możliwości otrzymania w każdym obiegu instalacji odpowiednich wartości obliczeniowych ciśnienia różnicowego, gdy nie możemy pomierzyć przepływów i instalacja nie jest zrównoważona pod względem hydraulicznym. W takim wypadku również niezbędne są zawory równoważące.

Ciśnienie różnicowe zmienia się przy średnim obciążeniu instalacji

Dla układu rozdzielczego z bezpośrednim powrotem (rys.F5a), najdalej położone obiegi poddane są największym zmianom ciśnienia różnicowego. Przy małym przepływie, gdy zawór regulacyjny przejmuje prawie całe ciśnienie wytwarzane przez pompę, autorytet zaworu regulacyjnego jest najgorszy.



Rys.F5. Autorytet zaworu regulacyjnego wynosi 0,25 dla warunków obliczeniowych. Gdy zmienia się średnie obciążenie instalacji, ciśnienie różnicowe ΔH wzrasta gwałtownie w obiegu. Powoduje to dalsze pogorszenie charakterystyki zaworu regulacyjnego.

Przy pompie o zmiennej prędkości obrotowej utrzymuje się w zasadzie stałą wartość ciśnienia różnicowego w pobliżu ostatniego obiegu (rys. F5b). Wówczas problem zmiany ciśnienia ΔH odnosi się tylko do pierwszego obiegu.

Umieszczenie czujnika różnicy ciśnień przy pompie o zmiennej prędkości obrotowej w pobliżu ostatniego obiegu powinno, z teoretycznego punktu widzenia, wpłynąć na zmniejszenie kosztów pompowania. Powoduje to jednak problemy dla obiegów znajdujących się blisko pompy. Gdy dobierzemy zawór regulacyjny w zależności od dyspozycyjnej różnicy ciśnień ΔH , określonej dla warunków obliczeniowych, wówczas w obiegu tym wystąpią podprzepływy przy mniejszych wartościach ΔH . Jeżeli dobierzemy zawór regulacyjny w oparciu o minimalną wartość ΔH , wówczas dla warunków obliczeniowych w obiegu tym wystąpią nadprzepływy, a zawór regulacyjny będzie miał niewłaściwy autorytet. W związku z tym czujnik ciśnienia różnicowego powinien być umieszczony w połowie instalacji. Można będzie w ten sposób zmniejszyć zmiany ciśnienia różnicowego więcej niż o 50% w porównaniu do tego, które otrzymamy dla pompy o stałej prędkości obrotowej.

Rysunek F5c pokazuje zależność pomiędzy wydajnością cieplną a stopniem otwarcia zaworu regulacyjnego stałoprocentowego tak dobranego, aby otrzymać poprawną wielkość przepływu przy całkowicie otwartym zaworze i jego autorytecie równym 0,25. Gdy dyspozycyjna różnica ciśnień wzrośnie w danym obiegu, wówczas charakterystyka zaworu regulacyjnego będzie znacznie zniekształcona, że spowoduje to niestateczność regulacji tego obiegu. W takim wypadku dla stabilizacji ciśnienia różnicowego na zaworze regulacyjnym i utrzymania autorytetu zaworu bliskiego jedności, można zamontować miejscowy regulator różnicy ciśnień (rys. F7a).

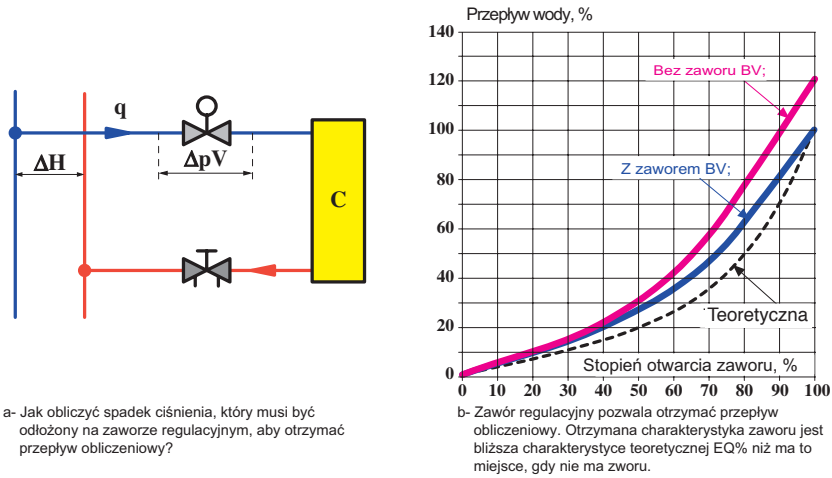
Dobór zaworu regulacyjnego

Zawór regulacyjny dwudrogowy jest dobrany poprawnie, gdy:

1. Otrzymamy przepływ obliczeniowy przy całkowicie otwartym zaworze regulacyjnym w warunkach obliczeniowych.
2. Autorytet zaworu regulacyjnego jest odpowiedni, gdy wartość jego jest wyższa od 0,25.

Warunek pierwszy jest niezbędny dla uniknięcia nadprzepływów, które powodują wystąpienie podprzepływów w innych obiegach, gdy zawór regulacyjny jest otwarty i pozostaje w takim położeniu przez dłuższy czas. Ma to miejsce w następujących przypadkach:

- (1) w czasie porannego rozruchu instalacji po tzw. nocnym obniżeniu;
- (2) gdy odbiornik końcowy (np. wymiennik) zostanie przewymiarowany;
- (3) gdy termostat został nastawiony na minimalną wartość chłodzenia;
- (4) gdy obwód regulacji nie jest stabilny.



Rys.F6. Gdy zawór regulacyjny jest przewymiarowany, wówczas zawór równoważący poprawi charakterystykę zaworu regulacyjnego

Aby otrzymać przepływ obliczeniowy dla warunków projektowych, spadek ciśnienia na zaworze regulacyjnym przy pełnym jego otwarciu, odpowiadającym warunkom obliczeniowym, musi być równy miejscowemu (lokalnemu) ciśnieniu dyspozycyjnemu ΔH , pomniejszonemu o spadek ciśnienia na odbiorniku (wymienniku) i armaturze (rys. F6a).

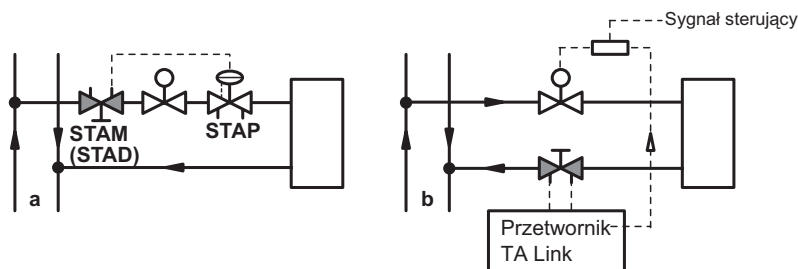
Załóżmy teraz, że informacja taka jest dostępna przed doбором zaworu regulacyjnego. Co można znaleźć na rynku dla przepływu 1,6 l/s? Jeden z zaworów regulacyjnych, może zapewnić spadek ciśnienia w wysokości 13 kPa. Drugi z kolei daje spadek ciśnienia równy 30 kPa, a trzeci - 70 kPa. Gdy potrzebujemy zdławić na całkowicie otwartym zaworze dla przykładu 45 kPa, to takiego zaworu nie znajdziemy na rynku. Z tego właśnie powodu zawory regulacyjne są przeważnie przewymiarowane. Niezbędny jest zatem montaż zaworu równoważającego, aby otrzymać przepływ obliczeniowy. Zawór równoważący poprawi charakterystykę zaworu regulacyjnego bez konieczności dodatkowego dławienia nadmiaru ciśnienia (rys. F6b).

Gdy zawór regulacyjny zostanie dobrany, musimy sprawdzić, czy autorytet zaworu ($\Delta p_{Vc}/\Delta H_{max}$) jest odpowiedni. Jeżeli autorytet zaworu jest nieodpowiedni, należy podzielić instalację na moduły i doprowadzić do większych spadków ciśnienia na mniejszych zaworach regulacyjnych.

Wskazówki pomocne w rozwiązaniu problemów miejscowych

Przedstawimy pewne wskazówki, które mogą być przydatne w rozwiązaniu szczególnych przypadków dotyczących równoważenia instalacji.

Gdy zawór regulacyjny nie został prawidłowo dobrany, ewentualnie gdy dany obieg w instalacji ma mniejsze ciśnienie dyspozycyjne ΔH , miejscowy regulator różnicy ciśnienia może stabilizować ciśnienie różnicowe na zaworze regulacyjnym (rys. F7a). Dotyczy to przeważnie takiego przypadku, gdy autorytet zaworu regulacyjnego obniży się poniżej 0,25.



Rys. F7. Ograniczenie przepływu przez odbiornik końcowy

Zasada jest prosta. Membrana zaworu regulacyjnego różnicy ciśnień STAP jest połączona na wejściu i wyjściu z regulatorem temperatury. Gdy wzrasta ciśnienie różnicowe, wzrasta siła działająca na membranę i zawór STAP zamyka się proporcjonalnie. Zawór STAP utrzymuje prawie stałą wartość ciśnienia różnicowego na zaworze regulacyjnym. Ta wartość ciśnienia różnicowego jest przyjmowana jako wartość odpowiadająca przepływowi obliczeniowemu, mierzonemu na zaworze STAM, gdy zawór regulacyjny jest całkowicie otwarty. W takim przypadku nigdy nie będzie miało miejsca przewymiarowanie zaworu regulacyjnego, którego autorytet jest bliski jedności.

Pozostały nadmiar ciśnienia różnicowego jest odkładany na zaworze STAP. Regulacja ciśnienia różnicowego jest zupełnie prosta w porównaniu z regulacją temperatury i wystarczy zastosować odpowiedni zakres proporcjonalności, aby uniknąć niestatecznej pracy regulatora.

Współpraca miejscowych regulatorów różnicy ciśnień z pompą o zmiennej prędkości obrotowej zapewnia najlepsze warunki dla regulacji przepływów. Ma to wpływ na zapewnienie warunków komfortu cieplnego w pomieszczeniu i może przyczynić się do oszczędzania energii. Zmniejsza się także znacznie możliwość wystąpienia głośnej pracy zaworu. Ze względów ekonomicznych rozwiązanie to jest stosowane przeważnie dla małych instalacji (średnica przewodu mniejsza niż 65 mm).

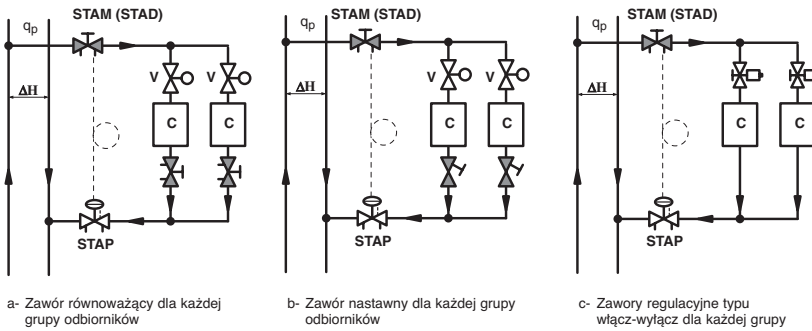
Dla większych instalacji, dla których ciśnienie różnicowe zmienia się w szerokim zakresie, można ograniczyć maksymalną wartość Kvs poprzez zainstalowanie czujnika różnicy ciśnień, podłączonego do zaworu równoważącego (rys. F7b). Gdy pomierzona wartość ciśnienia różnicowego odpowiada przepływowi obliczeniowemu (projektowemu), zawór regulacyjny nie powinien się dalej otwierać.

Gdy instalacja została obliczona przy uwzględnieniu współczynnika niejednoczesności obciążenia, zmniejsza się wielkość maksymalnego przepływu w czasie rozruchu instalacji, aby otrzymać jednorodny rozdział przepływów. Nastawa maksymalnego przepływu może być także zmieniona w zależności od wymagań dotyczących priorytetu obiegów.

W przypadku, gdy odbiorniki końcowe są regulowane za pomocą zaworu regulacyjnego proporcjonalnego albo typu zamknij-otwórz, ograniczenie ciśnienia różnicowego może zmniejszyć głośną pracę zaworu i uprościć procedurę równoważenia. W takim wypadku regulator różnicy ciśnień utrzymuje stałą wartość ciśnienia różnicowego przed odbiornikiem (rys. F8).

Rozwiązanie to może mieć także zastosowanie dla małych instalacji regulowanych za pomocą modulowanych zaworów regulacyjnych.

ZAŁĄCZNIK F



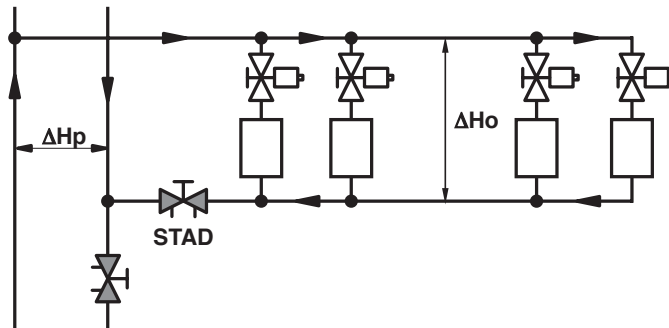
Rys. F8. Zawór STAP utrzymuje stałą wartość ciśnienia różnicowego przed odbiornikami końcowymi

Powyższe przykłady nie ograniczają procedury równoważenia. Pokazują one jedynie, że zastosowanie specyficznych rozwiązań może być przydatne w rozwiązywaniu szczególnych przypadków.

Utrzymywanie stałego ciśnienia różnicowego w instalacjach grzewczych

Układy rozdzielcze o zmiennych przepływach

W instalacjach centralnego ogrzewania, nastawy termostatycznych zaworów grzejnikowych są tak wykonywane, aby ciśnienie dyspozycyjne na zaworze ΔH_o wynosiło 10 kPa.

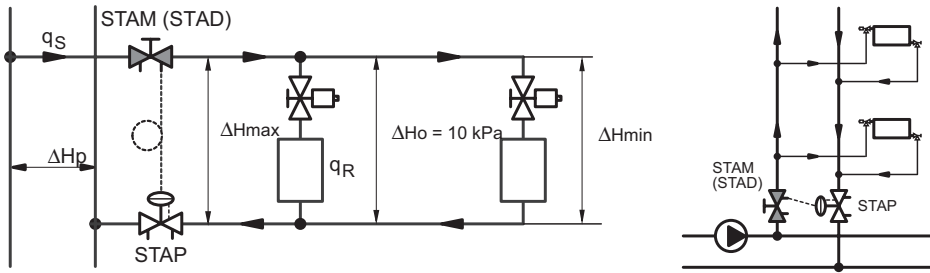


Rys. F9. Każdy zawór grzejnikowy jest ustawiony na ciśnienie różnicowe w wysokości 10 kPa

W czasie procedury równoważenia, zawór równoważący STAD jest tak nastawiony, aby otrzymać odpowiednią wielkość przepływu całkowitego w odgałęzieniu. Ułatwia to wykonanie wstępnej nastawy na zaworach, aby otrzymać spadek ciśnienia rzędu 10 kPa w połowie odgałęzienia.

W przypadku instalacji c.o., w których ciśnienie dyspozycyjne jest wyższe od 30 kPa, występuje ryzyko głośnej pracy instalacji. Zjawisko to występuje wtedy, gdy w wodzie znajduje się powietrze. W takim wypadku należy zastosować zawór STAP, aby zredukować ciśnienie różnicowe i utrzymać je na stałym poziomie (rys. F10).

ZAŁĄCZNIK F



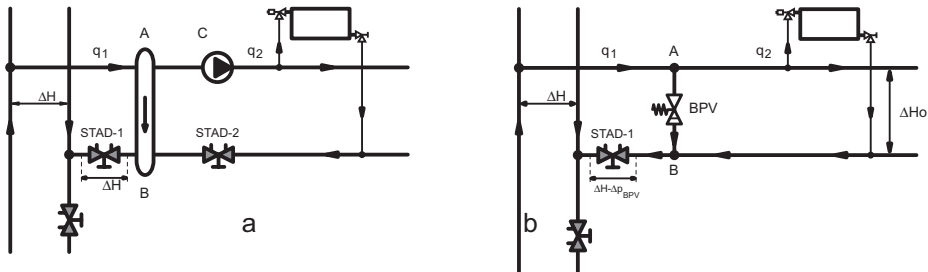
Rys. F10. Zawór STAP utrzymuje stałą wartość ciśnienia różnicowego w obiegu instalacji c.o.

Zawór STAP utrzymuje stałą wartość ciśnienia różnicowego na każdym odgałęzieniu lub małym pionie. Przepływ wody przez odgałęzienie (q_s) mierzy się za pomocą zaworu STAM (STAD). Taki układ zabezpiecza termostaticzne zawory grzejnikowe przed zbyt dużym ciśnieniem różnicowym.

Układy rozdzielcze o stałych przepływach

Temperatura wody zasilającej instalację centralnego ogrzewania w budynkach mieszkalnych jest regulowana za pomocą centralnego regulatora w zależności od temperatury powietrza zewnętrznego.

Ciśnienie pompy może być wysokie, co powoduje głośną pracę zaworów termostaticznych. Gdy nie ma ograniczenia dotyczącego temperatury wody powrotnej, można zastosować regulację ilościową, przy stabilizacji przepływów w obiegu pierwotnym.



Rys. F11. Każde mieszkanie będzie miało różne wartości ciśnienia, mniejsze od 30 kPa

Jednym z rozwiązań jest zaopatrzenie każdego mieszkania w przewód obejściowy AB i zawór równoważący STAD-1 (rys. F11a). Ten zawór równoważący przejmuje ciśnienie dyspozycyjne ΔH . Pompa po stronie wtórnej o wysokości tłoczenia mniejszej niż 30 kPa jest pompą obiegową, która powoduje cyrkulację wody w instalacji zaopatrującej w ciepło mieszkanie. Gdy zawór termostaticzny zamyka się, ciśnienie Δp na zaworze termostaticznym jest do przyjęcia i nie powoduje ono głośnej pracy instalacji. Przepływ po stronie wtórnej musi być nieznacznie mniejszy od przepływu po stronie pierwotnej, aby uniknąć odwrotnego przepływu przez przewód obejściowy, który może spowodować powstanie punktu mieszającego w A i wpłynąć na obniżenie temperatury zasilania. Jest to powód dla którego powinien zostać zamontowany inny zawór równoważący typu STAD-2 po stronie układu wtórnego.

Innym rozwiązaniem jest zainstalowanie zaworu nadmiarowo-upustowego proporcjonalnego typu BPV dla każdego z mieszkań (rys. F11). Wyklucza to konieczność montażu pompy obiegowej po stronie wtórnej oraz zaworu równoważącego STAD-2. Zawór nadmiarowo-upustowy BPV współpracuje z jednym zaworem równoważącym STAD-1 przy stabilizacji ciśnienia różnicowego. Nastawa tego zaworu jest tak wykonana, aby otrzymać wymagane przepływy w obiegu przez grzejnik. Gdy zawór termostatyczny zamyka się, ciśnienie różnicowe pomiędzy punktami A i B wzrasta poza wielkość wynikającą z nastawy. Zawór BPV otwiera się wówczas i przepuszcza przez przewód obejściowy dodatkową wielkość przepływu, powodując tym samym wystarczający spadek ciśnienia na zaworze regulacyjnym, aby utrzymać prawie stałą wartość ciśnienia różnicowego pomiędzy punktami A i B.

Założmy teraz, że nie zainstalowano zaworu STAD-1. Gdy wzrasta ciśnienie różnicowe ΔH po stronie pierwotnej, zawór BPV otworzy się, zwiększając wielkość przepływu q_1 . Oporność hydrauliczna przewodów pomiędzy punktami AB i oporność pionu zostały pominięte, a zatem ciśnienie różnicowe na odcinku AB pozostanie praktycznie równe ciśnieniu ΔH . W celu zrównoważenia ciśnienia różnicowego po stronie wtórnej, zawór BPV musi być połączony z zaworem równoważącym typu STAD-1, aby wytworzyć odpowiedni spadek ciśnienia.

F.3 Przepływy muszą być zgodne na granicy rozdzielnictwa obiegów

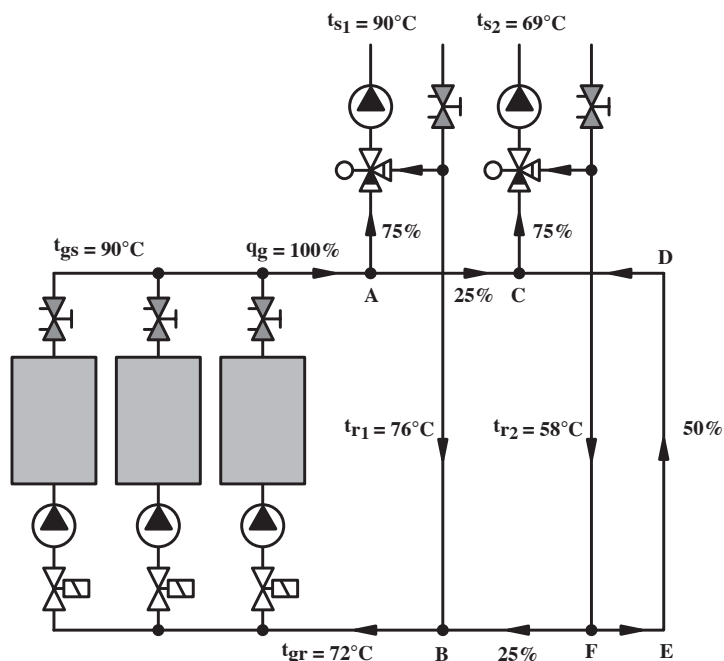
Należy przedstawić odpowiednie dane dla wykonania inwestycji

Źródła ciepła, pompy, przewody i odbiorniki końcowe należy tak dobierać, aby zaopatrzyć dany budynek w ciepło przy maksymalnym jego zapotrzebowaniu, uwzględniając współczynnik niejednoczesności obciążenia. Jeżeli maksymalne zapotrzebowanie na energię nie może być spełnione, ponieważ instalacja nie została zrównoważona pod względem hydraulicznym, nie możemy przedstawić odpowiednich danych inwestorowi.

Jeżeli instalacja nigdy nie pozwala na spełnienie warunków maksymalnego obciążenia może to oznaczać, że źródło energii (ciepła lub chłodu), pompy i inne elementy instalacji zostały... przewymiarowane, a zatem cała instalacja nie została prawidłowo zaprojektowana. Gdy instalacja zostanie prawidłowo zrównoważona pod względem hydraulicznym, to nie ma potrzeby jej przewymiarowania, które przyczynia się do zwiększenia kosztów inwestycyjnych oraz wzrostu kosztów eksploatacyjnych.

Jest przy tym sprawą oczywistą, że występowanie nadprzepływów w pewnych częściach instalacji powoduje pojawienie się podprzepływów w innych częściach tej samej instalacji. Obiegi, które nie otrzymują odpowiednich przepływów nie są w stanie pracować prawidłowo przy pełnym obciążeniu, które jest wymagane, gdy temperatura zewnętrzna zbliża się do tzw. temperatury obliczeniowej w okresie zimowym lub gdy wzrasta temperatura powietrza zewnętrznego w okresie letnim. Pojawia się przy tym inny problem, a mianowicie w warunkach pełnego obciążenia temperatura wody zasilającej będzie niższa od wymaganej temperatury w przypadku instalacji centralnego ogrzewania i wyższa w instalacji klimatyzacyjnej, czego przyczyną jest brak zgodności (kompatybilności) pomiędzy źródłem energii a wielkością przepływów wody w układzie rozdzielczym.

Przykład instalacji centralnego ogrzewania



Rys. F12. W dwóch obiegach instalacji c.o. występują nadprzepływy

Na rys. 12 pokazano instalację centralnego ogrzewania z trzema kotłami. Obieg przez przewody rozdzielcze posiada małą oporność hydrauliczną w celu uniknięcia zaburzeń hydraulicznych pomiędzy obiegiem przez kotły i obiegiem przez odbiorniki ciepła. Z tego powodu należy unikać występowania jakichkolwiek dodatkowych oporności w przewodzie obejściowym „DE”.

Montaż zaworu zwrotnego pomiędzy punktami D i E na przykład, spowoduje szeregową pracę pomp obiegu pierwotnego i wtórnego, co znacznie zakłóci funkcję trójdrogowych zaworów mieszających.

Jeżeli obydwa obiegi są identyczne, wówczas każdy z nich musi otrzymać 50% wielkości całkowitego przepływu obliczeniowego. Załóżmy, że obydwa obiegi powinny otrzymać 75% wielkości tego przepływu. Jeżeli pierwszy z obiegów otrzymuje w punkcie A 75% przepływu całkowitego, to pozostałe 25% całkowitego przepływu przypada na drugi obieg. Obieg ten powinien otrzymać 75% całkowitego przepływu, ale w rzeczywistości otrzymuje tylko 25% tego przepływu. W związku z tym brakujące 50% wielkości całkowitego przepływu obliczeniowego pobiera on z przewodu powrotnego. W punkcie C będzie miało miejsce mieszanie się 25% wody gorącej z przewodu zasilającego z 50% wody powrotnej z obiegu drugiego. W związku z tym maksymalna temperatura zasilania wyniesie 69°C .

W warunkach obliczeniowych, tj. gdy temperatura powietrza zewnętrznego będzie wynosiła -10°C , przy maksymalnych przepływach przez pierwszy obieg, temperatura w pomieszczeniach zasilanych z obiegu 2 nie przekroczy $+14^{\circ}\text{C}$. Gdy osiągniemy temperaturę wewnętrzną odpowiadającą odpowiedniej nastawie w obiegu pierwszym, zawór regulacyjny trójdrogowy zacznie zamykać się.

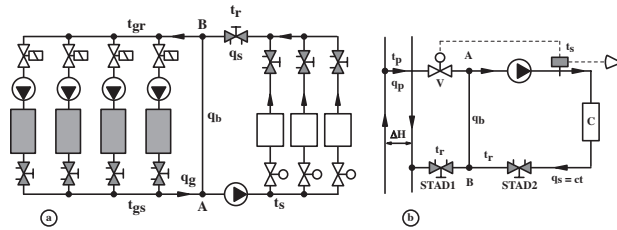
Temperatura zasilania obiegu drugiego wzrośnie maksymalnie do 80°C przy przepływie mniejszym o 10% od wartości projektowej. W takich warunkach maksymalna temperatura wewnętrzna w pomieszczeniach zasilanych z obiegu drugiego wyniesie 17°C. Zwiększenie wysokości ciśnienia na pompie w obiegu drugim spowoduje tylko pogorszenie warunków pracy.

Czas rozruchu instalacji będzie znacznie dłuższy od oczekiwanego, a moc cieplna zainstalowana w źródle nie zostanie przekazana w całości do odbiorników. Aby uniknąć wystąpienia takiego problemu, maksymalna wielkość przepływu całkowitego musi być równa lub mniejsza od przepływu maksymalnego w źródle ciepła.

Można przypuszczać, że wystarczającym działaniem dla ograniczenia przepływów będzie zmniejszenie wysokości ciśnienia pompy w obiegu wtórnym. Próba uniknięcia w ten sposób nadprzepływów prowadzi po prostu do wystąpienia podprzepływów w tych częściach instalacji, które otrzymują i tak zbyt małe przepływy wody. Zachodzi więc konieczność hydraulicznego zrównoważenia przepływów pomiędzy obydwoma obiegami. Gdy nadprzepływy w danym obiegu są spowodowane nie zrównoważeniem instalacji, to możemy wyobrazić sobie, że niektóre obiegi otrzymają tylko 50% przepływu obliczeniowego. Dla takich obiegów sytuacja jest najgorsza, ponieważ temperatura wody zasilającej będzie niższa od temperatury wynikającej z warunków projektowych i ma także miejsce redukcja wielkości przepływów.

Koszty zrównoważenia hydraulicznego stanowią zwykle mniej niż 1% całkowitych kosztów inwestycyjnych, dotyczących danej instalacji, a jak łatwo jest zauważyć zrównoważenie to pozwala na pełne przekazywanie mocy cieplnej zainstalowanej w źródle do odbiorników końcowych, zgodnie z warunkami wynikającymi z projektu instalacji c.o.

Przykład instalacji klimatyzacyjnej



Rys. F13. Przykłady instalacji klimatyzacyjnej

Na rys. F13a pokazano centrale klimatyzacyjną z czterema agregatami chłodniczymi. Jeżeli układ rozdzielczy nie został zrównoważony, wówczas przepływ maksymalny q_s może być wyższy od przepływu w źródle q_g . W tym wypadku przepływ q_b w przewodzie obejściowym odbywa się w przeciwnym kierunku, tj. od B do A, co powoduje powstanie zjawiska mieszania wody w punkcie A. Temperatury wody zasilającej będzie wówczas wyższa od temperatury ustalonej dla warunków obliczeniowych, a maksymalna moc zainstalowana w źródle nie zostanie przekazana do instalacji.

Rys. F13b pokazuje odbiorniki końcowe chłodu pracujące przy stałych przepływach z dwudrogowymi zaworami regulacyjnymi. Gdy przepływ w odbiorniku końcowym będzie zbyt wysoki, kierunek przepływu q_b będzie miał zawsze miejsce w kierunku od B do A. Temperatura wody zasilającej będzie zawsze wyższa od temperatury określonej dla warunków obliczeniowych, a maksymalna wydajność projektowa źródła chłodu nie będzie nigdy osiągalna w odbiornikach końcowych. W obydwu przykładach nadprzepływy rzędu 50% w przewodach rozdzielczych lub na wymienniku spowodują wzrost temperatury zasilania od 6°C do 8°C.

Problemy związane z równoważeniem i analiza pracy instalacji

Równoważenie hydrauliczne zabezpiecza instalacje przed występowaniem nadprzepływów w pewnych obiegach, które z kolei są przyczyną powstawania podprzepływów w innych częściach instalacji. Poza tym pozwalają na wykrycie przewymiarowania pomp i weryfikację przepływów w całej instalacji, aby pracowała ona zgodnie z warunkami projektowymi.

G.1 Problemy wspólne

G.2 Szybkie usuwanie usterek

Objawy:	Powszechne i niewłaściwe zabiegi przeciwdziałające:	Typowe lecz zwykle pomijane główne przyczyny:	Prawidłowe rozwiązania:	Zalety:
Zbyt gorąco w niektórych częściach budynku i zbyt zimno w pozostałych częściach.	Zwiększenie wysokości tłoczenia pompy (pompa po stronie pierwotnej lub w układzie wtórnym).	Nadprzepływy w pewnych częściach instalacji powodują powstanie podprzepływów w innych częściach tej instalacji. Brak równoważenia obiegów znajdujących się za regulatorami ciśnienia Δp .	Zrównoważyć układ rozdzielczy stosując zawory równoważące typu STAD/STAF	<ul style="list-style-type: none"> • Właściwe temperatury wewnętrzne w pomieszczeniach i optymalizacja kosztów zużycia energii. • Weryfikacja przepływów, która powinna być naniesiona na odpowiednich rysunkach powykonawczych.
Wymagany długi czas, aby otrzymać odpowiednią temperaturę wewnętrzną po nocnym obniżeniu.	Zwiększenie temperatury zasilania (ogrzewanie). Zmniejszenie temperatury zasilania (klimatyzacja). Rezygnacja z funkcji obniżenia nocnego. Zainstalowanie dodatkowych kotłów lub agregatów chłodniczych.	Nadprzepływy w pewnych częściach instalacji powodują powstanie podprzepływów w innych częściach tej instalacji. Przepływ w układzie rozdzielczym jest wyższy niż w źródle energii (brak zgodności pomiędzy przepływami).	Zrównoważyć układ rozdzielczy stosując zawory równoważące typu STAD/STAF Sprawdzić, czy przepływy w źródle energii są zgodne z przepływami w układzie rozdzielczym, przeprowadzając odpowiednie równoważenie hydrauliczne.	<ul style="list-style-type: none"> • Możliwość pomiaru i rejestracji przepływów oraz wykrycia problemów. • Równoważenie ręczne pozwala na wykrycie problemów hydraulicznych, które mogą być rozwiązane odpowiednio wcześniej. • Skrócenie do minimum czasu rozruchu instalacji po nocnym obniżeniu.
Nienormalne zużycie energii przez pompę.		Pompa została przewymiarowana i przewymiarowania tego nie wykryto.	Zrównoważyć instalację stosując zawory STAD/STAF w celu stwierdzenia przewymiarowania pomp. Ustalić prawidłową prędkość obrotową pompy, wyważyć wirnik lub zmienić pompę. Zamontować pompę po stronie wtórnej, aby pokonać wysokie straty ciśnienia.	<ul style="list-style-type: none"> • Możliwość zmniejszenia kosztów pompowania. • Uniknięcie głośniejszej pracy instalacji z powodu zbyt wysokiego ciśnienia na pompie. • Stabilna i dokładna regulacja temperatury. • Niskie koszty energii.
Wahania temperatury podlegającej regulacji. Głośnie praca zaworów regulacyjnych.	Modyfikacja oprogramowania dotyczącego regulacji, chociaż jest to problem dotyczący hydrauliki układu. Zastąpienie poprawnie dobranych, ale niestabilnych zaworów regulacyjnych mniejszymi zaworami regulacyjnymi.	Instalacja nie jest zrównoważona. Autorytet zaworu regulacyjnego jest zbyt mały. Niewłaściwe parametry regulacji. Przewymiarowano zawór regulacyjny lub podłączono do zmienności ciśnienia Δp .	Zrównoważyć układ rozdzielczy stosując zawory równoważące typu STAD/STAF. Poprawnie zwymiarować i dobrać zawory równoważące. Przyjąć bardziej prawidłowe charakterystyki zaworów, a także inne parametry regulacyjne. Ograniczyć wahania ciśnienia Δp poprzez zastosowanie zaworów regulacyjnych typu STAP.	<ul style="list-style-type: none"> • Zmniejszenie wystąpienia ryzyka głośniejszej pracy. • Przy regulacji ciśnienia Δp na zaworach regulacyjnych za pomocą zaworów typu STAP autorytet zaworów regulacyjnych pozostaje bliski jedności i zawory te nie będą nigdy przewymiarowane.

Przyrząd CBI pozwala szybciej dotrzeć do problemów związanych z niewłaściwą pracą instalacji i usunąć je. Przyrząd CBI służy do pomiaru i rejestracji ciśnienia różnicowego, przepływów wody i temperatur przy wykorzystaniu zaworów równoważących.

Niżej przedstawiono wykaz typowych usterek, które przyrząd CBI pomoże zidentyfikować:

- Niewłaściwe przepływy w przewodach i odbiornikach końcowych.
- Zbyt wysoka lub zbyt niska temperatura zasilania.
- Niewłaściwe temperatury powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach.
- Przepływy wody w źródle i w przewodach rozdzielczych nie są zgodne (kompatybilne).
- Wzajemne oddziaływanie obiegów jednostek produkcyjnych.
- Możliwość znalezienia zablokowanych filtrów lub zapchanych przewodów i odbiorników końcowych, które są przyczyną zbyt wysokich strat ciśnienia na tych urządzeniach.
- Zawory typu „zamknij - otwórz”, które są zamknięte, a powinny być otwarte.
- Niewłaściwe podłączenie zaworów zwrotnych.
- Wgniecenia przewodów.
- Zbyt wysokie lub zbyt niskie różnicowe ciśnienie dyspozycyjne w danym obiegu.
- Pompa w układzie rozdzielczym przewymiarowana lub zbyt mała.
- Niewłaściwy kierunek prędkości obrotowej wirnika pompy w przypadku pomp zasilanych silnikami elektrycznymi trójfazowymi.
- Niestabilna prędkość obrotowa pompy.
- Wzajemne oddziaływanie poszczególnych obiegów instalacji, w których pojawiają się przepływy w odwrotnym kierunku.
- Niestabilna regulacja odbiorników końcowych.
- Przewymiarowane zawory regulacyjne i możliwość ustalenia ich autorytetu.
- ...

Jedną z wielu zalet ręcznego równoważenia jest to, że można spotkać wiele tego typu usterek w czasie wykonywania procedury równoważenia. Jest przy tym znacznie tańsze usuwanie tych usterek na tym etapie wykonywania instalacji niżby to miało miejsce po wprowadzeniu lokatorów do budynku.

G.3 Dokładna analiza pracy instalacji

W celu usunięcia bardziej złożonych zjawisk występujących w danej instalacji, co ma szczególnie miejsce w bardzo rozległych instalacjach, zachodzi potrzeba przeprowadzenia dokładnej analizy całego układu. Podstawą wykonania takiej analizy jest znajomość danych dotyczących zmian ciśnienia różnicowego, przepływów i temperatur w najważniejszych punktach instalacji.

Przyrząd pomiarowy CBI pomoże rozwiązać te problemy. Po zdjęciu odpowiednich danych należy podłączyć przyrząd CBI do komputera i wydrukować dane w postaci zestawienia tabelarycznego, które mogą być w łatwy sposób wykorzystane do prezentacji graficznej, którą można wykonać po powrocie do biura.



IMI international Sp. z o.o.

32-300 Olkusz, Olewin 50A

tel. +48 32 75 88 200

fax +48 32 75 88 201

Biuro Handlowe:

02-626 Warszawa, Al. Niepodległości 69

tel. +48 22 322 70 17

fax +48 22 322 76 17

Zmiany techniczne zastrzeżone.