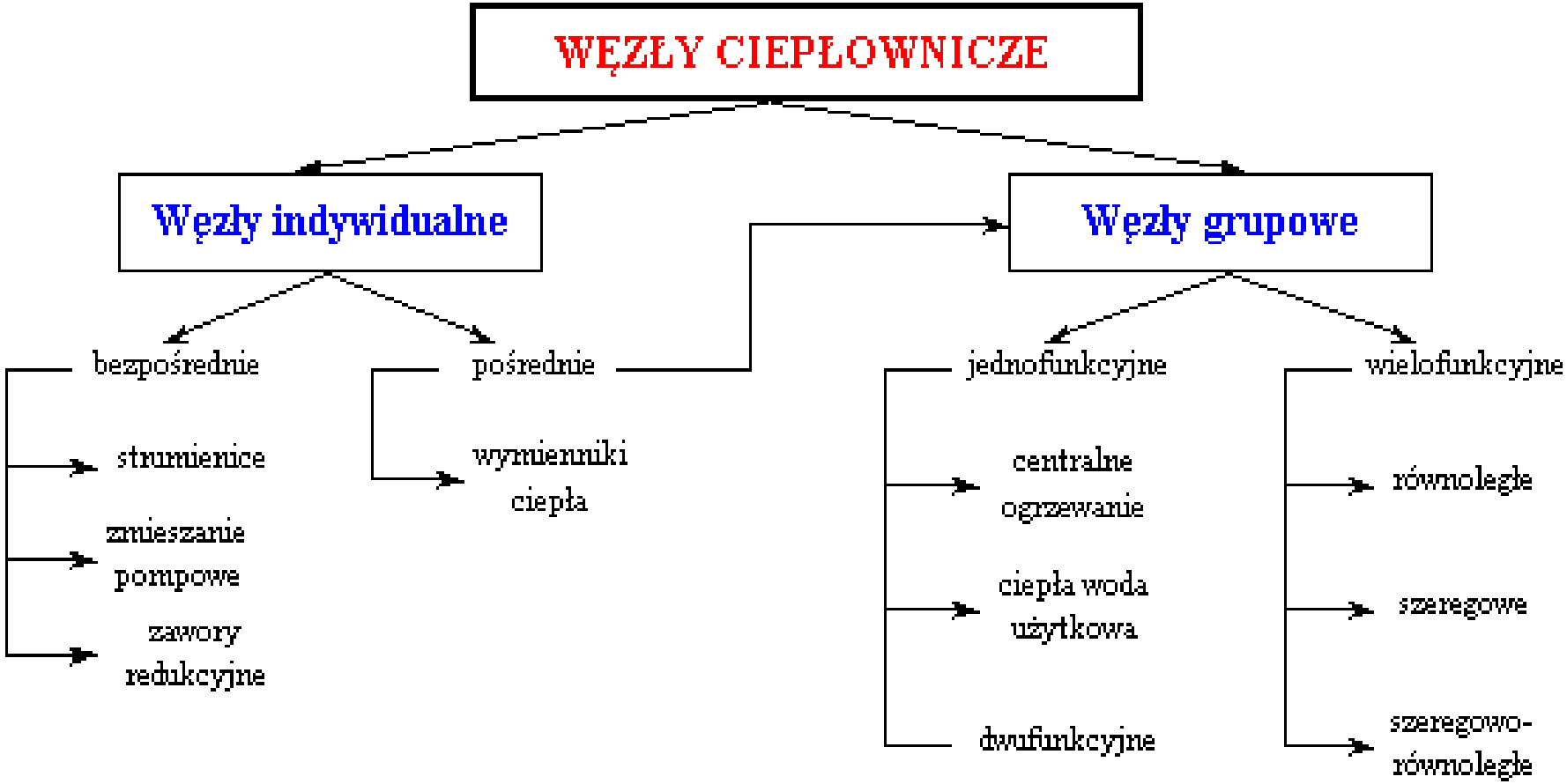
Węzły ciepłownicze

Głównym ich zadaniem jest nie tylko transformacja termodynamicznych parametrów czynnika cieplnego, tzn. jego temperatury i ciśnienia, ale również regulacja jego ilości w zależności od potrzeb odbiorcy oraz kontrola i pomiar zużycia ciepła



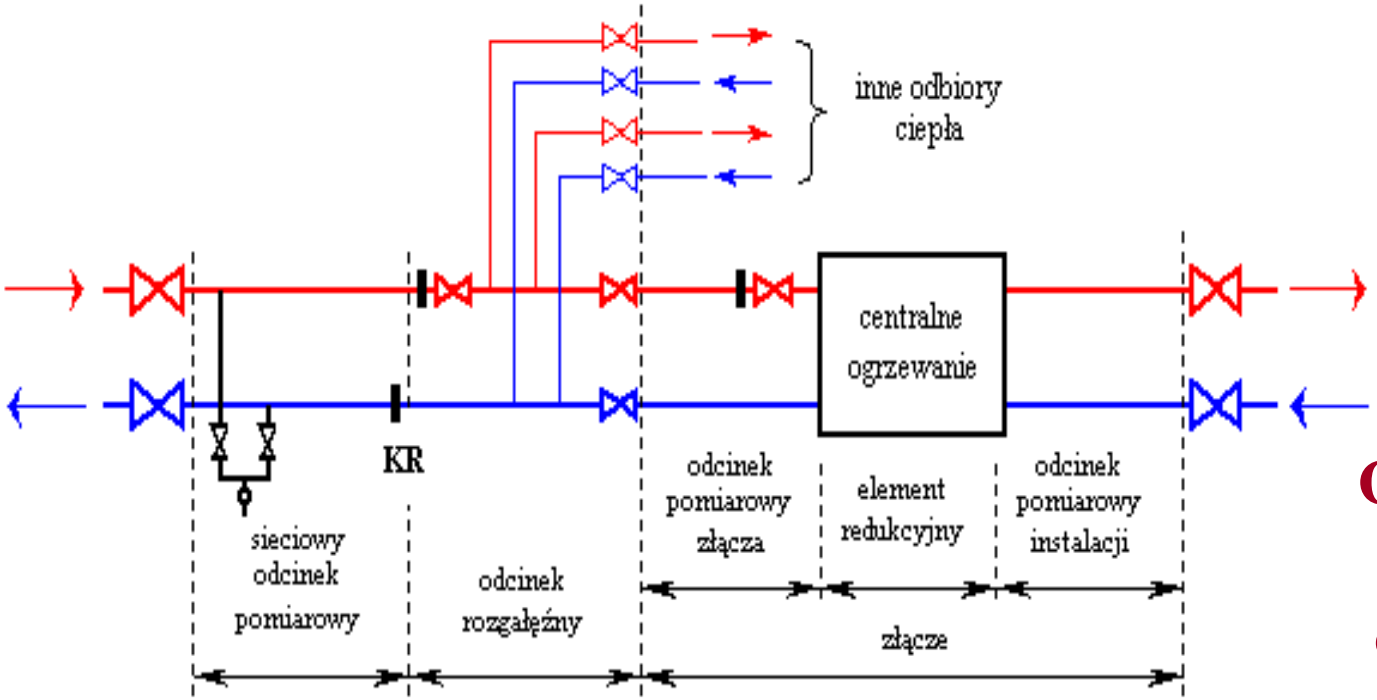
BLOKI FUNKCJONALNE WĘZŁÓW CIEPŁOWNICZYCH

Transformacja
- hydroelewatory
- zmieszanie pompowe
- wymienniki

Regulacja
- ciśnienia, różnice ciśnień
- temperatury
- przepływ

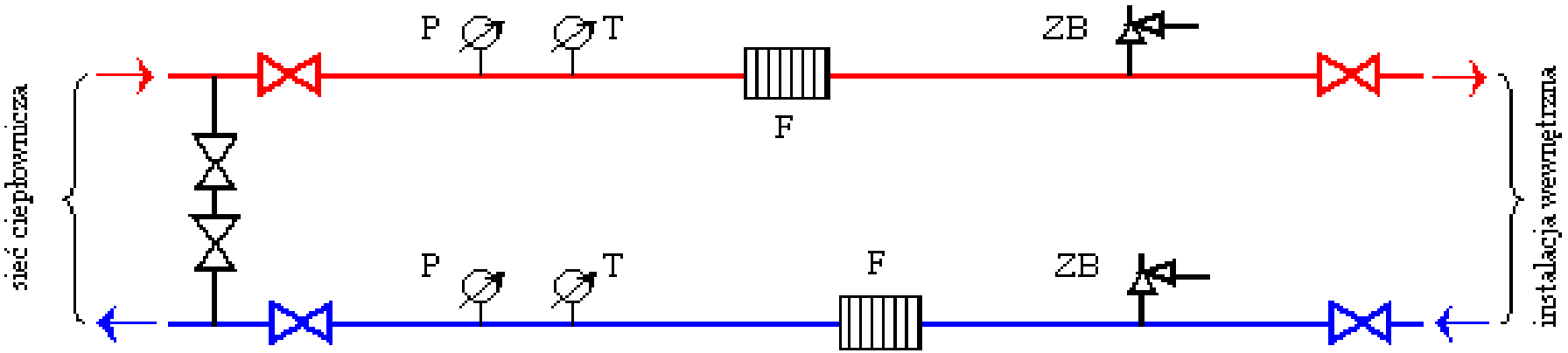
Pomiar
- temperatura
- ciśnienia
- ilości ciepła

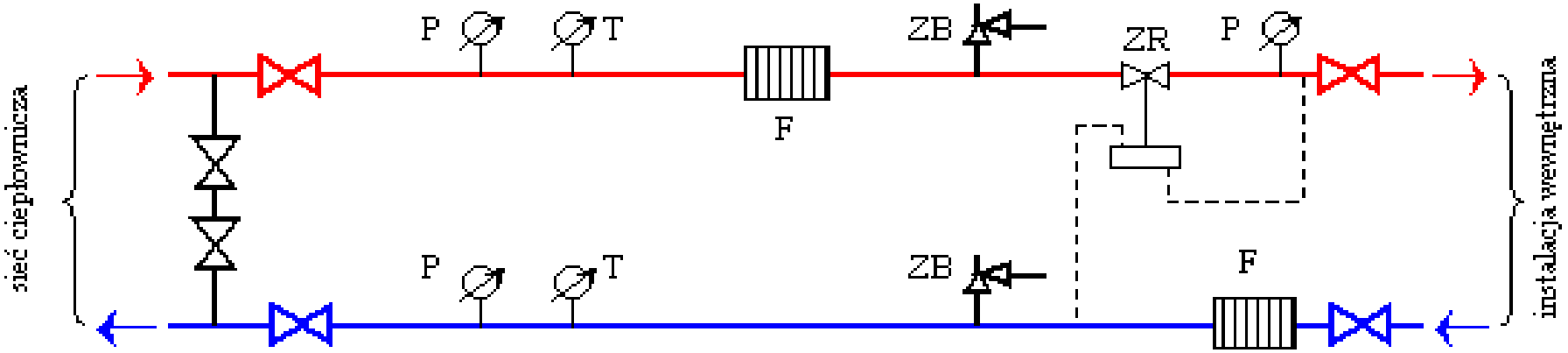
Zabezpieczenia
- wzrost ciśnienia
- zapowietrzanie
- zanieczyszczenie
- kierunek przepływu
- straty ciepła
- wzrost naprężeń, drgań, hałasu



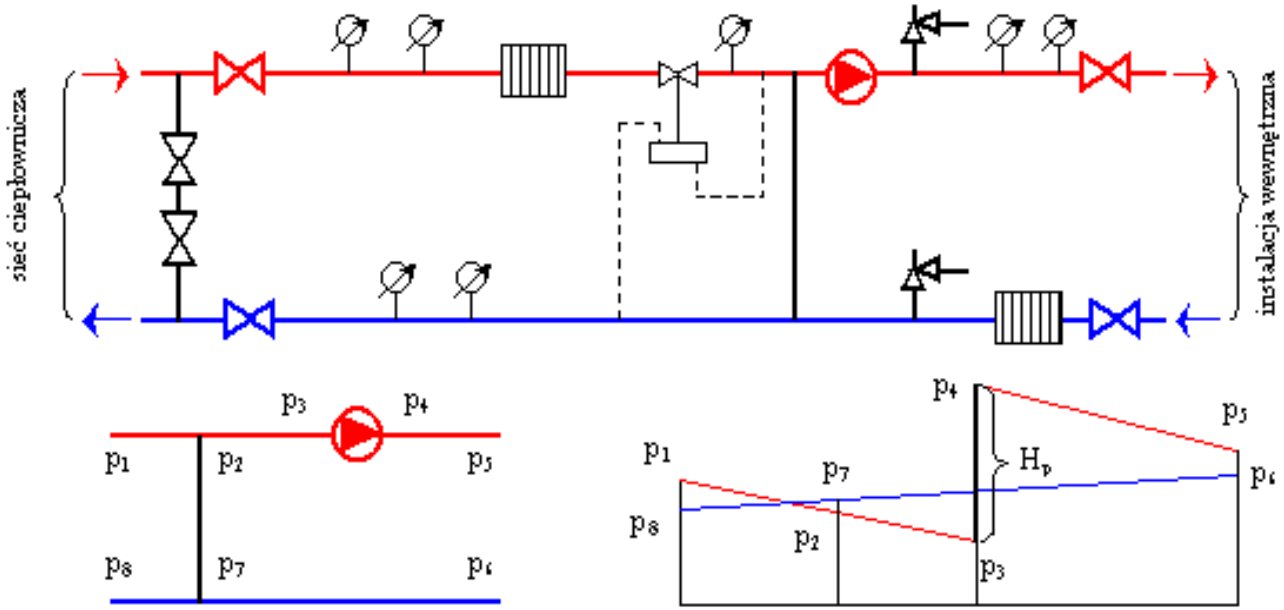
Ogólny schemat węzła ciepłowniczego

Ciepłownicze węzły bezpośrednie



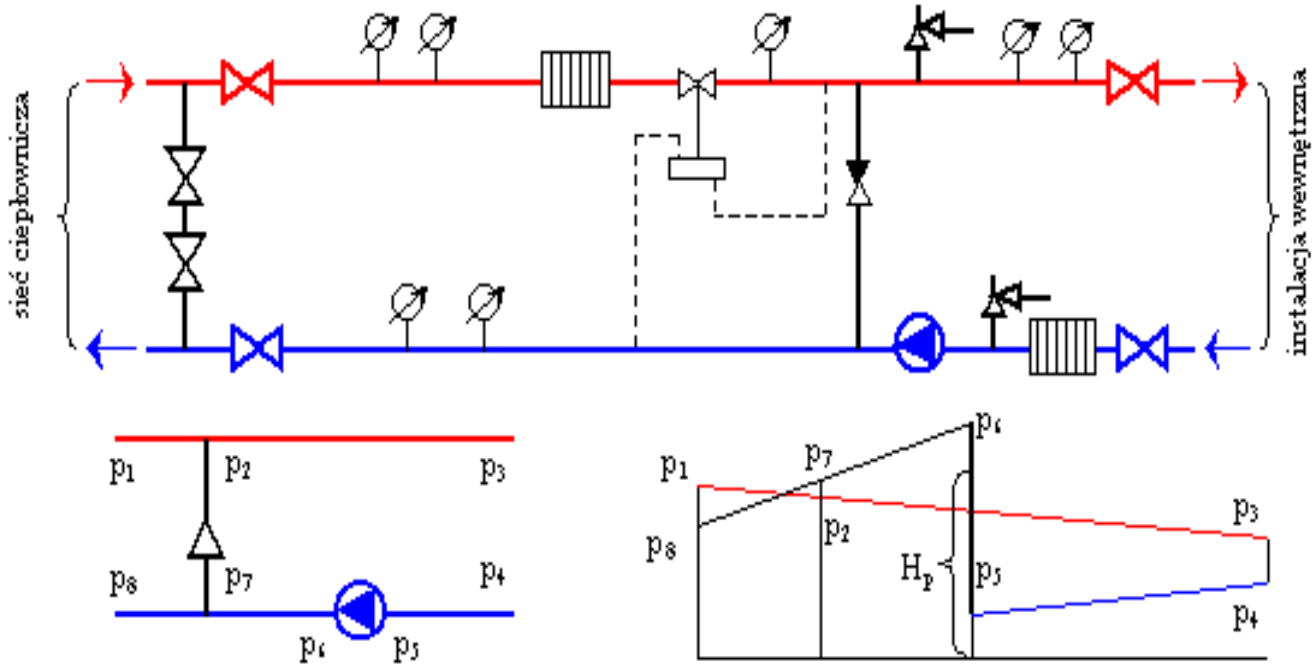


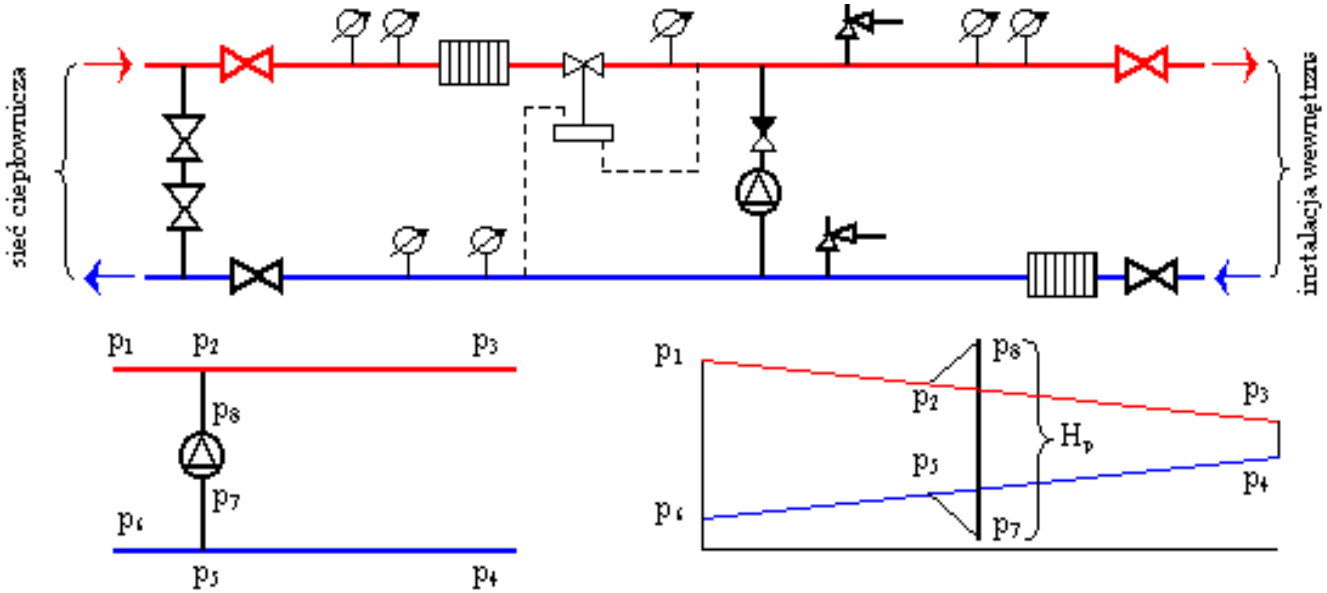
Schemat węzła bezpośredniego z regulacja ciśnień za pomocą kryz dławiących (rysunek górny) i z zaworem regulacji różnicy ciśnień: P – manometry, T – termometry, F – filtry, ZB – zawory bezpieczeństwa, ZR – zawór regulacji różnicy ciśnień



Węzeł bezpośredni z pompą mieszającą na przewodzie zasilającym i wykres ciśnień

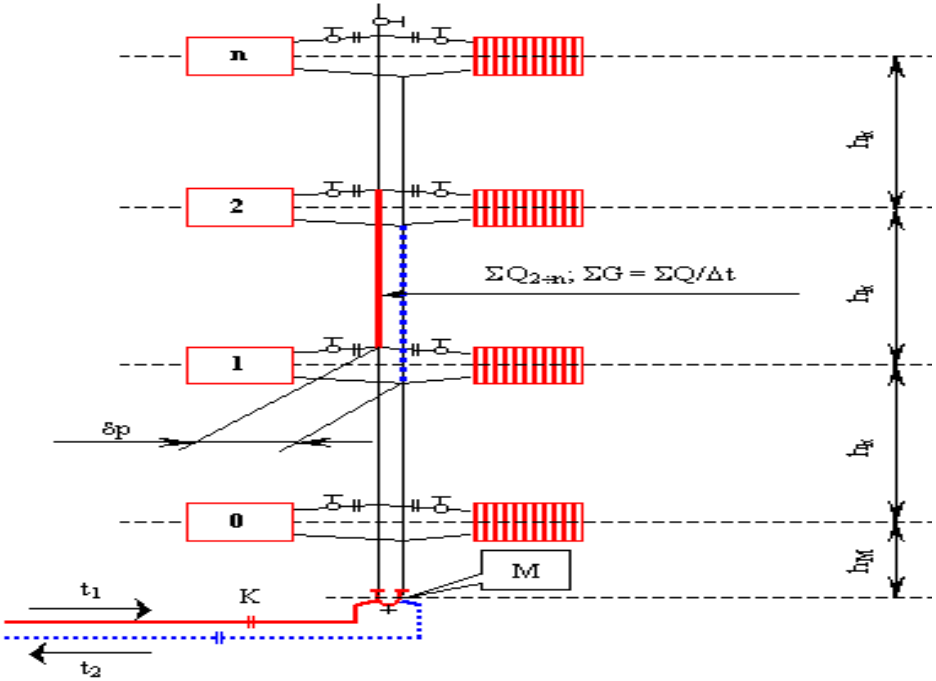
Węzeł bezpośredni z pompą mieszającą na przewodzie powrotnym i wykres ciśnień





Węzeł bezpośredni z pompą na przewodzie mieszającym i wykres ciśnień

Do omawianych rozwiązań bezpośrednich zaliczyć można także systemy zaopatrujące instalację wewnętrzną bezpośrednio z sieci ciepłowniczej z zastosowaniem mieszaków podpionowych. Woda z sieci ciepłowniczej wpływa do węzła bezpośredniego bez transformacji temperatury, natomiast następuje redukcja ciśnienia do poziomu dopuszczalnego. Poziom ten jest ograniczony wytrzymałością elementów instalacji (grzejników). Ciśnienie najniższe określone jest temperaturą czynnika lub wartością ciśnienia w powrotnym przewodzie sieci ciepłowniczej. Czynnik z sieci podawany jest do poziomych przewodów rozdzielczych, które łączone są z pionami za pomocą mieszaków

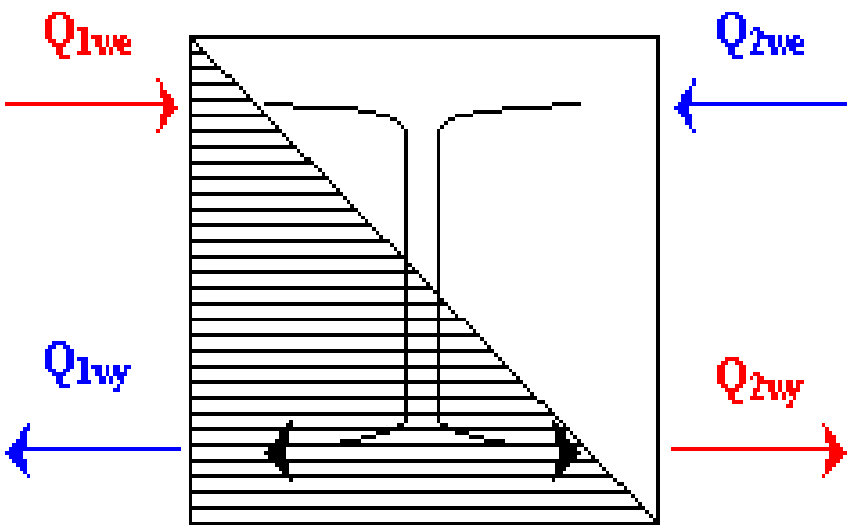


Schemat pionu w ogrzewaniu indukowanym: 0....n – numery pięter; hk – między-piętrowe odcinki pionu, h_M – wysokość montażu mieszaka, M – mieszak, K – kryzy, δp – czynne ciśnienie wytwarzane w odcinku pionu położonym pomiędzy piętrami.

Przepływ czynnika w poziomych przewodach dosyłowych (o temperaturach t_1/t_2) wymuszany jest pracą pompy. Natomiast wprowadzenie **mieszaka** pozwala na rozpatrywanie całego układu jako **zespołu niezależnych i grawitacyjnych instalacji.** Składają się one wyłącznie z pionowych odcinków indukujących ciśnienie czynne. Z uwagi na charakter tego ciśnienia (jest to energia grawitacji), krążenie jest stabilne i niezależne od zmieniających się temperatur i natężenia strumienia czynnika. Główną zaletą omawianych rozwiązań była możliwość bezpośredniego łączenia zewnętrznej sieci ciepłowniczej (np. o temperaturach zasilania +130÷150^{0}C) z instalacją wewnętrzną, bez potrzeby stosowania elementów redukcyjnych w węzłach ciepłowniczych

Wymienniki

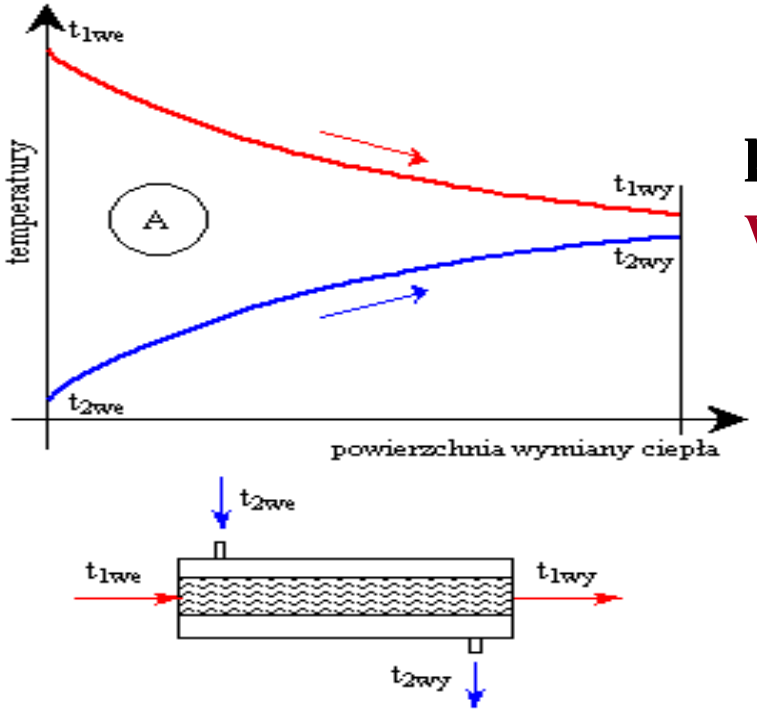
Przekazują ciepło od czynnika przepływającego sieciami ciepłowniczymi do czynnika ogrzewanego, zasilającego instalacje wewnętrzne. Podstawą wymiarowania (doboru) wymienników jest ich bilans cieplny



Pomijając niewielki wpływ zmiany ciepła właściwego czynnika wraz ze zmianą jego temperatury oraz ciepło zakumulowane w materiale i czynniku go wypełniającym, bilans ten ma postać

$$c_1 \times G_1 \left(t_{1we} - t_{1wy}\right) \cong c_2 \times G_2 \left(t_{2we} - t_{2wy}\right)$$

gdzie c_1 i c_2 to ciepło właściwe czynnika ogrzewającego i ogrzewanego, G_1 i G_2 są ilościami czynnika ogrzewającego i ogrzewanego, t_{1we} i t_{2we} to początkowe (wejściowe) i końcowe (wyjściowe) temperatury czynnika ogrzewającego, zaś t_{1wy} i t_{2wy} są tak samo definiowanymi temperaturami czynnika ogrzewanego

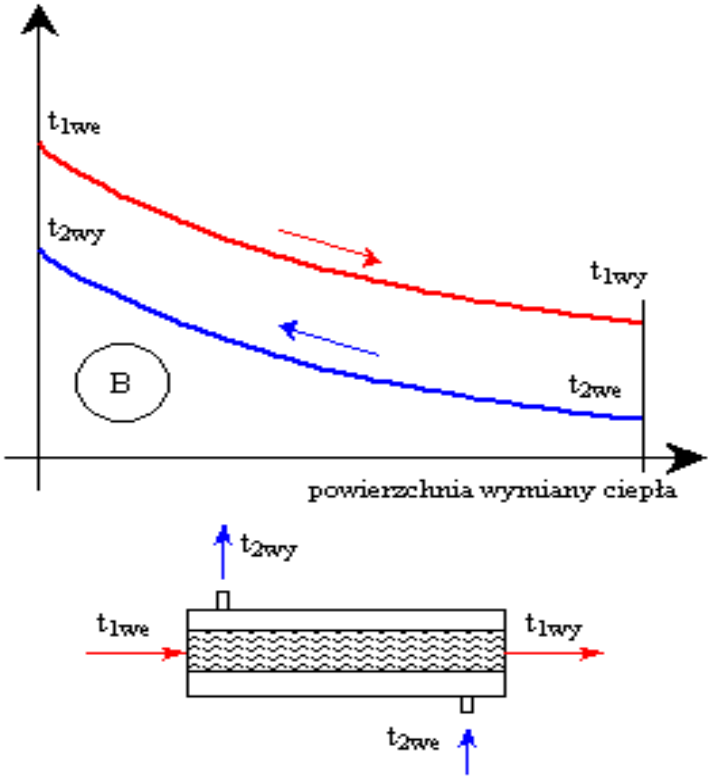


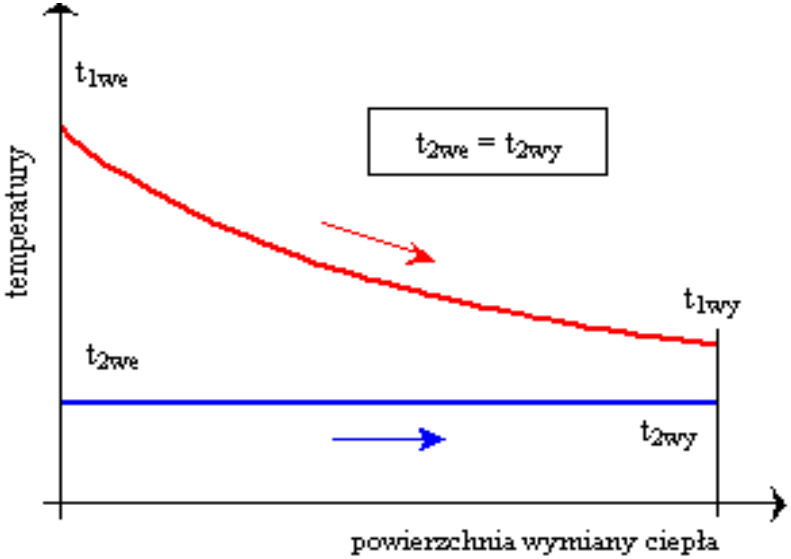
Rozkłady temperatur wzdłuż powierzchni wymiany ciepła wymienników współprądowych

$$\Delta t_{śr} = \Delta t_{lg} = \frac{(t_{1we} - t_{2we}) - (t_{1wy} - t_{2wy})}{\ln \frac{t_{1we} - t_{2we}}{t_{1wy} - t_{2wy}}}$$

Rozkłady temperatur wzdłuż powierzchni wymiany ciepła wymienników przeciwprądowych

$$\Delta t_{śr} = \Delta t_{lg} = \frac{(t_{1we} - t_{2wy}) - (t_{1wy} - t_{2we})}{\ln \frac{t_{1we} - t_{2we}}{t_{1wy} - t_{2wy}}}$$





Rozkłady temperatur wzdłuż powierzchni wymiany ciepła wymienników pojemnościowych (bez uwzględniania pojemności cieplnej konstrukcji)

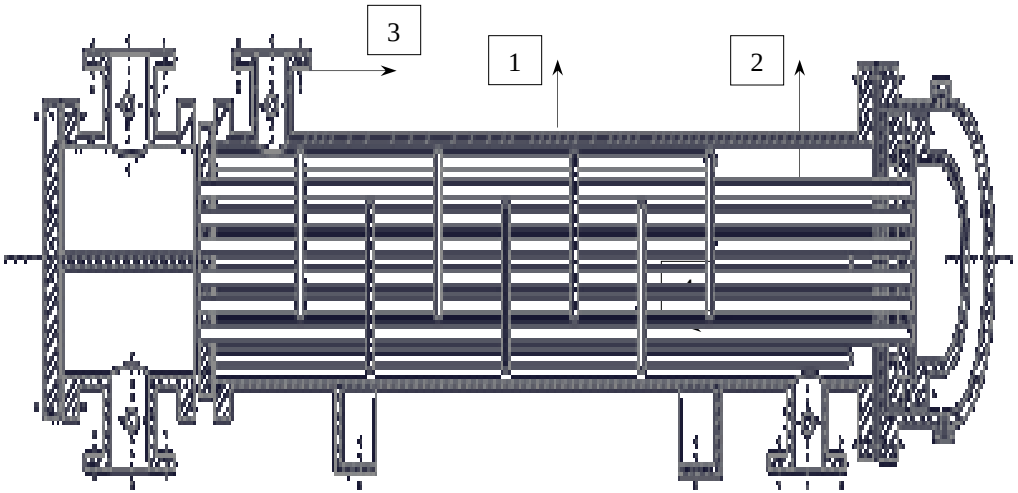
$$Q_{og} + c_p \times \rho \times \Delta t = c_p \times G_{cw}\left(t_{cw} - t_{zw}\right)$$

Q_{og} to ciepło przekazywane przez czynnik ogrzewający w wężownicy (kW), Δt jest różnicą średnich temperatur wody na początku i końcu cyklu pracy wymiennika (K), t_{cw} i t_{zw} są temperaturami odpowiednio ciepłej i zimnej wody (^{0}C), G_{cw} to ilość ciepłej wody odpływającej z wymiennika (kg/s), zaś c_p i ρ są odpowiednio ciepłem właściwym (kJ/kgK) i gęstością (kg/m^3) wody ogrzewanej

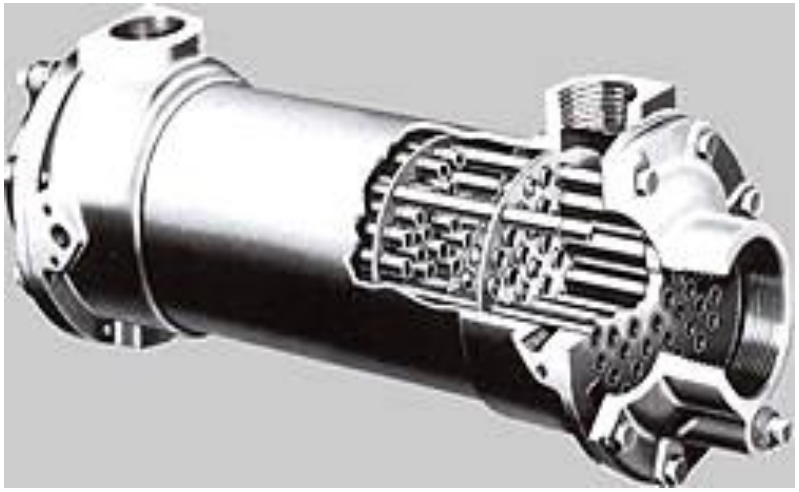
Istnieje duża ilość odmian konstrukcyjnych i technologicznych pośrednich wymienników ciepła, które mogą być wykorzystywane dla celów centralnego ogrzewania, przygotowania ciepłej wody, podgrzewania wody basenowej, wentylacji i klimatyzacji, przemysłu, itp. Są to wymienniki płaszczowo-rurowe, płytowe, przepływowe, pojemnościowe, a także współprądowe, przeciwprądowe i o prądzie krzyżowym

Czynnikiem ogrzewającym mogą być woda, spaliny, powietrze, para wodna. Występują zatem wymienniki typu: woda-powietrze, spaliny-woda; spaliny-powietrze, powietrze-glikol, woda-woda, para-woda (dwa ostatnie najczęściej występujące w instalacjach grzewczych), itp.

Wymienniki dzieli się na dwie grupy: wymienniki płaszczowo-rurowe i płytowe. Wśród tradycyjnych wymienników płaszczowo-rurowych wymienić należy konstrukcje ze stałymi dnami sitowymi (bez lub z kompensatorem), z głowicą *pływającą*, U- rurowe oraz typu *rura w rurze*



1 – płaszcz zewnętrzny, 2 – pęk rur wewnętrznych, 3 – króćce, 4 – podpory

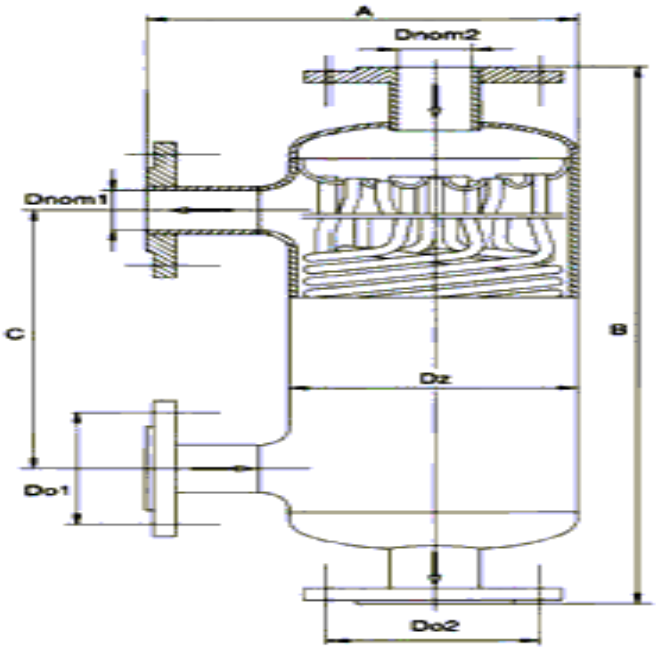


Przekrój wymiennika płaszczowo-rurowego

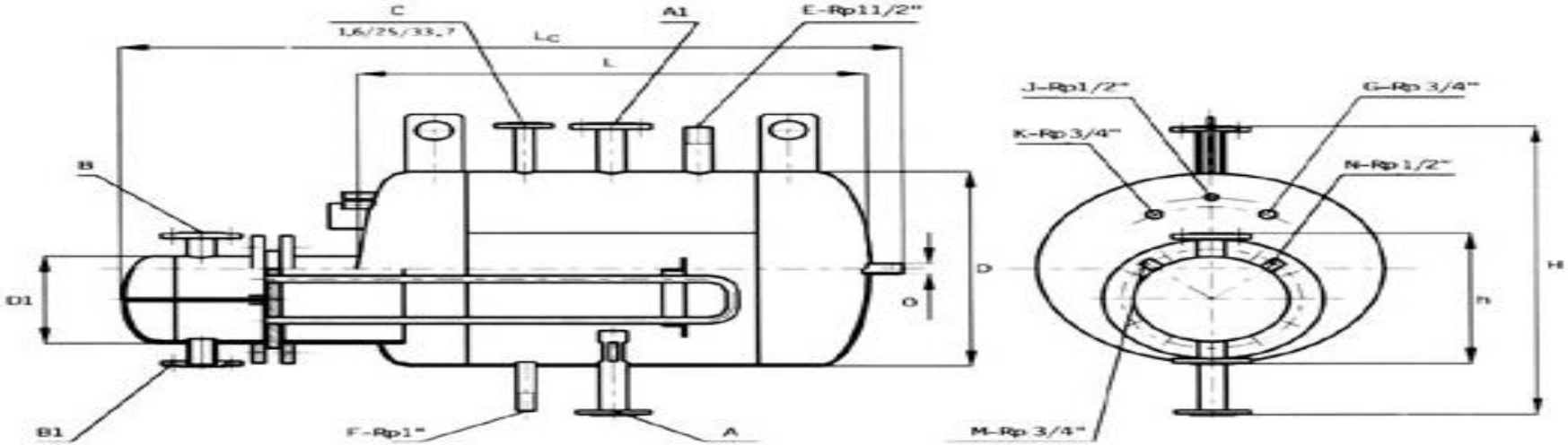
Widok i konstrukcja wymienników typu *JAD*

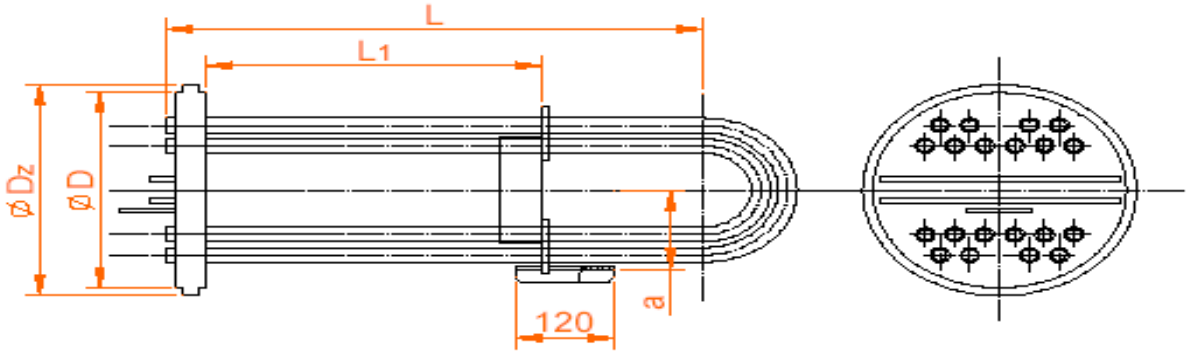
Wymienniki typu *JAD* i *JAD-X* posiadają nierozbieralną, spawaną konstrukcję. W płaszczu umieszczony jest pakiet rurek w kilku warstwach zwiniętych śrubowo. Króćce przyłączeniowe umożliwiają podawanie czynnika grzewczego w przestrzeń wężownicy. Czynnik ogrzewany przepływa w przestrzeni płaszcza

Przepływowe wymienniki ciepła *JAD-X* są konstrukcjami przeciwprądowymi, wyposażonymi w przeponę z rur. Woda grzejna płynie w rurkach, a woda ogrzewana w płaszczu (w układzie przeciwprądowym). Przeznaczone są do pompowych instalacji centralnego ogrzewania i przygotowania centralnej ciepłej wody, w budynkach zasilanych z systemów ciepłowniczych



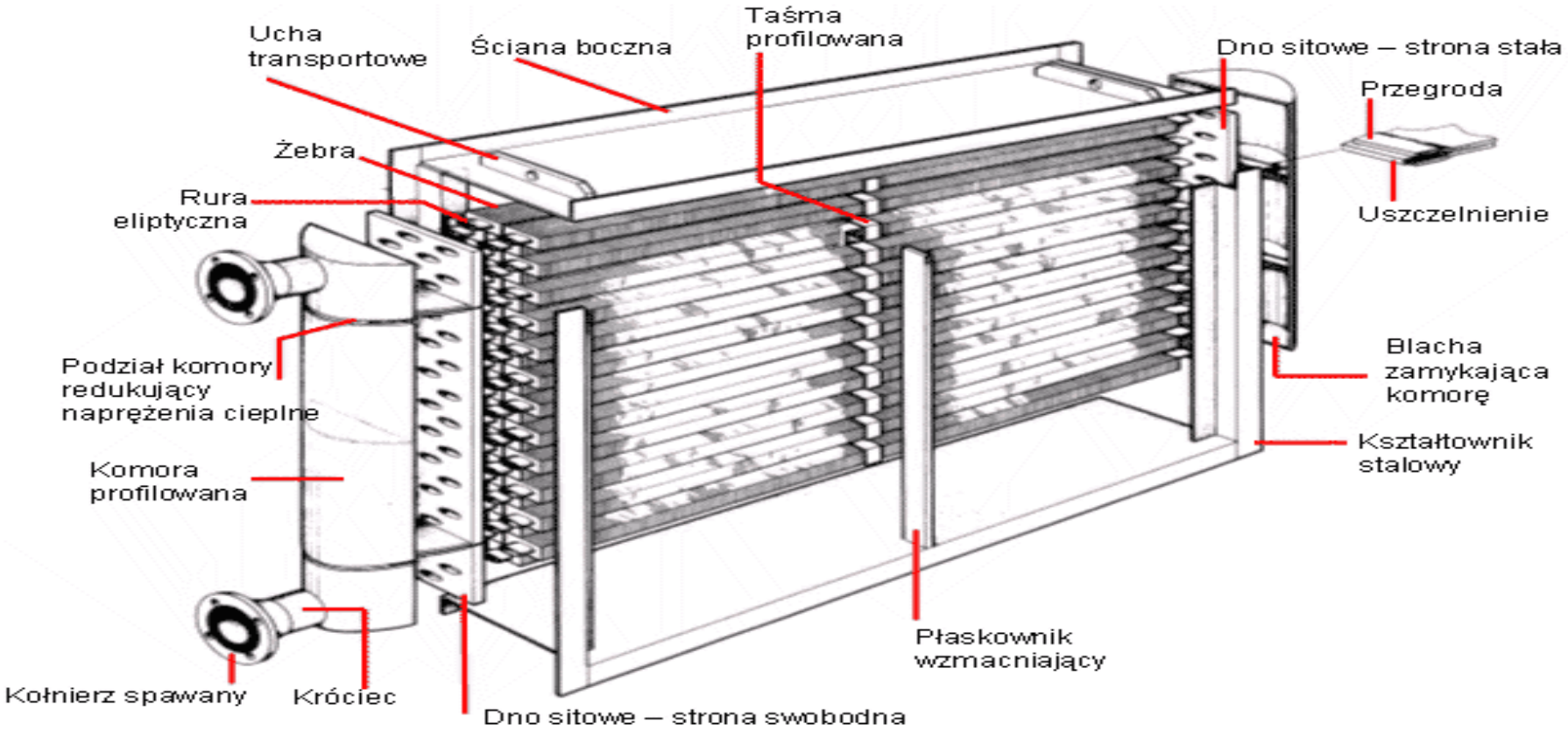
Drugą grupę tradycyjnych wymienników stanowią rozwiązania pojemnościowe. Są one stosowane w dwufunkcyjnych rozwiązaniach niektórych pośrednich węzłów ciepłowniczych



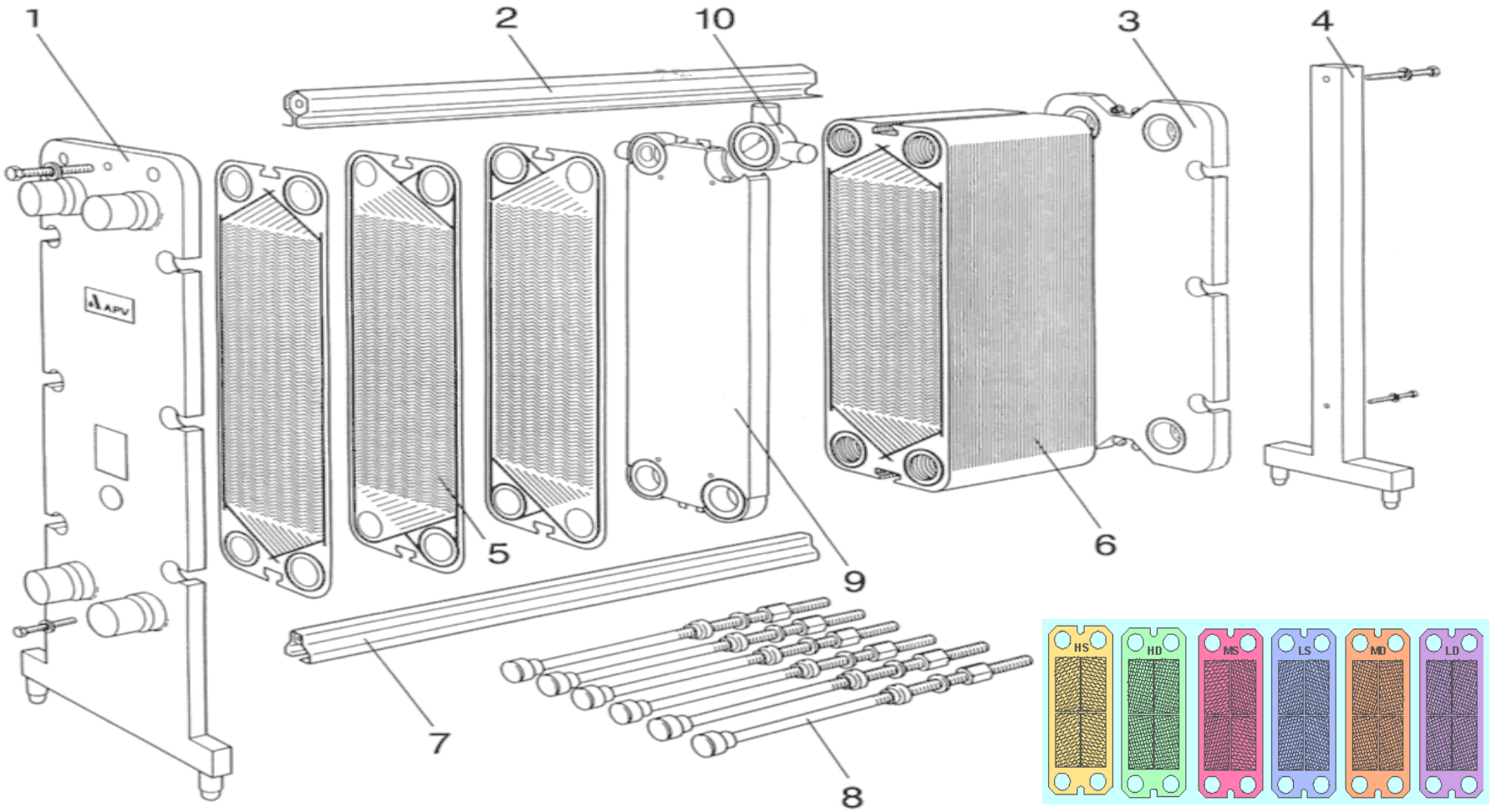


Schemat konstrukcji wymiennika pojemnościowego *WP6* (rysunek górny) i jego wężownicy wewnętrznej: A i A1 – napływ i odpływ czynnika ogrzewanego, B i B1 – napływ i odpływ czynnika ogrzewającego, C i E – króciec zaworu odpowietrzającego i zaworu bezpieczeństwa, F – króciec spustowy, G i J – króćce termometru i manometru, K i M – króćce termostatów, N – króciec manometru, O – króciec wody cyrkulacyjnej

Wymiennik płaszczowo-rurowy o zwartej, modułowej konstrukcji

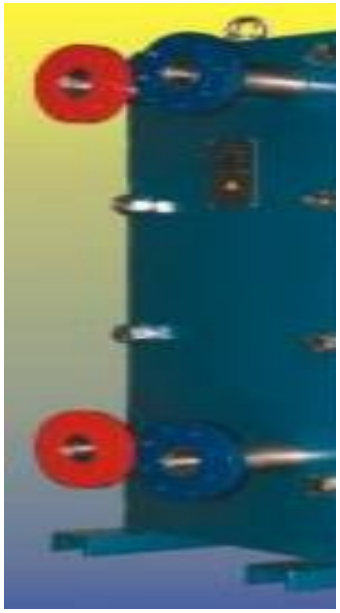


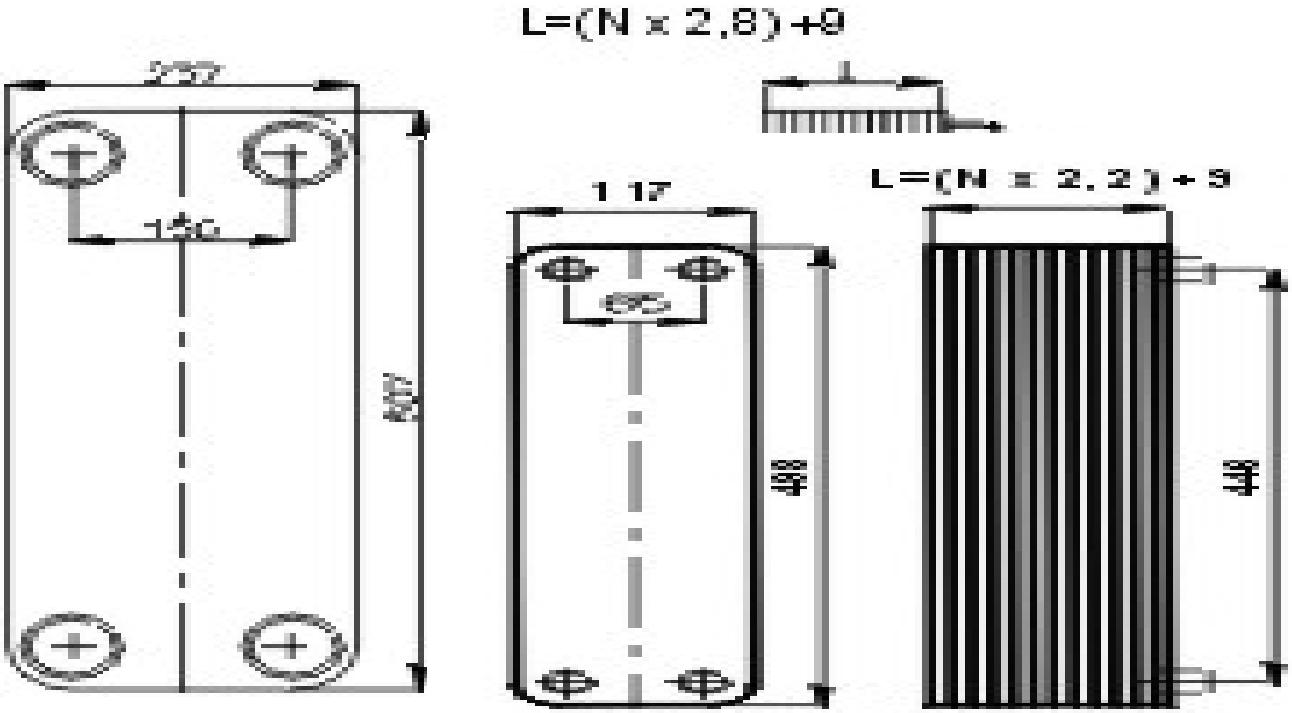
Duża część stosowanych rozwiązań to wymienniki płytowe o konstrukcjach skręcanych lub lutowanych; zajmują mniej miejsca i są lżejsze od wymienników płaszczowo-rurowych o podobnej mocy, a ponadto konstrukcja zapewnia osiąganie sprawności wymiany ciepła do 97%



Przykład konstrukcji płytowego wymiennika ciepła: 1 – płyta czołowa, 2 – belka górna, 3 – płyta dociskowa (tylna), 4 – kolumna, 5 – pojedyncze płyty grzewcze, 6 – pakiet płyt z uszczelkami, 7 – belka dolna, 8 – pakiet śrub dolnych

Widok wymienników płytowych (z płytami GX oraz GW)

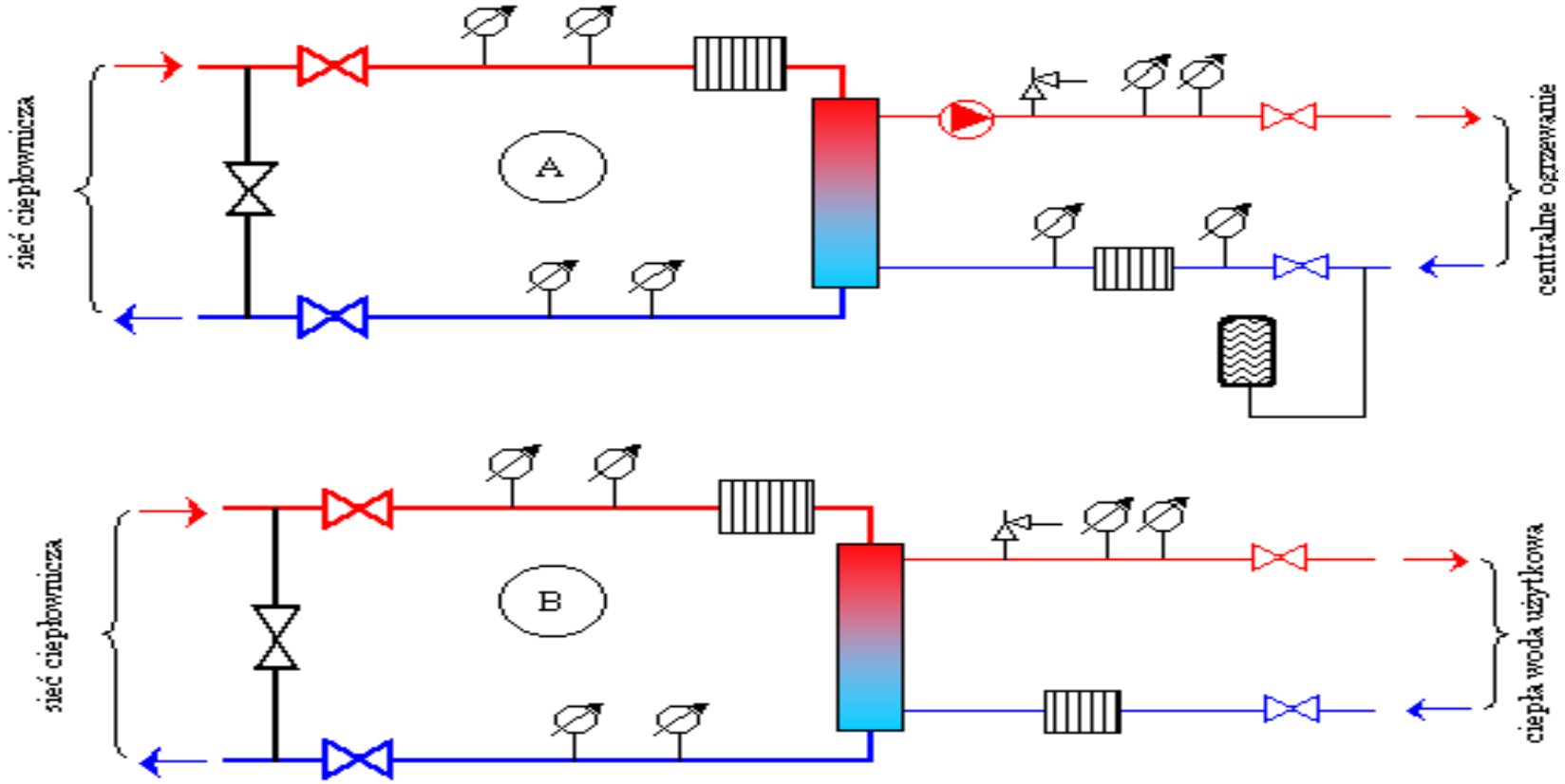




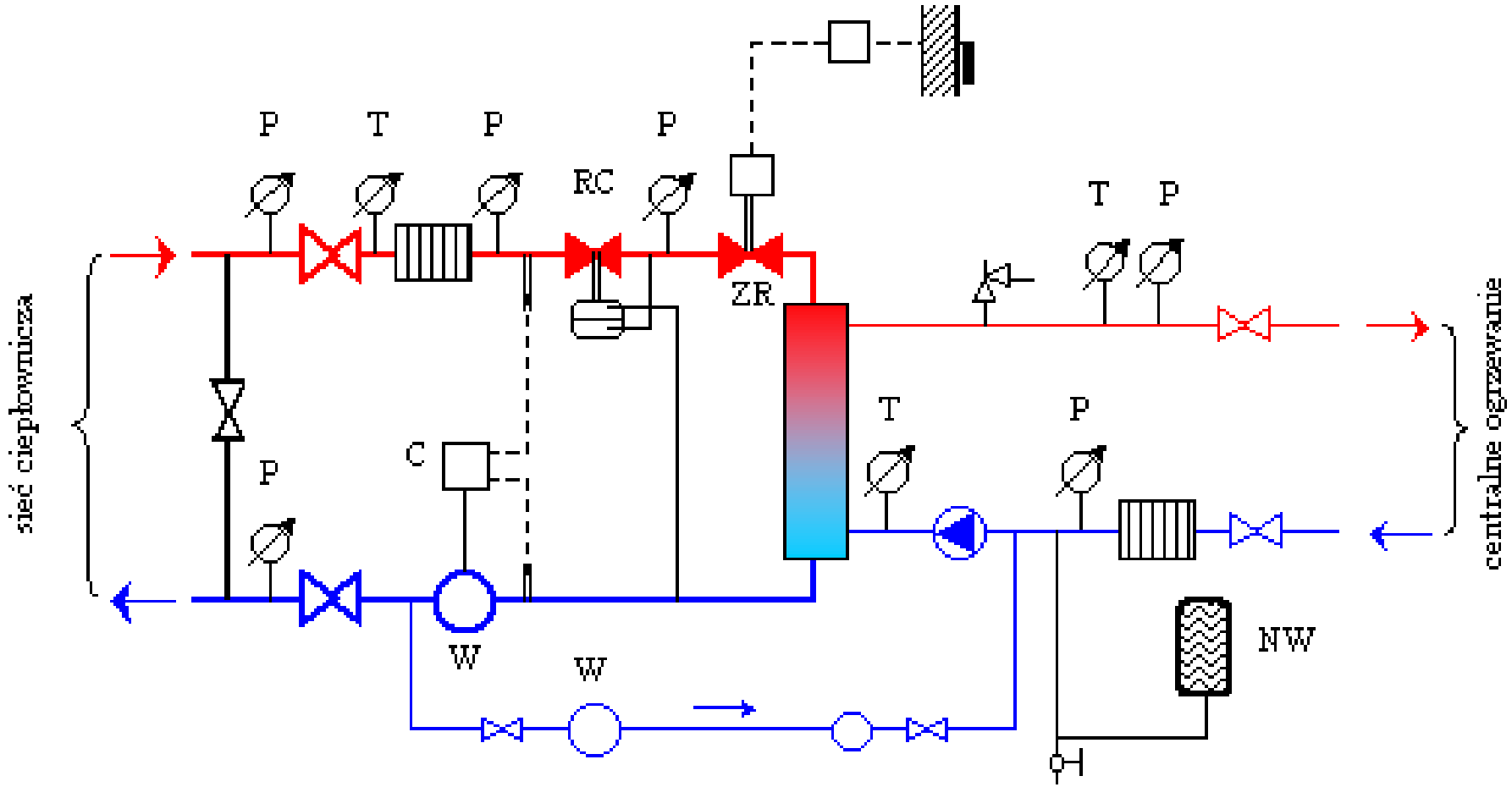
Widok wymienników skręcanych (*WPE*)

Pośrednie (wymiennikowe) węzły ciepłownicze

Jednofunkcyjne węzły do celów ogrzewania (A) i przygotowania ciepłej wody (B)

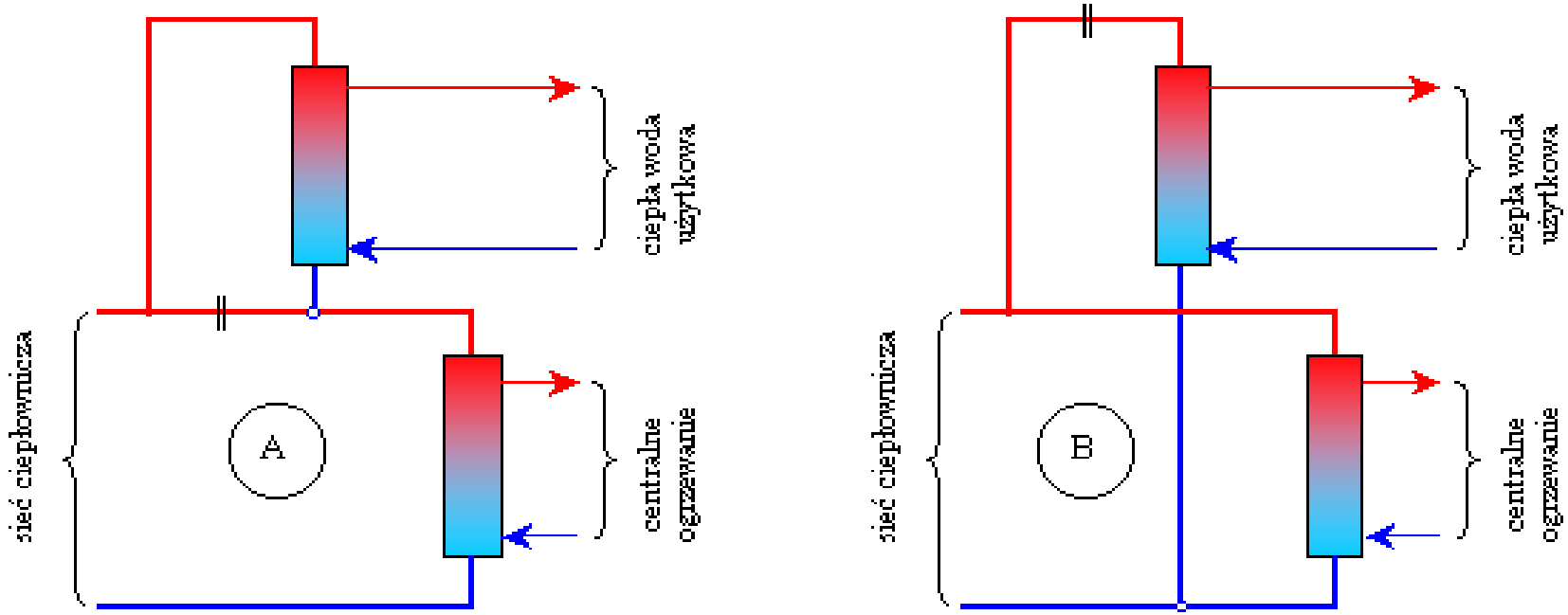


W pierwszym przypadku (A) w obiegu wtórnym zastosowano pompę obiegową oraz zawór bezpieczeństwa (instalacja wewnętrzna z przeponowym naczyniem zbiorczym). Rozwiązanie drugie (B) jako indywidualne bywa stosowane jedynie w rozwiązaniach niskoparametrowych, a z reguły połączone jest z węzłem pośrednim (lub bezpośrednim) realizującym cele ogrzewania

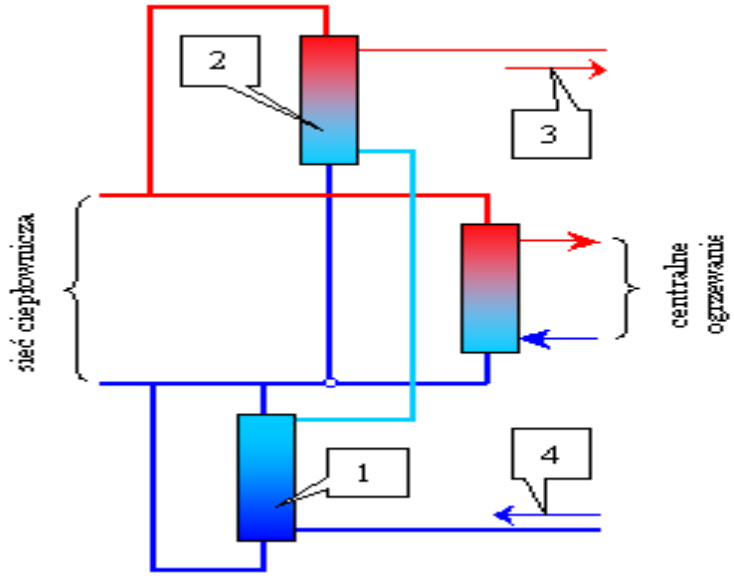


Przykład pośredniego węzła dla potrzeb centralnego ogrzewania: P – manometr, T – termometr, N – przeponowe naczynie wzbiorcze, W – wodomierz, C – ciepłomierz, RC – regulator różnicy ciśnienia, ZR – zawór regulacyjny

Dla popularnych rozwiązań pośrednich węzłów dwufunkcyjnych realizujących potrzeby ogrzewania i ciepłej wody charakterystyczne są schematy węzłów przedstawionych poniżej. Są to rozwiązania z tzw. połączeniami szeregowymi (A) i równoległymi (B). Gdy węzeł ma dostarczać czynnik również dla potrzeb technologicznych, jego odpływ występuje zazwyczaj przed odgałęzieniem do wymiennika ciepłej wody (na zasilaniu) i za włączeniem przewodu, którym czynnik powraca z wymiennika I-go stopnia na powrocie



Idea połączeń w jednostopniowym węźle ciepłowniczym: A – połączenia szeregowe, B – połączenia równoległe

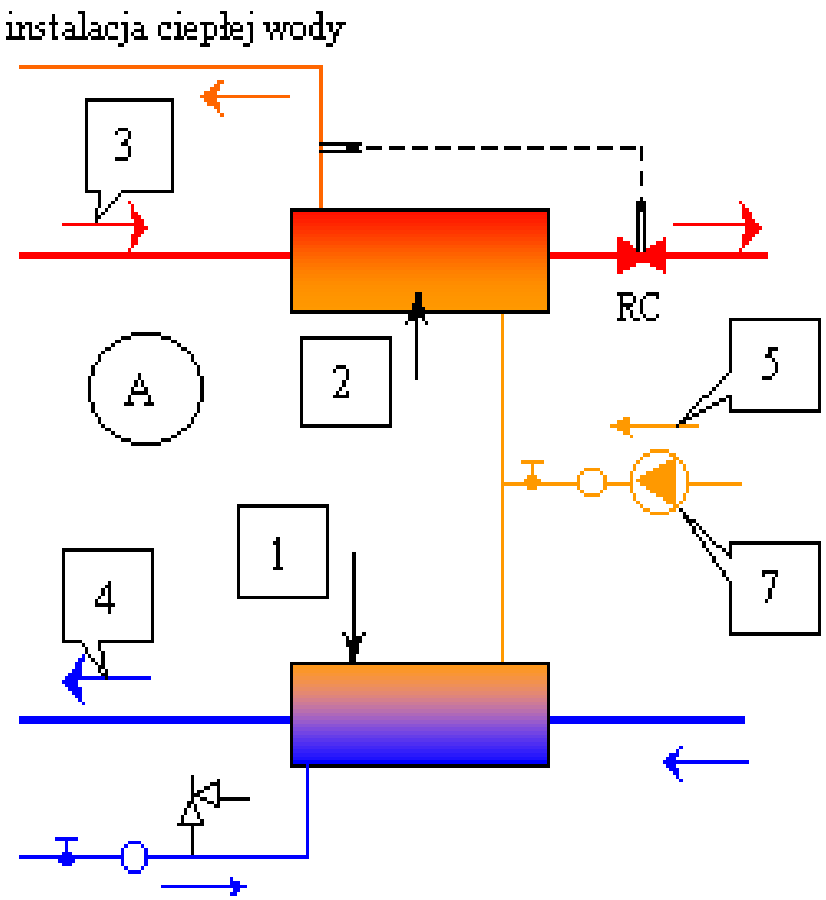


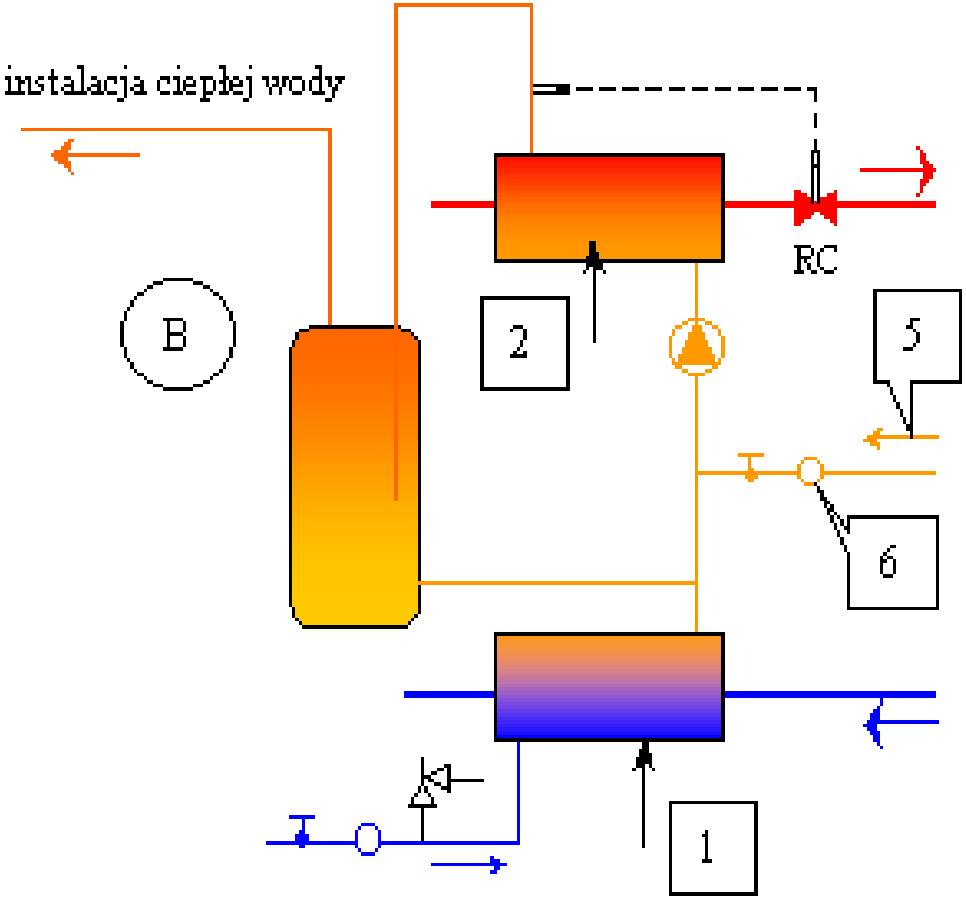
Połączeń w dwustopniowym węźle ciepłowniczym (najczęściej stosowanym): **1 – wymiennik ciepłej wody I-go stopnia, 2 – jak wyżej lecz II-go stopnia, 3 – zasilanie instalacji ciepłej wody użytkowej, 4 – napływ wody zimnej (z wodociągu)**

Jest to rozwiązanie dwustopniowe o połączeniach szeregowo-równoległych, charakteryzujące się wykorzystaniem ciepła czynnika powrotnego z instalacji centralnego ogrzewania do przygotowania ciepłej wody.

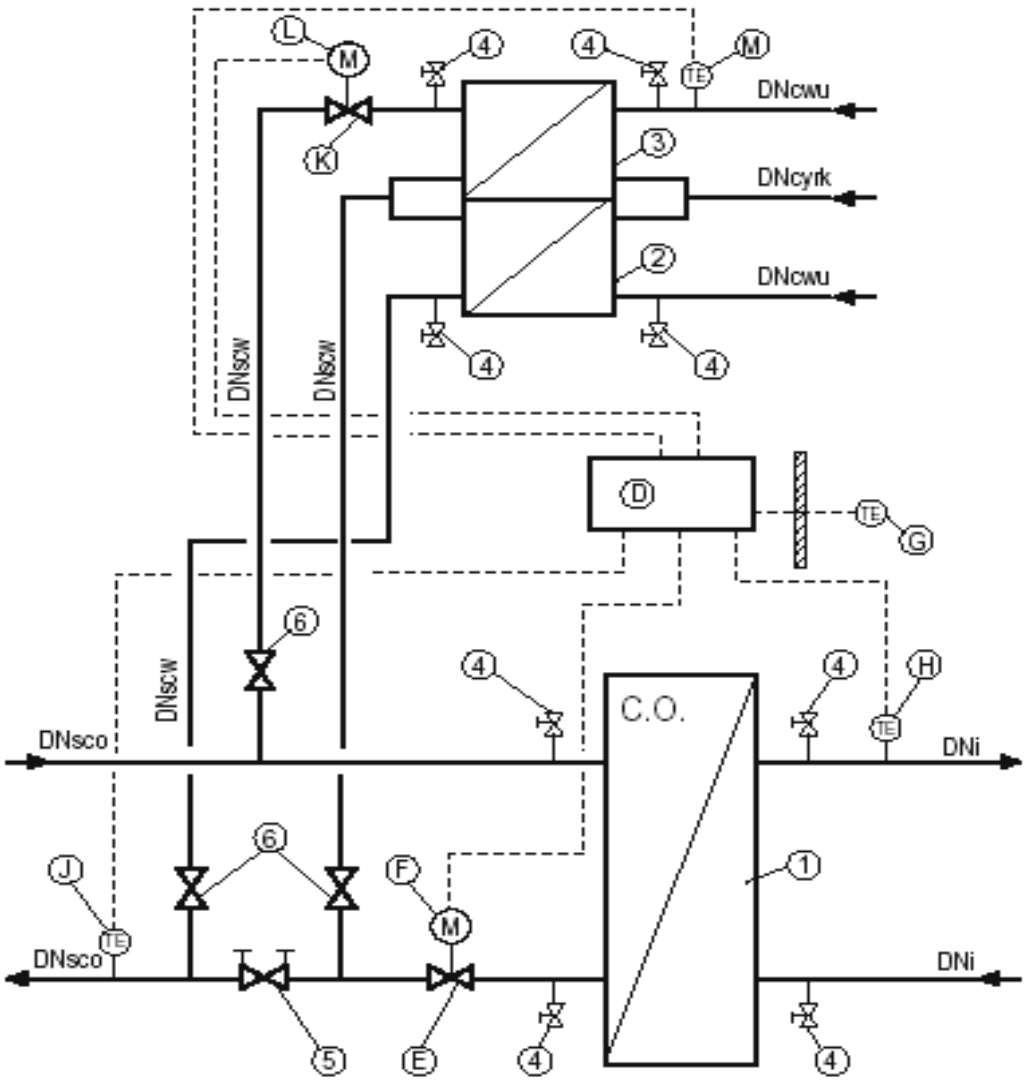
Wśród innych i ważnych kryteriów podziału węzłów pośrednich wymienić należy także ich rozwiązania zasobnikowe i bezzasobnikowe (schematy dalej)

W rozwiązaniu A pompa wymusza przepływ jedynie wody cyrkulacyjnej, zaś w rozwiązaniu z zasobnikiem (B) wykorzystywana jest ona także do ładowania układu.





Przykłady węzłów ciepłej wody bez zasobnika (A) i z zasobnikiem ciepła (B): 1 – wymiennik I-go stopnia, 2 - wymiennik II-go stopnia, 3, 4 – zasilanie i powrót czynnika do sieci ciepłowniczej, 5 – cyrkulacja ciepłej wody, 6 – wodomierz, 7 – pompa cyrkulacyjna



Schemat dwufunkcyjnego rozwiązania węzła ciepłowniczego w budynku wielorodzinnym: 1 – wymiennik dla instalacji ogrzewania, 2 - jw. lecz dla ciepłej wody (1 stopień), 3 – jw. lecz 2 stopień, 4 i 6 – zawór kulowy (∅15), 5 - zawór równoważący, D – regulator pogodowy, E – zawór regulacyjny, F – siłownik, G – czujnik temperatury zewnętrznej, H – czujnik temperatury zasilania, J - czujnik temperatury powrotu, K – zawór regulacyjny, L – siłownik, M - czujnik temperatury

Węzeł ciepłowniczy

Pomiary zużycia ciepła

Oprócz przyrządów tradycyjnych do pomiarów stosuje się oprzyrządowanie dokładniejsze i pozwalające na przetwarzanie wartości wielkości mierzonych na sygnały analogowe, a później na sygnały cyfrowe i wprowadzenie do jednostki komputerowej lub sterownika swobodnie programowalnego

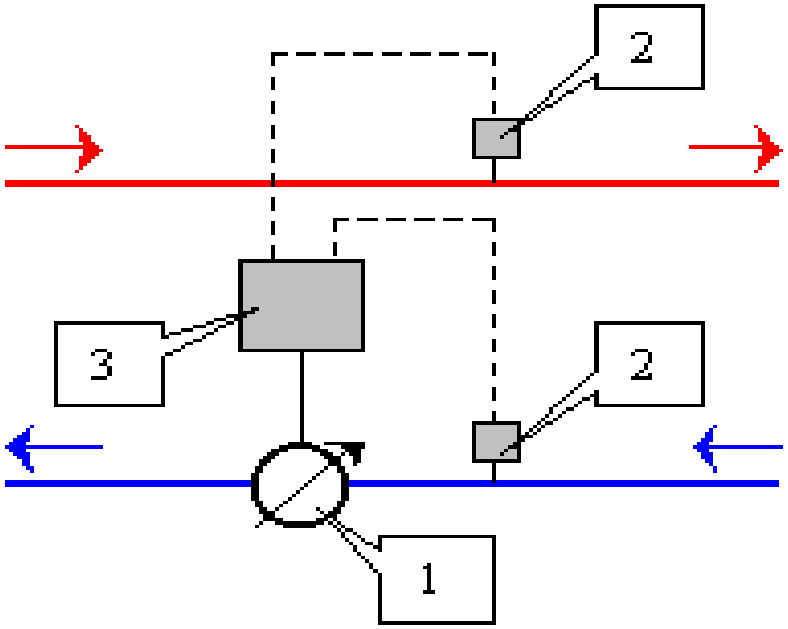
Najczęściej znajdują zastosowanie przyrządy monoblokowe ułatwiające pomiar zużycia ciepła i składające się z co najmniej dwóch czujników temperaturowych, licznika hydraulicznego oraz elektronicznego mechanizmu liczącego (integratora). Przyrząd taki umieszczony na przewodzie zasilającym lub powrotnym odbiera sygnał uzależniony od masy, objętości czynnika grzejnego, który następnie przetwarzany jest przez przelicznik. Zużyte ciepło określane jest więc w wyniku sumowania poszczególnych impulsów.

$$\Sigma Q = \int_{\tau_p}^{\tau_k} \left(G \times \Delta i \times d\tau \right)$$

G jest ilością czynnika, Δi to różnica entalpii właściwych czynnika w temperaturze na zasilaniu i powrocie, zaś τ jest czasem pomiaru

Dokładność wskazań tego typu ciepłomierzy zależy głównie od różnicy temperatur czynnika i waha się w granicach 5÷8%, przy czym wzrost różnicy temperatur powoduje zmniejszenie wartości błędów

Montaż ciepłomierza na przewodzie powrotnym jest bardziej korzystny (patrz rysunek poniżej). **Taki pomiar może być z powodzeniem stosowany w jednofunkcyjnym węźle ciepłowniczym. Jednak przy realizacji drugiej funkcji (przygotowanie ciepłej wody) osobnymi pomiarami objąć należy ilość ciepła zużywaną przy jej realizacji osobnymi pomiarami objąć należy ilość ciepła zużywaną na potrzeby ogrzewania i przygotowania ciepłej wody (co wynika z różnych cen za ciepło).**

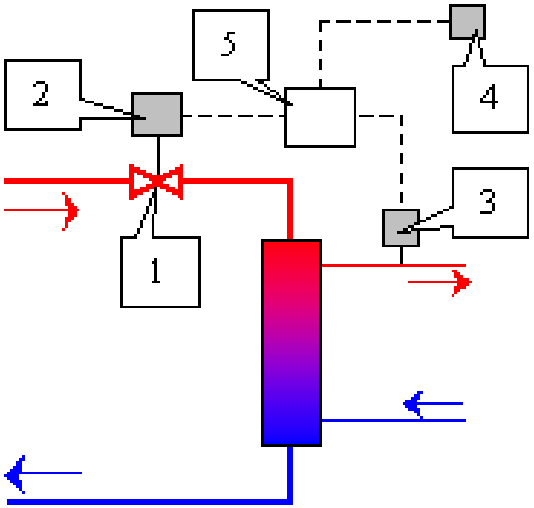


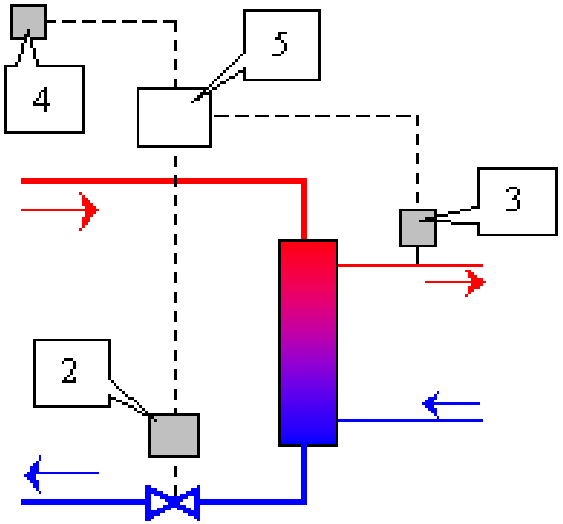
Zasada pomiaru zużycia ciepła: **1 – wodomierz (ciepłomierz), 2 – czujniki temperatury, 3 – przelicznik**

3

Regulacja węzłów ciepłowniczych

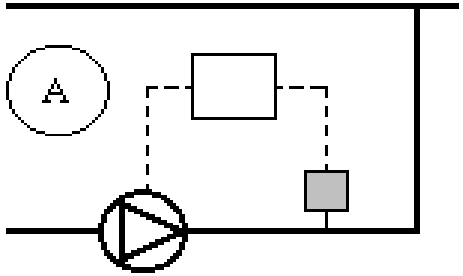
W węzłach ciepłowniczych występują układy regulacji temperatury, ciśnienia i różnicy ciśnień oraz przepływu czynnika. Do regulacji temperatury czynnika dla wewnętrznej instalacji centralnego ogrzewania stosuje się zazwyczaj układy regulacji pośredniej, składające się z czujnika temperatury, umieszczonego na przewodzie zasilającym, regulatora z funkcją tzw. kompensacji pogodowej i czujnika temperatury zewnętrznej oraz dwudrogowego zaworu regulacyjnego, umieszczonym w obiegu pierwotnym na przewodzie zasilającym lub powrotnym.

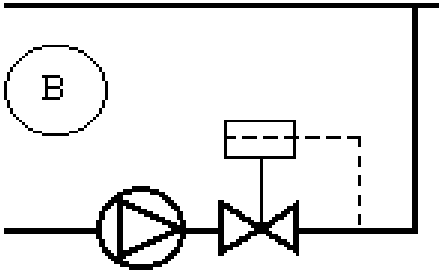




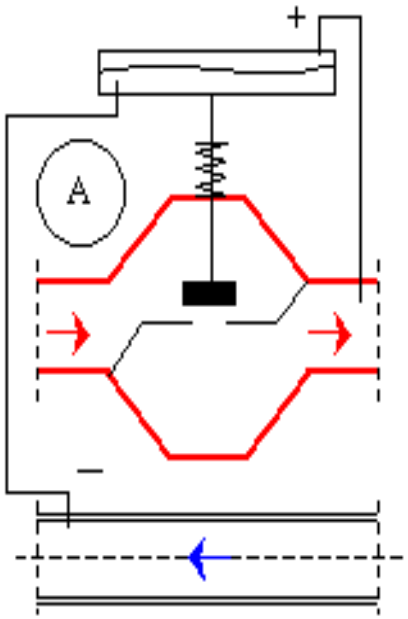
1 - dwudrogowy zawór regulacyjny, 2 – czujnik temperatury czynnika w obiegu pierwotnym, 3 – jw. lecz w obiegu wtórnym, 4 – czujnik temperatury zewnętrznej, 5 – regulator

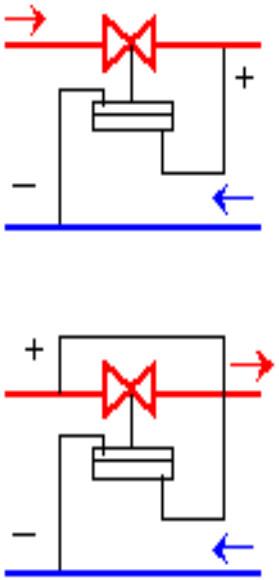
Układy regulacji ciśnienia składają się z czujników ciśnienia, regulatora, reduktorów ciśnienia, itp. Najprostszym rozwiązaniem jest regulacja pompy czujnikiem ciśnienia poprzez regulator decydujący o płynnej zmianie obrotów wirnika pompy i tym samym o utrzymaniu stałej wartości ciśnienia (A). Można także zastosować reduktor ciśnienia (B), co pozwala na pracę pompy przy zmniejszającym się przepływie

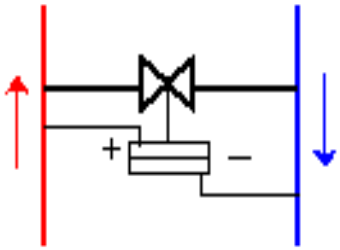




Schematy układu regulacji ciśnienia z czujnikiem i regulatorem (A) oraz z zaworem redukcyjnym (B)



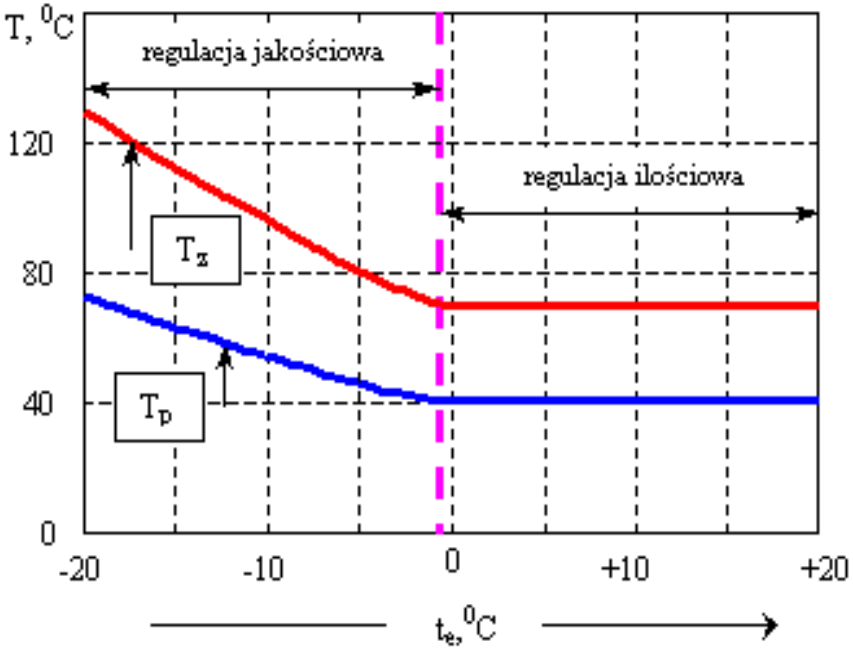




Zasada działania zaworu regulacji różnicy ciśnień (A) oraz wybrane przykłady jego montażu w węźle ciepłowniczym

Zasady regulacji systemów ciepłowniczych

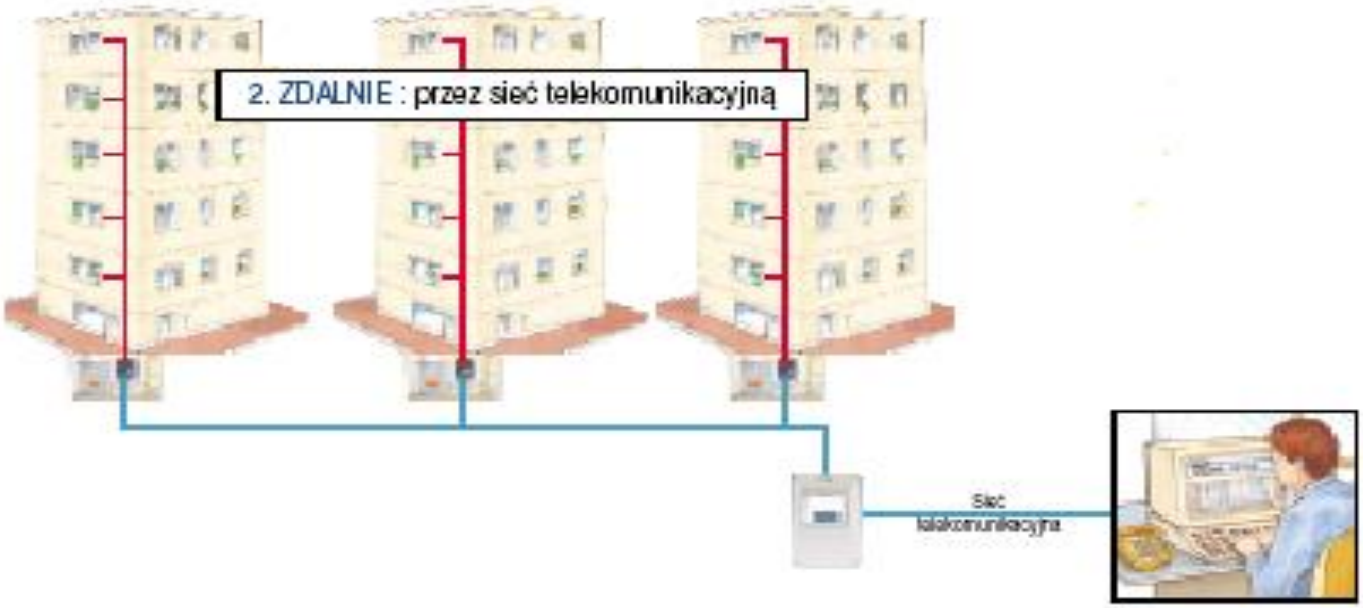
W zewnętrznym źródle ciepła (ciepłowni, elektrociepłowni) regulacji podlega temperatura na wypływie za kotłami (lub za wymiennikami podstawowymi) oraz ciśnienie czynnika w przewodzie zasilającym i powrotnym. Przyjmuje się zazwyczaj, że ilość czynnika może się w trakcie sezonu grzewczego zmieniać

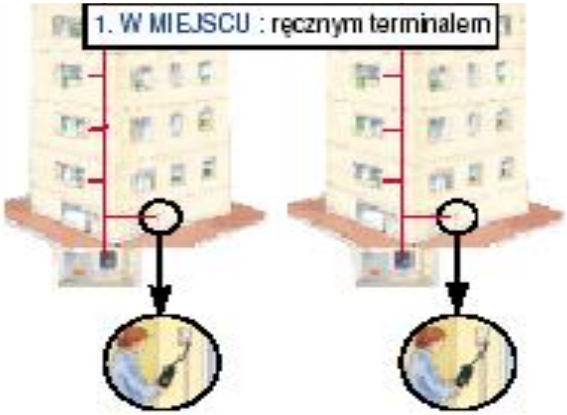


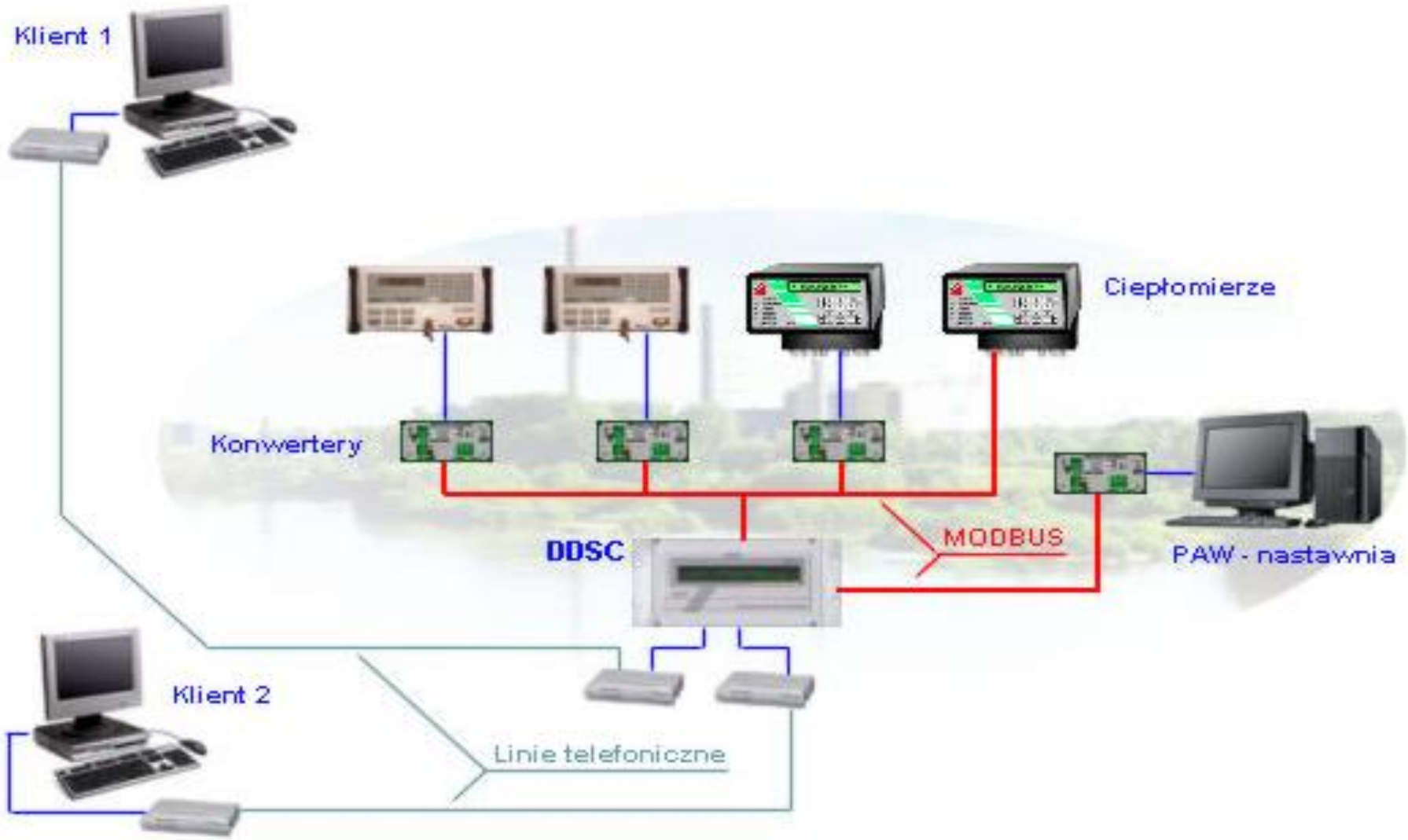
Centralna regulacja w źródle ciepła obsługującym zautomatyzowane systemy ciepłownicze jest regulacją jakościowo-ilościową. Oznacza to, że równocześnie zmieniane powinny być zarówno temperatury jak i strumienie czynnika grzejnego doprowadzanego do węzła (budynku).

Przyjmując, że temperatura ciepłej wody powinna wynosić +55÷60^{0}C, najniższa wartość temperatury czynnika grzejnego nie powinna być mniejsza od +70^{0}C. w efekcie czego, na wykresie regulacji pojawia się linia stałej temperatury

System ręcznego i zdalnego zbierania danych o pracy węzłów ciepłowniczych wyposażonych w ciepłomierze dystrybucyjne



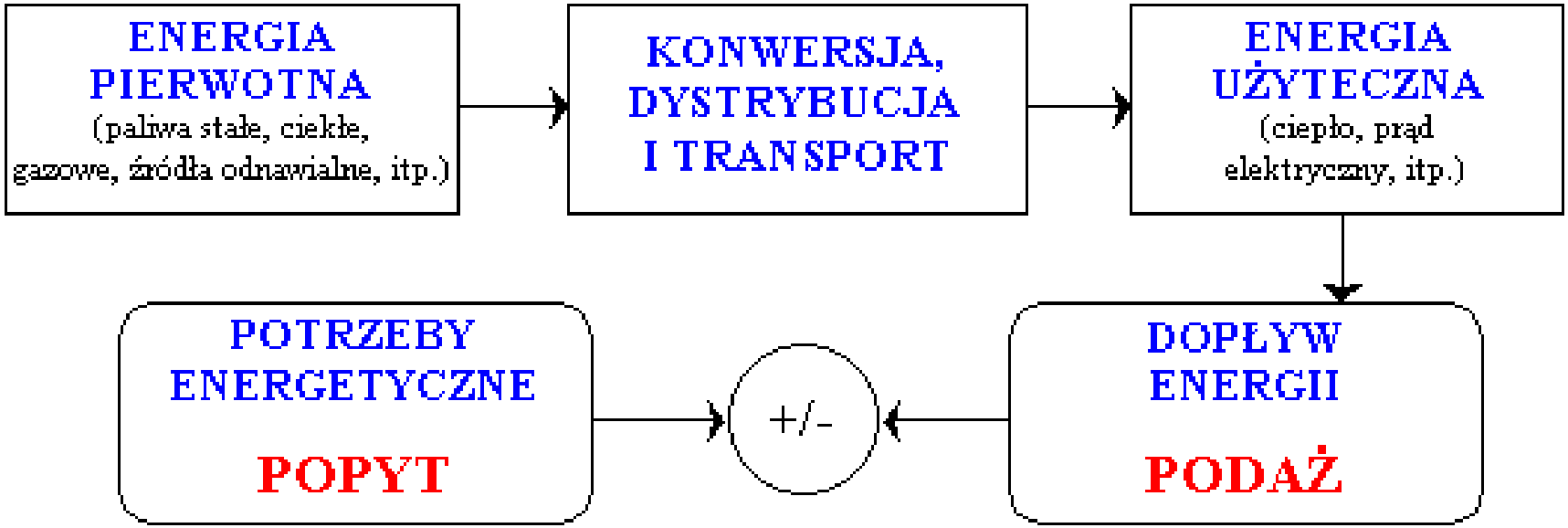


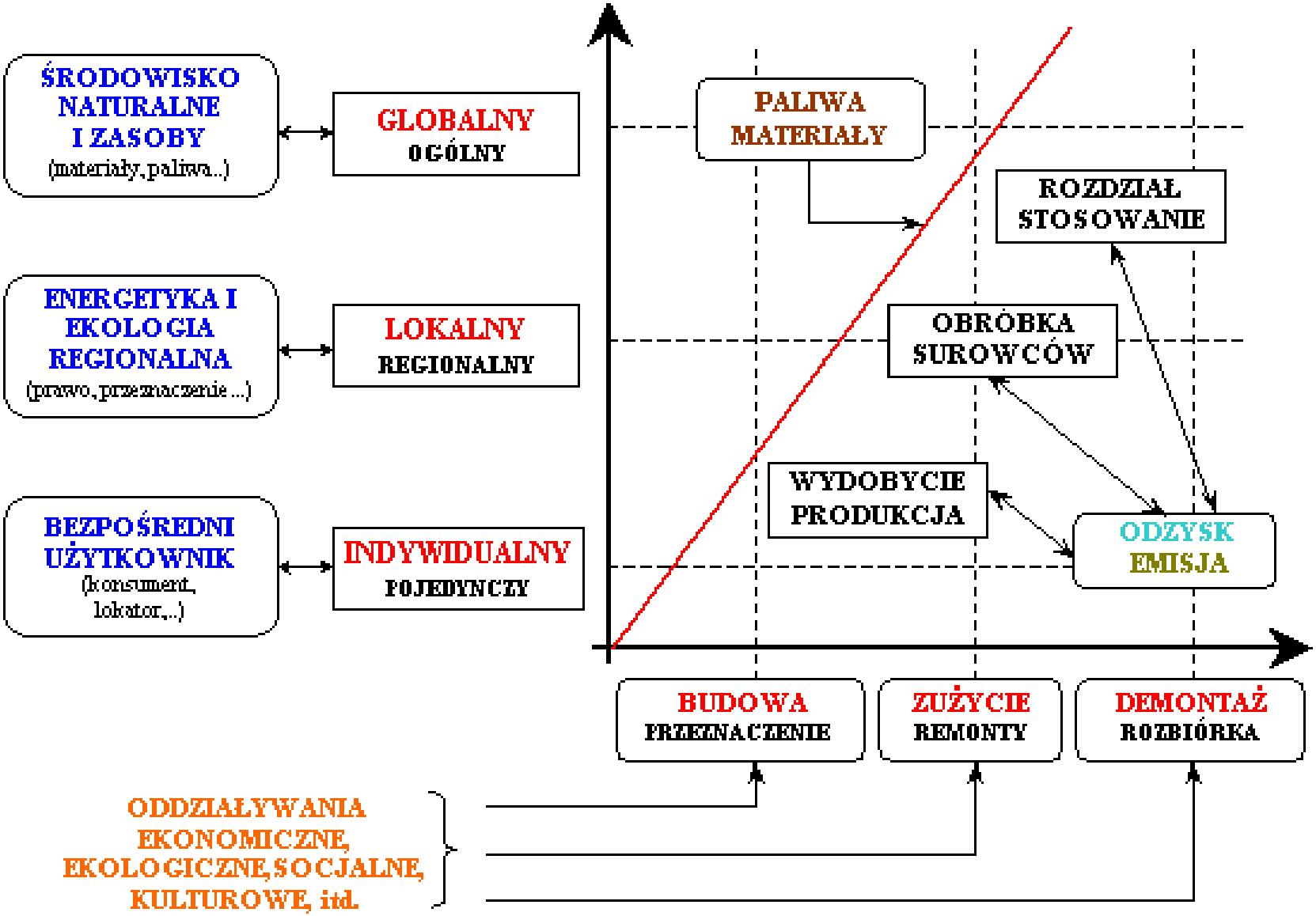


Konstrukcja zdalnego systemu dystrybucji danych ciepłowniczych

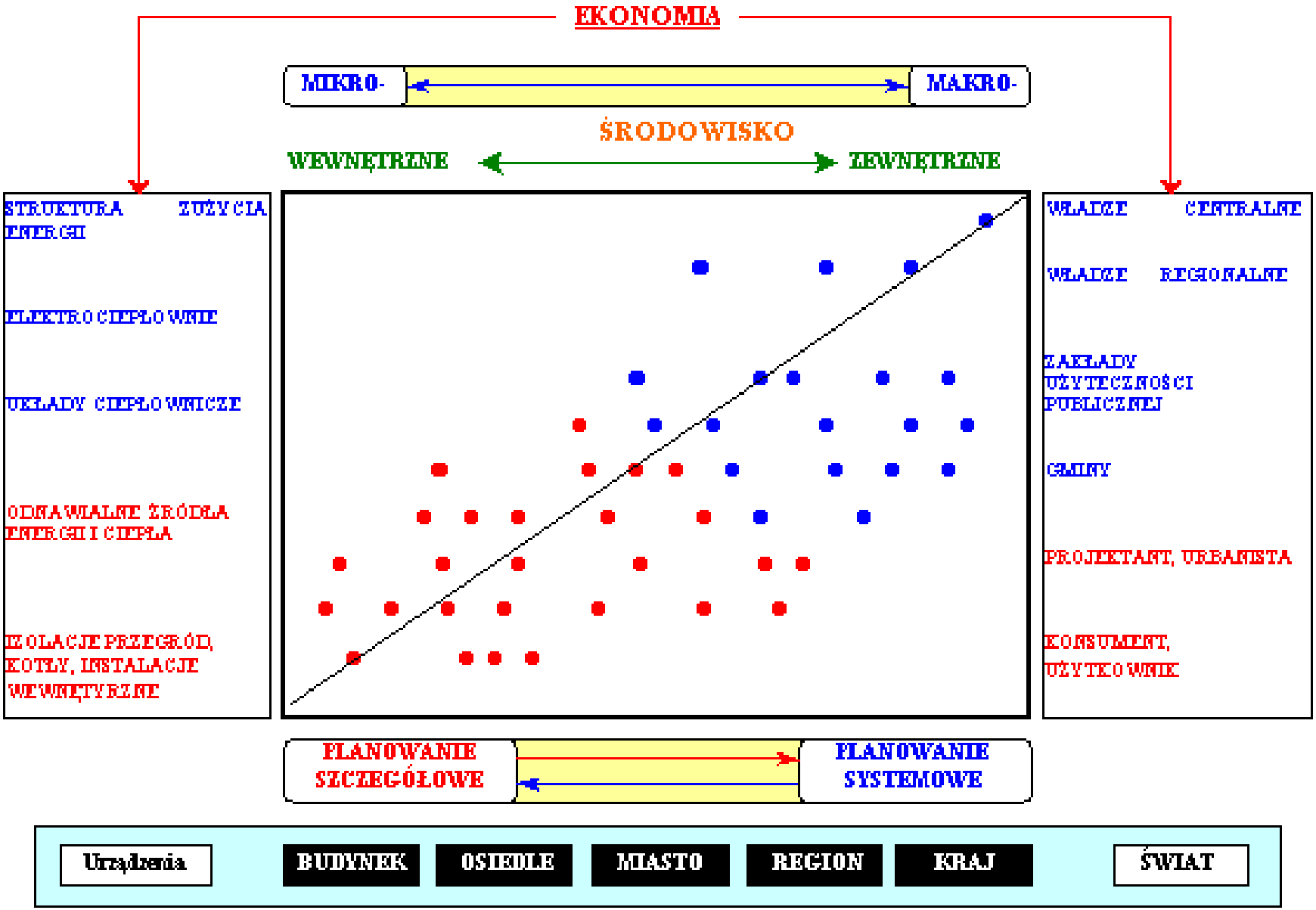
Modernizacja cieplna

Budynki lub ich grupy tworzą specyficzne systemy budowlano-energetyczne o znanych (lub przewidywanych) potrzebach energetycznych wraz z rozwiązaniami układów przetwarzających energię pierwotną na użytkową i transportujących ją na miejsce zużycia. W każdym systemie budowlano-energetycznym wystąpią mniej lub bardziej skomplikowane powiązania pomiędzy wewnętrznymi elementami oraz zewnętrznymi oddziaływaniami.





Wpływy i związki w okresie planowania i funkcjonowania systemów budowlano-energetycznych



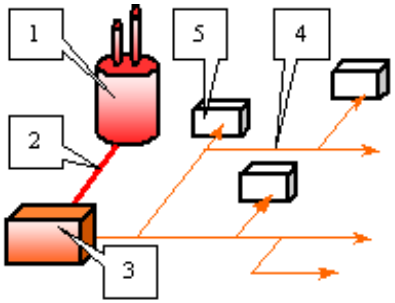
Rodzaje i relacje pomiędzy czynnikami w systemach budowlano-energetycznych

OGÓLNE CELE TERMOMODERNIZACJI

- zmniejszenie strat i zużycia ciepła i energii na cele grzewcze (budynki i instalacje)
- racjonalizacja potrzeb i redukcja zużycia ciepła i energii (eksploatacja budynków i instalacji)

- poprawa komfortu eksploatacyjnego (sposobu użytkowania urządzeń i instalacji)
- poprawa klimatu wewnętrznego oraz eliminacja zagrożeń zdrowia użytkowników

WARUNKI EKONOMICZNE, TECHNICZNE I PALIWOWO-ENERGETYCZNE



MODERNIZACJA DOSTAWY

1 – zewnętrzne źródło energii (centrala)

2 – ciepłownicza sieć o wysokich parametrach

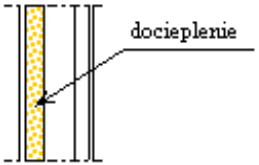
3 – węzły pośrednie, tzw. stacje grupowe

4 – ciepłownicza sieć o niskich parametrach

MODERNIZACJA ODBIORU

6 – wewnętrzne źródło ciepła (kotły z osprzętem i opomiarowaniem)

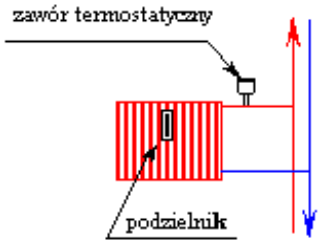
7 – wewnętrzne źródło ciepła (węzły ciepłownicze z opomiarowaniem)



MODERNIZACJA BUDYNKÓW

8 – zwiększenie izolacyjności cieplnej ścian pełnych i oszklonych (zmniejszenie potrzeb cieplnych)

9 – renowacja lub wymiana instalacji i urządzeń, opomiarowania, itp.



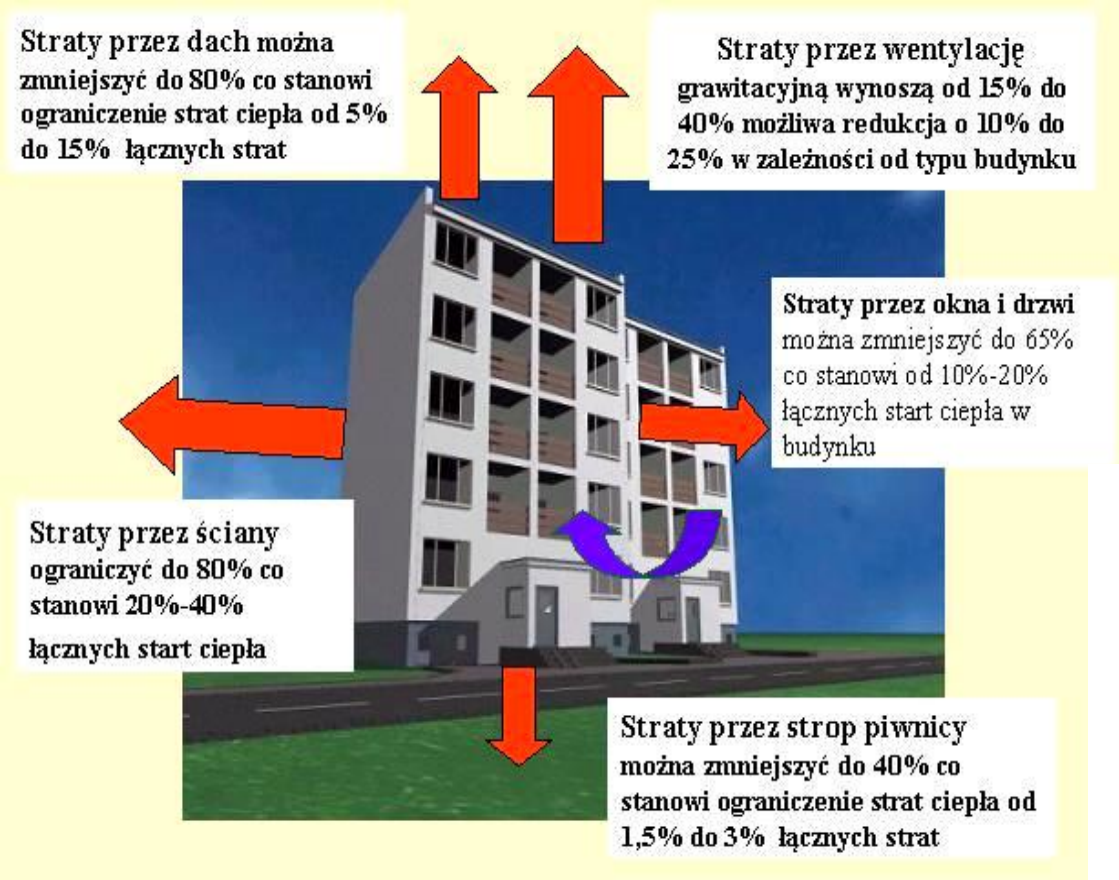
MODERNIZACJA UŻYTKOWANIA

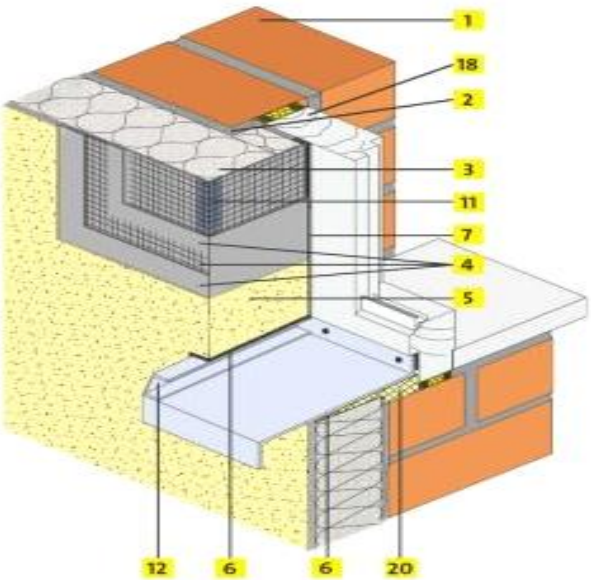
10 – regulacja wewnętrznej sieci przewodów (np. termostaty, sterowniki, itp.

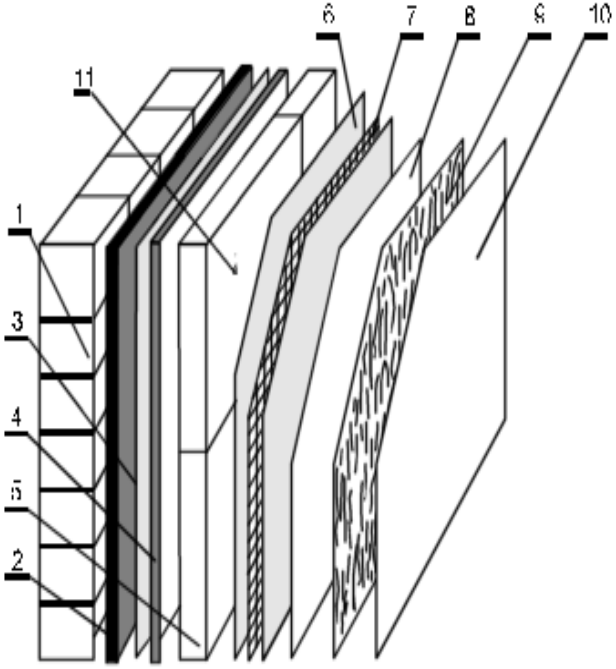
11 – wdrożenie systemu opłat (np. podział kosztów ogrzewania, podzielniki kosztów, itp.)

Weryfikacja założeń i ewentualne ich zmiany, zarządzanie, monitoring, itp.

?







Przykłady technik ocieplania przegród zewnętrznych

WEWNĘTRZNE ŹRÓDŁA CIEPŁA (KOTŁY)

substytucja paliwa stałego na paliwo ciekłe (olejowe), gazowe, aparatura kontrolno-pomiarowa i automatyczna regulacja procesu spalania paliw, sterowniki pogodowe,....

WĘZŁY CIEPŁOWNICZE

zastąpienie przestarzałych rozwiązań (np. hydroelewatorowych) lub wymiana zużytych na wymiennikowe, założenie licznika ciepła i ich wyposażenie w układy automatycznej regulacji oraz sterowniki,...

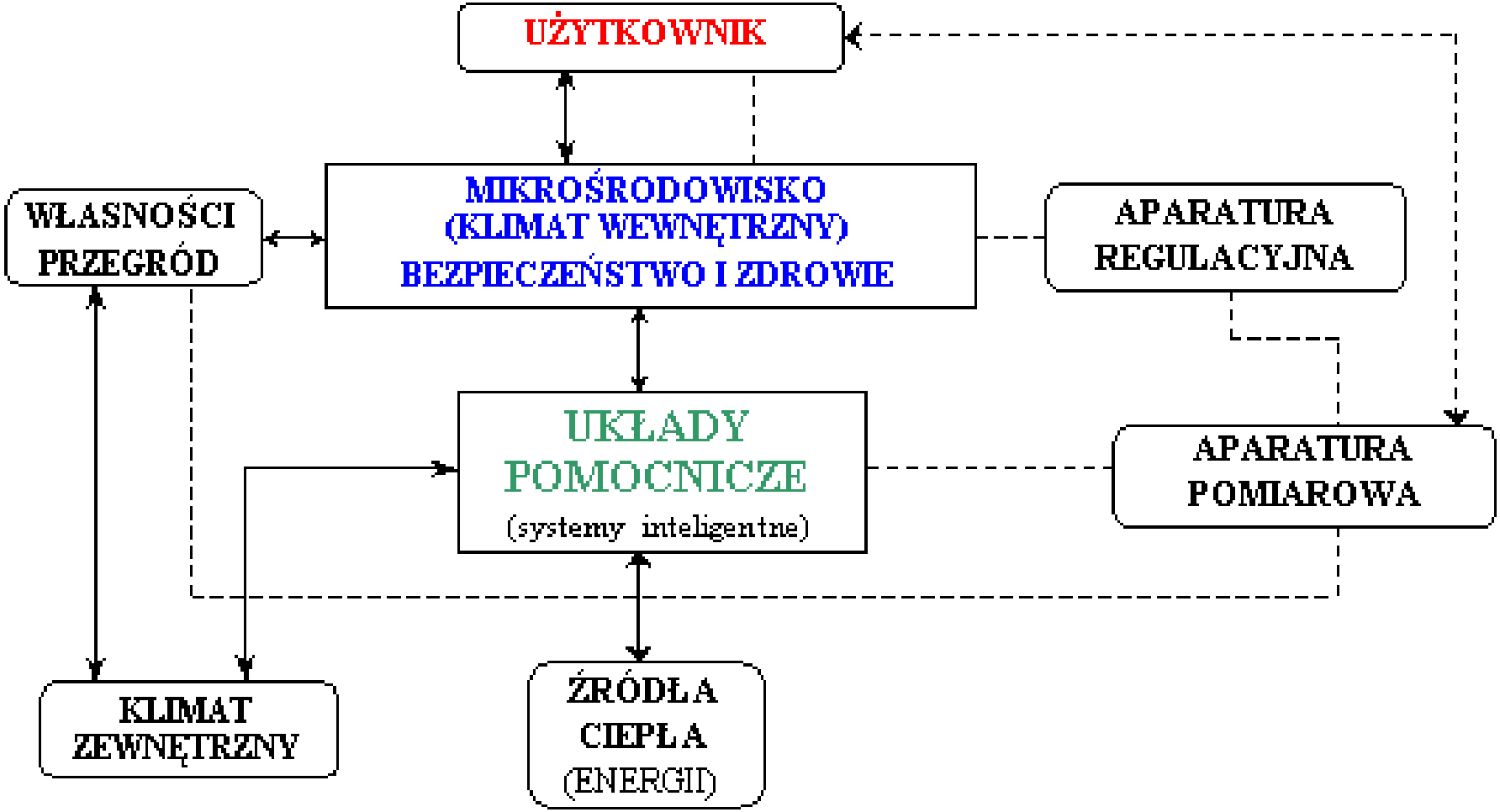
INSTALACJA OGRZEWANIA

chemiczne płukanie instalacji, jej odbudowa w postaci układu hermetycznego (przeponowe NW, miejscowe odpowietrzenia), zmiana powierzchni grzejników oraz wyposażenie w bezdławnicową armaturę i urządzenia,...

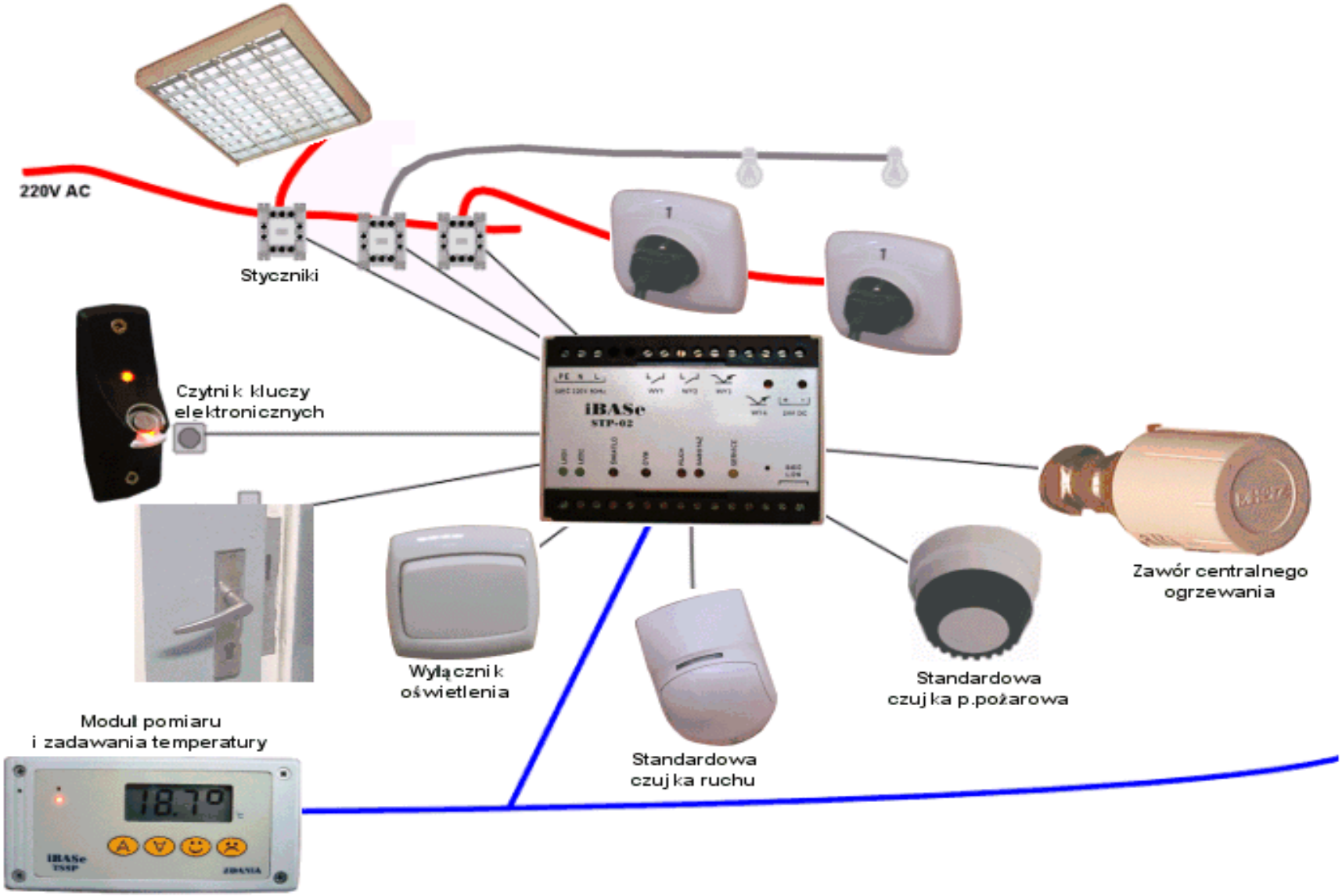
ZAWORY TERMOSTATYCZNE

zawory ze wstępną nastawą (lub bez), ewentualnie zawory zwrotne ze wstępną nastawą (na przewodzie powrotnym) oraz podpionowe zawory regulacyjno-pomiarowe,...

WPROWADZENIE SYSTEMU OPŁAT

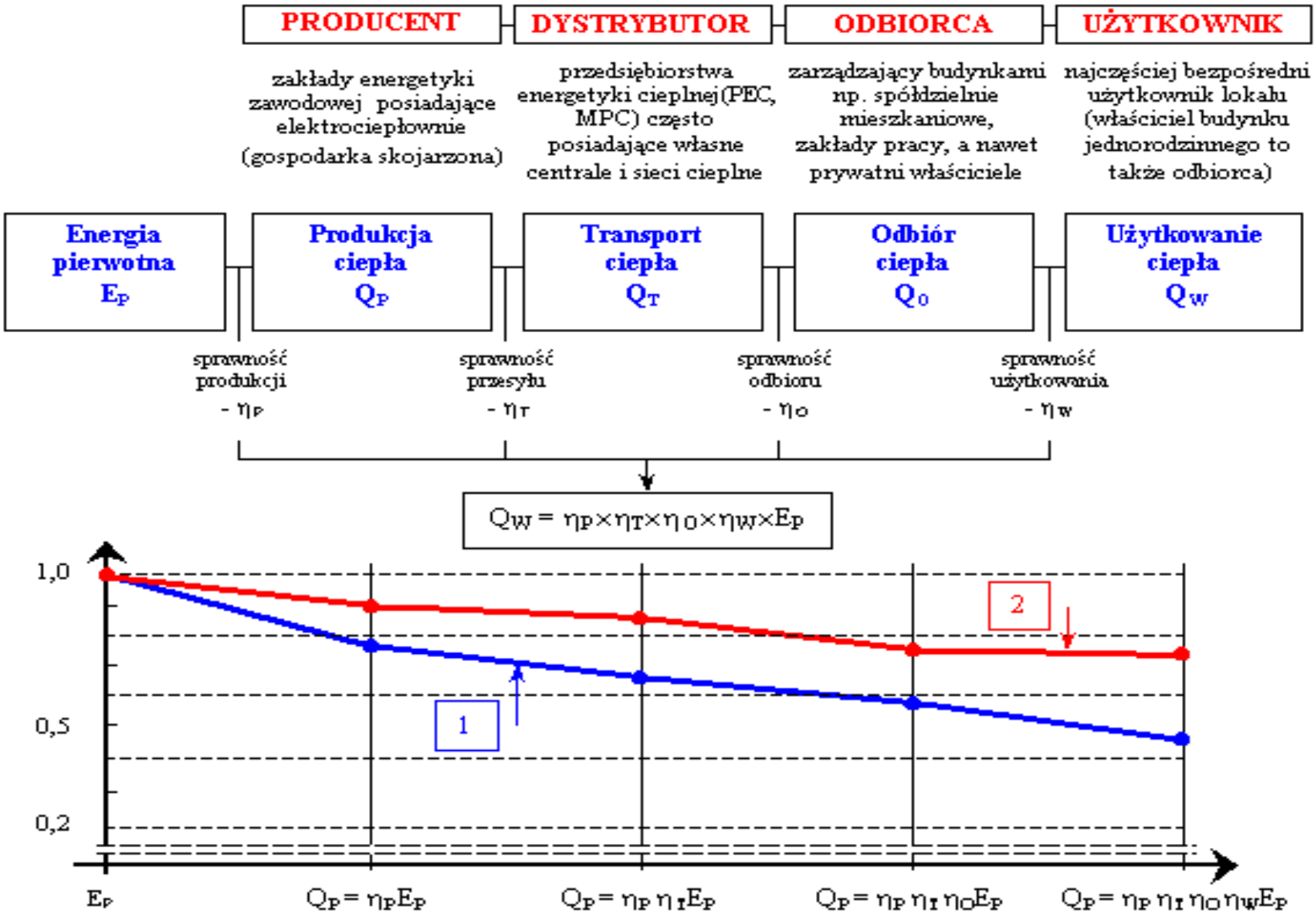


Współzależności między elementami tworzącymi oraz współdecydującymi o walorach użytkowych budynków i położonych w nich pomieszczeniach


220V AC
Styczniki
Czytnik kluczy elektronicznych
iBASe
STP-02
Zawór centralnego ogrzewania
Wyłącznik oświetlenia
Standardowa czujka p.pożarowa
Standardowa czujka ruchu
Moduł pomiaru i zadawania temperatury
18.7°
iBASe
TSSP

GŁÓWNE ETAPY		OPIS ZAKRESU DZIAŁAŃ
ZADANIA	SFORMUŁOWANIE PROBLEMU	• Obniżenie zużycia energii (i w efekcie zmniejszenie kosztów dostawy) • Racjonalizacja zużycia energii (nie zawsze możliwe jest obniżenie kosztów) • Poprawa warunków eksploatacji • **Poprawa komfortu użytkowania pomieszczeń (warunki cieplne i zdrowotne)** • Ograniczanie negatywnych oddziaływań na środowisko zewnętrzne
DIAGNOSTYKA	OCENA STANU ISTNIEJĄCEGO	• Zebranie danych o budynku i jego wyposażeniu (rodzaj budynku, jego przegrody, rodzaj instalacji: ogrzewania, ciepłej wody, **wentylacji**, gazowej, **wodociągowej, kanalizacyjnej**., elektrycznej, itd.) • Dokumentacja projektowa (lub remontowa), aktualne przepisy i zarządzenia, badania ankietowe, **pomiary**, itd. • Opomiarowanie, sposób regulacji, taryfy opłat, aktualne zużycie energii (**specyfika dostawy i zużycia energii**) • **Badania modelu zachowań budynku (relacje zużycia energii w różnych warunkach - systematyczne pomiary lub symulacje)** • Identyfikacja przyczyn istniejącego stanu rzeczy wraz ze wskazaniem odpowiedzialnych elementów
USPRAWNIENIA	PEŁNA LISTA PRZEWIDYWANYCH DZIAŁAŃ	• Formułowanie propozycji usprawnień dotyczących budynku i jego wyposażenia (przegrody, źródła i nośniki energii, straty energii przy jej produkcji, transporcie i użytkowaniu, regulacja i automatyzacja, odzysk energii, sposoby opłat, itd.) • **Kryteria i narzędzia** do oceny skuteczności i opłacalności poszczególnych przedsięwzięć i ich wariantów • Zaplanowanie i wskazanie zakresu działań modernizacyjnych • Wybór i wskazanie źródeł finansowania (np. środki własne, dotacje zewnętrzne, kredyty, itp.)
WERYFIKACJA	ZBIERANIE DANYCH I OCENA EFEKTÓW MODERNIZACJI	• **Rozwiązanie problemu opłat za usługi energetyczne (szczególnie w zakresie użytkowania ciepła) z uwzględnieniem specyfiki pomieszczeń i budynków** • **Opracowanie, dostosowanie i wdrożenie metod ciągłej lub okresowej rejestracji związków pomiędzy zużyciem energii (na różne cele), a warunkami zewnętrznymi (parametry klimatu) oraz wewnętrznymi (mikrośrodowisko)** • **Tworzenie baz danych o budynkach, ich wyposażeniu, wprowadzanych usprawnieniach i uzyskanych efektach (energetycznych, ekologicznych, socjalnych, itd.)**

BADANIE EFEKTÓW PRZEPROWADZONYCH PRAC



Ciąg działów układów ciepłowniczych oraz ocena zakresu możliwości poprawy ich funkcjonowania z uwagi na sprawność poszczególnych etapów systemu. Oznaczenia: 1 – krajowy stan wyjściowy (rok 1995), 2 – stan ciepłownictwa zachodnio-europejskiego