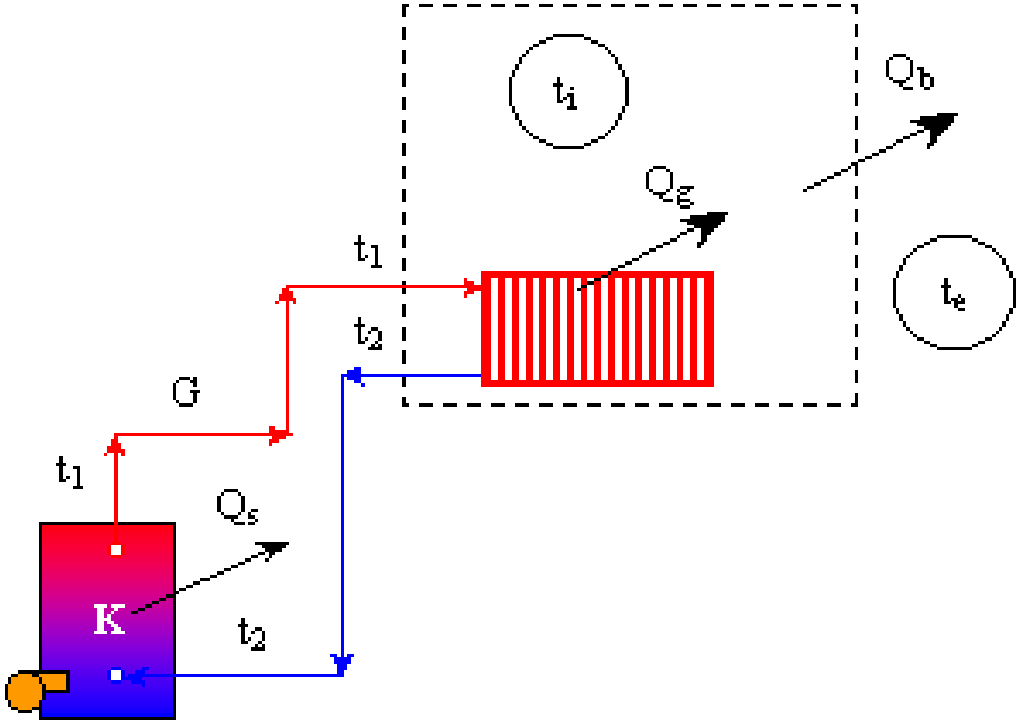
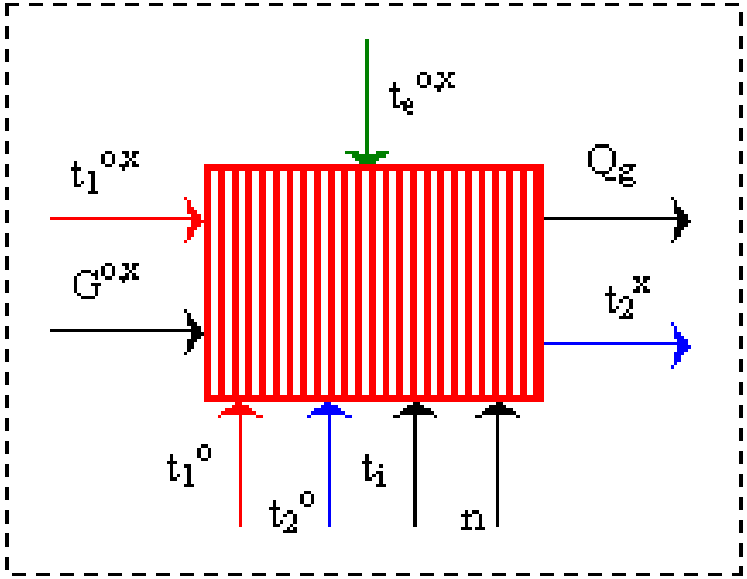
Regulacja instalacji ogrzewania

Głównym zadaniem eksploatacyjnej regulacji każdego układu grzewczego jest utrzymywanie temperatury powietrza wewnętrznego w ogrzewanych pomieszczeniach w dopuszczalnym paśmie tolerancji. Regulacja taka powinna zmieniać nadążnie za tymi obciążeniami wydajność cieplną urządzeń grzewczych, które dobierane są na warunki obliczeniowe (nominalne)





Praca grzejnika jest związana z pracą kotła i całej instalacji, a związek ten określony może być przez trzy strumienie ciepła

Strumień ciepła opisujący potrzeby cieplne, wynoszący dla warunków nominalnych (dla temperatury zewnętrznej t_e^o i prędkości wiatru mniejszej od 3m/s) oraz warunków zmienionych (tzn. dla t_e^x) odpowiednio:

$$Q_b^o = \sum_i (U_i \times A_i) \times (t_i - t_e^o) \qquad Q_b^x = \sum_i (U_i \times A_i) \times (t_i - t_e^x)$$

Strumień ciepła opisujący warunki oddawania ciepła przez grzejnik wynoszący dla warunków nominalnych i zmienionych:

$$Q_g^o = U_g^o \times A_g \times \Delta\vartheta^o \qquad Q_g^x = U_g^x \times A_g \times \Delta\vartheta^x$$

Po uwzględnieniu naporu cieplnego grzejnika w postaci średniej arytmetycznej różnicy temperatur zmienność współczynnika przenikania ciepła przez ścianki wyraża równanie:

$$U_g^x = U_g^o \left(\frac{\frac{t_1^x + t_2^x}{2} - t_i}{\frac{t_1^o + t_2^o}{2} - t_i} \right)^{n_g}$$

zaś zależność opisująca przepływ ciepła od grzejnika do pomieszczenia ma postać:

$$Q_g^x = U_g^o \times A_g \left(\frac{\Delta\vartheta^x}{\Delta\vartheta^o} \right)^{n_g}$$

Strumień ciepła przekazywany od kotła poprzez sieć przewodów wynoszący dla warunków nominalnych i zmienionych

$$Q_S^o = c_p G^o \left(t_1^o - t_2^o\right) \qquad Q_S^x = c_p G^x \left(t_1^x - t_2^x\right)$$

W warunkach ustalonych stosunki tych strumieni ciepła, nazywane także współczynnikami obciążenia, powinny być sobie równe:

$$\varphi_b = \frac{Q_b^x}{Q_b^o}; \ \varphi_g = \frac{Q_g^x}{Q_g^o}; \ \varphi_s = \frac{Q_s^x}{Q_s^o} \ \Rightarrow \ \varphi_b = \varphi_g = \varphi_s = \varphi_{co}$$

Wykorzystując tę równość uzyskać można układy trzech równań o odpowiedniej liczbie niewiadomych, wynikiem których rozwiązania jest poniższa zależność uzyskana przy założeniu $G^o = G^x$. Przykładowo dla grzejników o wykładniku $n_g = 0{,}33$ ma ona postać:

$$\frac{t_i - t_e^x}{t_i - t_e^o} = \sqrt[3]{\left(\frac{\frac{t_1^x + t_2^x}{2} - t_i}{\frac{t_1^o + t_2^o}{2} - t_i}\right)^4} = \frac{t_1^x - t_2^x}{t_1^o - t_2^o}$$

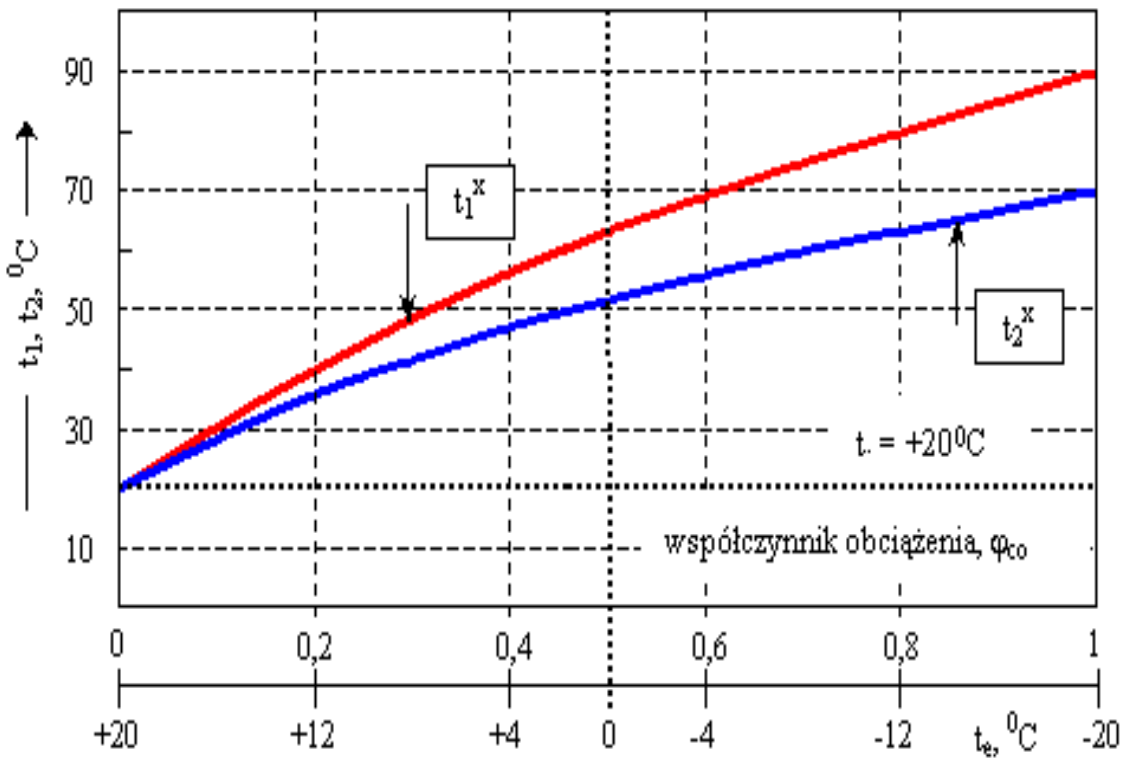
Regulacja jakościowa

Centralna regulacja jakościowa charakteryzuje się stałym strumieniem przepływającego czynnika grzejnego ($G^x = G^o$ = const.) oraz zmienną temperaturą zasilania (t_1^x = var.), co powoduje także zmiany temperatury powrotu (t_2^x)

$$t_1^x = t_i + \frac{\varphi_g \times \Delta\vartheta_w^o}{1 - \frac{1}{\exp\left[(\varphi_g)^{\frac{n}{n+1}} \times \frac{\Delta\vartheta_w^o}{\Delta\vartheta_m^o}\right]}}, \ ^0C$$

gdzie $\Delta\vartheta_w$ to różnica temperatur pomiędzy zasilaniem a powrotem, zaś $\Delta\vartheta_m$ to średnia logarytmiczna różnica temperatur

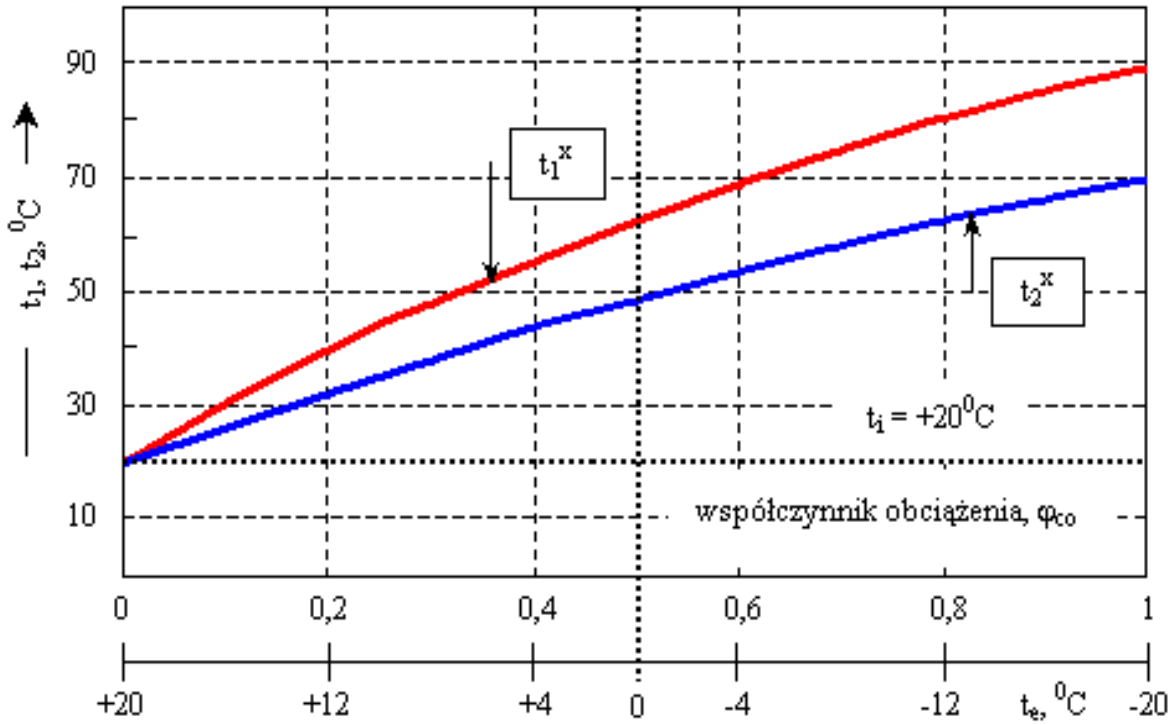
Wykres regulacji jakościowej dla parametrów obliczeniowych $t_1^o/t_2^o/t_i$ = 90/70/20^{0}C i żeliwnych grzejników członowych (n = 0,33) w ogrzewaniu pompowym (G = const.).



W instalacjach bezpompowych (grawitacyjnych), na skutek ciągłych zmian temperatury wody zmienia się jej gęstość i ciśnienie dyspozycyjne oraz strumień czynnika. Dla arytmetycznej różnicy temperatur stosunek ciśnień dyspozycyjnych będzie wyrażony stosunkiem kwadratów strumieni czynnika grzejnego w warunkach zmienionych i obliczeniowych, tzn. $\Delta p^x/\Delta p^o = (G^x)^2/(G^o)^2$, zaś współczynnik obciążenia wynosi

$$\varphi = \frac{t_i - t_e^x}{t_i - t_e^o} = \left(\frac{\frac{t_1^x + t_2^x}{2} - t_i}{\frac{t_1^o + t_2^o}{2} - t_i} \right) = \sqrt{\frac{\phi^x}{\phi^o}} \times \left(\frac{t_1^x - t_2^x}{t_1^o - t_2^o} \right)^{3/2}$$

Wykres regulacji jakościowej dla ogrzewania bezpompowego (grawitacyjnego)



Regulacja ilościowa

W centralnej regulacji ilościowej przy stałej temperaturze czynnika zasilającego, równej jej wartości obliczeniowej ($t_1^x = t_1^o$ = const.) zmianie ulega strumień masy czynnika przepływającego instalacją (G = var.), zgodnie ze zmianą współczynnika obciążenia, czego efektem są zmiany temperatury czynnika powrotnego (t_2^x = var.). Współczynnik obciążenia jest wtedy równy:

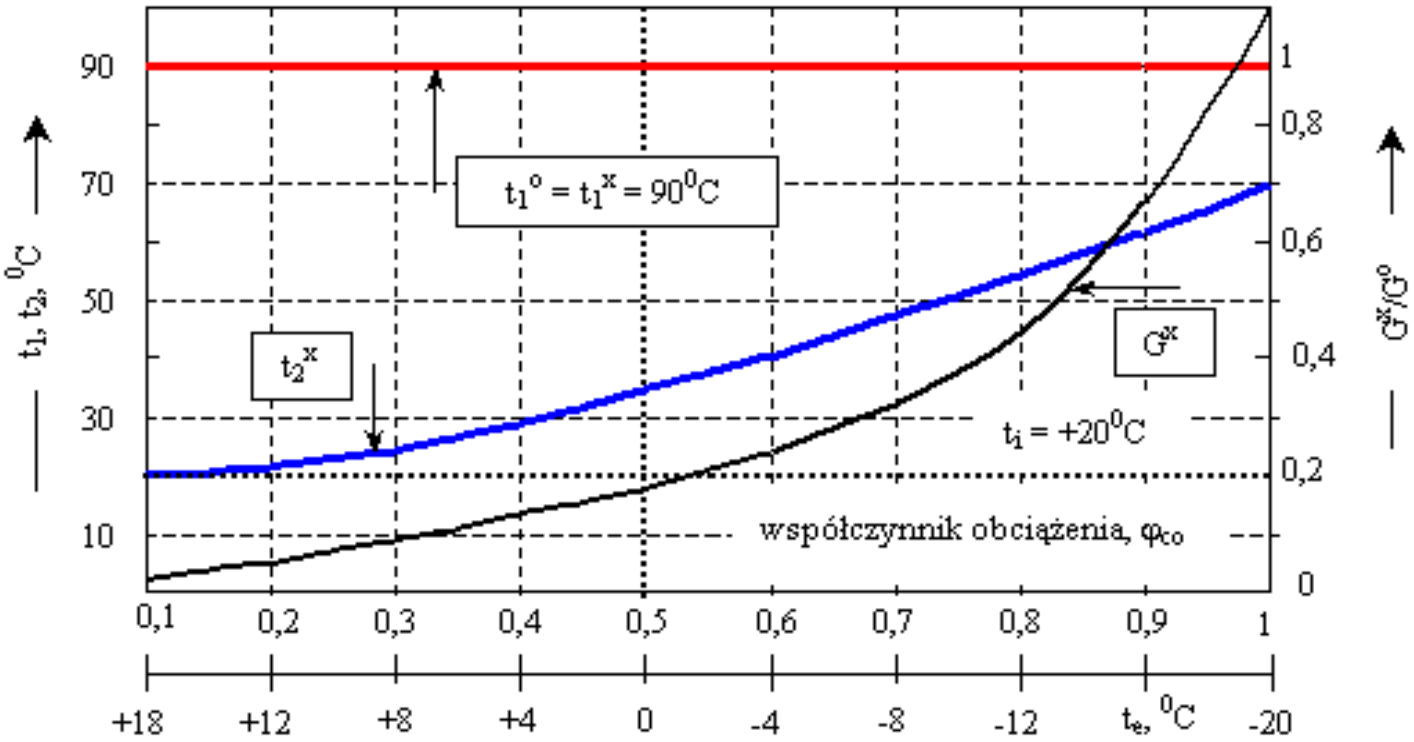
$$\varphi = \frac{t_i - t_e^x}{t_i - t_e^o} = \left(\frac{\frac{t_1 + t_2^x}{2} - t_i}{\frac{t_1 + t_2^o}{2} - t_i} \right)^{n+1} = \frac{G^x}{G^o} \times \frac{t_1 - t_2^x}{t_1 - t_2^o}$$

Przyjęcie w tym przypadku średniej różnicy arytmetycznej dla całego zakresu zmienności strumienia przepływającego czynnika prowadzić może do uzyskania temperatur czynnika powrotnego niższych od temperatur w pomieszczeniach i do zatracenia w ten sposób fizycznego sensu analizowanych zmian. W przypadku centralnej regulacji ilościowej należy zatem zastosować logarytmiczną różnicę temperatur, co prowadzi do zależności:

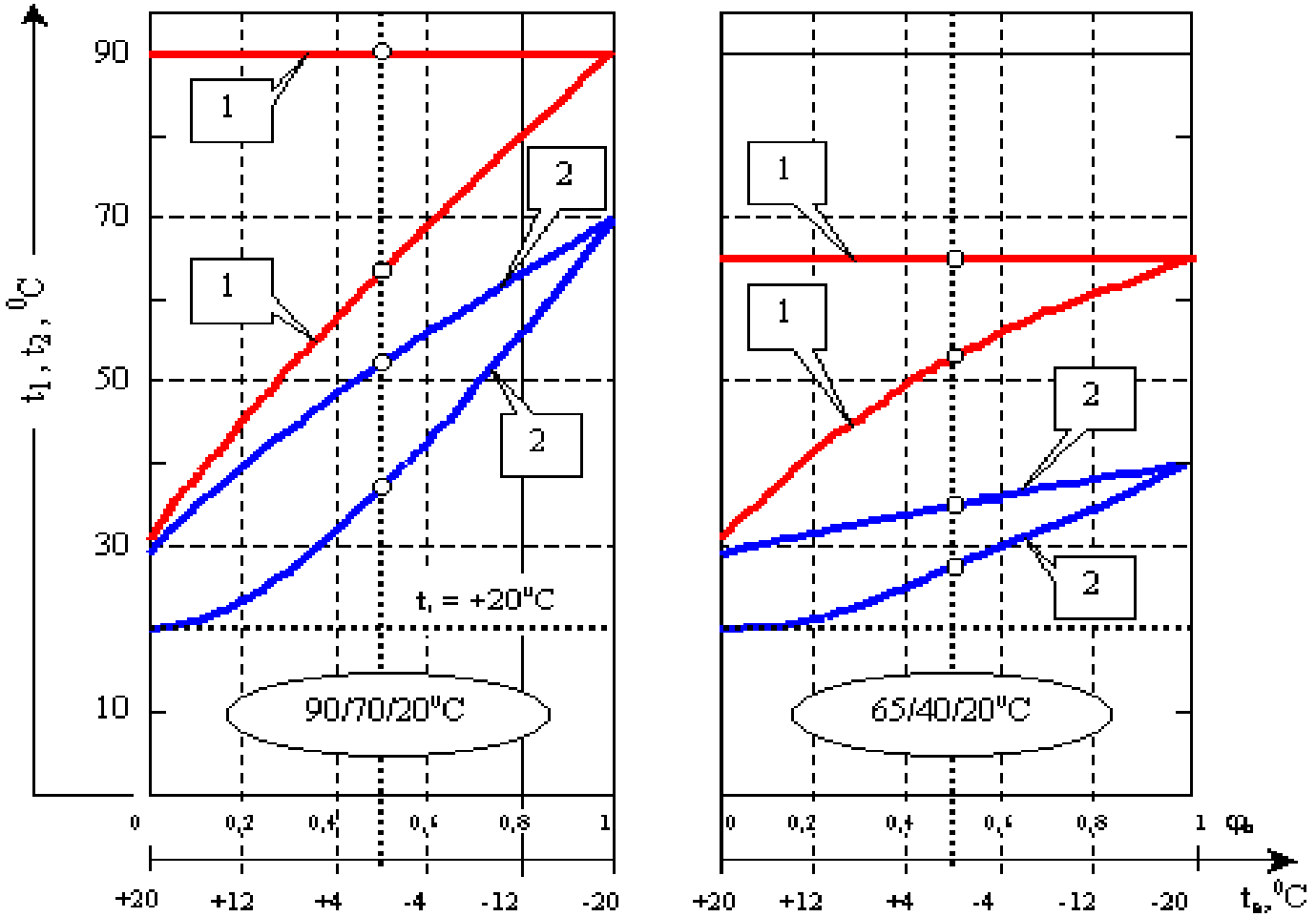
$$\Delta\vartheta_m^o \times \varphi^{\frac{1}{1+n}} = \frac{t_1 - t_2^o}{\ln\left(\frac{t_1 - t_i}{t_2^x - t_i}\right)} \quad \Rightarrow \quad G^x = \frac{\varphi \times \Delta\vartheta_w^o}{t_1 - t_2^x}$$

Omawiając podstawy regulacji ilościowej podkreślić należy, że przy spadku potrzeb cieplnych (tzn. przy wzroście temperatury zewnętrznej), strumień czynnika grzejnego krążącego w instalacji ulega zmniejszeniu. Może to doprowadzić do rozregulowania hydraulicznego w układach zasilanych z tradycyjnych źródeł ciepła. Wskazane jest wówczas doprowadzanie do przewodu zasilającego określonego strumienia wody powrotnej

Wykres regulacji ilościowej dla ogrzewania pompowego

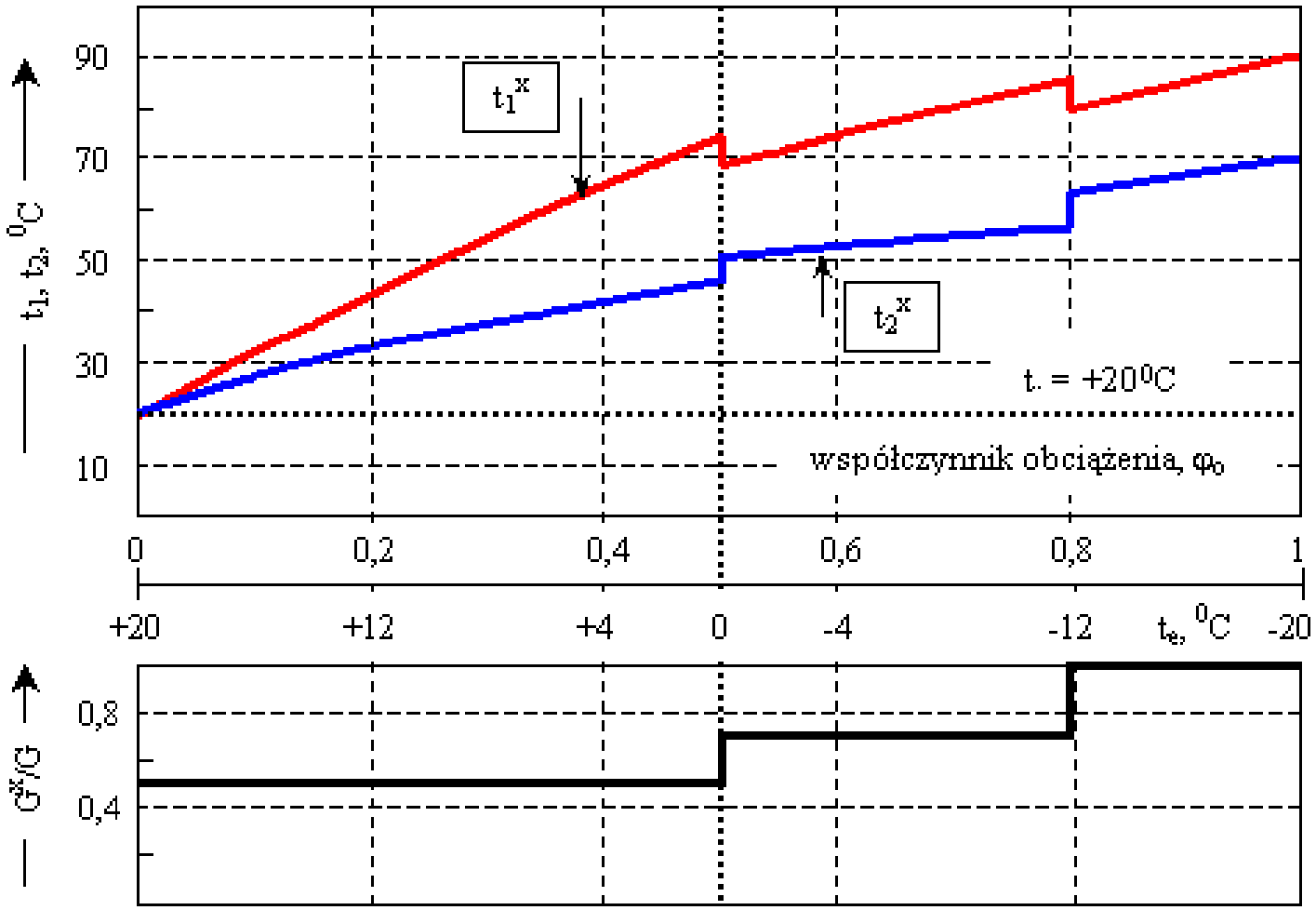


Należy zwrócić uwagę na **charakterystyczną cechę regulacji ilościowej.** Ujawnia się to wzrostem różnic temperatur czynnika na zasilaniu i powrocie w miarę wzrostu temperatury zewnętrznej



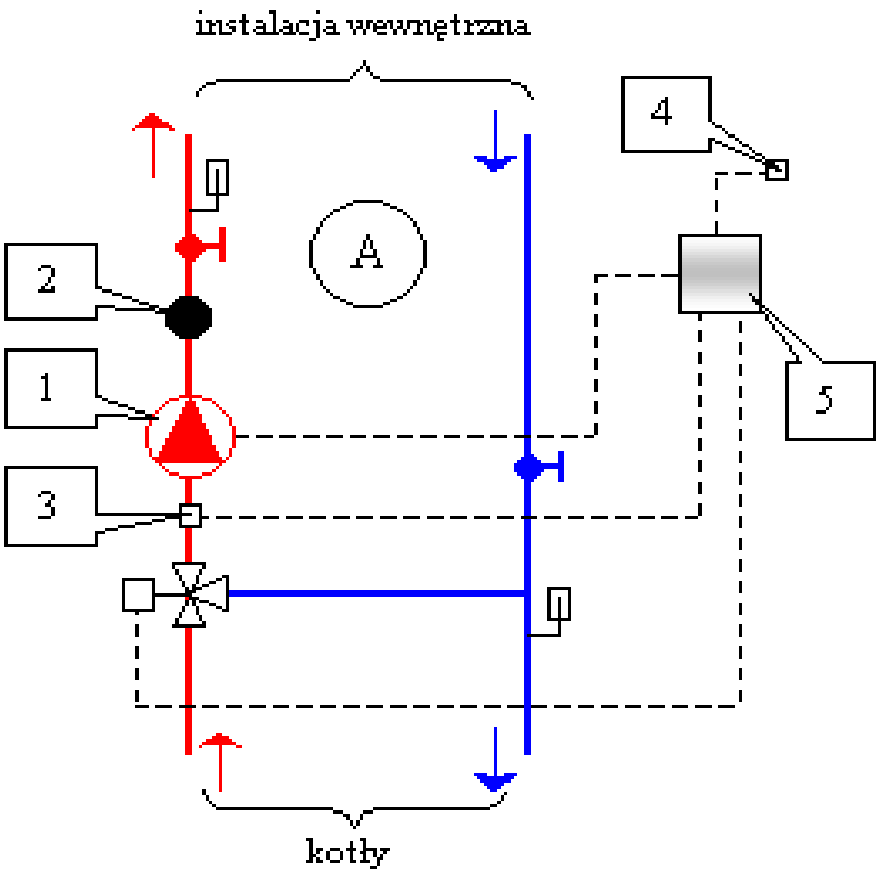
Porównanie wykresów regulacji jakościowej i ilościowej dla instalacji centralnego ogrzewania pracujących na dwie kombinacje parametrów: 1 – temperatury zasilania, 2 – temperatury powrotu

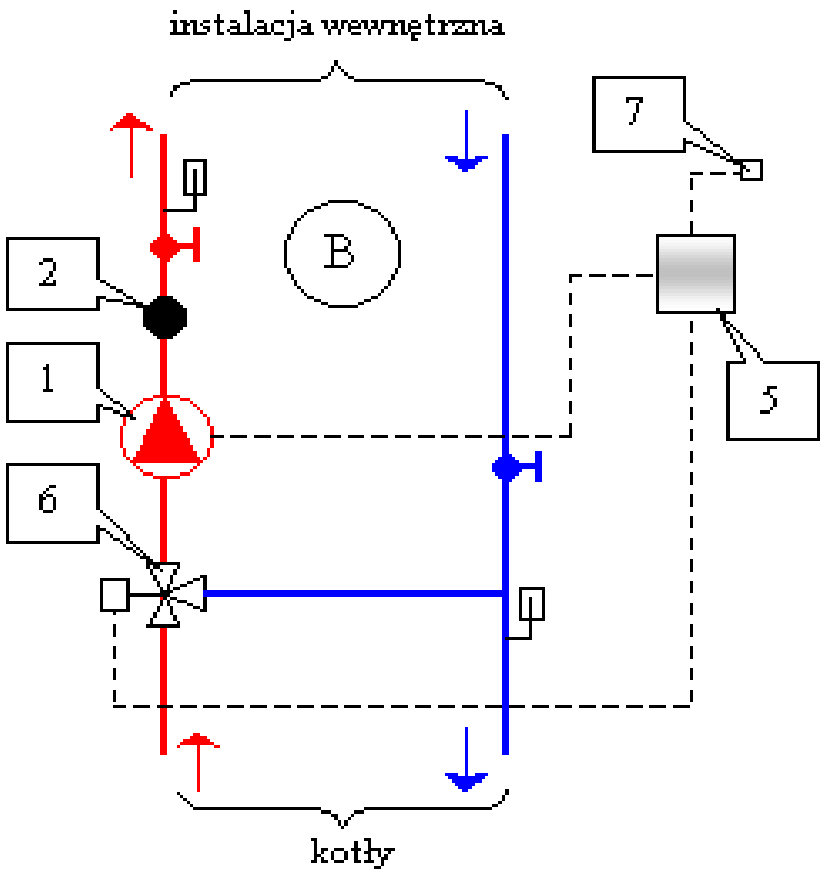
Centralna regulacja jakościowo-ilościowa może polegać na wprowadzaniu sterowanych zmian temperatury czynnika zasilającego i jego strumienia (t_1 i G = var.).



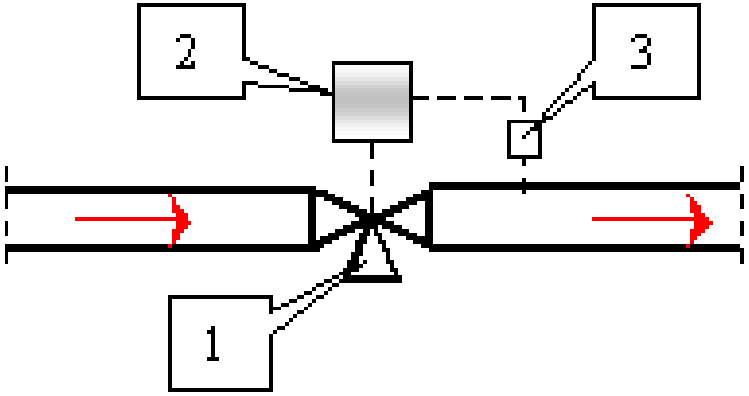
Stosowanie regulacji jakościowej w źródle zaopatrującym w ciepło budynki posiadające instalacje z zaworami termostatycznymi, prowadzi do wystąpienia regulacji mieszanej (jakościowo-ilościowej)

Sposoby regulacji centralnej





Zasady regulacji temperatury w obiegu grzewczym (regulacja jakościowa): 1 – pompa obiegu grzewczego, 2 – zawór zwrotny, 3 – czujnik temperatury czynnika na zasilaniu, 4 – czujnik temperatury zewnętrznej, 5 – regulator obiegu grzewczego, 6 – zawór regulacyjny (mieszający), 7 - czujnik temperatury wewnętrznej

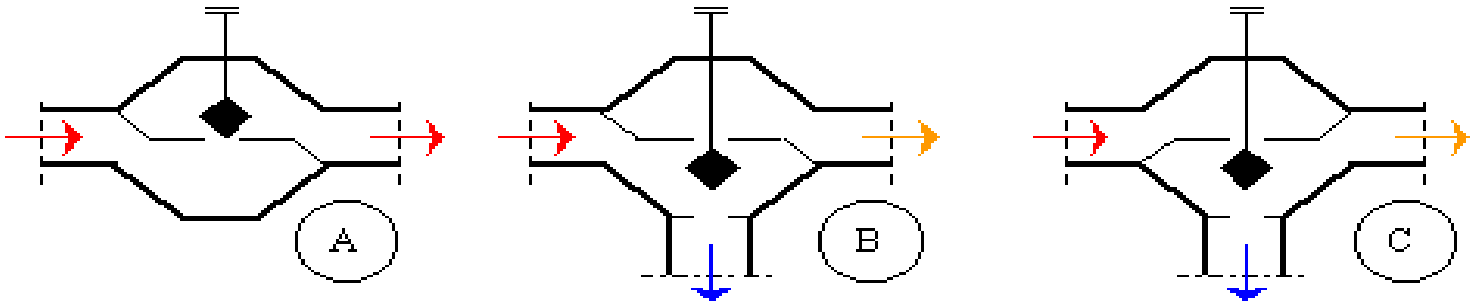


Podstawowy układ regulacji: 1 – element wykonawczy (zawór), 2 – regulator, 3 – element pomiarowy (np. czujnik temperatury)

Czujnik (3) dokonuje *pomiaru* rzeczywistej wartości określonego parametru, a następnie sygnał ten przesyłany jest do regulatora (2), w którym jest porównywany z zadaną jego wartością. W przypadku wystąpienia różnicy między tymi wartościami informacja przesyłana jest do elementu wykonawczego (1), który powoduje zmniejszenie różnicy między zadaną a zmierzoną wartością do założonego poziomu.

Elementami pomiarowymi, usytuowanymi przed lub za urządzeniami grzewczymi, są z reguły czujniki temperatury, ciśnienia lub przepływu. Jako elementy regulacyjne stosowane są najczęściej regulatory proporcjonalno-całkujące (PI), zaś elementami wykonawczymi są przede wszystkim zawory regulacyjne dwu- i trójdrogowe, a nawet czterodrogowe, co zależy od rodzaju centralnej regulacji eksploatacyjnej.

Przy centralnej regulacji ilościowej, jako elementy wykonawcze wykorzystuje się dwu- i trójdrogowe zawory rozdzielcze i mieszające



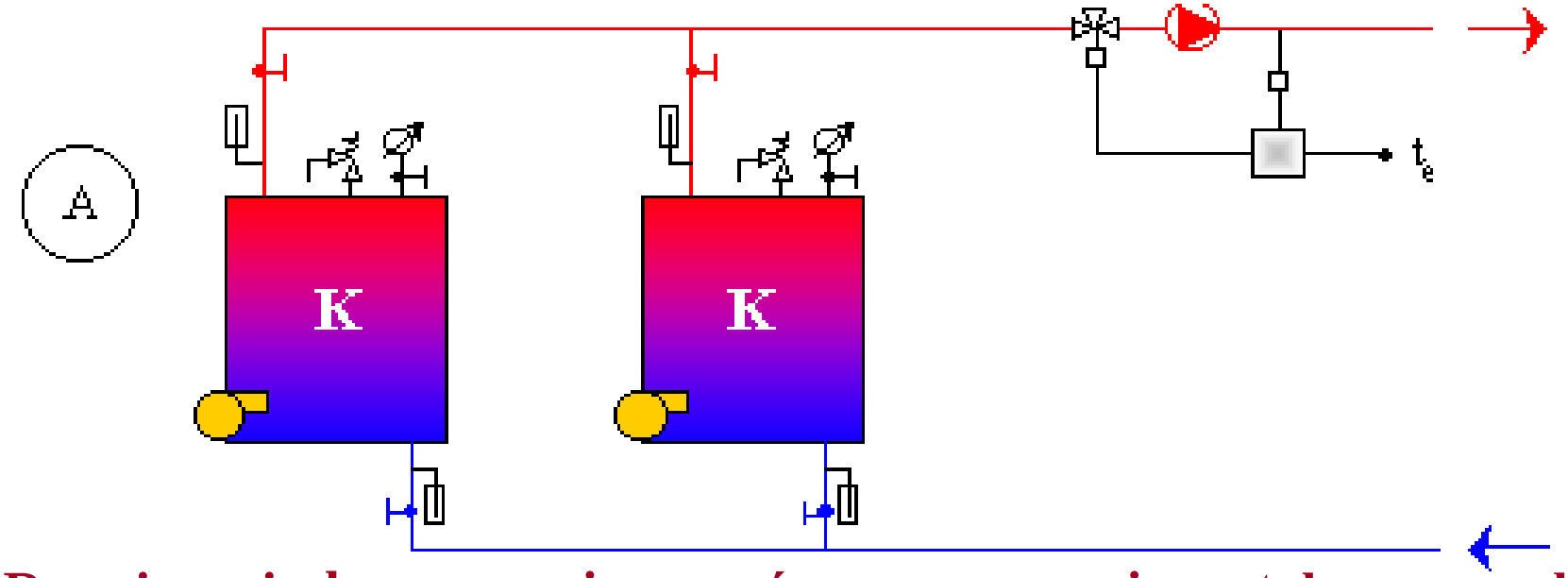
Zawór jedno- (A) oraz dwudrogowy rozdzielczy (B) i mieszający (C)

Zastosowanie zaworu A sprowadza się do zmiany przepływu czynnika i dławienia, co oznacza że wartość strumienia przepływającego czynnika w jednostce czasu jest wynikiem stopnia otwarcia zaworu (tzn. położenia jego grzybka).

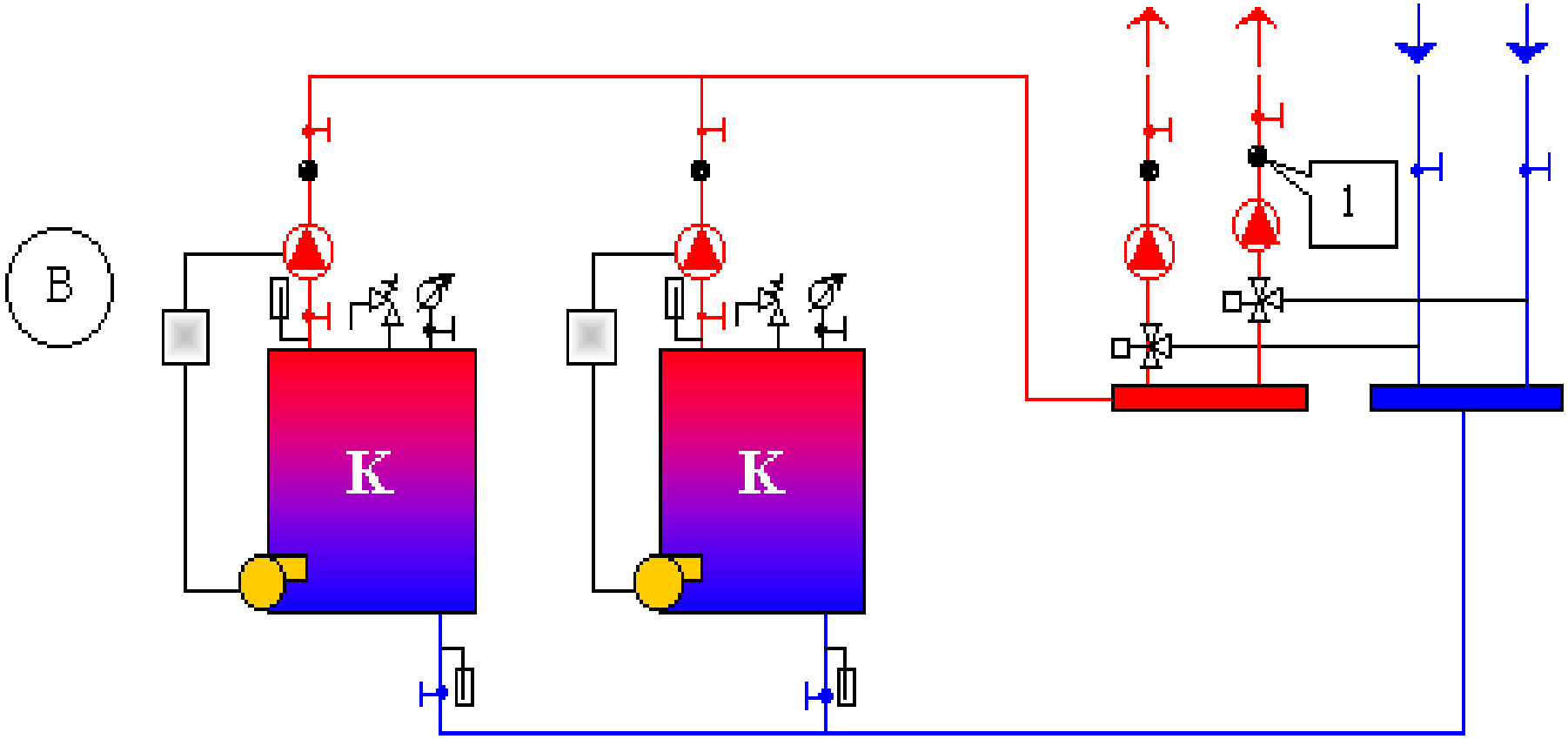
Zawór dwudrogowy rozdzielczy (B) powoduje zmiany strumienia czynnika w wyniku jego rozdziału. Wymagana ilość jest kierowana do urządzenia drogą przelotową, natomiast nadmiar czynnika przepływa do odgałęzienia zaworu i poprzez obejście kierowany jest do przewodu powrotnego.

Wykorzystanie zaworu dwudrogowego o działaniu mieszającym (C) przy regulacji ilościowej jest możliwe jedynie w przypadku jego montażu za urządzeniem. Powinien on być tak włączony w układ, aby przewód wyprowadzający czynnik z urządzenia podłączony był do jednej z jego końcówek, zaś do drugiej należy podłączyć jego przewód obejściowy. W wyniku podsysania czynnika z przewodu obejściowego zmniejszać można strumień czynnika dopływającego do tego urządzenia. Zwiększenie strumienia czynnika płynącego przez obejście powoduje zmniejszenie jego ilości przepływającej przez urządzenie, zaś przydławienie daje efekty odwrotne.

Układy technologiczne kotłów

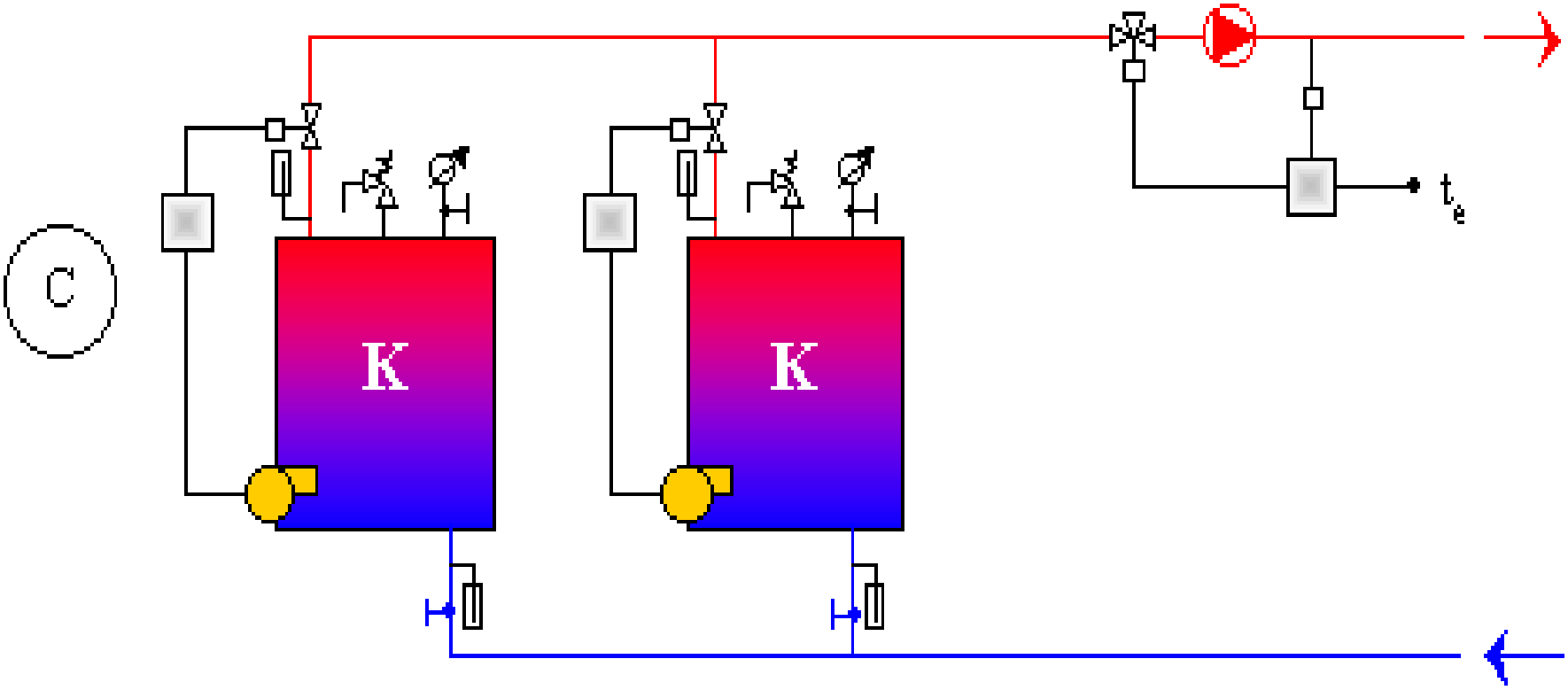


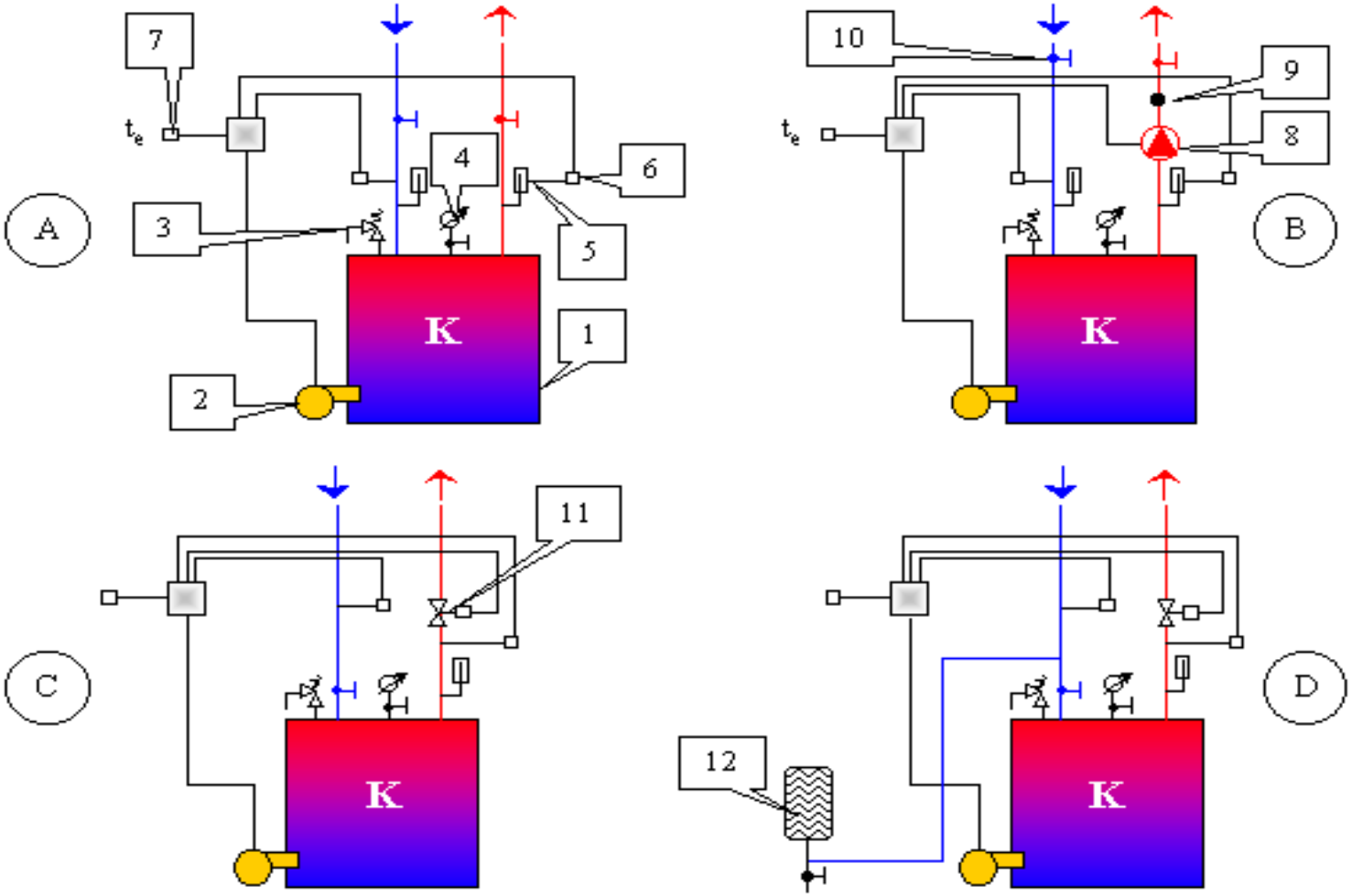
Rozwiązania bez pomp i zaworów z utrzymaniem stałego przepływu przez wszystkie kotły niezależnie od włączania czy wyłączania palników. **Kotły nie posiadają własnych pomp ani zaworów odcinających o napędzie elektrycznym. Temperatura czynnika jest średnią ważoną, gdzie wagami są strumienie masy wody w każdym z obiegów kotłowych, zaś regulacja polega jedynie na przesłaniu do regulatorów impulsów o tej temperaturze i temperaturze powietrza zewnętrznego (t_e). Rozwiązanie takie nie pozwala na prowadzenie pełnej regulacji eksploatacyjnej i nie powinno być stosowane**



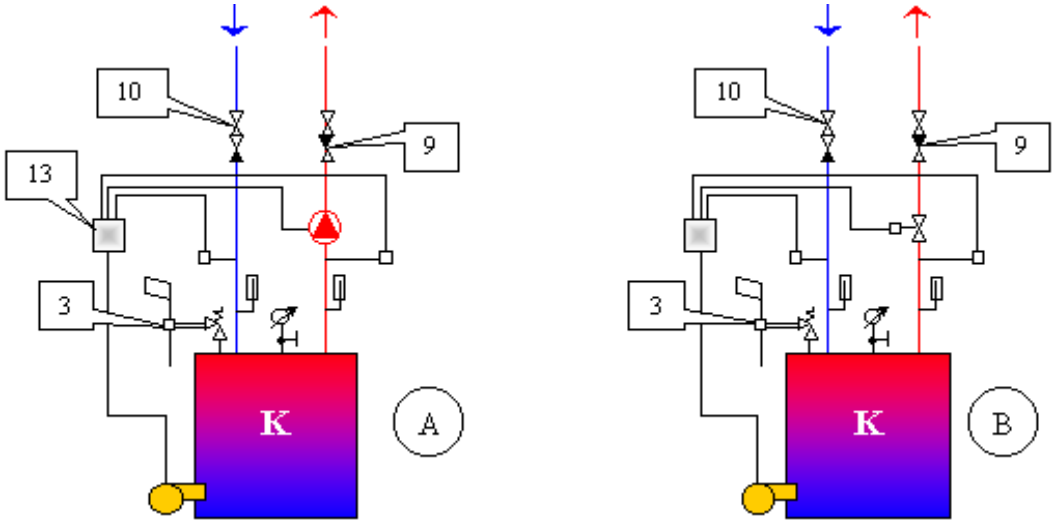
Układ kotłów z osobnymi (indywidualnymi) pompami obiegowymi. Wyłączenie palnika powoduje zatrzymanie pracy pompy oraz równoczesne odcięcie przepływu czynnika przez kocioł (1 – zawór zwrotny).

Podobne efekty regulacyjne uzyskuje się przy zastosowaniu zaworów odcinających o napędzie elektrycznym (rozwiązanie C - patrz schemat dalej). Rozwiązania B i C są układami bezpiecznymi i zalecanymi do zastosowania

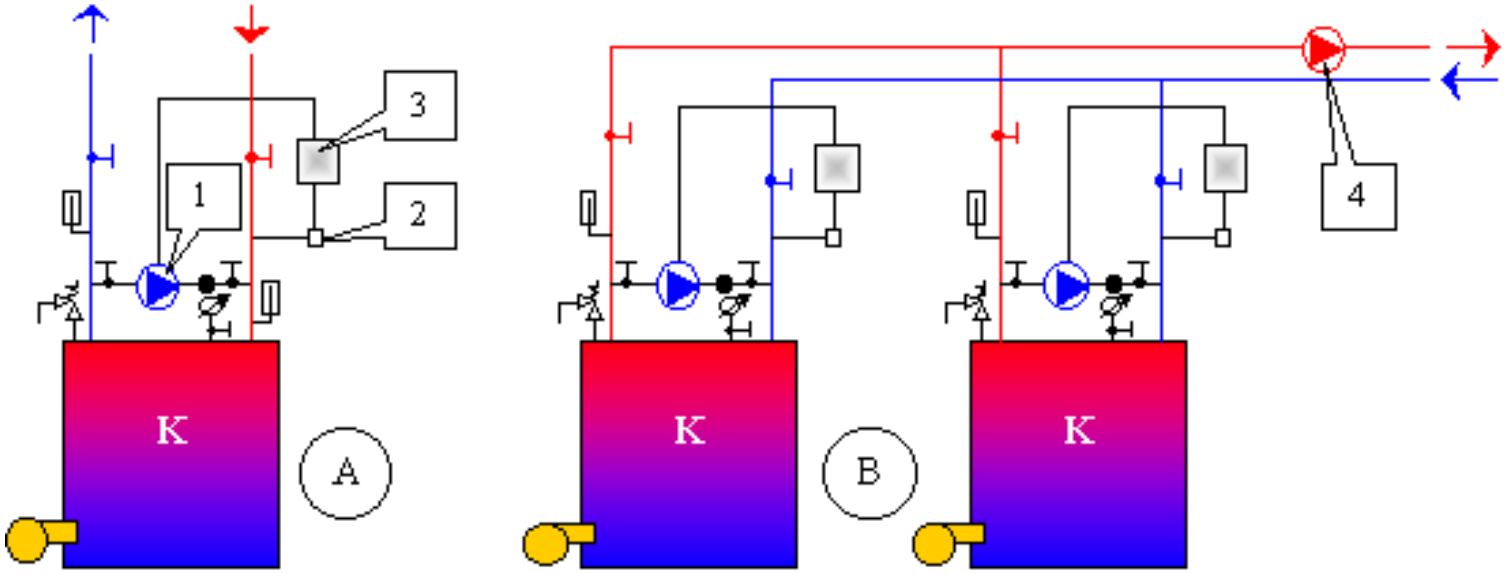




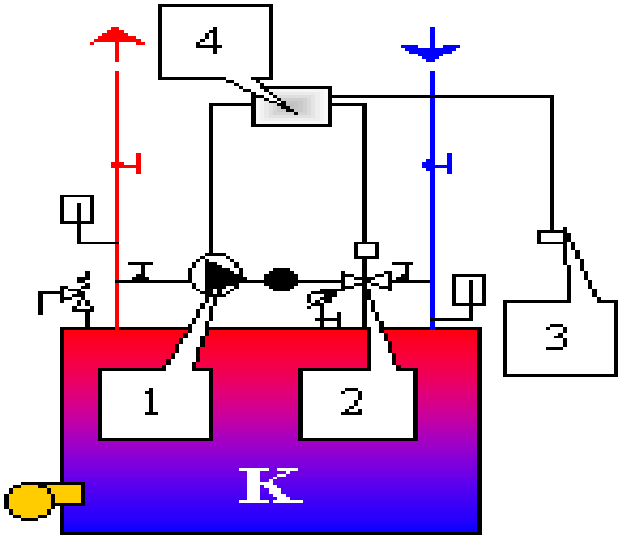
Wyposażenie kotłów niskotemperaturowych: 1 - kocioł, 2 – palnik gazowy lub olejowy, 3 – zawór bezpieczeństwa, 4 – manometr, 5 – termometr, 6 – czujnik temperatury czynnika na przewodzie zasilającym (i powrotnym), 7 – czujnik temperatury zewnętrznej, 8 – pompa, 9 – zawór zwrotny, 10 – kulowy zawór odcinający, 11 – elektryczny zawór odcinający, 12 – naczynie wzbiorcze.



Wyposażenie wysokotemperaturowego kotła olejowego lub gazowego: 13 – regulator centralny.

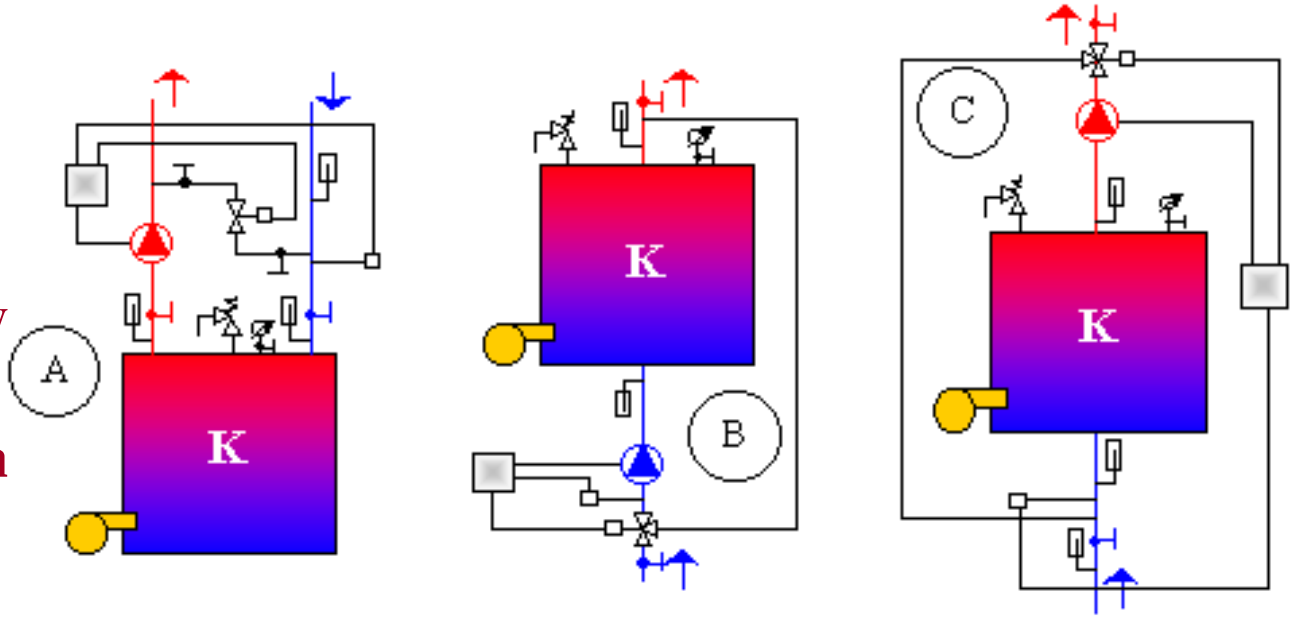


Pojedynczy kocioł (A) i układ dwóch kotłów (B) z pompami mieszającymi (o płaskiej charakterystyce): 1 - pompa mieszająca, 2 – czujnik temperatury czynnika powrotnego, 3 – regulator, 4 – pompa obiegowa.

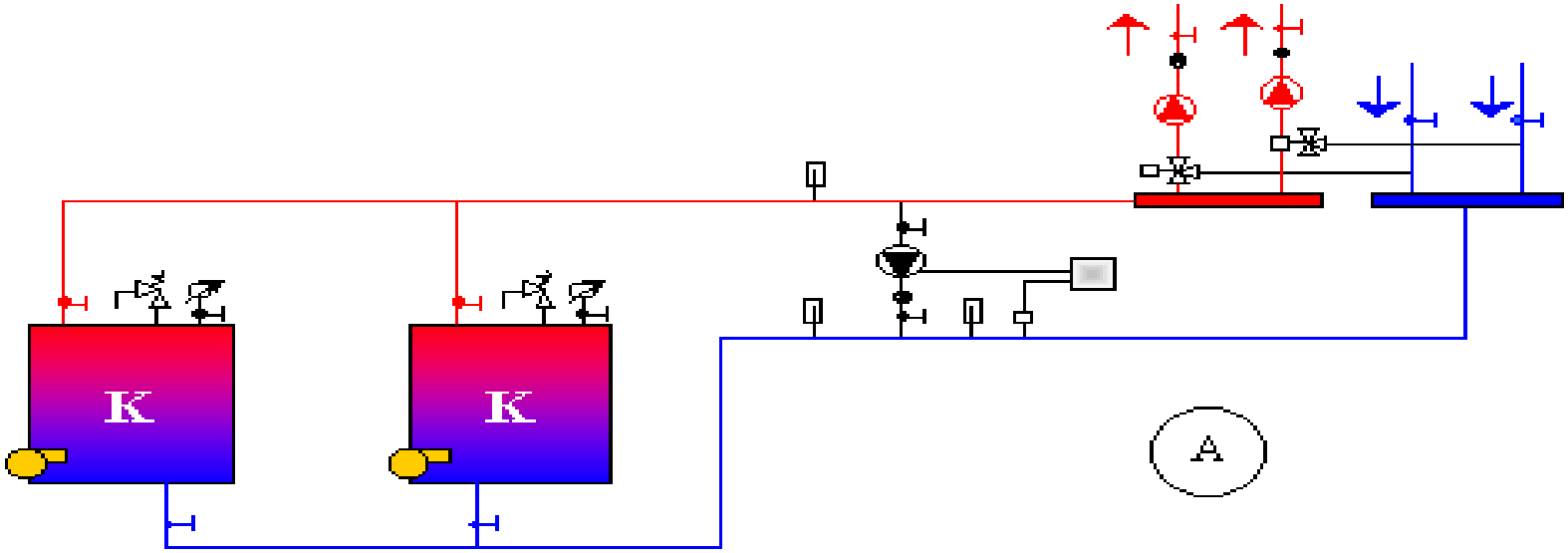


Obieg kotła z indywidualną pompą mieszającą i zaworem regulacyjnym: 1 – pompa mieszająca, 2 – zawór regulacyjny, 3 – czujnik temperatury czynnika powrotnego, 4 – regulator.

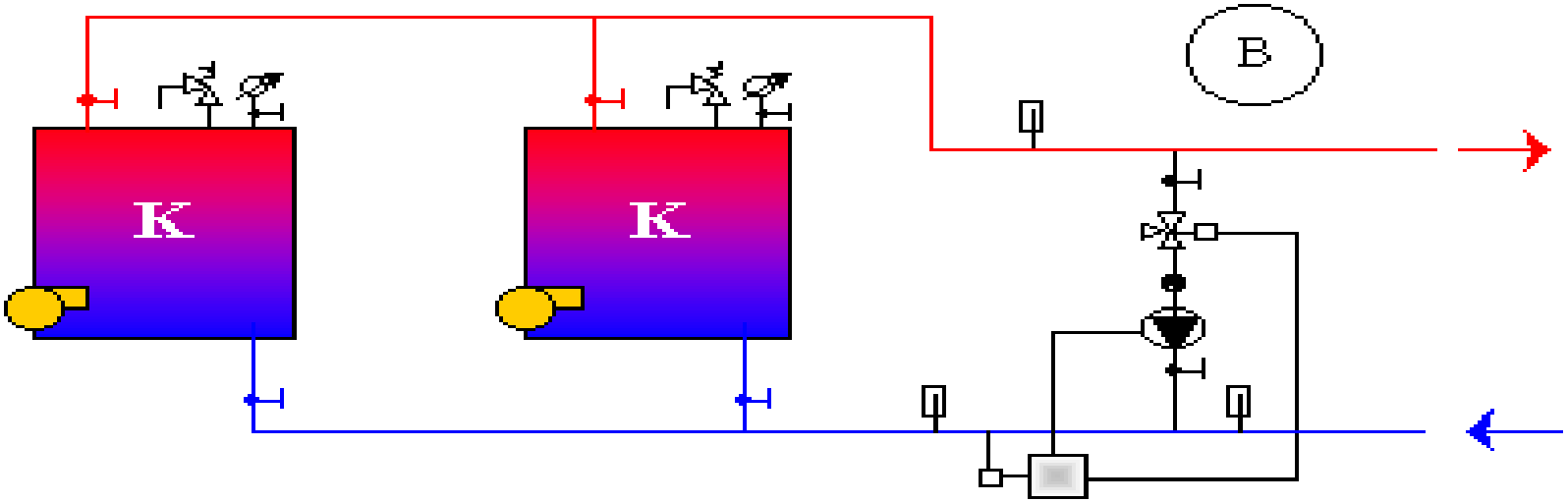
Schematy zabezpieczenia kotłów przed obniżeniem temperatury czynnika powrotnego:



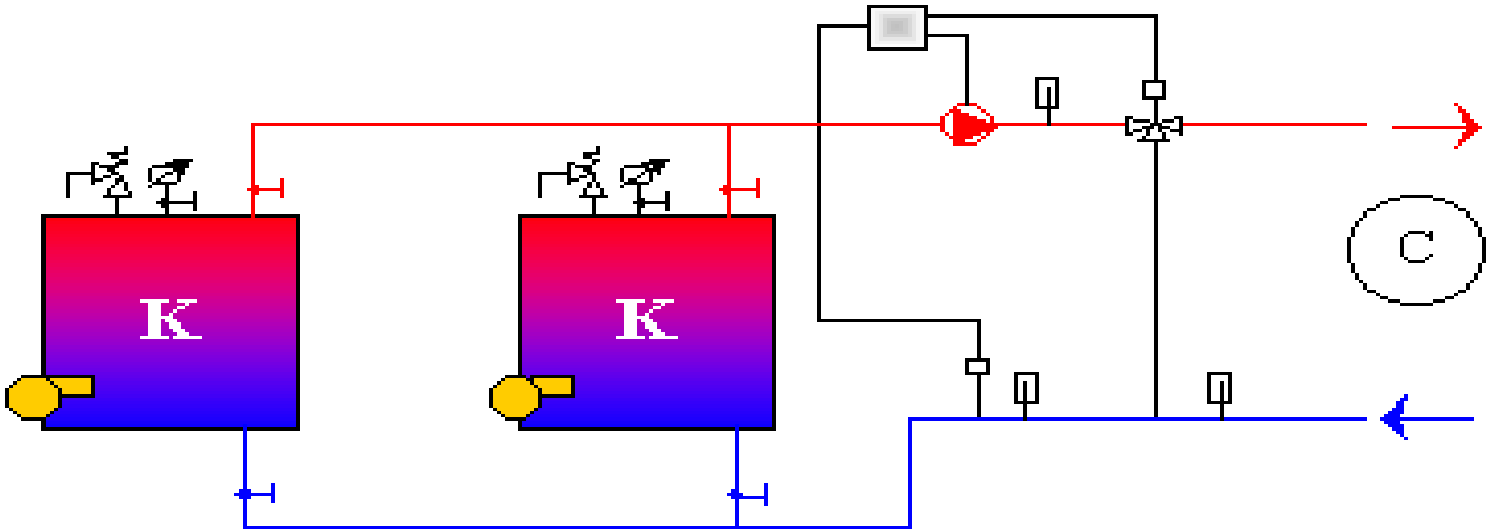
A – pompa obiegu kotłowego umieszczona na przewodzie zasilającym oraz regulacyjny zawór dwudrogowy, B, C - pompa obiegu kotłowego na przewodzie powrotnym oraz zawór trójdrogowy.



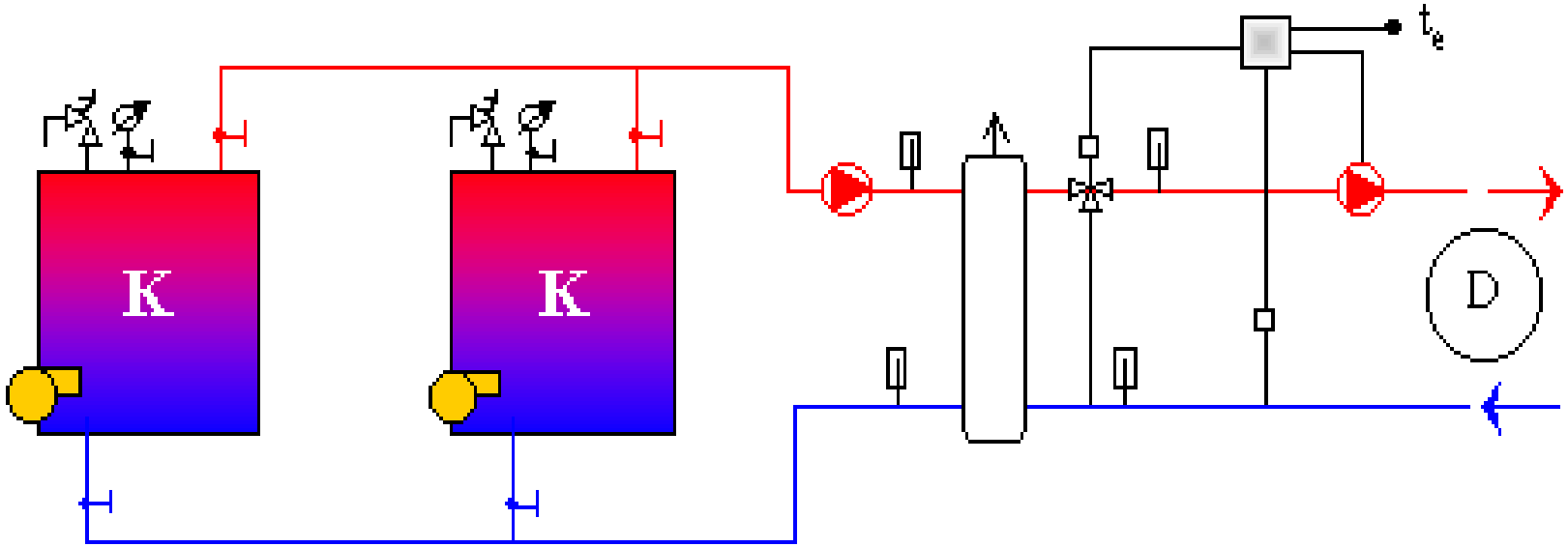
Układ ze wspólną pompą mieszającą



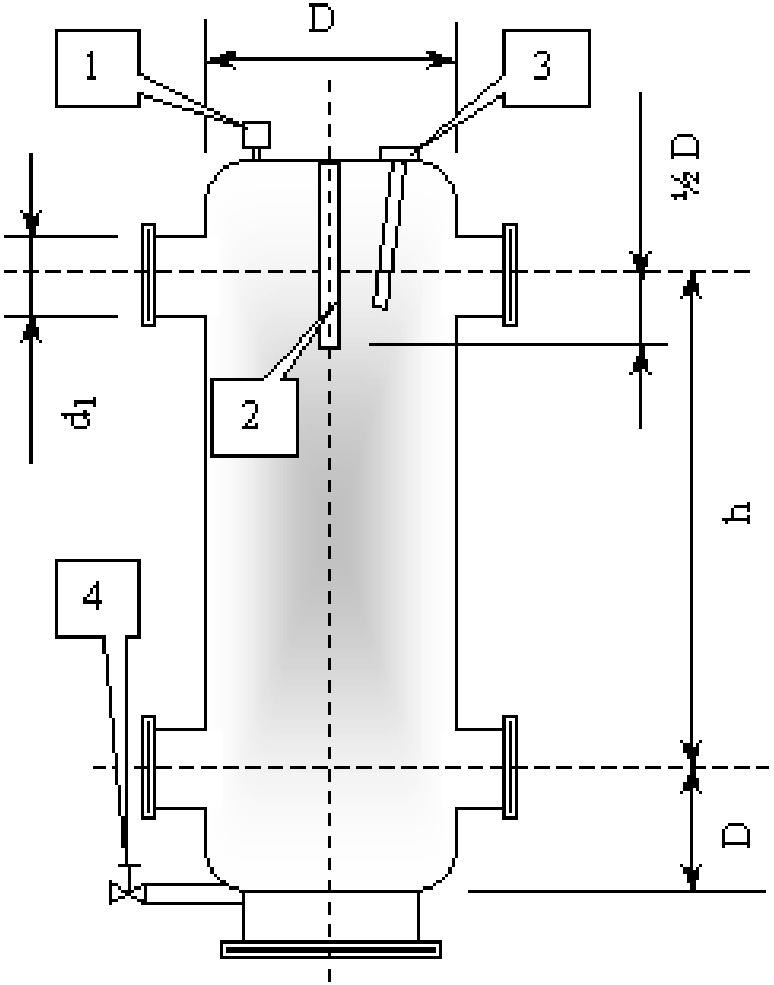
Jw. lecz z zaworem regulacyjnym

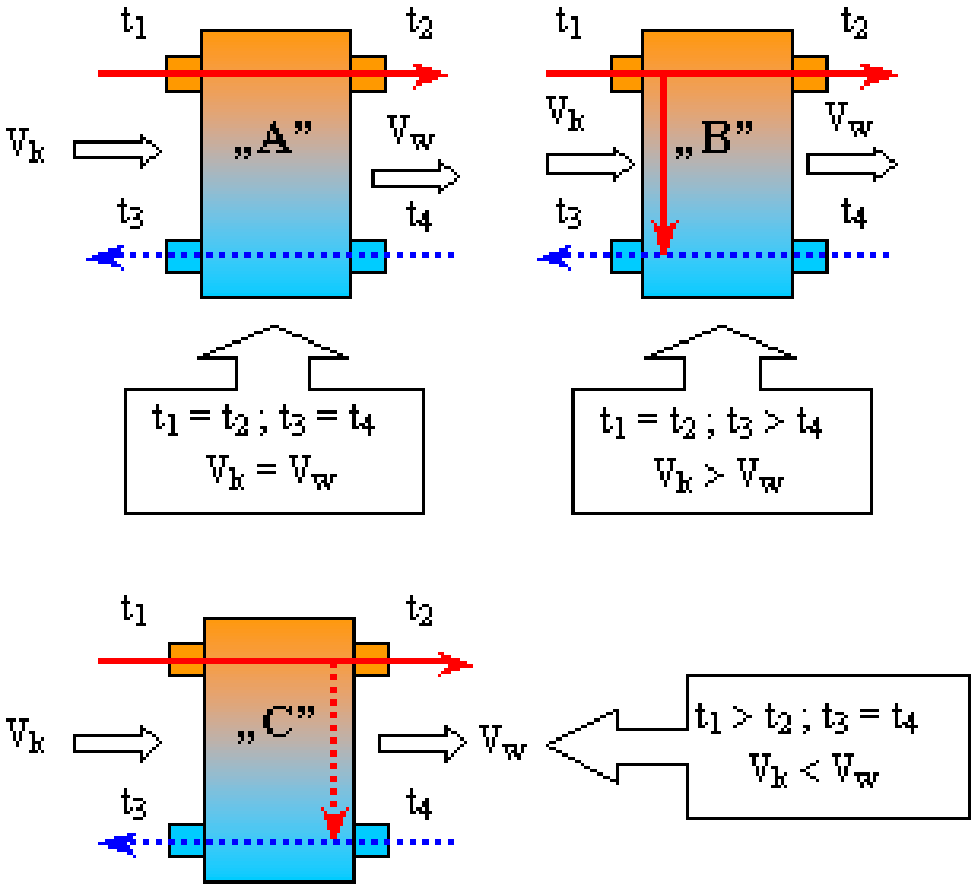


Układ z pompą obiegu kotłowego i zaworem trójdrogowym



Jw. lecz ze sprzęgłem hydraulicznym





Konstrukcja i schemat działania pionowego rozdzielacza hydraulicznego („sprzęgła”) oraz schemat występujących w nim kierunków przepływu czynnika: 1 – zawór odpowietrzający, 2 – przegroda perforowana, 3 – tuleja termometryczna, 4 – zawór odmulający