



RÓWNOWAŻENIE HYDRAULICZNE Z REGULATORAMI CIŚNIENIA RÓŻNICOWEGO

Kiedy i gdzie w systemach zmiennie przepływowych HVAC, stosować regulatory ciśnienia różnicowego?



Autor publikacji: Robert Petitjean

Spis treści

1. Wprowadzenie	5
2. Różnica ciśnień za zaworach regulacyjnych nie może się zmieniać w zbyt dużym zakresie	6
2.1. Rodzaje systemów dystrybucji	6
2.1.1. Dystrybucja zmiennoprzepływowa	6
2.1.2. Dystrybucja stałoprzepływowa	7
2.2. Ogólne wiadomości dotyczące regulacji	8
2.2.1. Elementy składowe pętli regulacyjnej	8
2.2.2. Regulacja proporcjonalna	9
2.2.3. Charakterystyki zaworów regulacyjnych	11
2.2.4. Autorytet zaworu regulacyjnego	12
2.2.5. Dobór zaworu regulacyjnego	13
2.3. Konsekwencje zastosowania dystrybucji zmiennoprzepływowej	15
2.3.1. Warunki projektowe	16
2.3.2. Co się stanie kiedy zamyka się zawór regulacyjny odbiornika "A"?	17
2.3.3. Przepływ całkowity $q_T=50\%$ przepływu projektowego	18
2.3.4. Zastosowanie pomp o zmiennej prędkości obrotowej	20
2.3.5. Zastosowanie lokalnych regulatorów Δp	25
2.3.6. Porównanie rezultatów	26
2.4. Podsumowanie	27
3. Zastosowanie regulatorów STAP	28
3.1. Utrzymanie stałego Δp na zaworze regulacyjnym	28
3.2. Regulator różnicy ciśnień dla kilku odbiorników	30
3.3. Zastosowania w instalacjach grzejnikowych	32
3.3.1. Zawory grzejnikowe z nastawą wstępną	32
3.3.2. Zawory grzejnikowe bez nastawy wstępnej	34

4. Zastosowania BPV	36
4.1. Przekształcanie warunków zmiennoprzepływowych w stałoprzepływowe	36
4.2. Zawór regulacyjny dwudrogowy na dopływie	38
4.3. Przepływ minimalny w małym kotle lub wytwornicy wody lodowej	39
4.4. Przepływ minimalny przy dystrybucji zmiennoprzepływowej	41
4.5. Zastosowania w instalacjach ogrzewania podłogowego	42
4.6. Zawór nadmiarowo-upustowy BPV w obwodach z grzejnikami	44
5. Załączniki	46
5.1. Dobieranie rur stalowych	47
5.2. Dobieranie zaworu pomiarowego STAM	48
5.3. Dobieranie zaworu równoważącego STAD	49
5.4. Dobieranie zaworu STAP	50
5.5. Dobieranie zaworu nadmiarowo-upustowego BPV	51
5.6. Koszty pompowania w porównaniu do kosztów dyskomfortu	53

1. Wprowadzenie

Zasadniczym celem projektowania instalacji grzewczych i klimatyzacyjnych jest osiągnięcie komfortowego klimatu wewnątrz pomieszczeń, przy zminimalizowanych kosztach i problemach eksploatacyjnych.

Teoretycznie nowoczesna technika regulacyjna może spełnić najbardziej wysublimowane wymagania odnoszące się do klimatu wewnątrz pomieszczeń oraz przyczynić się do oszczędności energii.

W praktyce jednak nawet najbardziej zaawansowane technologicznie regulatory nie pracują w sposób zgodny z oczekiwaniami. W konsekwencji komfort cieplny i koszty funkcjonowania systemu różnią się niekorzystnie od zakładanych.

Jeśli będziemy systematycznie analizowali zachowanie instalacji grzewczych i klimatyzacyjnych zaobserwujemy następujące problemy:

- Zadana temperatura nie jest osiągana we wszystkich pomieszczeniach, szczególnie po dużych zmianach obciążenia.
- Temperatura wewnętrzna stale oscyluje wokół wartości zadanej, mimo zastosowania nowoczesnych regulatorów. Oscylacje temperatury występują przy niskich i średnich obciążeniach.
- Pomimo zapasu mocy w źródle niemożliwe jest uzyskanie nominalnej mocy we wszystkich odbiornikach, co jest szczególnie widoczne podczas uruchamiania instalacji.

Powyższe niedomagania pojawiają się pomimo zastosowania nowoczesnych regulatorów. Taki stan rzeczy wynika często z błędów popełnionych przy projektowaniu instalacji hydraulicznej oraz z nieprzestrzegania trzech podstawowych warunków hydraulicznych:

Przepływ projektowy musi być osiągalny we wszystkich odbiorach przy pełnym obciążeniu.

Ciśnienie różnicowe na zaworze regulacyjnym nie powinno zmieniać się zbytnio.

Przepływy w obwodach hydraulicznych, współpracujących ze sobą, są odpowiednio dobrane.

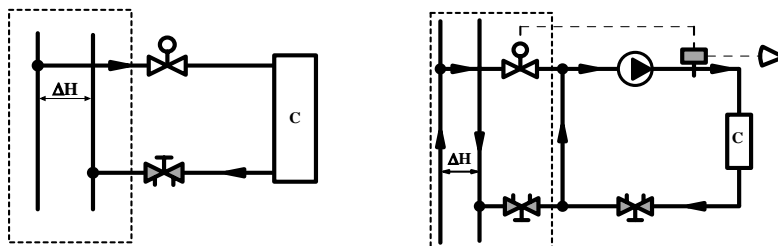
Poradnik ten podaje informacje dotyczące drugiego warunku, przybliżając zastosowanie dwóch produktów: regulatora różnicy ciśnień bezpośredniego działania STAP i zaworu nadmiarowo-upustowego typ BPV.

2. Różnica ciśnień za zaworach regulacyjnych nie może się zmieniać w zbyt dużym zakresie

2.1 Rodzaje systemów dystrybucji

W instalacjach grzewczych, wentylacyjnych i chłodniczych w klimatyzacji /HVAC/ dystrybucję wody można osiągnąć przy przepływie stałym lub zmiennym. Każdy z tych dwóch systemów ma zalety i wady.

2.1.1 Dystrybucja zmiennoprzepływowa



Rys. 2.1. Przykłady systemu zmiennoprzepływowego.

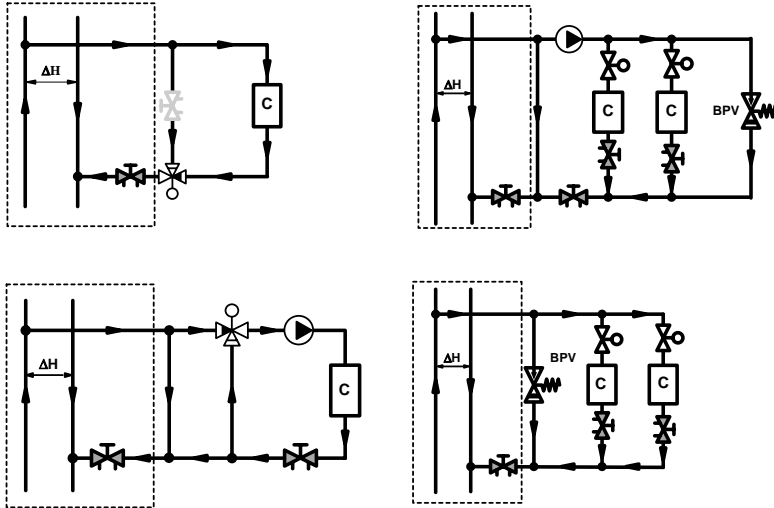
Zalety

- Koszty pompowania zmniejszają się wraz z przepływem. Jest to szczególnie interesujące w chłodnictwie, gdzie koszty pompowania rozdziału, w systemie stałoprzepływowym, wynoszą pomiędzy 6 a 12% kosztów energii używanej przez wytwornice wody lodowej. Dalsze oszczędności można osiągać za pomocą pomp o zmiennej prędkości obrotowej, które mogą w pewnych wypadkach pracować przy zmniejszonej wysokości podnoszenia.
- Instalacja może być obliczana z uwzględnieniem czynnika niejednoczesności. Może to być głównym powodem zamiany dystrybucji stałoprzepływowej na zmiennoprzepływową, pozwalającej na rozbudowę instalacji przy użyciu tych samych systemów rurociągów.
- Jeżeli pełne obciążenie jest osiągnięte wyjątkowo, można obliczać rurociągi z wyższymi spadkami ciśnienia, zmniejszając koszty inwestycyjne.
- Przepływy po stronie dystrybucji powinny być odpowiednio dopasowane w celu uzyskania stałej temperatury wody zasilającej przy wszystkich obciążeniach. Ma to podstawowe znaczenie w instalacjach chłodniczych.
- Temperatura wody powrotnej może być minimalizowana w systemach grzewczych, a maksymalizowana w chłodniczych. Jest to ważne przy zasilaniu instalacji z miejskiej sieci ciepłej lub chłodniczej oraz gdy używa się kotłów kondensacyjnych.

Wady

- Gdy sumaryczny przepływ jest niewielki, temperatura wody może zmieniać się znacząco pomiędzy różnymi punktami dystrybucji.
- Różnica ciśnień na zasilaniu w obwodzie jest w sposób istotny zmienna, co wpływa na autorytet zaworów regulacyjnych i na stabilność obwodów regulacyjnych pracujących w trybie proporcjonalnym lub PI/PID.
- Dobór dwudrogowego zaworu regulacyjnego nie jest łatwy, gdyż zależy on od dostępnego ciśnienia różnicowego ΔH w obwodzie. Wartość ta jest nieznaną i w sposób istotny zmienna.
- Obwody wzajemnie oddziałują na siebie. Gdy zamyka się jeden zawór regulacyjny, powoduje to wzrost różnicy ciśnienia w innych obwodach. Ich zawory regulacyjne muszą się przemykać w celu kompensacji.
- Przepływ minimalny musi być zapewniony w celu ochrony pompy.

2.1.2 Dystrybucja stałoprzepływowa



Rys. 2.2. Niektóre przykłady obwodów ze stałym przepływem po stronie dystrybucji.

Zalety

- Wysokość podnoszenia pompy jest stała, spadki ciśnienia w rurociągach rozdzielających są stałe, a obwody nie oddziałują na siebie. Co za tym idzie, każdy obwód zasilany jest stałą różnicą ciśnień a warunki pracy są utrzymywane w całym zakresie obciążeń, co jest korzystne dla pętli regulacyjnych.
- Dobór zaworów regulacyjnych jest łatwy. Zawór trójdrogowy w obwodzie rozdzielającym jest dobierany w oparciu o ciśnienie różnicowe takie samo, jak spadek ciśnienia na odborniku w warunkach projektowych. Autorytet zaworu regulacyjnego jest stały i może być, w niektórych przypadkach, bliski jedności.
- Temperatura wody zasilającej jest bardziej jednolita w całej instalacji.

Wady

- Koszty pompowania pozostają maksymalne dla całego zakresu obciążeń.
- Cały rozdzielający musi być projektowany biorąc pod uwagę, że wszystkie odborniki pracują przez cały czas przy maksymalnym przepływie. Projektowanie instalacji z czynnikiem jednoczesności jest niemożliwe.
- Temperatura wody powrotnej nie jest minimalizowana przy grzaniu ani maksymalizowana przy chłodzeniu, co nie spotyka się z pozytywną reakcją lokalnych przedsiębiorstw ciepłowniczych/chłodniczych. Przy ogrzewaniu wyższa temperatura wody powrotnej nie jest dogodna dla kotłów kondensacyjnych.
- Kiedy kilka źródeł ciepła pracuje w sekwencji, przepływy po stronie produkcji i dystrybucji, nie są kompatybilne przy obciążeniach częściowych. Różnica przepływów tworzy punkt mieszania i temperatura wody zasilającej nie może być utrzymana na stałym poziomie, co powoduje problemy w systemach chłodniczych.

Wybór pomiędzy dystrybucją stałoprzepływową i zmiennoprzepływową zależy od przeznaczenia instalacji i wagi przykładowej do specyficznych zalet i wad.

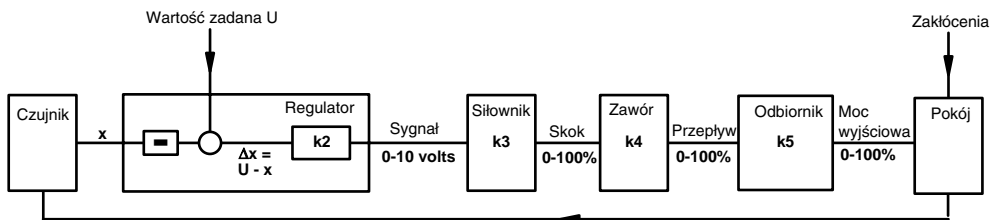
2.2 Ogólne wiadomości dotyczące regulacji

2.2.1 Elementy składowe pętli regulacyjnej

W instalacjach grzewczych i klimatyzacyjnych, pętle regulacyjne wpływają ogólnie na temperaturę lub przepływ aby oddziaływać na system, w którym chcemy regulować jedną wielkość fizyczną (np. temperaturę).

To, jak efektywna jest regulacja zależy od kombinacji sześciu wzajemnie oddziałujących na siebie elementów tworzących pętlę.

1. Czujnik mierzy parametr, który ma być regulowany, np. temperaturę pomieszczenia lub temperaturę wody zasilającej.
2. Regulator porównuje wartość mierzoną z wartością zadaną. W zależności od różnicy pomiędzy tymi dwoma wartościami, regulator działa w zależności od swego rodzaju (np. dwupołożeniowo lub PID) i reguluje siłownik zaworu.
3. Siłownik przestawia zawór zgodnie z instrukcjami otrzymanymi od regulatora.
4. Dwu- lub trójdrogowe zawory regulują przepływ a w rezultacie ilość energii, która ma być przekazana do układu aby skompensować zakłócenia.
5. Odbiornik końcowy przekazuje tę energię do kontrolowanego systemu.
6. Kontrolowany system może być pomieszczeniem, w którym znajduje się czujnik.



Rys. 2.3. Sześć elementów składowych pętli regulacyjnej oddziałuje na siebie wzajemnie.

Regulator jest mózgiem pętli regulacyjnej. Jego charakterystyka musi być tak dobrana, by odpowiadać charakterystyce systemu w celu uzyskania stabilnego "związku".

Można rozróżnić dwie klasy regulatorów: nieciągłe i ciągłe (z sygnałem modulowanym). Regulatory dwupołożeniowe tworzą część klasy regulatorów nieciągłych. W systemach grzewczych, przy zbyt wysokich temperaturach wewnętrznych, zawór regulacyjny jest całkowicie zamknięty a całkowicie otwarty przy zbyt niskich. Niezależnie od tego, czy zawór jest otwarty czy zamknięty, zawsze dostarcza się za dużo lub za mało ciepła i wartość regulowana nie może osiągnąć stabilnego stanu. Oscyluje ona w sposób ciągły pomiędzy maksimum a minimum.

Lepszy komfort może być uzyskiwany przy użyciu regulatora z sygnałem modulowanym bazującego na proporcjonalnym trybie pracy.

2.2.2 Regulacja proporcjonalna

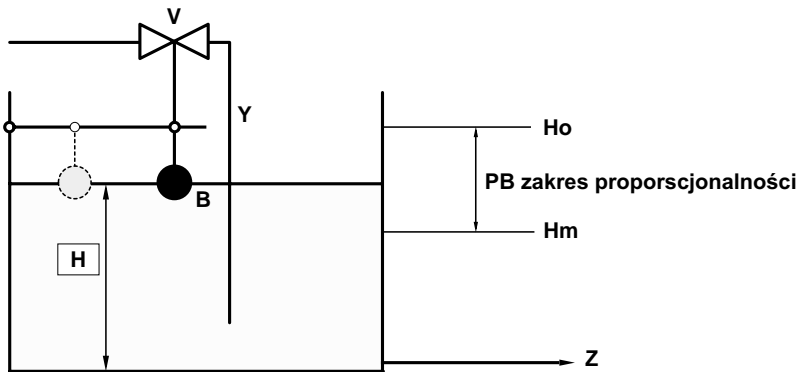
Regulator proporcjonalny otwiera i zamyka zawór regulacyjny proporcjonalnie do różnicy pomiędzy wartością regulowaną i wartością zadaną. Zawór regulacyjny znajduje stabilny punkt pracy odpowiadający równowadze energetycznej. Temperatura powietrza zasilającego i temperatura pomieszczenia stabilizują się, znacząco podnosząc komfort.

Rysunek 2.4 pokazuje pętlę regulującą poziom przy użyciu regulatora proporcjonalnego. Stały poziom H musi być normalnie utrzymywany poprzez oddziaływanie na przepływ zasilający Y , który jest zaprojektowany do kompensacji zakłóceń Z .

Gdy poziom H opada, pływak B opada wraz z nim i otwiera proporcjonalnie zawór regulacyjny V . System osiąga stan równowagi kiedy przepływy Y i Z są sobie równe.

Gdy $Z=0$, poziom wody podnosi się do momentu, kiedy osiągnie poziom H_0 , powodując $Y=0$.

Gdy $Z=\max$, osiągnięta jest stabilna równowaga z przepływem przy H_m , który osiągnięty jest kiedy zawór regulacyjny jest całkowicie otwarty.



Rys. 2.4. Zasada regulacji proporcjonalnej

Dlatego też daje to stabilne wartości poziomu pomiędzy wartościami granicznymi H_0 i H_m .

Zmiana $H_0 - H_m$ wartości regulowanej, która określa nastawy zaworu pomiędzy pozycją zamkniętą i pozycją całkowitego otwarcia, zwana jest zakresem proporcjonalności PB . Warunki poziomu równowagi, zależne od zakłócenia Z , znajdują się wewnątrz tego zakresu.

Można polepszyć dokładność, jeśli zakres proporcjonalności jest zredukowany poprzez przesunięcie pływaka w kierunku punktu obrotu ramienia dźwigni. Wykonując to, ograniczamy zmianę poziomu niezbędną do całkowitego otwarcia zaworu. Jednakże mała zmiana poziomu powoduje dużą zmianę przepływu Y i reakcję silniejszą niż zakłócenie, co może doprowadzić do niegasnących oscylacji regulatora. Pętla staje się niestabilna i działa w trybie dwustanowym z gorszymi osiągnięciami.

System pokazany na rysunku 2.4 jest podobny do systemu regulacji temperatury pomieszczenia, gdzie:

- Z : Straty/zyski ciepła
- Y : Emisja z grzejnika nagrzewnicy lub chłodnicy
- H : Temperatura wewnętrzna pomieszczenia

2. Różnica ciśnień za zaworach regulacyjnych nie może się zmieniać w zbyt dużym zakresie

W tym przypadku, zakres proporcjonalności jest odpowiednikiem zmienności temperatury pomieszczenia niezbędnej do przestawienia zaworu regulacyjnego z pozycji zamkniętej do otwartej.

Podczas chłodzenia, przy zadanej nastawie 23 °C i zakresie proporcjonalności 4 °C, temperatura wewnętrzna pomieszczenia będzie wynosić 25 °C przy pełnym obciążeniu, zaś 21 °C bez obciążenia.

Zakres proporcjonalności równy 4 °C oznacza, że zawór otwiera się o 25% gdy temperatura wzrasta o 1 °C. Wzmocnienie regulatora k_2 odpowiada wartości 25%/°C.

Jednakże rzeczywistą fizyczną wielkością doprowadzaną do pomieszczenia jest moc dostarczona przez odbiorniki końcowe, a wzmocnienie efektywne pomiędzy odchyłką temperatury wewnętrznej pomieszczenia i wydatkiem mocy odbiornika wynosi: k_2 (regulator) \times k_3 (siłownik) \times k_4 (zawór) \times k_5 (odbiornik) = k (patrz rys. 2.3).

Jeśli wartość wzmocnienia "k" jest zbyt duża, pętla regulacyjna jest niestabilna. Jeśli wartość wzmocnienia "k" jest zbyt mała, regulacja nie jest dokładna.

Wybiera się wzmocnienie tak duże, jak to możliwe, ograniczając je tylko z powodu stabilnej regulacji.

Niestety, wzmocnienia k_4 i k_5 (rys. 2.3) nie są stałe.

- k_4 : zależność między otwarciem zaworu i przepływem zależy od:
 - Charakterystyki zaworu.
 - Doboru zaworu regulacyjnego.
 - Zmiennej różnicy ciśnień Δp odkładającej się na zaworze regulacyjnym.
- k_5 : zależność pomiędzy przepływem a mocą odbiornika zależy od:
 - Charakterystyki odbiornika końcowego, zależnej od współczynnika efektywności.
 - Doboru odbiornika końcowego.
 - Zmiennej temperatury wody zasilającej.

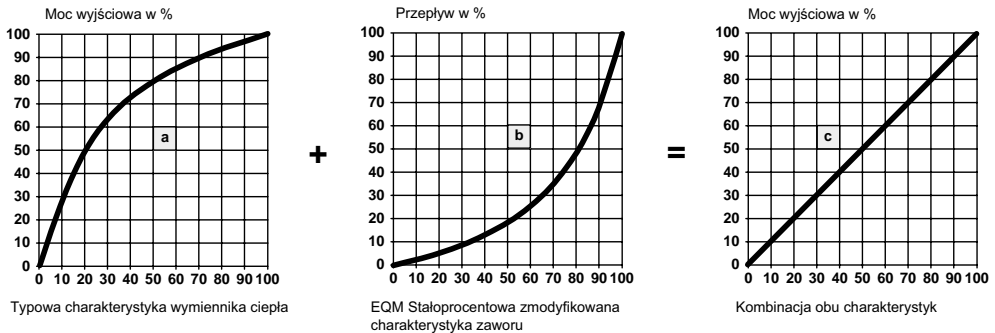
Ważnym jest utrzymanie wzmocnienia "k" tak stałym, jak to możliwe, aby uniknąć niestabilnej funkcji w pewnych warunkach i niedokładności w innych. Na przykład, nieliniowość odbiornika końcowego może być skompensowana wyborem odpowiedniej charakterystyki zaworu.

2.2.3 Charakterystyki zaworów regulacyjnych

Charakterystyka zaworu regulacyjnego jest definiowana jako zależność pomiędzy przepływem wody a stopniem otwarcia zaworu przy stałym ciśnieniu różnicowym. Te dwie wielkości są wyrażane jako udział procentowy wartości maksymalnych.

Dla zaworu z liniową charakterystyką, przepływ wody jest proporcjonalny do stopnia otwarcia zaworu. Przy niskich i średnich obciążeniach, nieliniowa charakterystyka odbiornika (rys. 2.5a), sprawia, że nieznaczne otwarcie zaworu regulacyjnego powoduje znaczny wzrost emisji ciepła. W takiej sytuacji występuje ryzyko niestabilności pętli regulacyjnej przy niskich obciążeniach.

Ten problem może być rozwiązany przez odpowiedni dobór charakterystyki zaworu regulacyjnego, tak aby skompensować nieliniowość tak, aby emisja z odbiornika była proporcjonalna do stopnia otwarcia zaworu.



Rys. 2.5. Nieliniowa charakterystyka odbiornika jest kompensowana poprzez zastosowanie odwrotnej nieliniowej charakterystyki zaworu regulacyjnego.

Jeśli odbiornik emituje 50% mocy projektowej przy zasilaniu wielkością 20% przepływu, to zawór regulacyjny musi mieć taką charakterystykę, by pozwalał tylko na 20% przepływu przy 50% otwarciu zaworu. wówczas osiągamy 50% emisji ciepła, gdy zawór jest w połowie otwarty (rys. 2.5c). Rozszerzając to rozumowanie na wszystkie wielkości przepływu możemy osiągnąć zawór z charakterystyką kompensującą nieliniowość typowego wymiennika ciepła. Taka charakterystyka (rys. 2.5.b) nazywana jest stałoprocentową zmodyfikowaną "EQM".

- Nie mniej jednak, by osiągnąć tę kompensację, muszą być spełnione dwa warunki:
- Spadek ciśnienia na zaworze regulacyjnym musi być stały.
 - Przepływ projektowy musi być osiągalny przy w pełni otwartym zaworze regulacyjnym.

Gdy zawór regulacyjny został dobrany i znany jest przepływ projektowy, stała różnica ciśnienia na zaworze regulacyjnym przy całkowitym jego otwarciu może być obliczona i jest zdefiniowana. Będziemy nazywać ją Δp_{vc} .

Jeśli różnica ciśnienia na zaworze regulacyjnym nie jest stała lub jeśli zawór jest przewymiarowany, charakterystyka zaworu regulacyjnego jest zniekształcona a regulacja modulatoryjna stanie się kompromisem.

2. Różnica ciśnień za zaworach regulacyjnych nie może się zmieniać w zbyt dużym zakresie

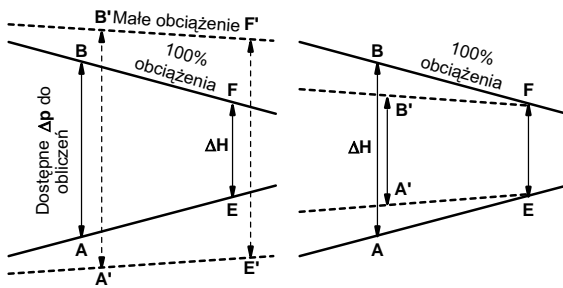
2.2.4 Autorytet zaworu regulacyjnego

Kiedy zawór regulacyjny zamyka się, maleje przepływ i spadek ciśnienia na odborniku, rurach i elementach instalacji. Różnica w spadku ciśnienia odkłada się na zaworze regulacyjnym. Ten wzrost ciśnienia zniekształca charakterystykę zaworu regulacyjnego. To zniekształcenie może być przedstawione poprzez autorytet zaworu regulacyjnego.

$$\beta = \text{autorytet zaworu} = \frac{\Delta p_{Vc} \text{ (Spadek ciśnienia na zaworze w pełni otwartym dla przepływu projektowego)}}{\Delta p \text{ na zaworze zamkniętym}}$$

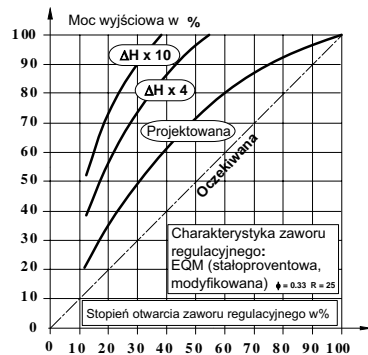
Wartość licznika jest stała i zależy wyłącznie od doboru zaworu regulacyjnego i wartości przepływu projektowego. Mianownik odpowiada ciśnieniu dyspozycyjnemu ΔH dostępnemu w obwodzie. Zawór równowazący zainstalowany szeregowo z wybranym zaworem regulacyjnym nie zmienia żadnego z tych dwóch czynników i w konsekwencji, nie wpływa na autorytet zaworu regulacyjnego.

Przy dystrybucji z bezpośrednim powrotem (rys. 2.6a) oddalone obwody doświadczają najwyższych zmian ΔH . Najgorszy autorytet zaworu osiąga się, gdy dystrybucja pracuje przy niskich przepływach. To znaczy, kiedy zawór regulacyjny narazony jest na prawie pełne podnoszenie pomp.



a- Pompa o stałobrotowa

b- Pompa o zmiennych obrotach



c- Zniekształcenie charakterystyki zaworu

Rys. 2.6. W projekcie autorytet zaworu regulacyjnego = 0,25. Gdy zmienia się średnie obciążenie instalacji, ciśnienie różnicowe ΔH w obiegu zmienia się również, odkształcając ponadto charakterystykę zaworu regulacyjnego.

Przy zastosowaniu pompy o zmiennych obrotach, typowym rozwiązaniem jest utrzymywanie stałego ciśnienia różnicowego zasilającego ostatni obwód (rys. 2.6b).

W takim przypadku problem zmiennego ΔH powstaje w pierwszym obwodzie.

Rysunek 2.6c pokazuje zależności pomiędzy oddawaną mocą, a otwarciem zaworu dla zaworów regulacyjnych o zmodyfikowanej stałoprocentowej charakterystyce, dobranych dla otrzymania prawidłowego przepływu przy całkowitym otwarciu przy projektowym autorytecie równym 0,25. Kiedy ΔH stosowane w obwodzie zwiększa się, charakterystyka zaworu regulacyjnego staje się tak zła, że może spowodować niestabilność pętli regulacyjnej. Regułą praktyczną jest dobór całkowicie otwartych dwudrogowych zaworów regulacyjnych przy przepływie projektowym i dla spadku ciśnienia równym przynajmniej 25% tego maksymalnego ΔH , które może być do nich doprowadzone. Aby umożliwić wybranie większych spadków ciśnienia na zaworze regulacyjnym, projektowe ΔH musi być wystarczająco wysokie. Warunek ten nie zawsze jest spełniony, ponieważ może to powodować wzrost niezbędnych wysokości podnoszenia pomp i, w konsekwencji, koszty pompowania. Gdy instalacja jest podzielona na sekcje z ich własnymi pompami, łatwiej spełnić ten warunek, jako że wysokość podnoszenia takiej pompy jest o wiele niższa.

2.2.5 Dobór zaworu regulacyjnego

Zawór regulacyjny powoduje spadek ciśnienia w obwodach hydraulicznych w celu ograniczenia przepływu wody do pożądanej wartości. Ten spadek ciśnienia zależy od przepływu i współczynnika K_v zaworu.

Dla cieczy o gęstości właściwej równej jedności, zależności pomiędzy przepływem, K_v i Δp (w kPa) są pokazane poniżej:

Przepływ wody w l/h:

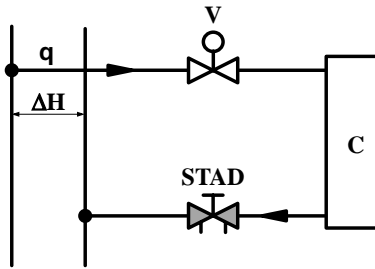
$$q = 100 \times K_v \sqrt{\Delta p} \quad \Delta p = \left(0.01 \times \frac{q}{K_v}\right)^2 \quad K_v = 0.01 \times \frac{q}{\sqrt{\Delta p}}$$

Przepływ wody w l/s:

$$q = \frac{K_v}{36} \sqrt{\Delta p} \quad \Delta p = \left(36 \times \frac{q}{K_v}\right)^2 \quad K_v = 36 \times \frac{q}{\sqrt{\Delta p}}$$

Dobór zaworu regulacyjnego to wybór najbardziej odpowiedniego zaworu dla konkretnego zastosowania spośród dostępnych w handlu K_v s (maksimum K_v).

Dwudrogowy /przepływowy/ zawór regulacyjny



Rys. 2.7. Dwudrogowy zawór regulacyjny.

Wartość K_v zaworu regulacyjnego jest dobierana na podstawie spadku ciśnienia Δp_V , wzorem:

$$\Delta p_V = \Delta H - \Delta p_C - 3$$

gdzie:

- ΔH = różnica ciśnienia stosowana w obwodzie w warunkach projektowych.
- Δp_C = różnica ciśnienia odbiornika i akcesoriów dla przepływu projektowego.
- 3 = minimalny spadek ciśnienia w kPa dla zaworu równoważącego STAD.

Wybrane K_v osiągalne handlowo = K_{vs} . Przy przepływie projektowym, odpowiedni spadek ciśnienia na zaworze regulacyjnym = $\Delta p_V c$.

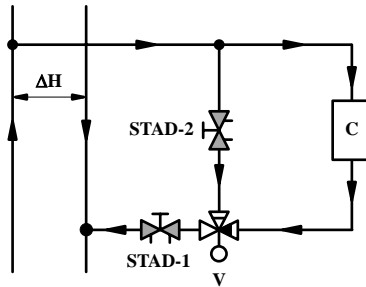
Różnica $\Delta H - \Delta p_V c - \Delta p_C$ będzie zniwelowana przez zawór równoważący STAD.

ΔH_{max} = maksymalna różnica ciśnienia uzyskana dla minimalnego przepływu całkowitego w instalacji.

Minimalny autorytet zaworu = $\Delta p_V c / \Delta H_{max}$. Jego wartość musi być $\geq 0,25$.

W innym przypadku, wysokość podnoszenia pompy musi być zwiększona tak, by można było wybrać zawór regulacyjny o mniejszym K_{vs} spełniając ten warunek, lub trzeba zainstalować lokalny regulator Δp (2.3.5).

Trójdrogowy zawór mieszający w obwodzie rozdzielającym



Rys. 2.8. Obwód rozdzielający z zastosowaniem trójdrogowego zaworu mieszającego.

Autorytet zaworu trójdrogowego w obwodzie rozdzielającym jest określony za pomocą wzoru:

$$\beta = \frac{\Delta pV}{\Delta pC + \Delta pV}$$

gdzie:

ΔpV = spadek ciśnienia na zaworze regulacyjnym dla przepływu projektowego.

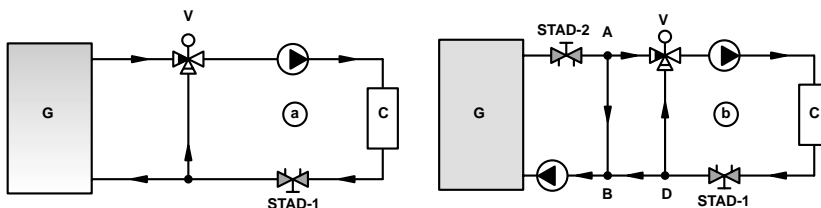
ΔpC = spadek ciśnienia na odbiorniku i armaturze dla przepływu projektowego.

Aby uzyskać autorytet zaworu 0,5 lub więcej, wystarczy obliczyć zawór dwudrogowy dla spadku ciśnienia $\Delta pV \geq \Delta pC$ i normalnie > 3 kPa, co jest całkowicie proste.

Zawór równoważący STAD-2 nie jest wymagany gdy $\Delta pC < 0,25 \Delta H$, co jest prawdziwe dla większości przypadków.

Zawór równoważący STAD-1 ma zasadnicze znaczenie dla uzyskania prawidłowego przepływu projektowego.

Trójdrogowy zawór mieszający w obwodzie mieszającym



Rys. 2.9 Trójdrogowy zawór regulacyjny w funkcji mieszania.

Autorytet zaworu trójdrogowego w obwodzie mieszającym jest opisany wzorem:

$$\beta = \frac{\Delta pV}{\Delta pG + \Delta pV}$$

gdzie:

ΔpV = spadek ciśnienia na zaworze regulacyjnym dla przepływu projektowego.

ΔpG = spadek ciśnienia na źródle dla przepływu projektowego.

2. Różnica ciśnień za zaworach regulacyjnych nie może się zmieniać w zbyt dużym zakresie

Aby uzyskać autorytet zaworu wynoszący conajmniej 0,5, wystarczy dobrać zawór trójdrogowy dla spadku ciśnienia $\Delta p_V \geq \Delta p_G$, przy czym spadek ciśnienia nie może być mniejszy niż 3 kPa.

Zawór równowazacy STAD-1 ma zasadnicze znaczenie dla uzyskania przepływu projektowego, gdzie "C" oznacza zrównoważoną instalację z wieloma obwodami.

W przypadku zastosowania obejścia przed zaworem trójdrogowym, Δp_G musi być zastąpione we wzorze przez Δp_{AB} . Jeśli Δp_{AB} można pominąć, wówczas autorytet zaworu jest bliski jedności.

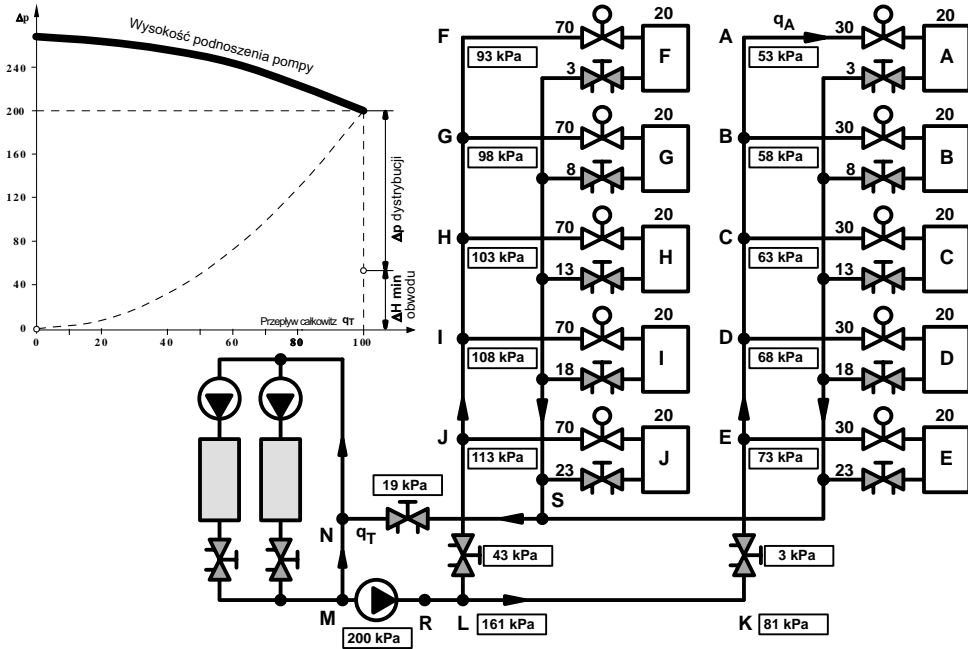
2.3 Konsekwencje zastosowania dystrybucji zmiennoprzepływowej

Przy dystrybucji zmiennoprzepływowej, różnica ciśnień na zasilaniu obwodów jest znacząco zmienna. Aby zobaczyć co to znaczy w praktyce, przeanalizujemy prostą instalację chłodniczą składającą się tylko z 10 identycznych odbiorników. Przykład ten zobrazuje:

- Jak wybrać odpowiedni zawór regulacyjny spośród dostępnych w handlu.
- Jak różnica ciśnienia na zaworze regulacyjnym zmienia się wraz z obciążeniem.
- Jak wpływa to na autorytet zaworu i regulację temperatury pomieszczenia.
- Jak można zmodyfikować sytuację używając pompy o zmiennych obrotach. Sytuacja może być:
 - czasem gorsza, kiedy czujnik Δp jest ulokowany blisko ostatniego odbiornika.
 - o wiele polepszona, kiedy czujnik Δp jest dobrze usytuowany.
 - Jak lokalny regulator Δp może rozwiązać problem, gdy inne rozwiązania nie są uzasadnione ekonomicznie.

2. Różnica ciśnień za zaworach regulacyjnych nie może się zmieniać w zbyt dużym zakresie

2.3.1 Warunki projektowe



Rys. 2.10. Instalacja chłodnicza pracująca w warunkach projektowych.

Dostępne w handlu zawory regulacyjne mają na przykład, dla przepływu projektowego, spadki ciśnienia równe 13, 30, 70 lub 160 kPa. Zgodnie z wysokością podnoszenia dostępnej pompy, wybrano zawór regulacyjny o spadku ciśnienia 30 kPa dla odległego pionu, podczas gdy pierwszy pion jest wyposażony w zawór regulacyjny o spadku ciśnienia 70 kPa. Gdy wszystkie zawory regulacyjne są zamknięte, wysokość podnoszenia pompy jest równa 266 kPa. Normalnie projektowy spadek ciśnienia na zaworach regulacyjnych musi być wyższy niż $0,25 \times 266 = 67$ kPa, lub musimy zwiększyć wysokość podnoszenia o 40 kPa. Sprawdzimy później rezultaty w zachowaniu pętli regulacyjnych.

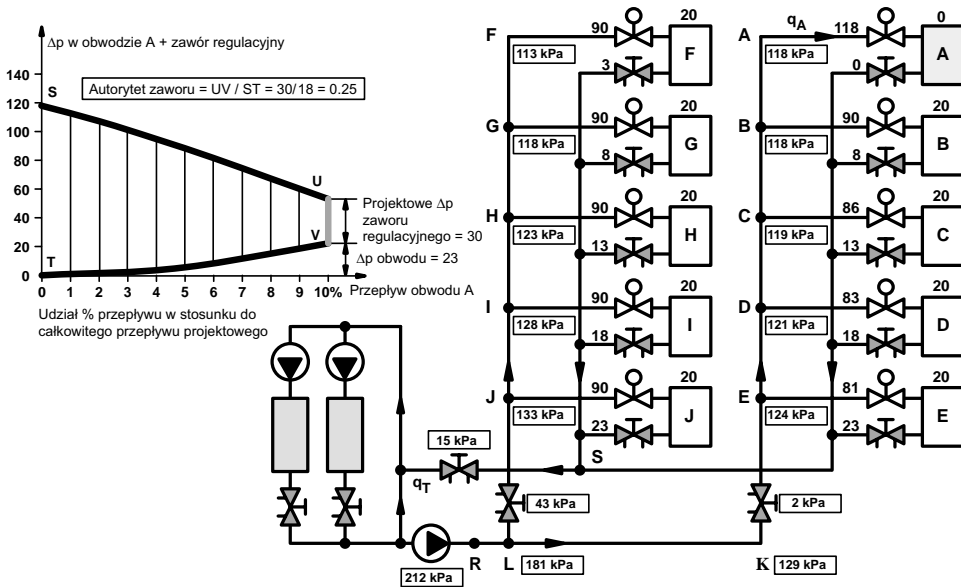
Zawory równoważące pozwalają osiągnąć przepływ projektowy w każdym odbiorniku, unikając:

- nadprzepływu w niektórych obwodach powodującego podprzepływy w innych,
- ogólnego nadprzepływu q_T powodującego, że przepływ dystrybucji nie będzie kompatybilny z przepływem produkcji. Taki nadprzepływ może spowodować przeciwny przepływ w obejściu MN z punktem mieszania w M oraz wzrost temperatury wody zasilającej, czyniąc niemożliwym przeniesienie maksymalnej zainstalowanej mocy.

Zastosowanie zaworów równoważących ma na celu uzyskanie prawidłowego przepływu w warunkach projektowych, gwarantującego że wszystkie zawory regulacyjne zapewnią swoim odbiornikom co najmniej ich projektowy przepływ we wszystkich innych warunkach. Zawór równoważący jest zarazem zaworem odcinającym z pamięcią mechaniczną nastawy. Daje to możliwość sprawdzania, dla celów diagnostycznych, czy przepływ maksymalny utrzymuje wartość projektową.

2. Różnica ciśnień za zaworach regulacyjnych nie może się zmieniać w zbyt dużym zakresie

2.3.2 Co się stanie kiedy zamyka się zawór regulacyjny odbiornika "A"?



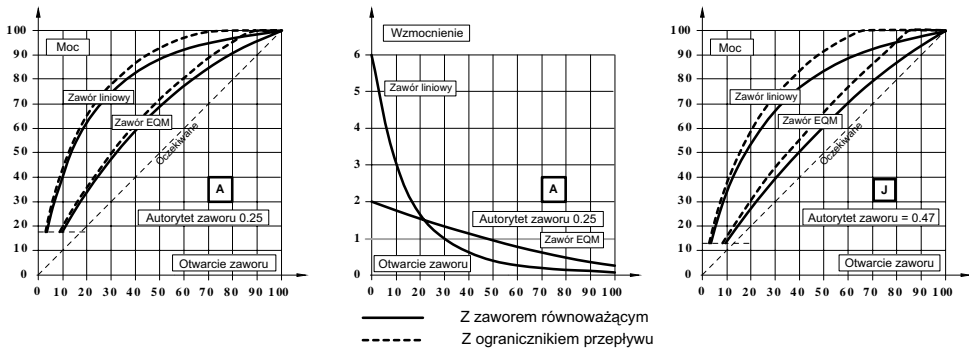
Rys. 2.11. Zawór regulacyjny odbiornika "A" zamyka się.

W sytuacji gdy zamyka się zawór regulacyjny odbiornika końcowego A, różnica ciśnień w A wzrasta z 53 do 118 kPa. Jako że Δp na całkowicie otwartym zaworze regulacyjnym wynosi 30 kPa, autorytet zaworu jest równy $30/118 = 0,25$. Różnice ciśnień na innych odbiornikach rosną dramatycznie, wskazując na silne oddziaływanie wzajemne pomiędzy odbiornikami. To oddziaływanie jest bardzo ważne w tym przykładzie, bo każdy obwód reprezentuje 10% całego przepływu i 20% przepływu w jednym pionie.

Gdy zamyka się zawór regulacyjny na odbiorniku J, różnica ciśnień na J wzrasta z 113 do 150 kPa, zaś autorytet zaworu wynosi $70/150 = 0,47$.

Rysunek 2.12 pokazuje zależności pomiędzy wydatkiem mocy i stopniem otwarcia zaworu dla obydwu zaworów regulacyjnych. Maksymalne wzmocnienie dla obwodu A i zaworu liniowego wynosi $k_4 \times k_5 = 6$. Aby skompensować tę sytuację, należy pomnożyć zakres proporcjonalności regulatora przez ten sam współczynnik, drastycznie redukując dokładność regulacji temperatury pomieszczenia.

2. Różnica ciśnień za zaworach regulacyjnych nie może się zmieniać w zbyt dużym zakresie



Rys. 2.12. Moc w zależności od stopnia otwarcia zaworu w warunkach projektowych dla odbiorników A i J.

Charakterystyka modyfikowana stałoprocentowa EQM jest lepsza, lecz autorytet zaworu równy 0,25 jest najniższą wartością, którą można zaakceptować.

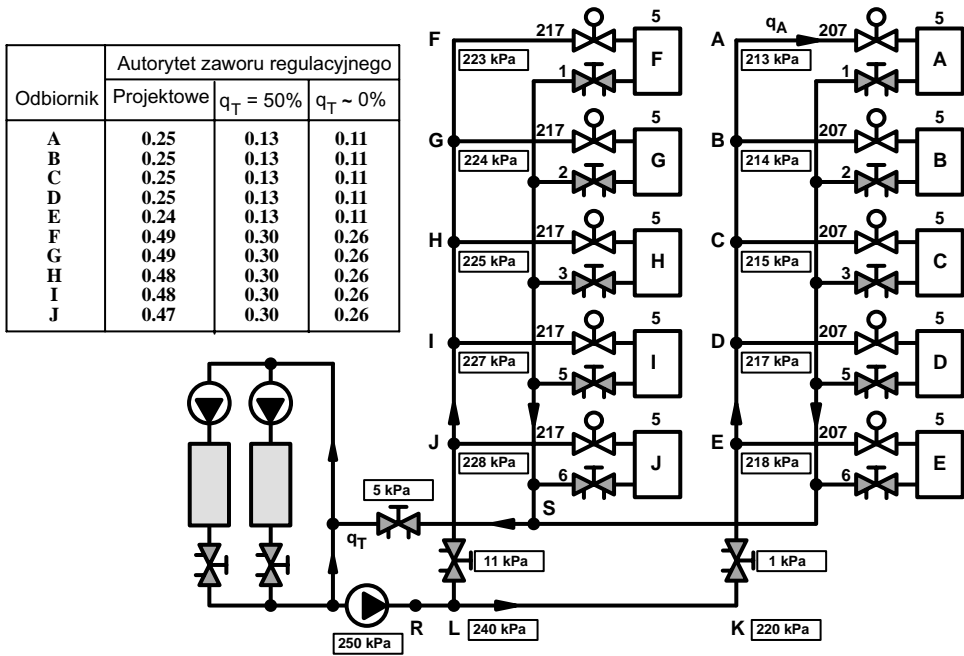
W niektórych przypadkach, zawory równowazace są zastąpione przez ograniczniki przepływu, aby uniknąć procedur wyrównywania. Nie jest to rzeczywiście korzystne, ponieważ procedury wyrównywania umożliwiają wykrywanie anomalii hydraulicznych i ich skorygowanie. Co więcej, zniekształcenia charakterystyk zaworów regulacyjnych wzrastają przy użyciu ograniczników przepływu (patrz rys. 2.12).

2.3.3 Przepływ całkowity $q_T=50\%$ przepływu projektowego

Gdy instalacja pracuje przy całkowitym przepływie odpowiadającym 50% wartości projektowej, wysokość podnoszenia pompy wzrasta z 200 do 250 kPa, a spadki ciśnienia w rurociągach spadają.

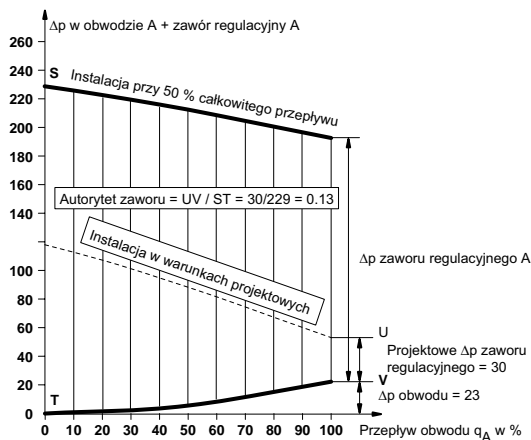
Sytuacja ta jest pokazana na rysunku 2.13.

2. Różnica ciśnień za zaworami regulacyjnymi nie może się zmieniać w zbyt dużym zakresie



Rys. 2.13. Przepływ całkowity $q_T = 50\%$ przepływu projektowego.

Różnice ciśnień na zaworach regulacyjnych dramatycznie wzrastają, a autorytet zaworu maleje. Ta sytuacja jest pokazana dla obwodu A na rysunku 2.14.

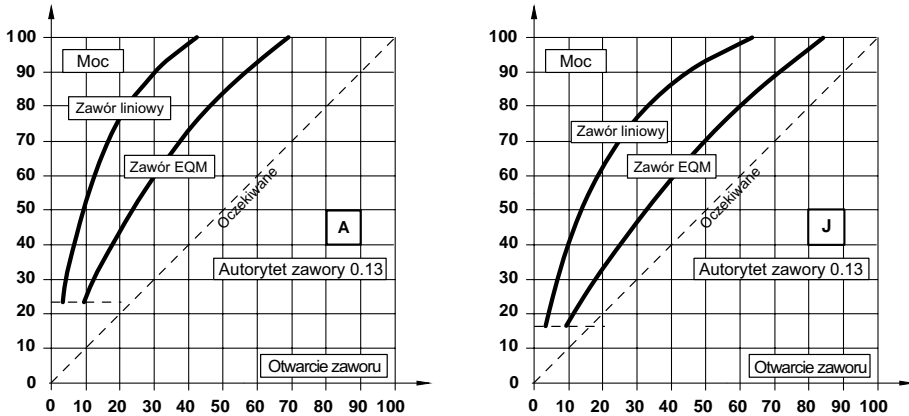


Rys. 2.14. Cała instalacja pracuje jednolicie przy 50% całkowitego przepływu projektowego. Zawór regulacyjny "A" otwiera się od 0 do przepływu projektowego

2. Różnica ciśnień za zaworach regulacyjnych nie może się zmieniać w zbyt dużym zakresie

Zniekształcenie charakterystyk zaworów regulacyjnych dla pionu 2 jest całkiem znaczące.

Przy użyciu zaworu liniowego 52% mocy maksymalnej jest już osiągnięte przy otwarciu zaworu do 10%, co oznacza wzmocnienie równe 5 zamiast 1 (rysunek 2.15a).



Rys. 2.15. Moc w zależności od stopnia otwarcia zaworu dla odbiorników A i J - $q_T = 50\%$.

W obydwu przypadkach charakterystyka liniowa nie jest zalecana.

Przy użyciu charakterystyki EQM zmodyfikowanej stałoprocentowej regulacja odbiornika "A" może być trudna, podczas gdy odbiornik "J" pozostanie regulowalny.

Zawory regulacyjne zostały dobrane w najlepszy możliwy sposób, ale uzyskanie dobrej regulacji jest trudne bez znacznego zwiększenia zakresu proporcjonalności regulatorów. Nie daje to najlepszych rezultatów. Można sobie wyobrazić, co się stanie gdy zawory regulacyjne nie są dobrane prawidłowo!

Jeśli wszystkie zawory regulacyjne mają odpowiednie charakterystyki, a projektowy spadek ciśnienia wynosi przynajmniej 25% maksymalnej wysokości podnoszenia pompy, to warunki pracy są dogodne a instalacja może być zrównoważona w warunkach projektowych za pomocą zaworów równoważących. Podprzepływy, których uniknięto w warunkach projektowych nie mogą wystąpić przy częściowych obciążeniach, jako że różnica ciśnień w tym przypadku po prostu wzrośnie. Jeśli nie można osiągnąć minimalnego kryterium dławienia 0,25, można poprawić sytuację przez zastosowanie pompy o zmiennej prędkości

2.3.4 Zastosowanie pomp o zmiennej prędkości obrotowej

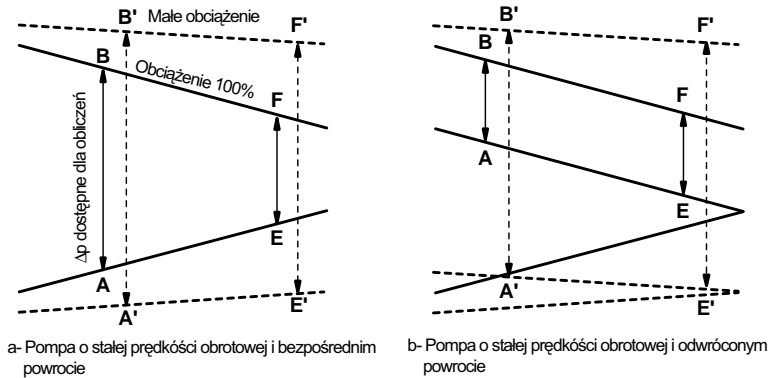
Przy zastosowaniu pompy o stałej prędkości obrotowej wysokość podnoszenia wzrasta ze spadkiem przepływu.

Przy użyciu pompy o stałej prędkości obrotowej w układzie z bezpośrednim powrotem (rys. 2.16a), zawór regulacyjny najbliższy pompy jest obliczany na podstawie projektowej różnicy ciśnienia (AB) w obwodzie. Kiedy cała instalacja pracuje na średnich i małych obciążeniach, wysokość podnoszenia wzrasta a spadki ciśnienia w rurociągach maleją. W konsekwencji dostępna różnica ciśnień w obwodzie wzrasta od (AB) do (A'B'). Wzrost ten nie wpływa znacząco na autorytet zaworu.

2. Różnica ciśnień za zaworach regulacyjnych nie może się zmieniać w zbyt dużym zakresie

Sytuacja jest całkiem odmienna dla ostatniego odbiornika, który doświadcza dużej zmiany różnicy ciśnienia od (EF-projektowe) do (E'F'), zmniejszając dramatycznie autorytet zaworu regulacyjnego, z ryzykiem niestabilności (tj. pracy dwupołożeniowej).

Dystrybucja z odwróconym powrotem tj. układ Tichelmana (rys. 2.16b) nie rozwiązuje problemu ponieważ **wszystkie** odbiorniki będą poddane dużym zmianom różnicy ciśnień.



Rys. 2.16. Pompa o stałej prędkości obrotowej w układzie z powrotem bezpośrednim i odwróconym /Tichelmana/.

Przy użyciu pompy o zmiennej prędkości obrotowej jest możliwe zmniejszenie wysokości podnoszenia pompy przy zmniejszeniu przepływu całkowitego.

Niepożądaną rzeczą jest wzrost różnicy ciśnień w czasie gdy zawory regulacyjne próbują zredukować przepływ. Przy użyciu pompy o zmiennej prędkości obrotowej można uzyskać jej stałą wysokość podnoszenia. Podążając dalej w tym kierunku, wysokość podnoszenia pompy może być redukowana kiedy całkowity przepływ zmniejsza się. Jednakże, całkowity przepływ może być zredukowany do 50% ponieważ wszystkie odbiorniki potrzebują 50% przepływu projektowego lub ponieważ 50% odbiorników pracuje w warunkach projektowych, podczas gdy pozostałe są wyłączone. W drugim przypadku wysokość podnoszenia pompy nie może się zmieniać, ponieważ niektóre odbiorniki pracują w warunkach projektowych. Z tego powodu ważny jest sposób, w jaki regulowana jest pompa o zmiennej prędkości obrotowej.

Aby utrzymać stałą różnicę ciśnień najbliższej ostatniego odbiornika

Niektórzy projektanci przywiązują zbyt wielką uwagę do kosztów pompowania tak, że projektowanie instalacji okazywałoby się być kontrolowane przede wszystkim przez ten czynnik, bez brania pod uwagę wpływu, jaki to ma na komfort. Jest prawdą, że koszty pompowania mogą być określone dostatecznie dokładnie, co jest silną pobudką, aby brać je pod uwagę.

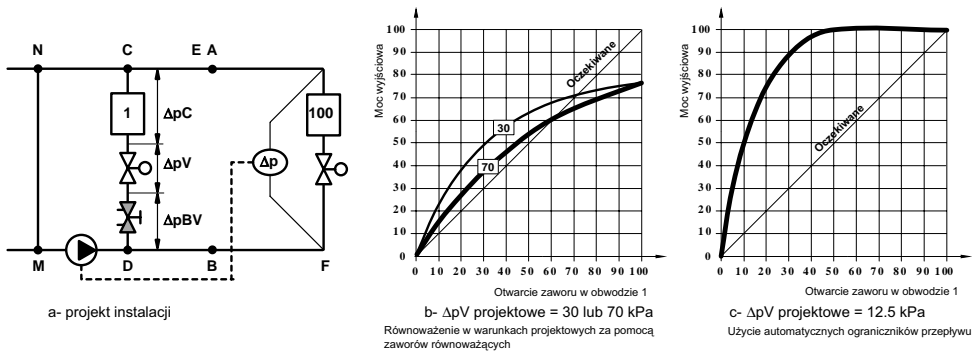
W zrównoważonym systemie dystrybucji stałoprzepływowej rzeczywiste koszty pompowania, jako udział procentowy sezonowej produkcji energii, wynoszą typowo od 2% w ogrzewaniu do 6-12% w chłodnictwie. Wartości te są zredukowane w systemach dystrybucji zmiennoprzepływowej. Jednakże w ogrzewaniu, podwyższenie średniej temperatury wewnętrznej o 1 °C powoduje wzrost kosztów dostarczonej energii aż o 6-10%.

2. Różnica ciśnień za zaworach regulacyjnych nie może się zmieniać w zbyt dużym zakresie

W chłodnictwie obniżenie temperatury o jeden stopień oznacza od 10 do 16% wzrostu zużycia energii. Oznacza to, że odchyłka o 1 °C temperatury pomieszczenia odpowiada kosztom energii większym niż wszystkie koszty pompowania.

Podsumowując, można stwierdzić, iż działania podejmowane z myślą o zredukowaniu kosztów pompowania należy podejmować tak, by nie wpływały one negatywnie na działanie pętli regulacyjnych odbiorników końcowych.

Może tak być w przypadku, gdy pompa o zmiennej prędkości obrotowej jest regulowana w celu utrzymania stałej różnicy ciśnienia blisko najbardziej oddalonego odbiornika końcowego (rys. 2.17a)



Rys. 2.17. Stała Δp jest utrzymywana blisko ostatniego odbiornika końcowego. Co stanie się w krańcowym przypadku, kiedy wszystkie końcowe odbiorniki zostaną odcięte podczas gdy odbiornik 1 będzie pracować pod pełnym obciążeniem?

Rysunek 2.17a dotyczy stu identycznych odbiorników w warunkach projektowych: $\Delta pC = 12,5$ kPa, $\Delta pCD = 87$ kPa a $\Delta pEF = 25$ kPa. Dla ostatniego odbiornika końcowego, projektowy spadek ciśnienia na zaworze regulacyjnym wynosi 12,5 kPa (autorytet zaworu 0,5). Najlepszym wyborem dla pierwszego odbiornika jest 70 kPa (autorytet zaworu 70/87 = 0,8).

Jeśli wszystkie odbiorniki są zamknięte, a tylko odbiornik 1 pracuje, różnica ciśnienia ΔpCD spada z 87 do 25 kPa. Przepływ projektowy nie może być uzyskany w odbiorniku 1 (rys. 2.17b). Spada on do:

$$100 \times \sqrt{\frac{25}{87}} = 54\% \text{ a wzdatek mocy do } 77\%$$

2. Różnica ciśnień za zaworach regulacyjnych nie może się zmieniać w zbyt dużym zakresie

Jeśli przypadek taki jest uważany za wyjątkowy, a redukcja 23% wydatku mocy obrotu 1 jest w tym skrajnym przypadku do zaakceptowania, wówczas projekt jest prawidłowy.

Wyobraźmy sobie, że taka sytuacja nie jest do zaakceptowania.

Aby próbować rozwiązać tę kwestię, wybiera się projektowy spadek ciśnienia Δp na zaworze regulacyjnym "1" równy 12,5 kPa i likwiduje zawór równoważący. Obwód może teraz osiągnąć swój przepływ projektowy tylko przy dostępnej wartości 25 kPa. Jednakże, przy starcie zawór regulacyjny jest całkowicie otwarty przy Δp w obwodzie równym 87 kPa. W tym przypadku przepływ wody w obwodzie "1" osiągnie 187% swej wartości projektowej. Ponieważ inne obwody są objęte taką samą sytuacją, pompa pracuje z maksymalną prędkością i nie może utrzymać 25 kPa oczekiwanych przy ostatnim odbiorniku.

Nadprzepływy powodują podprzepływy cieczy w innych częściach instalacji, co jest powodem skarg użytkowników.

Co więcej, generalny nadprzepływ spowoduje odwrotny kierunek przepływu w rurociągu obejściowym MN, tworząc punkt mieszania w M i wzrost temperatury wody zasilającej. Sprawi to, że każde poranne uruchomienie instalacji będzie długotrwałe.

Przepływ może być ograniczony poprzez użycie automatycznego ogranicznika przepływu (rys. 2.17c).

Jednakże należy podkreślić, iż uzyskana zależność pomiędzy stopniem otwarcia zaworu i mocą oddawaną jest bardzo zła. Przy 10% otwarciu moc oddana wynosi już 50%. Wynika to z powodu złego autorytetu zaworu równego $12,5/87 = 0,14$.

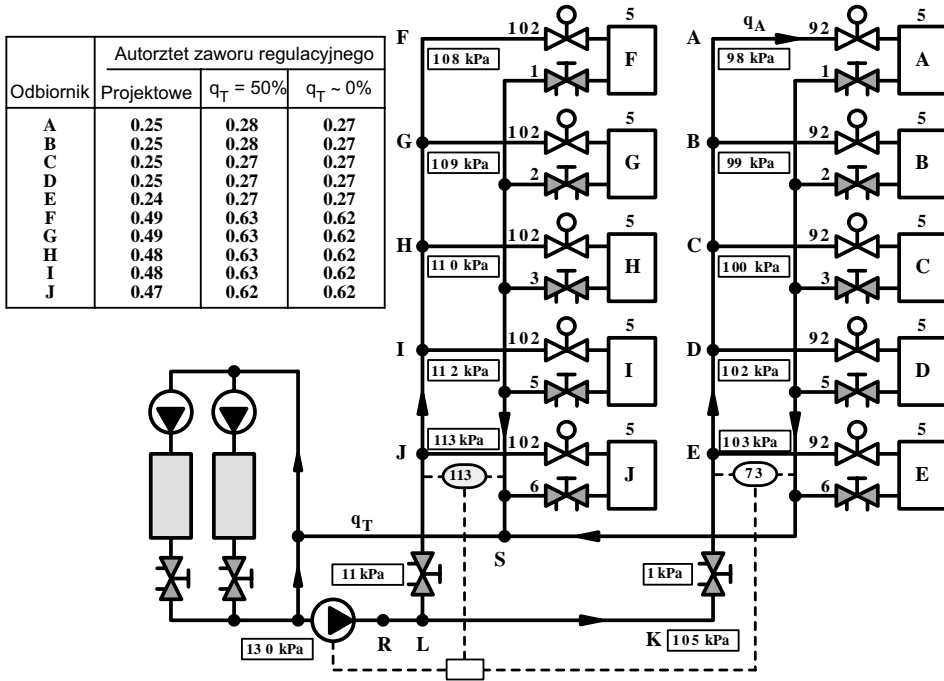
Rozwiązaniem dla tego obrotu jest utrzymywanie stałej $\Delta p = 12,5$ kPa na zaworze regulacyjnym za pomocą lokalnego regulatora Δp . W tym przypadku przepływ jest zawsze ograniczony do wartości projektowej i autorytet zaworu regulacyjnego pozostaje bliski jedności (patrz rysunek 3.1).

Regulacja Δp w środkowej części instalacji

System pokazany na rysunku 2.17a może być zasilany tak, aby stała różnica ciśnień była utrzymywana w środkowej części instalacji (AB zamist EF). Biorąc taki sam przykład jak poprzednio, wartość zadana byłaby równa 56 kPa. Gdy przeciętne obciążenie jest bliskie zeru, maksymalny uzyskiwany przepływ na pierwszym odbiorniku osiągałby wartość 80%, przy jednoczesnym zmniejszeniu maksymalnej mocy o 6%. Autorytet ostatniego zaworu regulacyjnego zmniejszył by się z 0,5 do 0,22. Taka sytuacja może być zaakceptowana, jednak należy pamiętać, że oszczędności energii pompowania są wówczas mniejsze.

2. Różnica ciśnień za zaworach regulacyjnych nie może się zmieniać w zbyt dużym zakresie

Zastosowanie pompy o zmiennej prędkości obrotowej w przykładzie z rysunku 2.18



Rys. 2.18. Pompa o zmiennej prędkości obrotowej jest sterowana przez regulator, który wybiera czujnik w obwodzie wymagającym wyższego ciśnienia różnicowego. Przepływ $q_T = 50\%$.

Pompa o zmiennej prędkości obrotowej umożliwia zmniejszenie wysokości podnoszenia przy małych obciążeniach i obniżenie kosztów pompowania. Przy częściowych obciążeniach, jeśli czujnik Δp jest dobrze usytuowany autorytety zaworów regulacyjnych mogą być znacząco poprawione, co gwarantuje lepszą regulację temperatury pomieszczeń.

Zachodzi pytanie, gdzie należy zainstalować czujnik różnicy ciśnień?

Mogłoby się wydawać, że utrzymywanie stałej różnicy ciśnień w punkcie "E", z nastawą odpowiadającą projektowej wartości 73 kPa przyniosłoby korzyści, jednak, jeśli odbiorniki A do E są zamknięte, wysokość podnoszenia pompy jest zmniejszona do 75 kPa, co jest niewystarczające dla odbiorników F do J, które otrzymują tylko 67% przepływu projektowego (tj. 90% projektowej mocy cieplnej) przy 2 °C spadku temperatury wewnętrznej pomieszczenia. Jeśli zaakceptujemy wyżej omówione konsekwencje, to takie rozwiązanie jest do przyjęcia.

2. Różnica ciśnień za zaworach regulacyjnych nie może się zmieniać w zbyt dużym zakresie

Dla zapewnienia projektowych przepływów we wszystkich odbiornikach, czujnik Δp musi być umieszczony pomiędzy S a L, z nastawą 161 kPa.

Gdy instalacja pracuje przy 50% przepływu ($q_T = 50\%$), pompa o zmiennej prędkości utrzymuje ciśnienie 166 kPa zamiast 250 kPa uzyskiwanej w przypadku zastosowania pompy o stałej prędkości obrotowej.

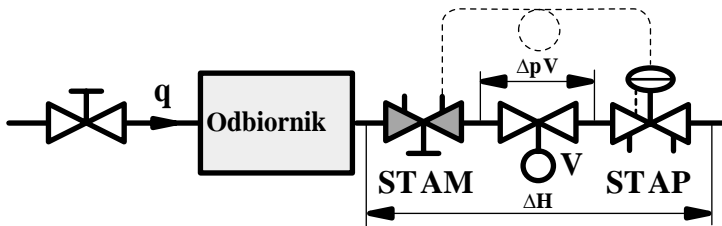
Regulacja pompy o zmiennej prędkości obrotowej może być zoptymalizowana poprzez użycie dwóch regulatorów; przy czym pompę kontroluje czujnik w obwodzie wymagającym najwyższego ciśnienia różnicowego.

Takie rozwiązanie umożliwia dalsze obniżenie wysokości podnoszenia pompy. Autorytety zaworów regulujących są również lepsze przy małych i częściowych obciążeniach.

2.3.5 Zastosowanie lokalnych regulatorów Δp

Przy dystrybucji zmiennoprzepływowej zawory regulacyjne muszą być tak dobierane, aby uzyskać autorytet zaworu przynajmniej 0,25 w najgorszych warunkach. Może to być łatwiejsze do uzyskania przy użyciu pompy o zmiennej prędkości obrotowej z czujnikiem Δp zlokalizowanym we właściwym miejscu.

Jednakże niektóre trudne w regulacji obwody wymagają autorytetu zaworu większego od 0,25 ponieważ mniejszy autorytet może powodować wzrost kosztów inwestycyjnych i pompowania. W takim przypadku, zawory te mogą być stosowane razem z lokalnymi regulatorami różnicy ciśnień (rys. 2.19).



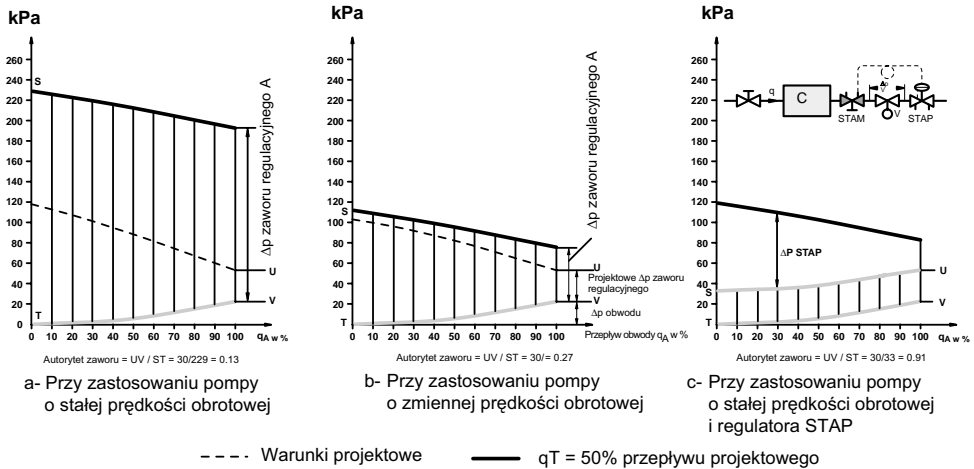
Rys. 2.19. Regulator Δp utrzymuje stałą różnicę ciśnień na zaworze regulacyjnym.

Zasada jest prosta. Różnica ciśnień ΔpV jest spadkiem ciśnienia na zaworze regulacyjnym "V" doprowadzonym nad i pod membranę zaworu regulacyjnego STAP. Gdy różnica ciśnień rośnie, siła na membranie wzrasta proporcjonalnie i przymyka zawór STAP. Dzięki temu na zaworze regulacyjnym utrzymywana jest praktycznie stała różnica ciśnień. Zmiany ciśnienia różnicowego w obwodach są kompensowane i dzięki temu przepływy projektowe nie są przekraczane.

Dzięki temu zawór regulacyjny nigdy nie jest przewymiarowany, a jego autorytet pozostaje bliski jedności.

2. Różnica ciśnień za zaworach regulacyjnych nie może się zmieniać w zbyt dużym zakresie

2.3.6 Porównanie rezultatów



Rys. 2.20. Zmiany różnicy ciśnień na zaworze regulacyjnym A, w stosunku do wartości UV w warunkach projektowych.

Przy użyciu pompy o stałej prędkości obrotowej różnica ciśnień na zaworze regulacyjnym zmienia się od 30 kPa (UV) w warunkach projektowych do 229 kPa (ST), kiedy średni przepływ wody w instalacji q_T jest równy połowie projektowego. Przy zastosowaniu pompy o zmiennej prędkości obrotowej, ta różnica ciśnień zmienia się od 30 do 111 kPa, a tylko od 30 do 33 kPa przy zastosowaniu lokalnego regulatora różnicy ciśnienia.

2.4 Podsumowanie

Instalacje ogrzewania i klimatyzacji są projektowane dla określonego maksymalnego obciążenia. Jeśli pełne obciążenie nie jest uzyskiwane ponieważ instalacja jest niezrównoważona w warunkach projektowych, wszystkie inwestycje poczynione w całej instalacji nie są zwaloryzowane. Zawory regulacyjne nie radzą sobie w tej sytuacji, mimo że są w pełni otwarte gdy wymagane jest maksymalne obciążenie. Dobór zaworów regulacyjnych dwudrogowych jest trudny, a zawory wyliczone nie są dostępne w sprzedaży. W konsekwencji są na ogół przewymiarowane. Hydrauliczne zrównoważenie jest niezbędne, a nakłady inwestycyjne na zrównoważenie zazwyczaj nie przekraczają 1% całkowitych kosztów instalacji grzewczych i klimatyzacyjnych.

Każdego ranka po obniżeniu nocnym potrzebna jest cała moc do odbudowania komfortowego klimatu tak szybko, jak to jest możliwe. Dokładnie zrównoważona instalacja zrobi to szybciej. Zyskując 30 minut przy porannym rozruchu instalacji, w stosunku do 8-godzinnego czasu pracy, uzyskujemy około 6% oszczędności energii na dzień, to oznacza również zmniejszenie kosztów pompowania po stronie dystrybucji.

Przy dystrybucji zmiennoprzepływowej energia pompowania stanowi zwykle mniej niż 5% sezonowego zużycia energii do wytworzenia wody lodowej. Trzeba to porównać z kosztem 10% do 16% na jeden stopień obniżenia temperatury wewnętrznej. Tak więc, osiągnięcie właściwego komfortu jest najlepszym sposobem na oszczędność energii. Dalej, jakiegokolwiek działania mające na celu zmniejszenie kosztów pompowania muszą być podejmowane w taki sposób, aby nie wpłynęły ujemnie na działanie pętli regulacyjnych odbiorników.

Koszt pompowania może być zmniejszony poprzez zwiększenie projektowanej różnicy Δt wody tam, gdzie to możliwe, oraz poprzez użycie pomp o zmiennej prędkości obrotowej z optymalnym umiejscowieniem czujnika mierzącego różnicę Δp . Regulatory PI wymagają niższych przepływów przy średnich obciążeniach w porównaniu z regulatorami dwupołożeniowymi i dlatego zmniejszają także koszty pompowania.

Jednakże najważniejszą sprawą jest skompensowanie przewymiarowania pomp. Stosowanie zaworów równoważących i metody kompensacyjnej ujawnia to przewymiarowanie. Całe nadciśnienie odkłada się na zaworze równoważącym najbliższym pompie. Wówczas można zmniejszyć obroty pompy na niższe lub wymienić pompę na mniejszą, a następnie otworzyć w większym stopniu zawór równoważący przy pompie.

Równoważenie hydrauliczne wymaga właściwych narzędzi, najnowszych procedur i skutecznych przyrządów pomiarowych. Ręczne zawory równoważące pozostają najbardziej wiarygodnym i prostym sposobem stosowanym w celu uzyskania właściwego przepływu w warunkach projektowych, umożliwiając sprawdzenie przepływów dla potrzeb diagnostycznych. Mogą one współpracować, w razie potrzeby, z regulatorem różnicy ciśnień.

3. Zastosowanie regulatorów STAP

Aby zapewnić dokładną i stabilną regulację, różnica ciśnień na zaworach regulacyjnych nie powinna zmieniać się w zbyt dużym zakresie. Można to uzyskać za pomocą regulatora różnicy ciśnień bezpośredniego działania STAP stosowanego w przypadku dystrybucji zmiennoprzepływowej.

Więcej informacji na temat regulatora STAP uzyskasz w karcie katalogowej 5-5-20.

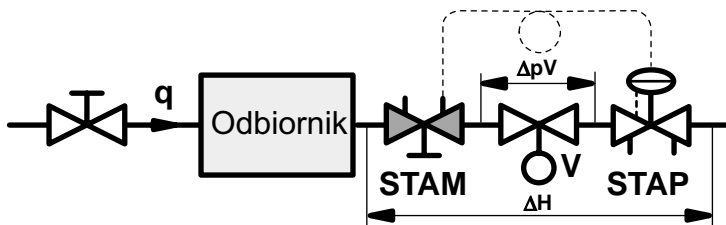
3.1 Utrzymywanie stałego Δp na zaworze regulacyjnym

Zasada działania

W zależności od rodzaju instalacji różnica ciśnień występująca w niektórych obwodach może zmieniać się w sposób zasadniczy wraz ze zmianą obciążenia. W takim przypadku, w celu uzyskania i zapewnienia właściwych charakterystyk zaworów regulacyjnych należy utrzymywać na nich praktycznie stałą różnicę ciśnień za pomocą regulatora Δp (Rys. 3.1).

Różnica ciśnień jest mierzona na zaworze regulacyjnym "V". Ciśnienie z jednej strony doprowadzone jest przewodem impulsowym do zaworu pomiarowego STAM z drugiej zaś poprzez wewnętrzne podłączenie do membrany regulatora STAP.

Gdy ciśnienie różnicowe na zaworze regulacyjnym wzrasta, wówczas regulator STAP zamyka się proporcjonalnie kompensując ten wzrost.



Rys. 3.1. Regulator różnicy Δp utrzymuje stałą różnicę ciśnień na zaworze regulacyjnym.

- Uwagi:**
1. Przepływ mierzony jest na zaworze pomiarowym STAM.
 2. Jeśli pomiar przepływu nie jest wymagany, wówczas można zastąpić zawór pomiarowy STAM połączeniem ciśnieniowym. W takim przypadku nastawa regulatora STAP jest jedynie obliczana.

Wartości dane to: przepływ projektowy q oraz współczynnik Kvs zaworu regulacyjnego, który jest zwykle znany z dokładnością do $\pm 15\%$.

Nastawa regulatora STAP może być obliczona za pomocą następujących wzorów:

$$\Delta p = \left(0.01 \times \frac{q}{Kvs}\right)^2 \quad (\text{kPa} - \text{l/h})$$

$$\Delta p = \left(36 \times \frac{q}{Kvs}\right)^2 \quad (\text{kPa} - \text{l/s})$$

3. Zastosowanie regulatorów STAP

Zawór regulacyjny "V" nie jest nigdy przewymiarowany, ponieważ przepływ projektowy uzyskiwany jest zawsze przy pełnym otwarciu.

Autorytet zaworu jest i pozostaje bliski jedności.

Wszelka dodatkowa różnica ciśnień odkłada się na regulatorze STAP. Regulację ciśnienia różnicowego można łatwo porównać do regulacji temperatury, a odpowiedni zakres proporcjonalności powinien być użyty w celu uniknięcia niestabilnego działania.

Łączne stosowanie regulatorów różnicy ciśnień oraz pompy o zmiennej prędkości obrotowej zapewnia najlepsze warunki regulacji, zwiększa komfort, umożliwia zmniejszenie kosztów pompowania i redukuje hałas w instalacji.

Procedura równoważenia rys. 3.1

1. Otworzyć całkowicie zawór regulacyjny "V".
2. Ustawić nastawę zaworu pomiarowego STAM tak aby uzyskać co najmniej 3 kPa dla przepływu projektowego.
3. Doregulować nastawę Δp_L regulatora różnicy ciśnień STAP tak, aby uzyskać przepływ projektowy.

Uzyskanie właściwych przepływów na każdym odbiorniku, stanowi koniec procedury równoważenia.

Jeśli wszystkie zawory regulacyjne wyposażone są w regulatory STAP, wówczas zawory równoważące na gałązkach i w pionach nie są potrzebne, chyba że do celów diagnostycznych.

Dobór zestawu STAM/ STAP

Zawór pomiarowy STAM dobiera się tak, aby uzyskać spadek ciśnienia większy od 3 kPa przy całkowitym otwarciu i przepływie projektowym (patrz załączniki).

Nastawa Δp_L regulatora STAP odpowiada spadkowi ciśnienia na całkowicie otwartym zaworze regulacyjnym "V" przy przepływie projektowym.

Należy dobierać odpowiednio regulator STAP (patrz załączniki).

Dobór zaworu regulacyjnego

Dobór zaworu regulacyjnego "V" nie jest bardzo istotny w tym przypadku. Zaleca się jednak przyjmowanie spadku ciśnienia nie mniejszego niż 10 kPa przy minimalnej nastawie regulatora STAP. Ponieważ reguła $\Delta p_V \geq 0,25$ wysokości podnoszenia pompy nie jest już obowiązująca, można przyjmować różnice ciśnienia Δp_V mniejsze niż zwykle, zmniejszając w ten sposób wysokość podnoszenia pompy.

3.2 Regulator różnicy ciśnień dla kilku odbiorników

Zasada działania

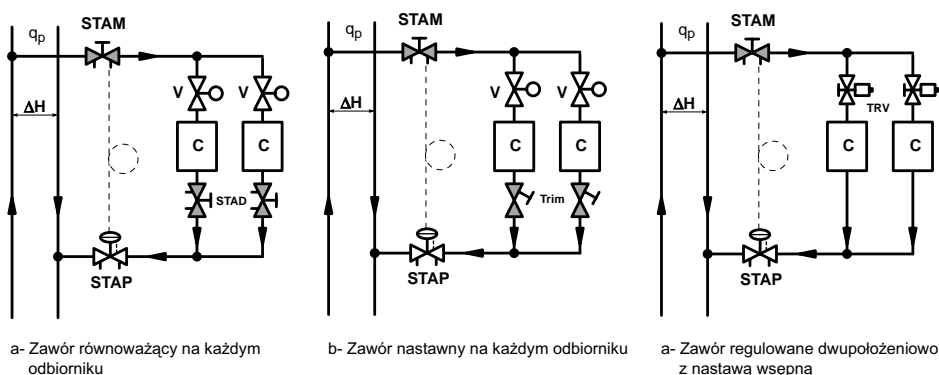
Gdy wiele małych odbiorników "C" jest umieszczonych jeden blisko drugiego, wystarczającym może być stabilizacja różnicy ciśnień dla całego zespołu. (Rys. 3.2).

Każdy odbiornik "C" wyposażony jest w zawór równoważący. (Rys. 3.2a).

Każdy odbiornik "C" zaopatrzony jest w zawór nastawny (zawór TRIM lub STK) bez możliwości pomiaru przepływu na odbiornikach. W tym przypadku nastawa wstępna zaworów musi być obliczona. (Rys. 3.2b).

Odbiorniki są kontrolowane przez zawory regulowane dwupołożeniowo TRV z wstępną nastawą (Rys. 3.2c).

Zawór pomiarowy STAM jest zainstalowany tak, aby jego króciec odwadniający znajdował się za zaworem w kierunku przepływu.



Rys. 3.2. Jeden regulator STAP stabilizuje różnicę ciśnień występującą dla zespołu odbiorników.

Procedura równoważenia - rysunek 3.2.a

1. Pozostawić nastawę fabryczną regulatora STAP. Zawory regulacyjne "V" są całkowicie otwarte.
2. Zrównoważyć odbiorniki w gałęzkach zgodnie z Metodą TA Balance (patrz Zeszyt TA nr 2), która nie jest zależna od dostępnej różnicy ciśnień ΔH .
3. Ustawić nastawę Δp_L regulatora STAP tak aby osiągnąć całkowity, projektowy przepływ q_p przez zawór pomiarowy STAM.

Procedura równoważenia - rysunek 3.2.b

W tej procedurze równoważenia zakłada się, że spadki ciśnienia w rurociągach dystrybucyjnych za regulatorem STAP są pomijalne małe.

1. Zakłada się, że dla każdego obwodu niezbędne ciśnienie różnicowe jest sumą spadków ciśnień dla przepływu projektowego na: zaworze regulacyjnym, odbiorniku, akcesoriach i całkowicie otwartym zaworze nastawnym. Koniecznym jest zapamiętanie najwyższej wartości różnicy Δp_{max} .
2. Należy obliczyć dla każdego obwodu spadek ciśnienia na zaworze nastawnym, który jest równy: $\Delta p_{max} - \Delta p$ zaworu regulacyjnego "V" - Δp odbiornika "C" - Δp w akcesoriach.
3. Należy ustawić każdy regulator tak, aby wytworzyć spadek ciśnienia dla przepływu projektowego i zastosować nomogram TA lub program komputerowy "TA Select" w celu znalezienia właściwych nastaw.
4. Ustawić nastawę Δp_L regulatora STAP w celu osiągnięcia całkowitego przepływu q_p poprzez STAM.

Procedura równoważenia - rysunek 3.2.c

Należy zastosować te same procedury, które zostały opisane dla Rys. 3.2b.

Jeśli rozwiązanie z rysunku 3.2b zostało zastosowane dla całej instalacji, zawory równoważące na gałązkach i w pionach nie są potrzebne, chyba że do celów diagnostycznych i w celu odciążenia.

Dobór zestawu STAM / STAP

Zawór pomiarowy STAM jest dobierany w celu osiągnięcia spadku ciśnienia przynajmniej 3 kPa przy całkowitym otwarciu i przepływie projektowym (patrz załączniki).

Nastawa Δp_L regulatora STAP odpowiada największej sumie spadków ciśnienia dla przepływu projektowego na: całkowicie otwartym zaworze regulacyjnym "V", odbiorniku "C" oraz jego zaworach równowapujących (STAD lub TRIM) i Δp akcesoriów. Właściwa nastawa zostanie dobrana podczas procedury równoważenia.

Należy dobrać odpowiednio regulator STAP (patrz załączniki).

Dobieranie modulowanych zaworów regulacyjnych

Należy określić spadek ciśnienia przy przepływie projektowym w każdym odbiorniku. Najwyższa wartość obliczeniowa to Δp_{Cmax} .

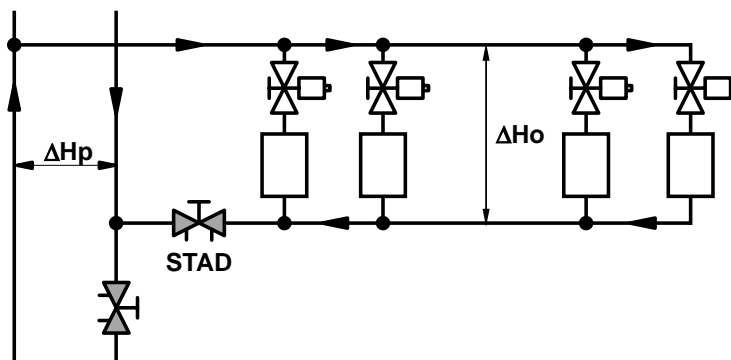
Każdy zawór regulacyjny musi, przy swoim całkowitym otwarciu i przepływie projektowym, wytworzyć spadek ciśnienia równy co najmniej:

$\Delta p_{Cmax} + 3 \text{ kPa}$ lub $0,25 \times$ oszacowana nastawa regulatora STAP.

3.3 Zastosowanie zaworów równoważących w instalacjach z grzejnikami.

3.3.1 Zawory grzejnikowe z nastawą wstępną

W instalacjach z grzejnikami, zawory termostaticzne z nastawą wstępną dobierane są dla spadku ciśnienia $\Delta H_o = 10 \text{ kPa}$ /Poradnik TA Zeszyt nr 3/.

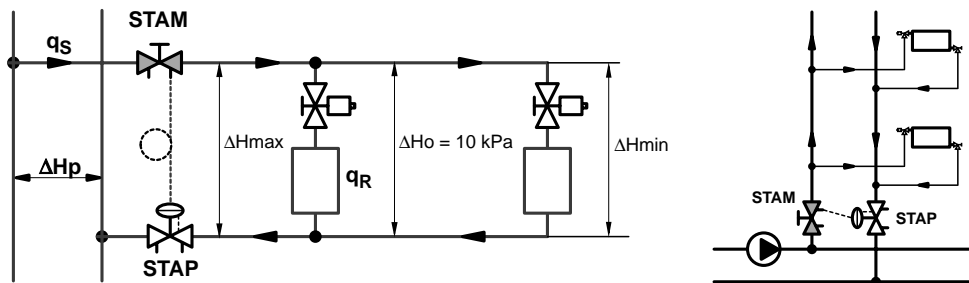


Rys. 3.3. Nastawa wstępna każdego zaworu grzejnikowego jest dokonywana dla tego samego ciśnienia różnicowego 10 kPa

W trakcie procedury równoważenia zawór równoważący STAD w gałęzi jest ustawiony tak, aby uzyskać właściwy przepływ całkowity w tej gałęzi. Uzasadnia to konieczność wykonania nastawy wstępnej, zaś oczekiwane 10 kPa jest w rzeczywistości osiągnięte w centrum gałęzi.

Jeżeli różnica ciśnień odkładająca się na zaworach termostaticznych może przekroczyć 30 kPa, występuje ryzyko hałasu w instalacji, szczególnie gdy w wodzie pozostaje nieco powietrza. W takim przypadku lepiej jest stabilizować różnicę ciśnień za pomocą regulatora STAP, zgodnie z rysunkiem 3.4.

Zasada działania



Rys. 3.4. Regulator STAP stabilizuje różnicę ciśnień na zasilaniu obwodu.

Regulator STAP stabilizuje różnicę ciśnień na każdej gałęzi lub pionie. Przepływ q_s jest mierzony przez STAM.

Procedury równoważenia (Rysunki 3.4 oraz 3.5)

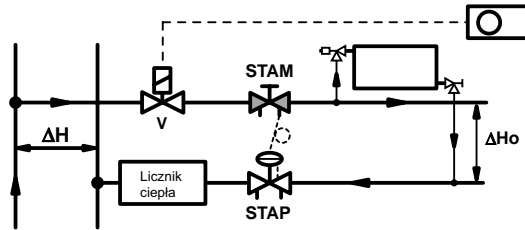
1. Całkowicie otworzyć wszystkie zawory termostaticzne, na przykład poprzez zdjęcie głowic termostaticznych.
2. Zadać wstępne nastawy zaworów termostaticznych bazując na stałej różnicy ciśnień Δp równej 10 kPa.
3. Wyregulować nastawę Δp_L regulatora STAP tak aby uzyskać całkowity przepływ projektowy q_s mierzony na zaworze STAM. Oczekiwana wartość 10 kPa różnicy ciśnień jest wówczas uzyskiwana w centrum obwodu.

Dobór zestawu STAM / STAP

Zawór pomiarowy STAM jest dobierany w celu osiągnięcia spadku ciśnienia przynajmniej 3 kPa przy całkowitym otwarciu zaworu i przepływie projektowym (patrz załączniki).

Przypadek szczególny

W nowych budynkach mieszkalnych często stosowany jest jeden zawór regulacyjny STAP na każde mieszkanie. Temperatura wody zasilającej jest regulowana przez centralny regulator w zależności od warunków zewnętrznych. W większości przypadków termostat pokojowy jest umieszczony w pomieszczeniu odniesienia, gdzie zawory grzejnikowe nie są zaopatrzone w głowice termostaticzne. Termostat pokojowy steruje dwupołożeniowo zaworem "V" (rysunek 3.5).



Rys. 3.5. Jeden regulator STAP reguluje Δp w każdym mieszkaniu.

Zawór dwupołożeniowy oraz, ewentualnie, licznik energii nie powinny być umieszczane w tej części obwodu, gdzie kontrolowana jest różnica ciśnień. Pomaga to zapobiegać zmiennym spadkom ciśnienia, które wpływają na różnice ciśnień występujące na grzejnikach.

3.3.2 Zawory grzejnikowe bez nastawy wstępnej

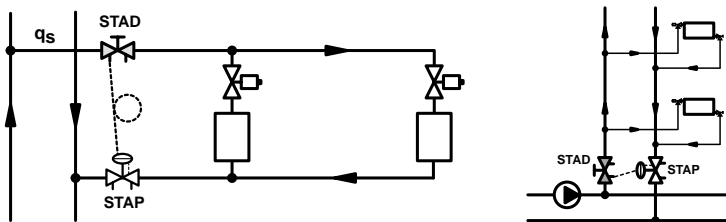
Zasada działania

W niektórych starych budynkach zawory grzejnikowe nie posiadają nastawy wstępnej.

Regulatory różnicy ciśnień mogą ograniczać ciśnienie różnicowe w każdym obwodzie. Jednak bez ograniczeń przepływu na zaworach grzejnikowych przepływ może być wielokrotnie wyższy w jednym bądź w wielu obwodach i o wiele za niski w pozostałych, pomimo obecności regulatora różnicy ciśnień.

Najlepszym sposobem rozwiązania tego problemu jest oczywiście, zainstalowanie zaworów grzejnikowych z nastawą wstępną i równoważenie zgodnie z opisem w załączniku 3.3.1.

Innym rozwiązaniem jest wybór zaworu równoważającego STAD i podłączenie przewodu impulsowego do króćca pomiarowego umieszczonego przed zaworem STAD (odwrócenie zaworu STAD w stosunku do kierunku przepływu). Spadek ciśnienia na zaworze równoważającym STAD jest więc włączony do regulowanego obwodu, zgodnie z rysunkiem 3.6. Przepływ q_s jest mierzony na zaworze STAD.



Rys. 3.6. Spadek ciśnienia na zaworze równoważającym jest zawarty w całkowitym Δp regulowanym przez regulator STAP.

3. Zastosowanie regulatorów STAP

Wartość nastawy Δp_L na zaworze STAP jest dobrana jako minimalna wartość z zakresu (nastawa fabryczna), odpowiadająca niezbędnej wartości podnoszenia pompy.

Po otwarciu wszystkich zaworów termostatycznych, należy tak nastawić zawór STAD, aby uzyskać całkowity przepływ projektowy w obwodzie.

W trakcie rozruchu, kiedy wszystkie zawory termostatyczne są w pełni otwarte, przepływ całkowity jest automatycznie ograniczany do swojej wartości projektowej.

Kiedy zawory termostatyczne są zamknięte, osiągnięta różnica ciśnień jest ograniczana do wartości nastawy na zaworze STAP.

Ta kombinacja daje odpowiedni przepływ całkowity i ogranicza różnicę ciśnień do określonej wartości.

Właściwy podział przepływów sumarycznych na grzejniki nie zostaje osiągnięty. Jednak takie rozwiązanie w sposób znaczący polepsza działanie instalacji z zaworami grzejnikowymi bez nastawy wstępnej.

Oczywiście, nie stosuje się tu procedur równoważenia, dopóki nie nastąpi zainstalowanie termostatycznych zaworów grzejnikowych z nastawą wstępną.

4. Zastosowania BPV

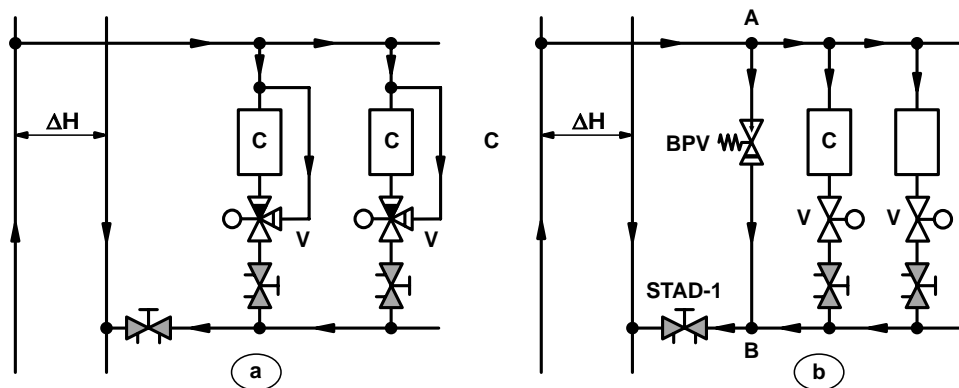
BPV jest zaworem nadmiarowo-upustowym, który może zapewnić stałą różnicę ciśnień w obwodach pracujących ze zmiennym przepływem. Zapobiega to interakcji pomiędzy obwodami i stabilizuje na nich różnice ciśnień.

Pełne informacje na temat zaworu BPV zawiera karta katalogowa 5-5-20.

4.1 Przekształcanie warunków zmiennoprzepływowych w stałoprzepływowe.

Zasada działania

Prostym sposobem uzyskania stałego przepływu w systemie dystrybucji jest zainstalowanie zaworu trójdrogowego w układzie rozdzielającym na każdym odbiorniku (Rysunek 4.1a).



Rys. 4.1. Dwa równorzędne przykłady obwodów stałoprzepływowych.

Bardziej ekonomicznym sposobem jest zainstalowanie zaworów dwudrogowych przepływowych oraz jednego proporcjonalnego zaworu nadmiarowo-upustowego BPV w obejściu (Rys. 4.1b). Gdy jeden lub kilka zaworów dwudrogowych zamyka się, różnica ciśnień pomiędzy punktami A i B wzrasta, zaś zawór nadmiarowy otwiera się. Zawór nadmiarowo-upustowy BPV jest drugą drogą wirtualnego zaworu trójdrogowego dla całego obwodu. Różnica ciśnień pomiędzy A i B jest stabilizowana niezależnie od zmian pierwotnej różnicy ciśnień ΔH , a także przepływu wtórnego.

Jednakże przepływ pierwotny może zmieniać się zgodnie z zakresem proporcjonalności zaworu nadmiarowo-upustowego BPV oraz projektowego spadku ciśnienia występującego na zaworze równoważącym STAD-1 (patrz załączniki).

Procedura równoważenia - rysunek 4.1b

1. Całkowicie otworzyć zawory regulacyjne "V" i zamknąć zawór nadmiarowo-upustowy BPV.
2. Równoważyć całą instalację zgodnie z metodą kompensacyjną lub TA Balance.
3. Zmniejszać nastawę zaworu nadmiarowo-upustowego BPV, aż do osiągnięcia mierzalnego wzrostu przepływu na zaworze równoważącym STAD-1.
4. Włączyć zawory regulacyjne.

Dobieranie zaworów STAD / BPV

Zawór równoważący STAD-1 jest dobierany w celu wytworzenia, przy swym całkowitym otwarciu, przynajmniej 6 kPa dla przepływu projektowego (patrz załączniki, tabela 5.4). Zawór nadmiarowo-upustowy BPV jest przede wszystkim dobierany w zależności od przepływu projektowego (patrz załączniki).

Dobieranie modułowanych zaworów regulacyjnych

Należy określić spadek ciśnienia na każdym odbiorniku "C", przy przepływie projektowym. Najwyższa wartość obliczeniowa to Δp_{Cmax} .

Każdy zawór regulacyjny musi wytworzyć, przy swym całkowitym otwarciu oraz przy przepływie projektowym, spadek ciśnienia równy co najmniej $\Delta p_{Cmax} + 6$ kPa. Projektowy spadek ciśnienia na zaworze regulacyjnym musi wynosić co najmniej 0,25 x oszacowana nastawa zaworu nadmiarowo-upustowego BPV.

4.2 Zawór regulacyjny dwudrogowy na dopływie

Zasada działania

W niektórych przypadkach różnica ciśnień dostępna w systemie dystrybucji jest zbyt wysoka dla zaworu regulacyjnego. Przy dystrybucji zmiennoprzepływowej ten problem może być rozwiązany za pomocą regulatora STAP. Jeśli system rozdziału musi pracować przy stałym przepływie przynajmniej dla niektórych obwodów, które muszą zapewnić minimalny przepływ, wówczas zawór nadmiarowo-upustowy BPV może rozwiązać ten problem (Rysunek 4.2).

Przykład ten dotyczy wtórnego obwodu pracującego przy stałym przepływie wody. Zawór dwudrogowy znajduje się na dopływie.

Zależność pomiędzy przepływem pierwotnym a wtórnym zależy od projektowanej temperatury wody, wyrażonej formułą:

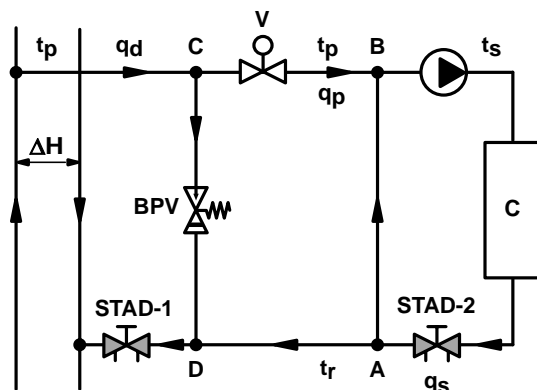
$$q_p = q_s \times \frac{t_s - t_r}{t_p - t_r}$$

Przykłady: $t_s = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_r = 43\text{ }^{\circ}\text{C}$ oraz $t_p = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ wówczas $q_p = 0.19\text{ }q_s$.

Jeżeli $t_s = t_p$, wówczas $q_s = q_p = q_d$.

W przypadku chłodzenia: $t_s = 9\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_r = 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ oraz $t_p = 6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Wówczas $q_p = 0.625\text{ }q_s$.



Rys. 4.2. Zawór nadmiarowo-upustowy BPV stabilizuje różnicę ciśnień na zaworze regulacyjnym na dopływie.

Procedura równoważenia - rysunek 4.2

1. Całkowicie otworzyć zawór regulacyjny i zamknąć zawór nadmiarowo-upustowy BPV.
2. Równoważyć całą instalację zgodnie z metodą kompensacyjną lub TA-Balance.
3. Dla każdego obwodu, wybieranego w dowolnej kolejności, przy stałe otwartym zaworze regulacyjnym "V" zmniejszać nastawę zaworu nadmiarowo-upustowego BPV, aż do osiągnięcia wzrostu przepływu mierzonego na zaworze równoważącym STAD-1.
4. Wyregulować przepływ wtórny q_s za pomocą zaworu równoważącego STAD-2.
5. Włączyć zawór regulacyjny.

Dobieranie zaworów STAD / BPV

Zawór STAD-1 jest dobierany w celu osiągnięcia, przy swym całkowitym otwarciu, przynajmniej 6 kPa dla przepływu projektowego. Należy odpowiednio dobierać zawór równoważący STAD-1 (patrz załączniki).

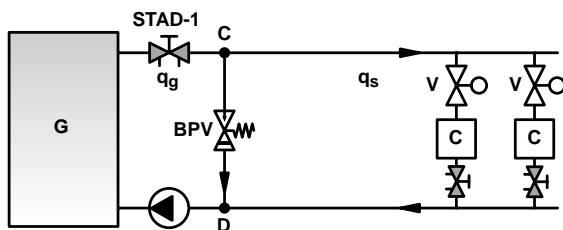
Zawór nadmiarowo-upustowy BPV jest przede wszystkim dobierany w zależności od przepływu projektowanego q_p (patrz załączniki Rysunek 5.3.). Jego nastawa zostanie określona w trakcie procedury równoważenia. Wartość ta odpowiada projektowanemu spadkowi ciśnienia na regulatorze + projektowanemu spadkowi ciśnienia w rurociągach (CB + DA). Tak obliczona wartość może być włączona do kroku 3 procedury równoważenia, bez pomiaru przepływu za pomocą zaworu równoważącego STAD-1.

Dobieranie zaworu regulacyjnego

Zawór regulacyjny jest dobierany dla spadku ciśnienia równego, przy swym całkowitym otwarciu, przynajmniej 10 kPa dla przepływu projektowego. Jego autorytet jest i pozostaje bliski jedności.

4.3 Przepływ minimalny w małym kotle lub wytwornicy wody lodowej

Zasada działania



Rys. 4.3. Zawór nadmiarowo-upustowy BPV stabilizuje różnicę ciśnień Δp i zapewnia przepływ minimalny w źródle.

W podanym przykładzie rozkład przepływu jest zasadniczo zmienny (Rysunek 4.3). Proporcjonalny zawór nadmiarowo-upustowy BPV jest stosowany z pompą o stromej charakterystyce.

Gdy zawory regulacyjne częściowo się zamykają, różnica ciśnień pomiędzy punktami C i D wzrasta, powodując otwarcie zaworu nadmiarowo-upustowego BPV. Utrzymuje to stały (w przybliżeniu) przepływ w kotle lub wytwornicy wody lodowej, podczas gdy w obwodach występuje stabilizacja różnicy ciśnień. Rozwiązanie to pozwala także na uniknięcie potrzeby zainstalowania drugiej pompy i jest interesujące w przypadku konwencjonalnych kotłów pracujących przy stałej temperaturze wody.

Procedura równoważenia - rysunek 4.3

1. Całkowicie otworzyć zawory regulacyjne "V" i zamknąć zawór nadmiarowo-upustowy BPV.
2. Równoważyć całą instalację zgodnie z metodą kompensacyjną lub TA- Balance, używając zaworu równoważającego STAD-1 jako zaworu wspólnego.
3. Zmniejszać nastawę zaworu nadmiarowo-upustowego BPV, aż do osiągnięcia mierzalnego wzrostu przepływu przez zawór równoważający STAD-1.

Dobieranie zaworów STAD / BPV

Zawór równoważający STAD jest dobierany w celu wytworzenia, przy swym całkowitym otwarciu, przynajmniej 6 kPa dla przepływu projektowego (patrz załączniki, tabela 5.11).

Zawór nadmiarowo-upustowy BPV jest dobierany w zależności od przepływu projektowego q_g kotła (patrz załączniki).

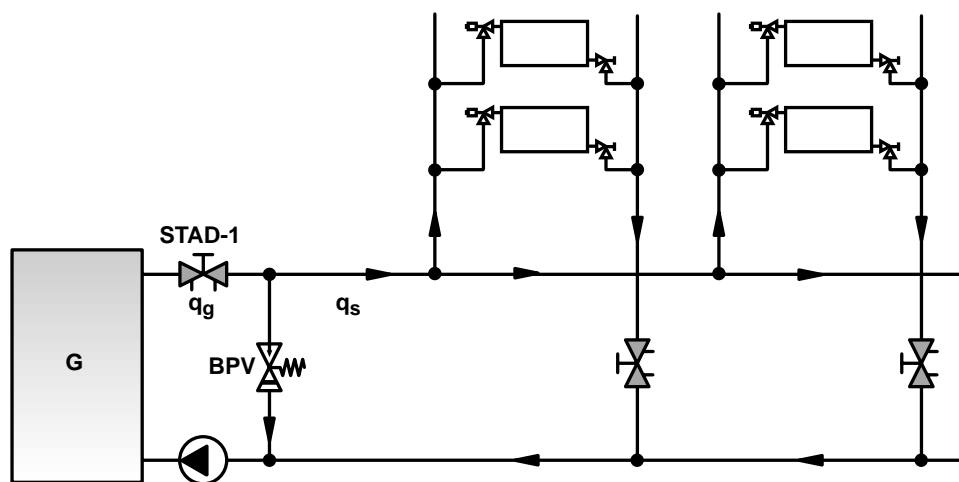
Dobieranie modulowanych zaworów regulacyjnych

Należy określić spadek ciśnienia przy przepływie projektowym każdego odbiornika. Najwyższa wartość obliczeniowa to Δp_{Cmax} .

Każdy zawór regulacyjny musi wytrzymać, przy swym całkowitym otwarciu oraz przy przepływie projektowym, spadek ciśnienia równy co najmniej $\Delta p_{Cmax} + 3$ kPa. Projektowany spadek ciśnienia na zaworze regulacyjnym musi wynosić co najmniej 0,25 x oszacowana nastawa zaworu nadmiarowo-upustowego BPV.

Układ z grzejnikami.

Gdy odbiornikami są grzejniki z zaworami termostaticznymi (rysunek 4.4), procedura równoważenia jest nieco inna.



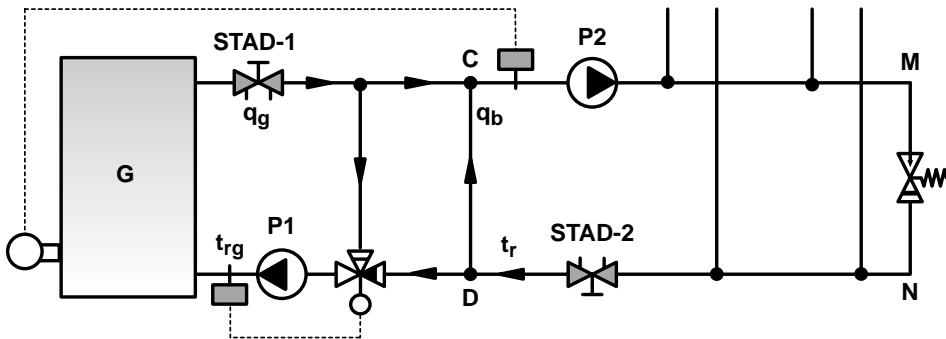
Rys. 4.4. Wariant rozwiązania odpowiedni do schematu z rys.4.3, lecz wyposażony w grzejniki

Procedura zrównoważenia - rysunek 4.4

1. Zamknąć zawór nadmiarowo-upustowy BPV.
2. Zadać wstępne nastawy zaworom termostatycznym bazując na dostępnej różnicy ciśnień równej 10 kPa.
3. Równoważyć całą instalację zgodnie z metodą kompensacyjną lub TA- Balance, używając zaworu równoważającego STAD-1 jako zaworu wspólnego.
4. Zmniejszać nastawę zaworu nadmiarowo-upustowego BPV, aż do osiągnięcia wzrostu przepływu mierzalnego na zaworze równoważającym STAD-1.

4.4 Przepływ minimalny przy dystrybucji zmiennoprzepływowej

Jeśli temperatura wody kotłowej zmienia się zgodnie z warunkami zewnętrznymi, kocioł G musi być zabezpieczony przed powrotem wody o niskiej temperaturze, aby uniknąć kondensacji oparów. Zawór trójdrogowy reguluje temperaturę powracającej wody t_{rg} (Rysunek 4.5). W tym przypadku, zastosowanie zaworu nadmiarowo-upustowego BPV pomiędzy punktami C i D nie jest już odpowiednie, ponieważ różnica ciśnień w systemie rozdziału nie może być utrzymana na stałym poziomie. Druga pompa P2 jest więc niezbędna.



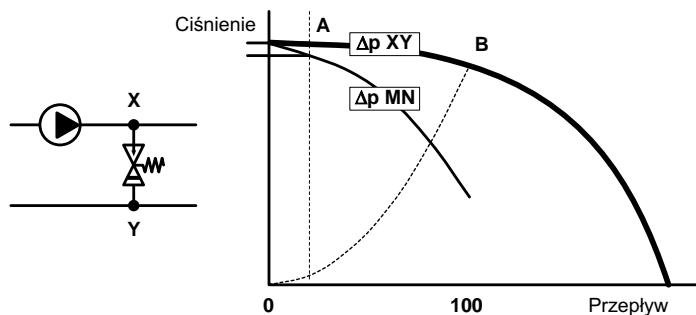
Rys. 4.5. Jeden zawór trójdrogowy zapewnia minimalną temperaturę wody powrotnej do kotła.

Trzeba jednak zapewnić przepływ minimalny pompy P2, kiedy wszystkie zawory regulacyjne są zamknięte.

Gdy system rozdziału pracuje przy stałym przepływie, jak pokazano na rysunku 4.1, nie stanowi to problemu. Jeśli system rozdziału pracuje przy zmiennym przepływie, zawór nadmiarowo-upustowy BPV jest umieszczany na końcu dystrybucji.

W niektórych przypadkach zawór nadmiarowo-upustowy BPV jest lokowany tuż za pompą, jak pokazano na rysunku 4.6. Nie jest to jednak dobre usytuowanie.

4. Zastosowania BPV



Rys. 4.6. Zawór nadmiarowy jest umieszczony blisko pompy (XY) lub w odległym obwodzie (MN).

W tym przypadku zawór nadmiarowy musi być tak nastawiony, aby otwierał się, na przykład, kiedy całkowity przepływ spada poniżej 25% wartości projektowej. Odpowiadające temu ciśnienie znajduje się w punkcie A. Jeśli zawór nadmiarowy jest nastawiony na wartość różnicy Δp nieco wyższą od A, to nigdy się nie otworzy. Jeśli jego nastawa będzie nieco niższa od A, otworzy się już wówczas, gdy całkowity przepływ w instalacji jest wystarczająco wysoki. Znalazienie właściwej nastawy jest możliwe tylko wówczas, gdy krzywa pompy jest bardzo stroma. Przeciwnie do powyższego, różnica ciśnień mierzona pomiędzy punktami M i N (rysunek 4.5) zmienia się znacznie wraz z przepływem, jeśli rurociąg MN jest umiejscowiony blisko najbardziej odległego obwodu.

Co więcej, utrzymując minimalny przepływ w rurociągach, zawór nadmiarowy na rurociągu MN zapobiega dużym zmianom temperatury wody zależnym od strat ciepłych w rurach.

Z obydwu tych powodów najlepszym rozwiązaniem jest instalacja zaworu nadmiarowo-upustowego BPV na końcu każdego odległego obwodu, aby wytwarzać minimalny przepływ wody w instalacji grzewczej lub chłodniczej.

Ustawianie zaworu nadmiarowo-upustowego BPV - rysunek 4.5

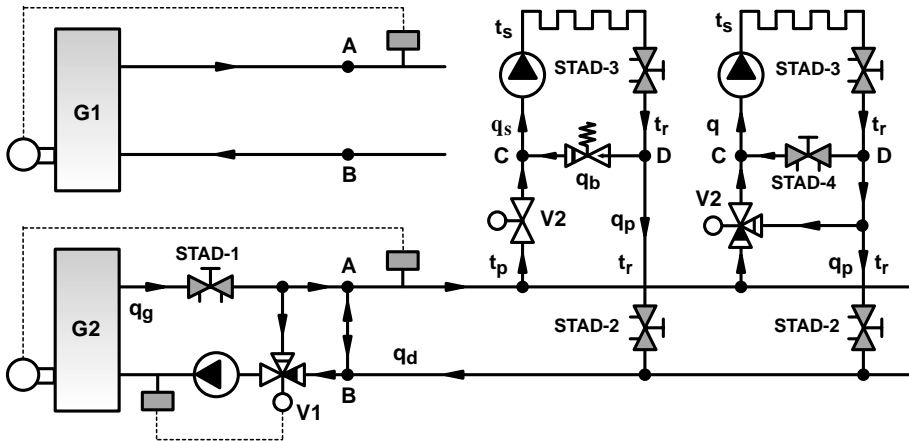
1. Zamknąć wszystkie zawory regulacyjne lub termostatyczne.
2. Ustawić wartość zadaną zaworu nadmiarowo-upustowego BPV w celu otrzymania minimalnego przepływu mierzonego na zaworze równoważącym STAD-2. Aby zmierzyć przepływ wystarczająco dokładnie, zawór równoważący STAD-2 może być lekko przymknięty w celu uzyskania co najmniej 3 kPa różnicy Δp . Po ustawieniu zaworu nadmiarowo-upustowego BPV, zawór równoważący STAD-2 otwiera się повторно do wartości obliczonej podczas procedury równoważenia.

4.5 Zastosowanie w instalacjach ogrzewania podłogowego

Opis zasady działania

W przypadku ogrzewania podłogowego, temperatura wody zasilającej w obwodach jest znacznie niższa niż temperatura wody w kotle, która służy również do zasilania innych obwodów wymagających jej wysokiej temperatury (np. c.w.u.). Dystrybucja jest pasywna, czyli nie wymaga pompy cyrkulacyjnej. Przepływ wody w systemie dystrybucji jest generowany przez wtórną pompę, wytwarzającą różnicę ciśnień pomiędzy punktami D i C. W niektórych instalacjach, zawór równoważący jest umiejscowiony pomiędzy punktami D i C w celu wytworzenia różnicy ciśnień.

Jednakże, ponieważ przepływ q_b jest zmienny, ta różnica ciśnień nie jest stała i wzrasta wraz z zamykaniem się zaworu regulacyjnego. Ma to wpływ na jego autorytet. Rozwiązanie z zastosowaniem zaworu nadmiarowo-upustowego BPV jest o wiele lepsze, ponieważ różnica ciśnień jest, praktycznie, niezależna od przepływu q_b . Gdy stosuje się zawór trójdrogowy, przepływ CD jest stały i może być stosowany zawór równoważący.



Rys. 4.7. Zawór nadmiarowo-upustowy BPV wytwarza przepływ cyrkulacyjny w systemie dystrybucji.

Kocioł G2 jest konwencjonalnym kotłem zabezpieczonym przed powrotem wody o niskiej temperaturze za pomocą zaworu trójdrogowego V1. Alternatywnie kocioł G2 może być zastąpiony kotłem kondensacyjnym G1, dla którego minimalny przepływ nie jest określony.

Zależność pomiędzy przepływem pierwotnym a wtórnym zależy od projektowanej temperatury wody, wyrażonej formułą:

$$q_p = q_s \times \frac{t_s - t_r}{t_p - t_r}$$

Przykład: $t_s = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$, $t_r = 43 \text{ } ^\circ\text{C}$ oraz $t_p = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$ wówczas $q_p = 0.19 q_s$.

Zawory regulacyjne "V2" są dobierane bazując na przepływie q_p każdego obwodu oraz spadku ciśnienia równego co najmniej spadkowi ciśnienia w systemie rozdziału (włączając w to kocioł w alternatywie G1).

Procedura równoważenia jest taka sama w obydwu przypadkach (zawory regulacyjne dwu- i trójdrogowe).

Rozwiązanie takie jest szczególnie ważne, jeśli przepływ q_s może być uważany w przybliżeniu za stały. Jeśli przepływ q_s może znacząco się zmniejszyć, zawory V2 są w stanie podnieść temperaturę t_s do wartości równej t_p . Jest to dość niebezpieczne w instalacji ogrzewania podłogowego, dopóki nie będą zastosowane niezawodne zabezpieczenia. Zmniejszenie przepływu q_s spowoduje także zmniejszenie autorytetu dwudrogowego zaworu V2.

Procedura równoważenia - rysunek 4.7

1. Całkowicie otworzyć zawór regulacyjny "V2" i zawór równoważący STAD-3.
2. Ustawić zawór równoważący STAD-2 tak, aby wytworzyć spadek ciśnienia przynajmniej 6 kPa dla przepływu projektowego q_p . Używać przyrządu CBI lub nomogramów TA w celu znalezienia właściwej nastawy zaworu.
3. Ustawić zawór nadmiarowo-upustowy BPV w celu uzyskania przepływu projektowego q_p na zaworze równoważącym STAD-2.
4. Ustawić zawór równoważący STAD-3 w celu uzyskania przepływu projektowego w obwodzie wtórnym.

Gdy wszystkie obwody zostaną zrównoważone zgodnie z tą procedurą, końcowa korekta dla każdego obwodu powinna odbyć się wg tych samych zasad począwszy od kroku 3.

Przepływ przez kocioł G2 ustawiany jest niezależnie zaworem równoważącym STAD-1.

Dobieranie zaworu równoważącego STAD / zaworu nadmiarowo-upustowego BPV

Zawór równoważący STAD jest dobierany w celu wytworzenia, przy swym całkowitym otwarciu, przynajmniej 6 kPa dla przepływu projektowego. / patrz zał. A, tabela 5.4 /

Zawór nadmiarowo-upustowy BPV jest dobierany w zależności od przepływu projektowanego q_p . Nastawa będzie określona podczas procedury równoważenia. Nastawa ta będzie odpowiadać spadkowi ciśnienia w dystrybucji + spadkowi ciśnienia przy przepływie projektowanym na całkowicie otwartym zaworze V2. W przypadku G1 spadek ciśnienia na kotle jest włączony w system dystrybucji.

Dobieranie modulowanych zaworów regulacyjnych

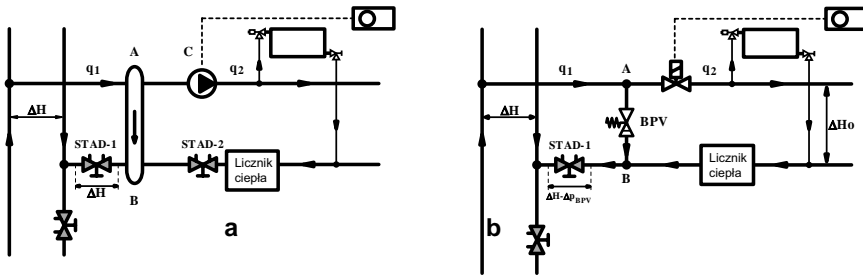
Każdy zawór regulacyjny V1 lub V2 musi wytworzyć, będąc całkowicie otwartym i przy przepływie projektowym, spadek ciśnienia równy przynajmniej spadkowi ciśnienia w systemie dystrybucji (włączając w to kocioł, w przypadku G1). Warunek ten musi być spełniony przy oszacowaniu Δp_{DC} i wysokości podnoszenia pomp wtórnych.

4.6 Zawór nadmiarowo-upustowy BPV w obwodach z grzejnikami

Zasada działania

W budynkach mieszkalnych temperatura wody zasilającej jest regulowana centralnym regulatorem w zależności od warunków zewnętrznych.

Wysokość podnoszenia pompy obiegowej może być dosyć wysoka, zbyt wysoka dla zaworów termostatycznych, co może powodować szum. Jeśli nie ma ograniczeń co do temperatury wody powrotnej, może być stosowana dystrybucja stałoprzepływowa.



Rys. 4.8. Każde mieszkanie jest zasilane przy różnicy ciśnień niższej niż 30 kPa.

Rozwiązaniem jest zaopatrzenie każdego mieszkania w obejście AB oraz zawór równoważący STAD-1 (rysunek 4.8a). Ten zawór równoważący przejmuje dostępną różnicę ΔH . Pompa wtórna o odpowiedniej wysokości podnoszenia, poniżej 30 kPa, obsługuje mieszkanie. Gdy zawory termostacyjne zamykają się, różnica Δp pozostaje w akceptowanym zakresie, nie dopuszczając do hałasu w instalacji. Projektowany przepływ wtórny musi być nieco niższy niż przepływ pierwotny, w celu uniknięcia przepływu powrotnego poprzez bocznicę AB, który tworzy punkt mieszania w A i obniża temperaturę wody zasilającej. Oto dlaczego niezbędny jest zawór równoważący STAD-2 w obwodzie wtórnym.

Aby uniknąć pompy wtórnej oraz zaworu równoważącego STAD-2, można zastosować zawór nadmiarowo-upustowy BPV dla każdego mieszkania (rysunek 4.8b). Ten zawór współpracuje z zaworem równoważącym STAD-1 w celu uzyskania niezbędnego przepływu pierwotnego. Nastawa zaworu nadmiarowo-upustowego BPV jest odpowiednio dobrana. Gdy zawory termostacyjne zamykają się, różnica ciśnień pomiędzy punktami A i B wzrasta ponad nastawę zaworu nadmiarowo-upustowego BPV, który otwiera się, aby utrzymać stałą różnicę ciśnień pomiędzy punktami A i B.

Procedura równoważenia - rysunek 4.8b

1. Otworzyć zawór regulacyjny i zamknąć zawór nadmiarowo-upustowy BPV.
2. Zadać nastawę wstępną zaworom termostacyjnym bazując na dostępnej różnicy ciśnień równej 10 kPa.
3. Równoważyć całą instalację zgodnie z metodą kompensacyjną lub TA-Balance.
4. Dla każdego mieszkania, wybranego w dowolnej kolejności:
 - Zawór regulacyjny jest ciągle otwarty.
 - Obniżyć nastawę zaworu nadmiarowo-upustowego BPV, dopóki wzrost przepływu nie zostanie mierzony na zaworze równoważącym STAD-1.
 - Włączyć znowu zawór regulacyjny i nastawić głowice termostacyjne na żądane wartości.

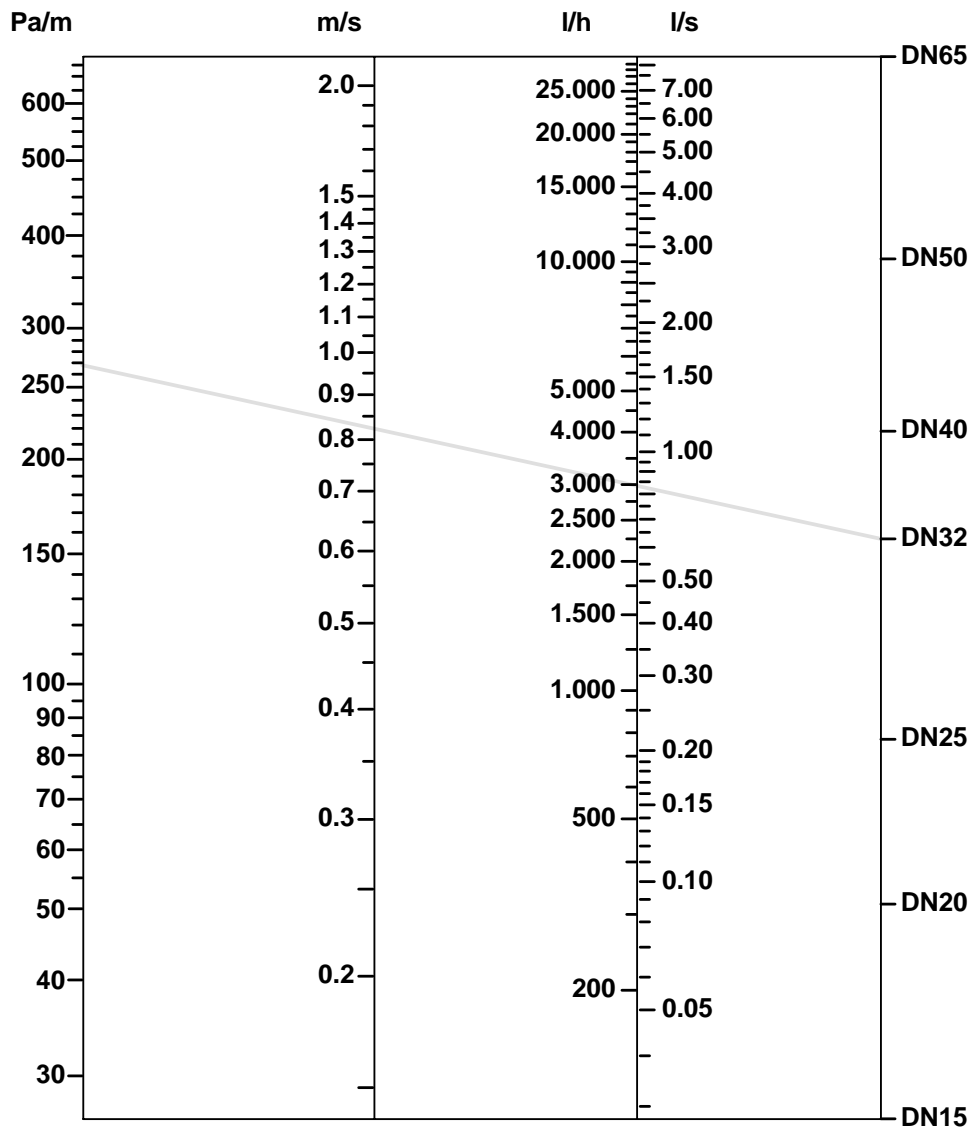
Dobieranie zaworu równoważącego STAD / zaworu nadmiarowo-upustowego BPV

Zawór równoważący STAD jest dobierany w celu wytworzenia, przy przepływie projektowym, spadku ciśnienia przynajmniej 6 kPa.

Nastawa zaworu nadmiarowo-upustowego BPV znajduje się pomiędzy 10 a 15 kPa + spadek ciśnienia na zaworze regulacyjnym i liczniku ciepła. Właściwa nastawa będzie określona podczas procedury równoważenia. Dobór zaworu nadmiarowo-upustowego BPV jest dokonywany zgodnie z załącznikami.

- 5.1 Dobieranie rur stalowych**
- 5.2 Dobieranie zaworu pomiarowego STAM**
- 5.3 Dobieranie zaworu równoważącego STAD**
- 5.4 Dobieranie regulatora STAP**
- 5.5 Dobieranie zaworu nadmiarowo-upustowego BPV**
- 5.6 Koszty pompowania w porównaniu do kosztów dyskomfortu**

5.1 Dobieranie rur stalowych



Rys. 5.1 Spadki ciśnienia i prędkości przepływu w rurach stalowych (woda o temperaturze 20 °C) - chropowatość powierzchni rur 0,05.

Przykład: Przepływ wody wynosi 3000 l/h w rurze o DN 32: Prędkość przepływu 0,82 m/s, a spadek ciśnienia = 268 Pa/m.

5.2 Dobieranie zaworu pomiarowego STAM

Zawór pomiarowy STAM ma następujące funkcje:

- **przekazywanie ciśnienia:** używając kurka spustowego, może być podłączony do regulatora STAP w celu przekazania ciśnienia.
- **pomiar przepływu:** możliwość pomiaru przepływu w czterech wstępnie zadanych nastawach.
- odwodnienie i odcinanie.

Zawór pomiarowy STAM jest dostępny w wymiarach DN15 do DN50, z gwintem wewnętrznym G1/2 - G2.

Aby mierzyć dokładnie przepływ, wstępna nastawa powinna być tak dobrana, aby uzyskać, przy przepływie projektowym, spadek ciśnienia równy co najmniej 3 kPa.

	Nastawa i odpowiadający jej przepływ minimalny w l/h			
STAM	1	2	3	4
15	62	177	520	695
20	380	715	892	1030
25	532	1008	1300	1431
32	771	1689	2234	2529
40	1199	2321	3152	3585
50	1628	3187	4538	5698

Tabela 5.1 Przepływ minimalny w l/h dla uzyskaniu spadku ciśnienia równego 3 kPa. na zaworze pomiarowym STAM.

	Nastawa i odpowiadający jej przepływ minimalny w l/s			
STAM	1	2	3	4
15	0.017	0.049	0.144	0.193
20	0.105	0.020	0.248	0.286
25	0.148	0.280	0.361	0.397
32	0.214	0.469	0.620	0.702
40	0.333	0.645	0.875	0.996
50	0.452	0.885	1.260	1.582

Tabela 5.2 Przepływ minimalny w l/h dla uzyskania spadku ciśnienia równego 3 kPa. na zaworze pomiarowym STAM.

Jeśli przepływ przez zawór pomiarowy STAM o średnicy DN20 jest, na przykład, równy 800 l/h, to jest to poniżej dolnej granicy równej 892 dla nastawy 3, a powyżej dolnej granicy równej 715 dla nastawy 2. Tak więc, najbardziej odpowiednim ustawieniem jest nastawa 2. Spadek ciśnienia wytwarzany na zaworze pomiarowym STAM zależy od współczynnika K_v zaworu dla pozycji ustawienia wybranych dla wymaganego przepływu projektowego zgodnie z następującym wzorem:

$$\Delta p = \left(0.01 \times \frac{q}{K_v}\right)^2 \quad (\text{kPa} - \text{l/h})$$

$$\Delta p = \left(36 \times \frac{q}{K_v}\right)^2 \quad (\text{kPa} - \text{l/s})$$

5. Załączniki

Kv zaworu STAM w zależności od wybranej nastawy				
STAM	1	2	3	4
15	0.35	1.02	3.00	4.01
20	2.19	4.13	5.15	5.95
25	3.07	5.82	7.51	8.26
32	4.45	9.75	12.9	14.6
40	6.92	13.4	18.2	20.7
50	9.49	18.4	26.2	32.9

Tabela 5.3 Wartości współczynnika Kv zależą od wielkości zaworu i wybranej nastawy.

5.3 Dobieranie zaworu równoważącego STAD

Zawór równoważący STAD ma następujące funkcje:

- **przekazywanie ciśnienia:** używając kurka spustowego, może być podłączony do regulatora STAP w celu przekazania ciśnienia.
- **pomiar przepływu:** możliwość pomiaru przepływu w czterdziestu wstępnie zadanych nastawach wskazywanych cyfrowo na pokrętle.
- **wytwarzanie spadku ciśnienia:** możliwość wytwarzania niezbędnego spadku ciśnienia wymaganego w trakcie procedury równoważenia
- **odwodnienie i odcinanie.**

Zawór równoważący STAD jest dostępny w wymiarach DN15 do DN50, z gwintem wewnętrznym G 1/2 - G2.

Aby zmierzyć dokładnie przepływ, minimalny spadek ciśnienia wytwarzany na zaworze musi być równy co najmniej 3 kPa. Tabela 5.4 może być używana jako przewodnik do dobierania średnicy zaworu równoważącego STAD, kiedy nieznany jest spadek ciśnienia, który ma być wytworzony.

STAD	Kvs	Zakres przepływu	
		l/h	l/s
10	1,47	100 - 430	0,028 - 0,119
15	2,52	350 - 750	0,097 - 0,208
20	5,70	650 - 1600	0,181 - 0,444
25	8,70	1300 - 2400	0,361 - 0,667
32	14,2	2000 - 3800	0,556 - 1,06
40	19,2	2800 - 5700	0,778 - 1,58
50	33,0	4500 - 11000	1,25 - 3,06
STA-DR			
15	2,00	200 - 450	0,056 - 0,125
20	2,00	200 - 600	0,056 - 0,167
25	4,00	600 - 1200	0,167 - 0,333

Tabela 5.4 Wartości współczynnika Kv zależą od wielkości zaworu i wybranej nastawy.

5. Załączniki

W celu znalezienia wartości współczynnika K_v zaworu, odpowiadającej niezbędnemu spadkowi ciśnienia lub w celu znalezienia spadku ciśnienia odpowiadającego szukanemu K_v , można stosować następujące wzory:

$$K_v = 0.01 \times \frac{q}{\sqrt{\text{sqrt}(\Delta p)}} \quad \text{i} \quad \Delta p = \left(0.01 \times \frac{q}{K_v}\right)^2 \quad (\text{kPa} - \text{l/h})$$

$$K_v = 36 \times \frac{q}{\sqrt{\text{sqrt}(\Delta p)}} \quad \text{i} \quad \Delta p = \left(36 \times \frac{q}{K_v}\right)^2 \quad (\text{kPa} - \text{l/s})$$

Tabela 5.5 podaje wartości współczynników K_v zaworu równoważącego STAD w zależności od pozycji nastawy.

	STAD 10	STAD 15	STA-DR 15 i 20	STAD 20	STADR 25	STAD 25	STAD 32	STAD 40	STAD 50
Obroty	K_v	K_v	K_v	K_v	K_v	K_v	K_v	K_v	K_v
0.50	0.045	0.127	-	0.51	0.21	0.60	1.14	1.75	2.56
1.00	0.090	0.212	0.107	0.76	0.36	1.03	1.90	3.30	4.20
1.50	0.137	0.314	0.172	1.19	0.52	2.10	3.10	4.60	7.20
2.00	0.260	0.571	0.362	1.90	1.02	3.62	4.66	6.10	11.7
2.50	0.480	0.877	0.645	2.80	1.85	5.30	7.10	8.80	16.2
3.00	0.826	1.38	1.16	3.87	3.00	6.90	9.50	12.6	21.5
3.50	1.26	1.98	1.78	4.75	3.70	8.00	11.8	16.0	26.5
4.00	1.47	2.52	2.00	5.70	4.01	8.70	14.2	19.2	33.0

Tabela 5.5 Wartości współczynników K_v zaworów równoważących STAD oraz STA-DR w zależności od wielkości wybranej nastawy.

5.4 Dobieranie regulatora STAP

Akceptowalny spadek ciśnienia na regulatorze STAP jest ograniczony dostępną wartością różnicy ciśnień ΔH (rysunek 5.2. a, b).

STAP jest dobierany w taki sposób aby spadek ciśnienia na nim mieścił się w poniższych granicach:

Rysunek 5.2.a: $\Delta p_{\text{STAP}} < \Delta H_{\text{min}} - \Delta p_{\text{STAM}}(\text{STAD}) - \Delta p_V$

Rysunek 5.2.b: $\Delta p_{\text{STAP}} < \Delta H_{\text{min}} - \Delta p_{\text{STAM}}(\text{STAD}) - \Delta p_s$

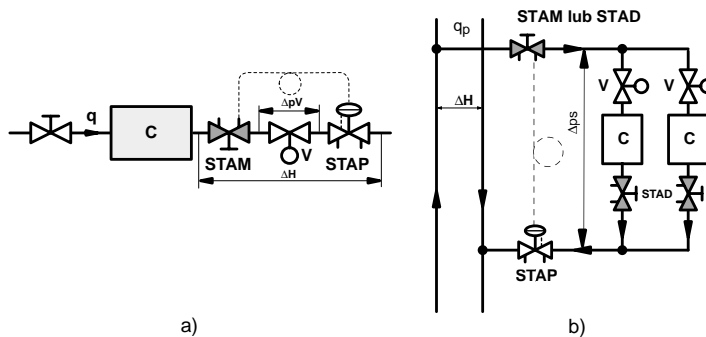
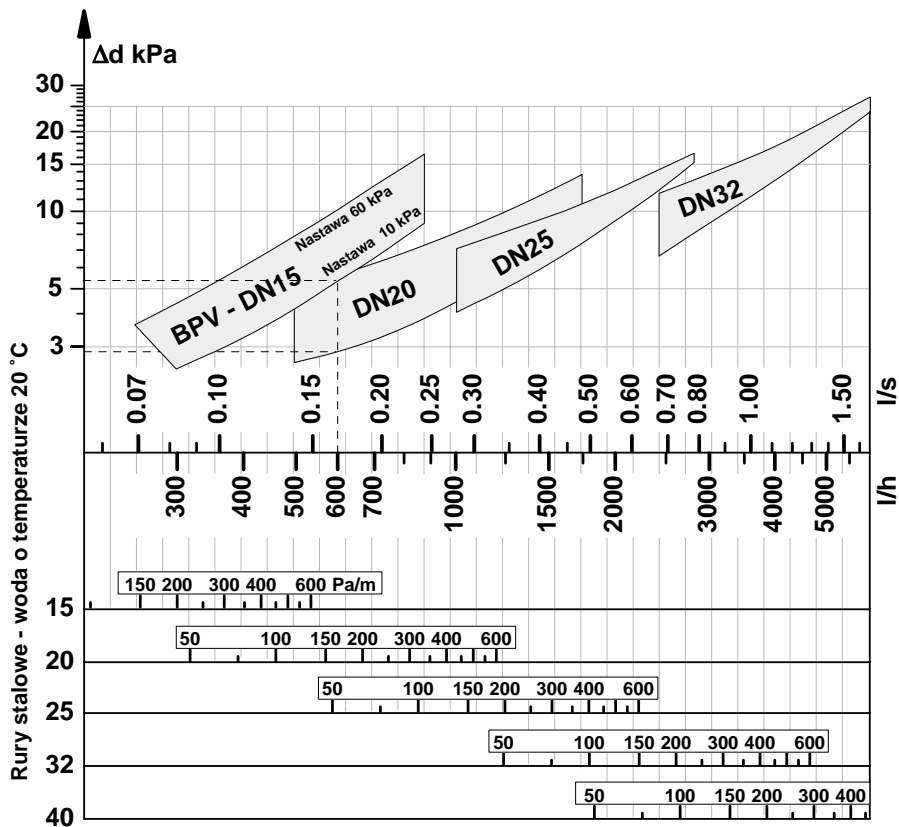


Fig 5.2.

5.5 Dobieranie zaworu nadmiarowo-upustowego BPV

Maksymalny przepływ na zaworze nadmiarowo-upustowym BPV zależy teoretycznie od zadanej nastawy i wartości współczynnika Kvs dla zaworu całkowicie otwartego. Jednakże w praktyce, zawór nadmiarowo-upustowy BPV może być dobrany dla średnicy takiej samej jak rurociąg lub o jeden wymiar niżej. Rysunek 5.3 podaje możliwości dokonywania właściwego doboru w zależności od przepływu. Spadki ciśnienia w rurociągach stalowych są podane dla informacji ogólnej.

Zawór nadmiarowo-upustowy BPV, będąc proporcjonalnym zaworem regulacyjnym, nie utrzymuje różnicy ciśnień na całkowicie stałym poziomie. Kiedy przepływ na zaworze nadmiarowo-upustowym BPV wzrasta, różnica ciśnień wzrasta także powyżej nastawy, o wartość Δd pokazana na rysunku 5.3 odpowiednio do średnicy zaworu nadmiarowo-upustowego BPV oraz użytej nastawy.



Rys. 5.3. Odchyłka różnicy ciśnień ponad nastawę w zależności od przepływu przez zawór nadmiarowo-upustowy BPV.

5. Załączniki

Dla przepływu 600 l/h przez zawór nadmiarowo-upustowy BPV o średnicy DN20, regulowana różnica ciśnień wzrasta powyżej nastawy od 2,9 (nastawa 10 kPa) do 5,5 kPa (nastawa 60 kPa).

W przypadku rysunku 4.1b, różnica ciśnień pomiędzy punktami A i B wzrasta, gdy zawory regulacyjne V zamykają się. W wyniku tego przepływ pierwotny nie jest stały i będzie się zmniejszać. Minimalny przepływ pierwotny będzie osiągnięty, gdy wszystkie zawory regulacyjne będą całkowicie zamknięte. Ta wartość minimalna, wyrażona w % przepływu projektowego, zależy od wartości współczynnika $\Phi = \Delta p_{STAD} \text{ projektowe} / \Delta d$, gdzie Δd jest wyznaczane dla przepływu projektowego (rys. 5.3).

Tablica 5.6 podaje niektóre wartości przepływów minimalnych w zależności od tego współczynnika.

$\Phi =$ $\Delta p_{STAD} / \Delta d$	0.25	0.50	0.75	1.0	2.0	3.0	4.0
Przepływ minimalny w % przepływu projektowego	24	41	53	62	78	85	88

Tabla 5.11. Minimalny przepływ początkowy w % przepływu projektowego jako funkcja współczynnika $\Delta p_{STAD} / \Delta d$.

5.6 Koszty pompowania w porównaniu do kosztów dyskomfortu

Koszty pompowania mogą być oszacowane z dobrą dokładnością, co jest znaczącą pobudką do brania ich pod uwagę. Aby ukazać ich znaczenie, wystarczy wziąć, jako przykład, duży ośrodek uniwersytecki, gdzie energia pompowania może być przeliczona na znaczącą sumę pieniędzy. Aby zobrazować zagadnienie bardziej realistycznie i ogólnie, koszt pompowania musi być porównany z sezonowym zużyciem energii kotłowni.

Używając typowych wartości **dla dobrze zrównoważonej dystrybucji stałoprzepływowej**, owe względne koszty pompowania mogą być oszacowane poprzez zastosowanie następującego wzoru:

$$C_{pr} = \frac{1.42 \times H}{Sc \times \Delta Tc} \% , \text{ gdzie:}$$

H = wysokość podnoszenia pompy w metrach słupa wody

ΔTc = projektowana różnica ΔT w $^{\circ}C$

Sc = stosunek średniego obciążenia sezonowego do obciążenia projektowego.

W przypadku chłodzenia: Dla $\Delta Tc = 6$, Sc = 0,6 oraz H = 20 m s.w. Cpr = 7,9 %. Jeśli Sc = 0,8, Cpr = 6 %.

W przypadku grzania: Dla $\Delta Tc = 20$, Sc = 0,4 oraz H = 10 m s.w. Cpr = 1,8 %.

Przy dystrybucji zmiennoprzepływowej koszty pompowania są w sposób oczywisty niższe, z dalszym ich spadkiem w przypadku zastosowania pomp o zmiennej prędkości obrotowej.

Takim samym sposobem otrzymuje się, że dodatkowy koszt energii wydatkowanej na skutek odchyłek temperatury w pomieszczeniach wynosi:

W przypadku chłodzenia: 1 $^{\circ}C$ zbyt niskiej temperatury: pomiędzy 10 a 16%.

W przypadku grzania: 1 $^{\circ}C$ zbyt wysokiej temperatury: pomiędzy 6 a 10%.

W większości przypadków 1 $^{\circ}C$ odchyłki temperatury w pomieszczeniach kosztuje więcej niż wszystkie koszty pompowania dystrybucji. W konkluzji, wszelkie działania mające na celu zmniejszenie kosztów pompowania muszą być przedsiębrane tak, aby nie wpływać niekorzystnie na działanie pętli regulacyjnych odbiorników.

Powinno być to rozważane z uwagą, ponieważ skłonność do przeceniania ważności kosztów pompowania może wyrażać się chęcią podporządkowania projektowania instalacji przede wszystkim temu właśnie kryterium, bez brania pod uwagę następstw takiego wyboru na komfort.

Względne koszty pompowania mogą być zmniejszone poprzez zwiększanie różnicy ΔTc .

Na przykład, w przypadku grzania niektóre instalacje są obliczane na $\Delta Tc = 10^{\circ}C$, podczas gdy w niektórych krajach $\Delta Tc = 30^{\circ}C$ jest zupełnie powszechne.

Regulacja proporcjonalna daje także możliwość zmniejszenia kosztów pompowania. W przypadku regulacji dwupołożeniowej, 50% obciążenia uzyskuje się przy około 50% przepływu, podczas gdy **stabilna** regulacja proporcjonalna daje możliwość uzyskania 50% obciążenia przy zaledwie 20% przepływu. (Rys. 2.5a).

5. Załączniki

Przy zastosowaniu pompy o zmiennej prędkości obrotowej niektórzy projektanci twierdzą, że oszczędność energii pompowania zależy od trzeciej potęgi przepływu. Jest to twierdzenie zbyt optymistyczne. Energia pompowania zależy od wyniku mnożenia $H \times q$ (wysokość podnoszenia \times przepływ). Różnica $\Delta p (= H)$ instalacji zależy od $R \times q^2$ (opór instalacji \times kwadrat przepływu), ale opór R nie jest stały, tylko zwiększa się, gdy zawór regulujący zmniejsza przepływ, więc, ostatecznie, H nie jest proporcjonalne do q^2 .

Lepsza ocena energii pompowania przy zastosowaniu pomp o zmiennej prędkości obrotowej jest podana poniższymi wzorami:

$$W = \frac{50 \times (2 - a) \times \lambda \times (a + C + \lambda^2 - C\lambda^2) \times \eta_d}{\eta}$$

W = koszty pompowania w % kosztów projektowych

C = stosunek projektowanego Δp przy najbardziej oddalonym obwodzie do projektowanej wysokości podnoszenia pompy

λ = współczynnik przepływu

η = sprawność elektryczna \times sprawność pompy

η_d = η w warunkach projektowych

a = 0 gdy Δp przy ostatnim odbiorniku jest utrzymywane jako stałe

a = 1 gdy Δp w środku instalacji jest utrzymywane jako stałe

Przykład:

$\lambda = 0,5$ (50% przepływu), $C = 0,2$, $\eta = 0,6 \times 0,67 = 0,4$

$\eta_d = 0,84 \times 0,8 = 0,67$. Dla $a = 0$ $W = 33\%$. Dla $a = 1$ $W = 57\%$.