

## Maszyny przepływowe

Wykorzystanie równania Bernoulliego.

Obliczenie spadków ciśnienia na odcinkach prostych oraz strat miejscowych.

Dobór pomp i wentylatorów



[[www.endress.com](http://www.endress.com)]

---

# Literatura

- 1) Hermann Recknagel, Eberhard Sprenger , Ernst Schramek :  
„Kompendium wiedzy. Ogrzewnictwo, klimatyzacja, ciepła woda,
- 2) Ryszard Tytko: „Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej”,
- 3) Albers Joachim „Systemy centralnego ogrzewania i wentylacji.  
Poradnik dla projektantów i instalatorów”,
- 4) Halina Koczyk: „Ogrzewnictwo praktyczne”,
- 5) [www.instsani.pl](http://www.instsani.pl),
- 6) [www.viessmann.pl](http://www.viessmann.pl),
- 7) Praca zbiorowa pod redakcją M. Mieszkowskiego, Pomiary cieplne  
i energetyczne W N T
- 8) E. Romer Miernictwo przemysłowe P W N
- 9) M. Strzeszewski ”Obliczenia hydrauliczne instalacji centralnego  
ogrzewania. Materiały do zajęć z ogrzewnictwa”

## Maszyny przepływowe

Pompy,  
Sprężarki,  
Wentylatory.



[www.rynekinstalacyjny.pl](http://www.rynekinstalacyjny.pl)

## Maszyny przepływowe

---

### Pompy

Pompy są maszynami szeroko stosowanymi w różnych dziedzinach przemysłu i gospodarki. Są to urządzenia przeznaczone do transportowania cieczy.

Organami roboczymi, przy pomocy których przekazywana jest cieczy energia, mogą być: wirnik (czyli rotor wirujący podczas pracy wokół osi), tłok (czyli element maszyny, który przyjmuje nacisk lub wywiera go na gaz, ciecz lub inną substancję, przekazując do niej lub odbierając od niej energię) lub membrana.

Ich zadaniem jest wytworzenie podciśnienia, w efekcie którego dochodzi do zasysania cieczy i tłoczenia jej.

Przy charakterystyce pomp bierze się pod uwagę przede wszystkim dwa parametry: wydajność (mierzoną w  $\text{dm}^3/\text{s}$  przepompowywanej cieczy) oraz wysokość podnoszenia (m) lub maksymalne ciśnienie (Pa).

## Pompy

Układem pompowym nazywamy układ składający się z rury ssawnej pompy i rury tłocznej. Zarówno pompy, jak i układy pompowe – w zależności od warunków pracy – dzieli się na:

- **ssące** – jeżeli pompa znajduje się powyżej dolnego i górnego zwierciadła cieczy;
- **ssąco-tłoczące** – jeśli pompa znajduje się powyżej dolnego, ale poniżej górnego zwierciadła cieczy;
- **tłoczące** – jeśli pompa znajduje się poniżej dolnego i górnego zwierciadła cieczy.

Parametrami układu pompowego są: wysokość podnoszenia ( $H$ ), wydajność ( $Q$ ) i moc ( $P$ ). Moc układu pompowego jest iloczynem wysokości podnoszenia  $H$  i wydajności  $Q$

## Maszyny przepływowe

---

Ze względu np. na sposób wytwarzania energii wyróżnić można:

- pompy wirowe (przepływowe);
- pompy wyporowe.

**Pompy wirowe** - należą do najczęściej stosowanych. Ich najważniejszym elementem jest bardzo szybko obracający się wirnik łopatkowy, który może mieć różną konstrukcję. Wirując powoduje on wzrost ciśnienia i energii kinetycznej cieczy. W efekcie następuje proces ciągłego zasysania cieczy we wlocie, a po stronie tłocznej pompy wytwarza się nadwyżka ciśnienia.

**Pompy wyporowe** - to inaczej pompy objętościowe, w których zamiana energii mechanicznej w hydrauliczną następuje za pośrednictwem ruchomego, szczelnie dopasowanego do korpusu, w którym się porusza, elementu roboczego: tłoka w przypadku pomp wyporowych tłokowych lub wirnika w przypadku pomp rotacyjnych. Poruszanie się elementu prowadzi do powstawania różnicy ciśnień przed nim i za nim, a wskutek tego – zasysanie i wytłaczanie cieczy.

## Pompy

Ze względu na budowę pompy wirowe możemy podzielić na dwie grupy, pompy dławnicowe oraz pompy bezdławnicowe.

- **Pompa obiegowa dławnicowa** – rodzaj pompy wirowej, w której elektryczny silnik napędowy jest całkowicie oddzielony od pompowanej cieczy.
- **Pompa obiegowa bezdławnicowa** (mokrobieżna) – w tej konstrukcji wszystkie obracające się części wewnątrz silnika o biegunach dzielonych są zanurzone w przetłaczanym medium



[[www.wilo.pl](http://www.wilo.pl)]

## Pompy do c.o. i c.w.u. - obiegowe i cyrkulacyjne

Współczesne **instalacje centralnego ogrzewania** pracują z urządzeniami wymuszającymi obieg czynnika grzewczego.

**Pompy** umożliwiają zastosowanie mniejszych średnic przewodów i swobodniejsze ich prowadzenie. Małe przekroje i krótsza instalacja pozwalają na mniejszą pojemność zładu, a tym samym mniejszą bezwładność i wraz z szybkim obiegiem medium wywołanym przez pompy umożliwiają regulację ilościową i jakościową instalacji.

W polskiej branży instalacyjnej i w informacjach producentów pojęciem pompy obiegowe określa się pompy do wymuszania obiegu medium w instalacjach c.o., systemach ogrzewania podłogowego i klimatyzacji oraz instalacjach przemysłowych. Natomiast pod nazwą pompy cyrkulacyjne kryją się pompy stosowane w instalacjach c.w.u.

## Pompy do c.o. i c.w.u. - obiegowe i cyrkulacyjne

W domowych instalacjach grzewczych stosuje się głównie hermetyczne pompy bezdławnicowe z zamocowanym w konstrukcji pompy silnikiem.

Konstrukcja bezdławnicowa powoduje, że zarówno silnik pompy, jak i łożyska ślizgowe chłodzone i smarowane są przepływającą wodą.

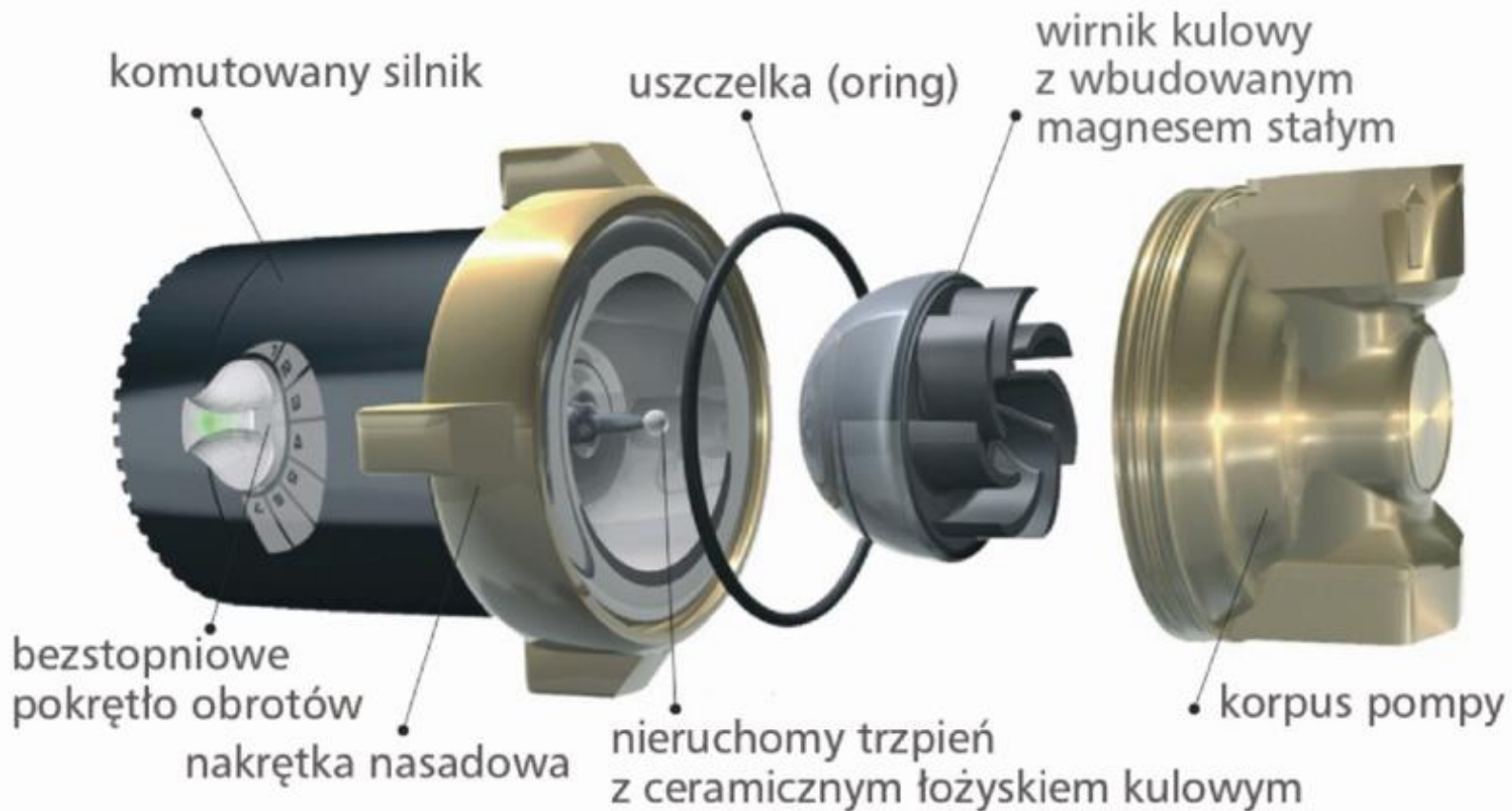
Ponadto pompy bardzo cicho pracują.

Kryterium ograniczającym stosowanie pomp bezdławnicowych jest twardość wody, jeśli przekracza 14°dH, zaleca się stosowanie pomp z „suchym” silnikiem, czyli pomp dławnicowych.

Pompy bezdławnicowe do c.o. mają korpusy wykonane z żeliwa, wirniki z tworzyw sztucznych lub stali nierdzewnej. Odpowietrzenie pompy może być ręczne lub automatyczne. Pompy obiegowe wykonywane są z przyłączami śrubunkowymi lub kołnierzowymi.

## Maszyny przepływowe

### Pompa cyrkulacyjna



[instalreporter.pl]

## Sprężarki

**Sprężarki** – sprężają zasysane z atmosfery powietrze do żądanego ciśnienia roboczego. Są to maszyny energetyczne, których zadaniem jest podwyższenie ciśnienia gazu lub wymuszenie jego przepływu, nadanie energii kinetycznej.

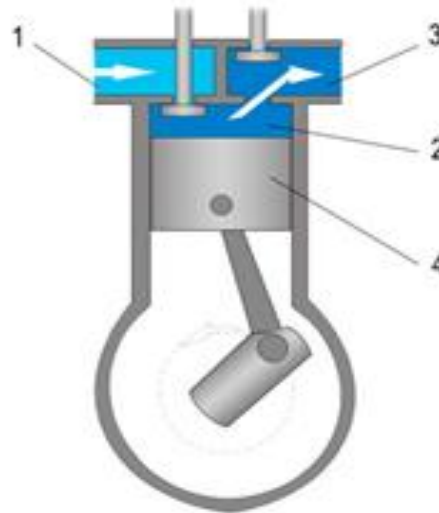
### Podział ze względu na stosunek sprężania

- wentylatory,
- dmuchawy,
- kompresory.

## Sprężarki tłokowe

Jedna z najbardziej rozpowszechnionych grup sprężarek stosowanych do wytwarzania sprężonego powietrza w przemysłowych instalacjach. Sprężarki tłokowe służą do uzyskiwania ciśnień wyjściowych w zakresie od 0,1 MPa (1 bar) do kilkunastu MPa (kilkadziesiąt bar).

Elementem ruchowym sprężarek jest napędzany tłok wykonujący ruchy posuwisto-zwrotne, zasysający powietrze atmosferyczne i sprężający je a następnie przesyłający do obszaru tłoczenia. Schemat konstrukcji sprężarki tłokowej przedstawia rysunek poniżej:



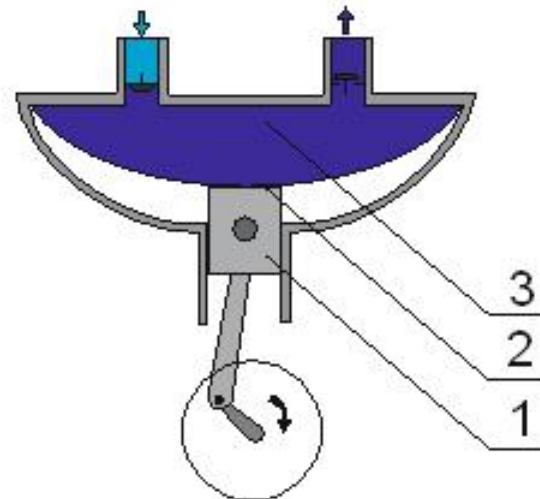
- 1 - Komora ssania sprężarki
- 2 - Komora robocza
- 3 - Obszar tłoczenia
- 4 - Tłok

[[www.hafner.pl](http://www.hafner.pl)]

## Maszyny przepływowe

**Sprężarki membranowe** zwane również przeponowymi posiadają tłok poruszający membranę sprężającą powietrze. Jest on oddzielony od komory sprężania. Brak jest kontaktu bezpośredniego ze sprężanym powietrzem w związku z czym nie jest ono zanieczyszczane olejem stosowanym do smarowania tłoka. Takie sprężarki znajdują zastosowanie tam gdzie wymagane jest powietrze o bardzo wysokiej czystości (przemysł farmaceutyczny, lakierniczy, spożywczy, chemiczny itp.).

Budowę sprężarki membranowej ilustruje poniższy schemat:



- 1 - Tłok
- 2 - Membrana
- 3 - Komora sprężania

[www.hafner.pl]

## Sprężarki śrubowe

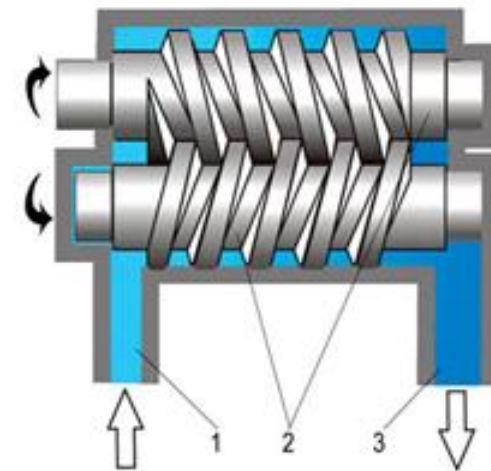
Sprężarki śrubowe są to urządzenia, do wytwarzania sprężonego powietrza, o dwóch obracających się wałach.

Wały mają profil śruby i są asymetryczne względem siebie.

Zasada działania oparta jest o powstawanie wewnętrznych komór roboczych, gdzie następuje sprężanie powietrza pomiędzy dwoma wirnikami o kształcie śruby.

Powietrze w tych komorach przemieszcza się od strony ssania do kanału wylotowego.

- 1 - kanał wlotowy
- 2 - asymetryczne wirniki śrubowe
- 3 - kanał tłoczenia



[www.hafner.pl]

## Wentylatory

### Wentylatory

Wentylatory mają za zadanie przetłaczanie powietrza i wytwarzanie różnicy ciśnienia niezbędnej do pokonania oporów przepływu powietrza przez instalacje.

Parametry pracy wentylatora

- spiętrzenie wentylatora,
- wydajność,
- moc silnika -  $N_w$ ,
- sprawność całkowita  $-\eta$ ,
- prędkość obrotowa wirnika wentylatora –  $n$ ,



**Kryteria klasyfikacji wentylatorów :**

- spiętrzenie wentylatora,
- wydajność,
- prędkość obrotowa wirnika,
- hałaśliwość pracy,
- dopuszczalna wartość temperatury i stopień zanieczyszczenia powietrza,
- stopień odporności na działanie agresywnych substancji.

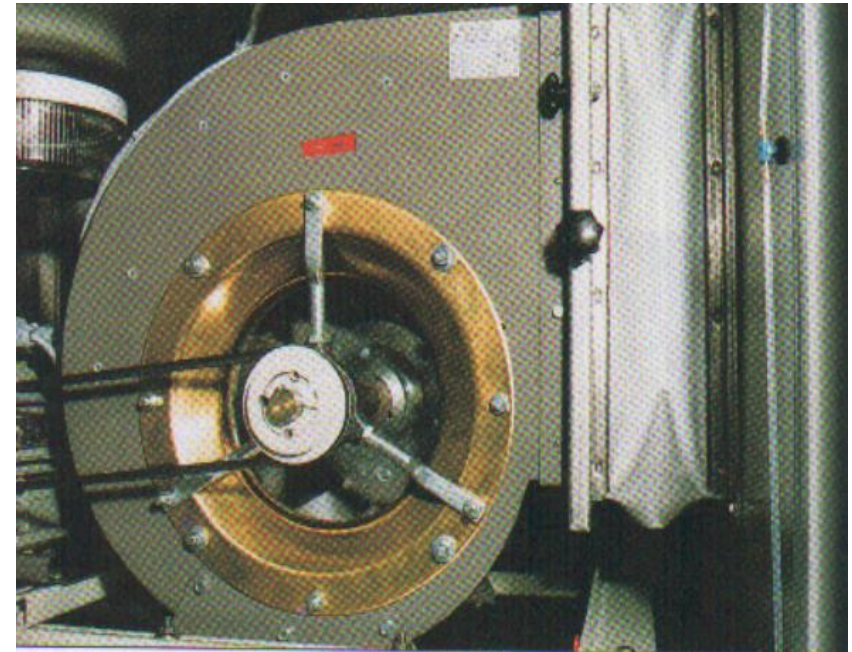
Podział wentylatorów w zależności od głównego kierunku przepływu nośnika przez wirnik, wentylatory dzieli się na:

- promieniowe,
- osiowe.

## Wentylatory

**W wentylatorach promieniowych** powietrze jest zasysane równoległe do osi obrotu wirnika i tłoczone w kierunku promieniowym, a zatem prostopadle do osi obrotu.

Gdy wirnik obraca się, wówczas na skutek działania łopatek, powietrze przepływa od środka wentylatora na zewnątrz przez kanały międzyłopatkowe.

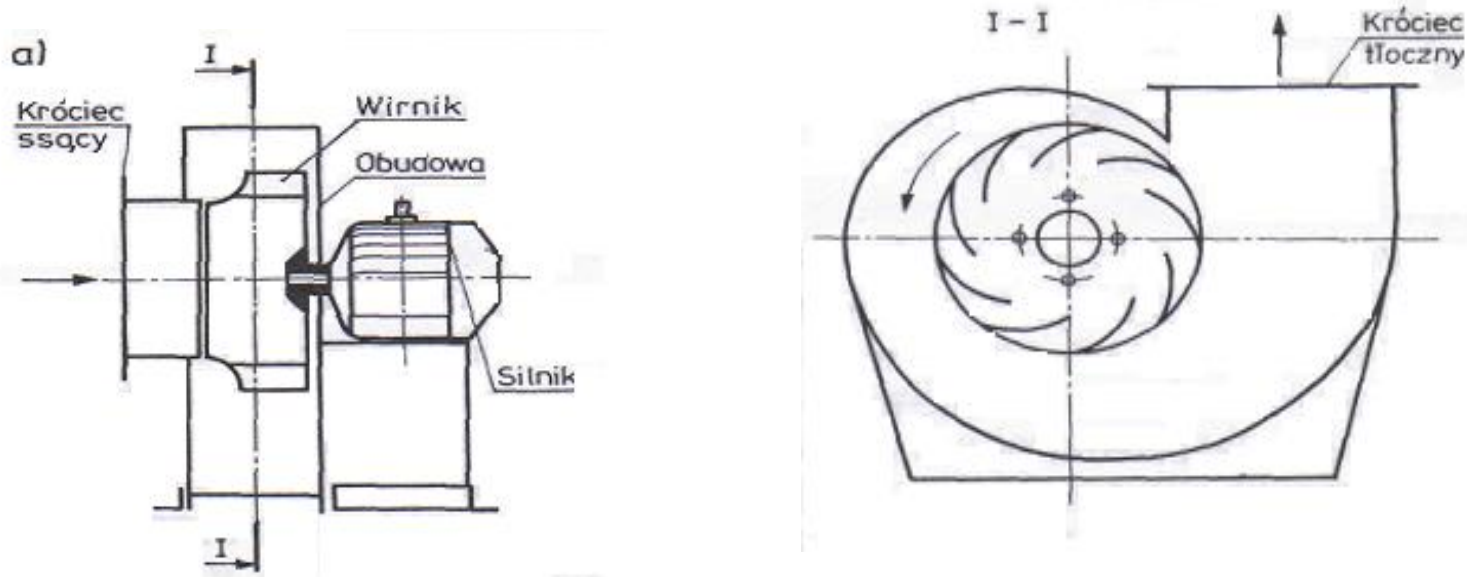


[Źródło 3]

## Wentylatory

### Wentylatory promieniowe

Otwór wlotowy wentylatora promieniowego jest okrągły, a wylotowy prostokątny lub kwadratowy.



[Źródło 5]

## Wentylatory

### Wentylatory osiowy

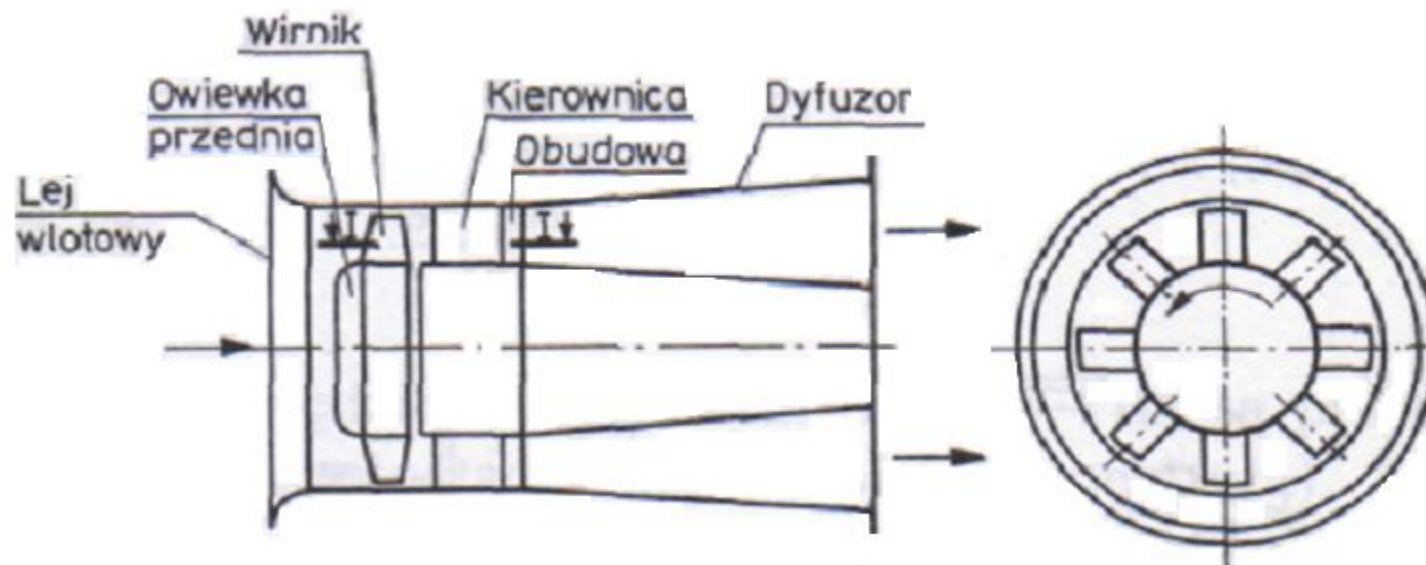
**Wentylator osiowy** składa się z obudowanego wirnika wyposażonego w 2 – 12 łopatek, osadzonego bezpośrednio na wale silnika.

Przy wirniku znajdują się owiewki. W niektórych typach wentylatorów osiowych stosowane są kierownice o specjalnej konstrukcji, co umożliwia uzyskanie osiowego przepływu powietrza i częściowej zamiany energii kinetycznej na energię ciśnienia (potencjalną).



## Wentylatory

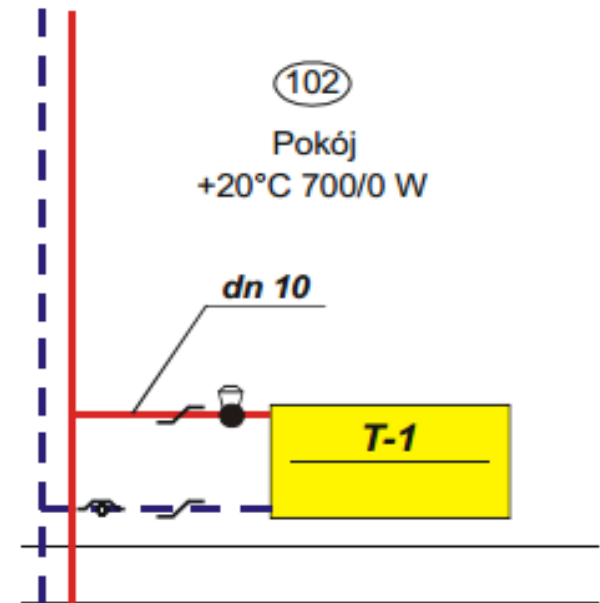
### Wentylator osiowy



[Źródło 5]

## Wykorzystanie równania Bernoulliego.

Obliczenie spadków ciśnienia na odcinkach prostych oraz miejscowych strat ciśnienia.



[Źródło 3]

## Opory przepływu w rurociągach

Zmniejszenie ciśnienia w rurociągach spowodowane jest oporami tarcia płynu podczas przepływu i oporami powstającymi przy zmianie kierunku przepływu lub kształtu geometrycznych rurociągu.

Opory przepływu zależą od:

- długości rurociągu,
- jego średnicy,
- prędkości przepływu,
- gęstości przepływającego czynnika,
- chropowatości ścianek,
- lepkości cieczy.

Podczas transportu płynów rurociągami występują zawsze straty ciśnienia płynu. Wartość tych strat rzutuje na zapotrzebowanie energii zużywanej na transport płynów, a tym samym wpływa na wartość kosztów eksploatacyjnych całej instalacji przesyłowej.

Na wartość całkowitej straty ciśnienia płynu w przewodzie o stałym przekroju poprzecznym mają wpływ:

- a) straty ciśnienia związane z liniowymi oporami przepływu,  $\Delta p_l$ ;
- b) straty ciśnienia związane z miejscowymi oporami przepływu,  $\Delta p_m$ ;

Sumaryczną stratę ciśnienia można zatem przedstawić w postaci

$$\Delta p = \Delta p_l + \Delta p_m$$

## Liniowe opory przepływu

---

### a) Starty ciśnienia w prostych odcinkach rur

Dla przepływu w rurociągu o przekroju kołowym opory te wynoszą:

$$\Delta p_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho}{2} w^2 \quad \text{N/m}^2$$

gdzie:  $\lambda$  – funkcja liczby Reynoldsa (współczynnik oporu)

$l$  – długość rurociągu [m]

$d$  – wewnętrzna średnica rurociągu [m]

$w$  – średnia prędkość przepływu [m/s]

$g$  – przyspieszenie ziemskie [m/s<sup>2</sup>]

$\rho$  – gęstość [kg/m<sup>3</sup>]

## Liniowe opory przepływu

---

### a) Opory liniowe

Spadek ciśnienia na 1 mb rury nazywamy także **oporem jednostkowym R**

$$\Delta p l = R \cdot l \text{ [N/m}^2\text{]}$$

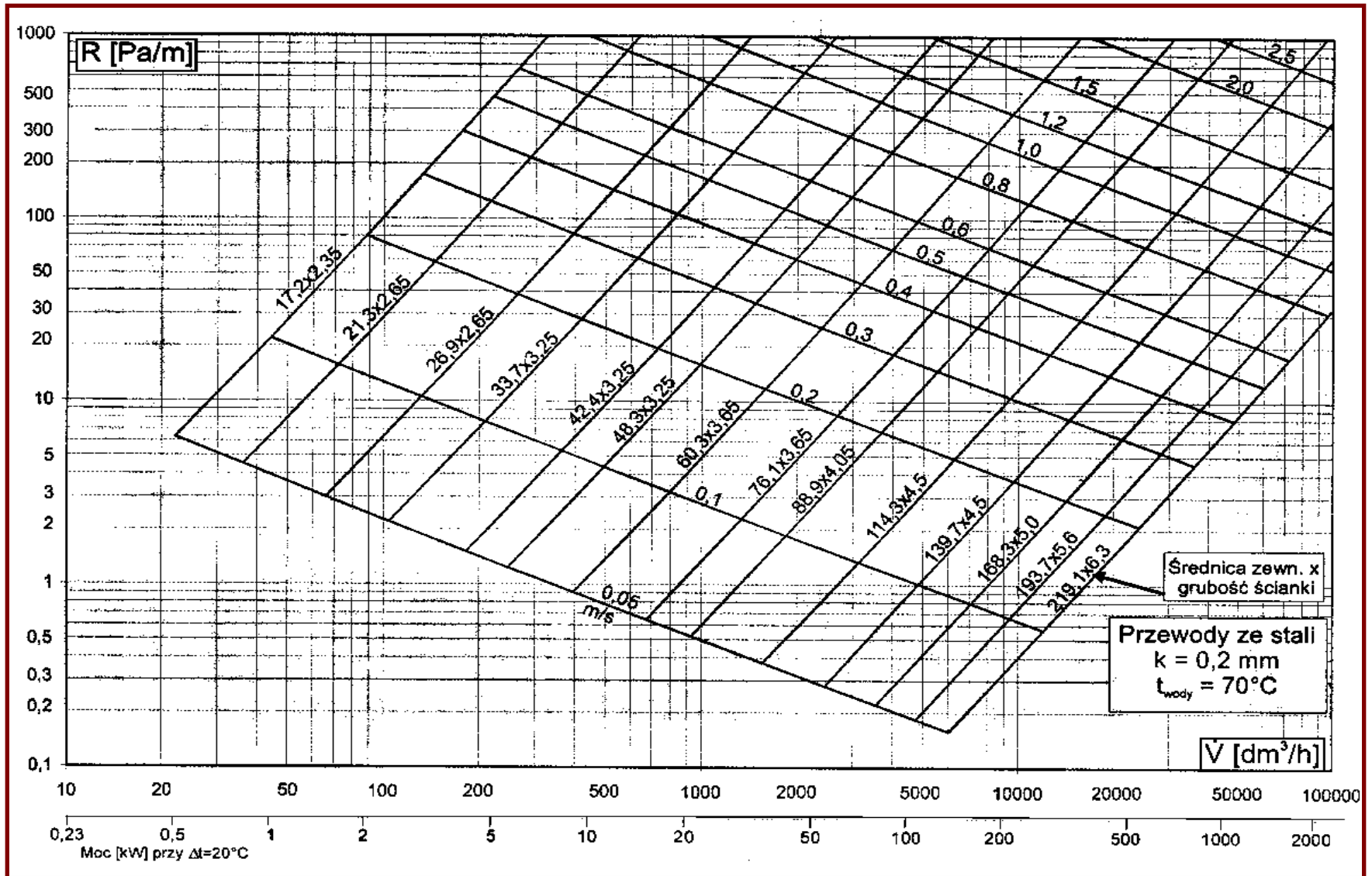
R – jednostkowy opór liniowym przyjmowany w oparciu o odpowiednie tabele lub nomogramy, Pa/m określany jest w funkcji d – średnicy przewodu, m – strumienia przepływu czynnika grzejnego, materiału z którego wykonane są przewody oraz temperatury czynnika grzejnego

l - długość odcinka obliczeniowego instalacji, m

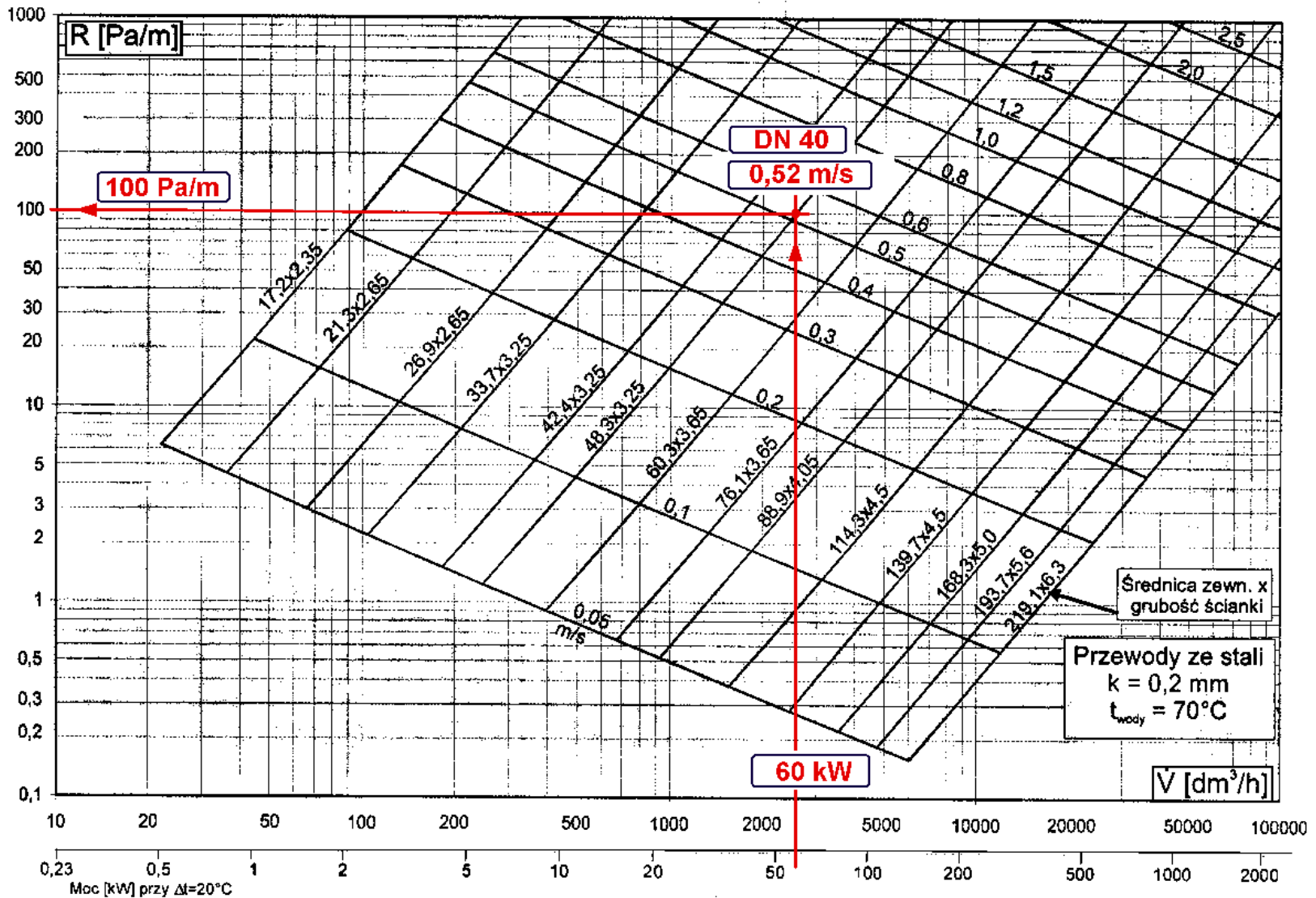
$$R = \frac{\lambda}{d} \frac{\rho}{2} w^2 \text{ Pa/m}$$

Strata ciśnienia jest zatem proporcjonalna do prędkości

# Liniowe opory przepływu



# Liniowe opory przepływu



**b) Straty ciśnienia spowodowane występowaniem oporów miejscowych**

Opory te występują głównie w miejscach zmiany średnicy przewodu, na kolanach rurociągów i łukach wężownic oraz różnych elementach armatury np. zaworach, zasuwach, kurkach, rozgałęzieniach itp.

Spadek ciśnienia w wyniku oporów miejscowych jest powodowany przez zawirowania, oderwania strugi, przepływy wtórne, wyrażany jest w odniesieniu do ciśnienia dynamicznego przepływającego płynu, zgodnie z równaniem:

$$\Delta p_m = \xi \frac{\rho}{2} w^2 \quad \text{N/m}^2$$

$\xi$  - współczynnik oporów miejscowych, wyznaczany doświadczalnie.

**b) Opory miejscowe**

Straty spowodowane oporami miejscowymi „Z” zależą od rodzaju budowy oraz wielkości zainstalowanych komponentów, jak również od ciśnienia dynamicznego  $p_{dyn}$  i tym samym od prędkości przepływu  $w$  oraz gęstości przepływającego czynnika  $\rho$

$$Z = \sum \xi * p_{dyn} = \sum \xi \frac{\rho * w^2}{2}$$

gdzie:

Z – straty ciśnienia spowodowane występowaniem oporów miejscowych [Pa],

$\sum \xi$  – suma współczynników oporów miejscowych,

$p_{dyn}$  – ciśnienie dynamiczne [Pa],

$\rho$  – gęstość przepływającego czynnika [kg/m<sup>3</sup>],

$w$  – prędkość przepływu czynnika [m/s]

## b) Opory miejscowe



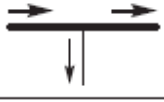





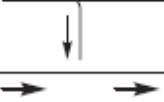

Opory miejscowe w instalacji centralnego ogrzewania mogą stanowić nawet ponad 50% całkowitych oporów hydraulicznych. Dzieje się tak, ponieważ instalacja c.o. składa się ze stosunkowo krótkich odcinków prostych oraz dużej ilości zmian kierunku, odgałęzień i armatury. W związku z tym opory miejscowe nie mogą być ani pominięte, ani określone wskaźnikowo (jako pewien procent oporów liniowych).

Strata ciśnienia, związana z oporem miejscowym, może być określona następującymi metodami:

- na podstawie współczynnika oporu miejscowego  $\zeta$ ,
- na podstawie współczynnika przepływu  $k_v$ ,
- na podstawie wykresu (charakterystyki hydraulicznej).

**Opory miejscowe na granicy działek zalicza się do działki o mniejszym przepływie.**



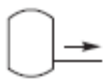


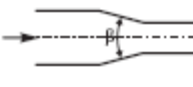
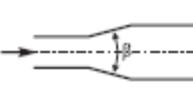




# Miejscowe opory przepływu

1	2		3	4	5	6
	Odgąłęzienie prostokątne	Rozdział strumienia	1,30	×	×	×
		Połączenie strumienia	0,90	×	×	
		Przelot przy rozdziale strumienia	0,30	×	×	×
		Przelot przy połączeniu strumienia	0,60	×	×	
		Przeciwprąd przy połączeniu strumienia	3,00	×	×	
		Przeciwprąd przy rozdziale strumienia	1,50	×	×	×
	Rozgałęzienie łukowe	Rozdział strumienia	0,90	×	×	×
		Połączenie strumienia	0,40	×	×	
		Przelot przy rozdziale strumienia	0,30	×	×	×
		Przelot przy połączeniu strumienia	0,20	×	×	

**Tabela strat miejscowych dla instalacji miedzianych**

[www.instsani.pl](http://www.instsani.pl)

# Miejscowe opory przepływu

	Rozdzielacz (kolektor)	Wylot z rozdzielacza (kolektora)	0,50	x	x	
		Wlot do rozdzielacza (kolektora)	1,00	x	x	
	Zbiornik	Wylot	0,50	x		
		Wlot	1,00	x		
	Redukcja		0,40	x		x
	Zwężenie ciągłe	$\beta = 30^\circ$	0,02	x	x	
		$\beta = 45^\circ$	0,04	x	x	
		$\beta = 60^\circ$	0,07	x	x	
	Rozszerzenie ciągłe	$\beta = 10^\circ$	0,10	x	x	
		$\beta = 20^\circ$	0,15	x	x	
		$\beta = 30^\circ$	0,20	x	x	
		$\beta = 40^\circ$	0,20	x	x	
	Kompensator U-kształtowy		1,00	x	x	
	Kompensator mieszkowy		2,00	x	x	
1	2		3	4	5	6
	Trójnik przeciwwprądowy z dwoma łukami		1,30			x
	Podłączenie gazomierza	DN 25	2,00			x
		> DN 25	4,00			x

**Tabela strat miejscowych dla instalacji miedzianych**

[www.instsani.pl](http://www.instsani.pl)

# Miejscowe opory przepływu








	Zawory odcinające	proste	DN 15 DN 20 DN 25 DN 32 DN 40 do DN 100	10,0 8,5 7,0 6,0 5,0	x x x x x	x x x x x	
		skośne	DN 15 DN 20 DN 25 do DN 50 DN 65	3,5 2,5 2,0 0,7	x x x x	x x x x	
kątowe		DN 10 DN 15 DN 20 DN 25 do DN 50 DN 65 do DN 100	7,0 4,0 2,0 3,5 4,0	x x x x x	x x x x x		
	Zawory membranowe		DN 15 DN 20 DN 25 DN 32 DN 40 do DN 100	10,0 8,5 7,0 6,0 5,0	x x x x x		
	Zawory odcinające	swakowe tlokowe, kulowe	DN 10 do DN 15 DN 20 do DN 25 DN 32 do DN 150	1,0 0,5 0,3	x x x	x x x	x
	Zawór grzejnikowy	prosty		4,0		x	
		kątowy		2,0		x	
	Kurek odcinający	kulowy	przelotowy	2,0			x
		kulowy	kątowy	5,0			x
		kulowy	przelotowy	0,5			x
		kulowy	kątowy	1,3			x

## Tabela strat miejscowych dla instalacji miedzianych

[www.instsani.pl](http://www.instsani.pl)

# Miejscowe opory przepływu

## Tabela strat miejscowych dla instalacji miedzianych



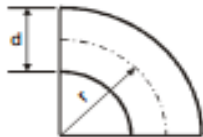




	Zawór zwrotny	DN 15 do DN 20 DN 25 do DN 40 DN 50 DN 65 do DN 100	7,7 4,3 3,8 2,5	× × × ×		
	Zawór przelotowy z zaworem zwrotnym	DN 20 DN 25 do DN 50	6,0 5,0	× ×		
	Nawiertka rurowa DN 25 do DN 80		5,0	×		
1	2		3	4	5	6
	Reduktor ciśnienia całkowicie otwarty		30,0	×		
	Kocioł grzejny		2,5		×	
	Grzejnik, radiator		2,5		×	
	Grzejnik płytowy		3,0		×	

[www.instsani.pl](http://www.instsani.pl)

# Miejscowe opory przepływu









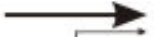





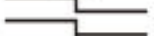
## Tabela strat miejscowych dla instalacji z rur stalowych

Wartości współczynników oporów miejscowych  $\zeta$  elementów instalacji centralnego ogrzewania z rur stalowych

Lp.	Nazwa	Symbol	Średnica nominalna przewodu	Współczynnik oporu miejsc. $\zeta$
1	Grzejnik członowy*	G 	10–15	3,0
			20–25	2,0
2	Grzejnik płytowy*	Gp 	10	2,5
			15	6,5
			20	19,0
			25	46,0
3	Łuk lub kolano gięte $r/d \geq 1,5$		10	2,0
			15	1,5
			20	1,0
			25	0,5
			32	0,5
4	Zawór grzejnikowy M-3173 i M-3175		10–15	8,5
			20–25	6,5
5	Zawór odcinający przelotowy prosty*		10–15	16,0
			20–25	12,0
			32–40	9,0
			50	7,0
6	Zawór jw. skośny*		10–15	3,5
			20–25	3,0
			32–40	2,5
			50	2,0
7	Kurek dwudrogowy stożkowy*		15	5,0
			20–25	3,5

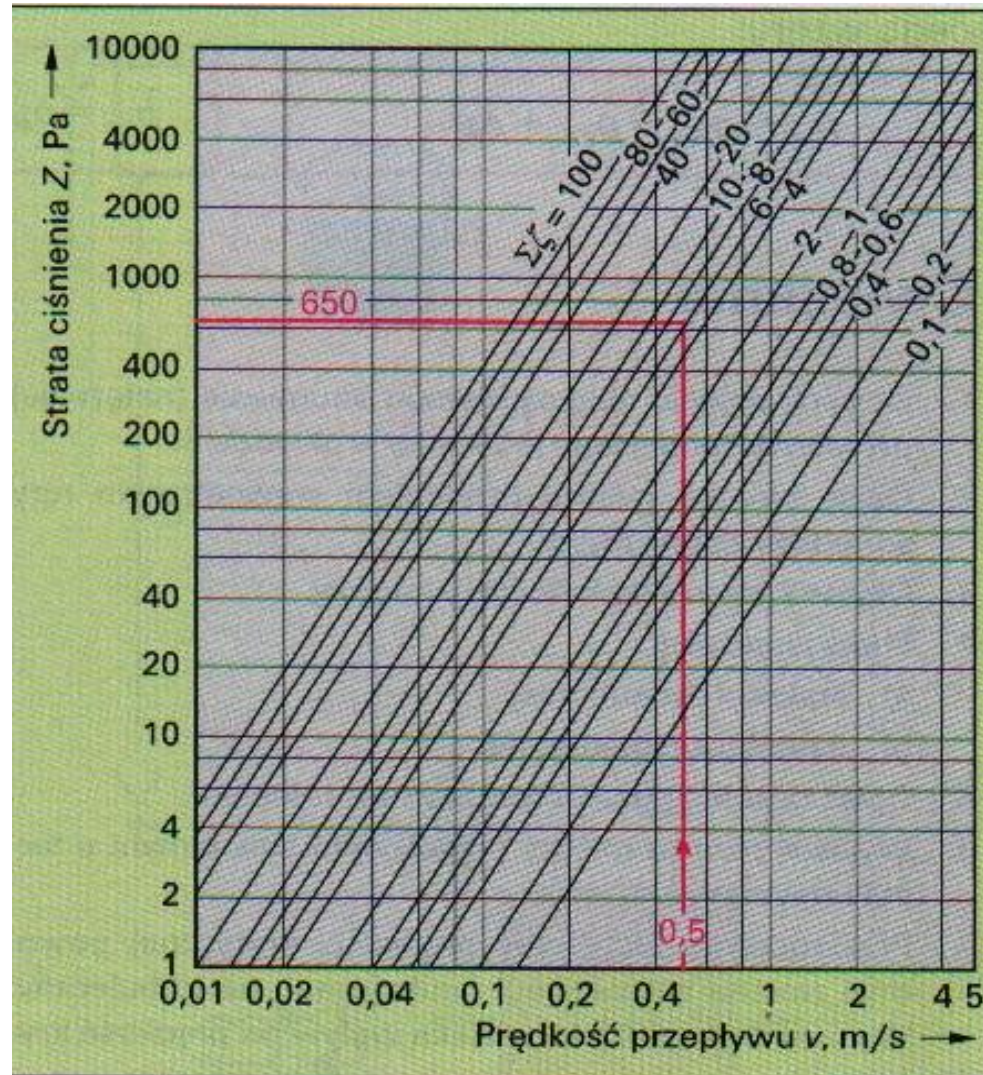
# Miejscowe opory przepływu

**Tabela strat miejscowych dla instalacji z rur stalowych**

8	Kocioł żeliwny*	K		2,5
9	Odsadzka			0,5
10	Obejście			1,0
11	Wydłużka*			
	prostokątna			2,0
	falista			3,0
	dławicowa			0,5
12	Trójniki prostokątne zasilanie			
	przelot			0,5
	odgałęzienie			1,5
	przeciwprąd			3,0
	powrót			
	przelot			0,5
	odgałęzienie			1,0
	przeciwprąd			3,0
13	Czworniki			
	przelot			2,0
	odgałęzienie			3,0
14	Nagła zmiana przekroju			
	rozszerzenie			1,0
	zwężenie			0,5

[[www.is.pw.edu.pl](http://www.is.pw.edu.pl)]

## Miejscowe opory przepływu



Strata ciśnienia „Z” spowodowana oporami miejscowymi w wodnych instalacjach grzewczych o różnych prędkościach przepływu

[Źródło 3]

## Współczynnik przepływu kv

Alternatywnie straty ciśnienia, wywołane oporem miejscowym można określić na podstawie współczynnika przepływu kv.

Współczynnik przepływu kv – przepływ wody przez zawór, wyrażony w metrach sześciennych na godzinę, przy spadku ciśnienia statycznego na zaworze równym 1 bar. Znając współczynnik przepływu kv, straty ciśnienia oblicza się w następujący sposób:

$$\Delta p = 100\,000 \cdot \left( \frac{Q}{k_v} \right)^2, \text{ Pa}$$

gdzie: Q – strumień objętościowy, m<sup>3</sup> /h,

kv – współczynnik przepływu, m<sup>3</sup> /h.

## Współczynnik przepływu kv

Korzystając z równania należy zwrócić uwagę na jednostki.

Ponieważ współczynnik przepływu kv wyrażony jest w  $\text{m}^3/\text{h}$ , to również strumień należy podstawiać w tych jednostkach.

Mnożnik 100 000 przelicza otrzymany wynik z barów, które występują w definicji współczynnika przepływu kv, na paskale.

Im większą wartość przyjmuje współczynnik przepływu kv, tym mniejszy jest opór. Jest to zależność odwrotna niż w przypadku współczynnika oporu miejscowego. Mimo, że współczynnik przepływu kv został oryginalnie zdefiniowany dla zaworów, można go zastosować dla dowolnego oporu miejscowego, np. dla grzejnika.

## Miejscowe opory przepływu

---

### Współczynnik przepływu $k_v$

Współczynnik przepływu określa charakterystykę hydrauliczną armatury regulacyjnej i oznacza strumień objętościowy wody (w m<sup>3</sup>/h) przepływający przez zawór przy różnicy ciśnień 1 bar.

Określa się go z zależności:

$$k_v = m / \sqrt{\Delta p}, \text{ m}^3/\text{h}$$

$m$  - strumień objętościowy wody, m<sup>3</sup>/h

$\Delta p$  – opór przepływu zaworu, bar

## Opór hydrauliczny obiegu

---

### Opór hydrauliczny obiegu

Opór hydrauliczny obiegu jest równy sumie oporów działek wchodzących w jego skład:

$$\Delta p_{obj} = \sum_{i=1}^n (R_i \cdot L_i + Z_i) = \sum_{i=1}^n \Delta p_{dzi}, \text{ Pa}$$

gdzie:

- $n$  – ilość działek w obiegu,
- $R_i$  – jednostkowa liniowa strata ciśnienia w  $i$ -tej działce, Pa/m,
- $L_i$  – długość  $i$ -tej działki, m,
- $Z_i$  – straty ciśnienia wywołane przez opory miejscowe w  $i$ -tej działce, Pa,
- $\Delta p_{dzi}$  – straty ciśnienia w  $i$ -tej działce, Pa.

## Zasady równoważenia hydraulicznego

Podstawową zasadą równoważenia hydraulicznego obiegu jest wyrównanie strat ciśnienia (przy obliczeniowych strumieniach wody) z działającym w tym obiegu ciśnieniem czynnym.

$$\Delta p_{cz} \approx \Delta p_{obj}$$

gdzie:  $\Delta p_{cz}$  – ciśnienie czynne w obiegu, Pa,

$\Delta p_{obj}$  – straty ciśnienia w obiegu przy obliczeniowych strumieniach wody, Pa.

Dopuszcza się błąd w zrównoważeniu obiegu do 10%:

$$\delta = \frac{|\Delta p_{cz} - \Delta p_{obj}|}{\Delta p_{cz}} \leq 10\%$$

## Zasady równoważenia hydraulicznego instalacji c.o.

1. Wartości oporu hydraulicznego i ciśnienia czynnego powinny być do siebie zbliżone. Błąd nie powinien przekraczać 10%.
2. W przypadku ręcznych zaworów grzejnikowych, opór działki z grzejnikiem powinien być większy lub równy minimalnemu oporowi działki z grzejnikiem.
3. Autorytet zewnętrzny zaworu termostatycznego powinien wynosić przynajmniej 30%.

Autorytet zewnętrzny zaworu – stosunek straty ciśnienia na zaworze do całkowitego oporu hydraulicznego w obiegu lub tej jego części, w której różnica ciśnienia jest stabilizowana.

$$A_v \geq 0,3$$

## Dławienie nadmiaru ciśnienia

Do dławienia nadmiaru ciśnienia w obiegu stosuje się armaturę do regulacji wstępnej (zawory grzejnikowe i zawory odcinające z regulacją wstępną). Wcześniej nadmiary ciśnienia w obiegach były dławione poprzez kryzy dławiące.

### Określanie średnicy kryzy

W instalacjach grawitacyjnych dla zrównoważenia ciśnienia w obiegach stosuje się kryzy. Średnicę kryzy dławiącej nadwyżkę ciśnienia określić można wykorzystując wzór:

$$d_{kr} = 3,56 \sqrt[4]{m^2 / \Delta p}, \text{ mm}$$

$m$  – strumień czynnika grzejnego, kg/h

$\Delta p$  – spadek ciśnienia na kryzie, Pa

## Opór hydrauliczny obiegu

---

### Zawory z nastawą wstępną

W przypadku doboru zaworów z nastawą wstępną istnieją dwa sposoby:

- sposób podstawowy,
- sposób uproszczony

# Opór hydrauliczny obiegu

## Sposób uproszczony

1. Najpierw oblicza się straty ciśnienia w obiegu. Nie uwzględnia się oporu zaworu z regulacją wstępną. (W przypadku grzejników zaworowych nie uwzględnia się oporu grzejnika, ponieważ charakterystykę hydrauliczną dla tego typu grzejników określa się dla kompletu grzejnika z zaworem).
2. Dobiera się nastawę na zaworze, tak aby jego całkowity opór był w przybliżeniu równy nadmiarowi ciśnienia w obiegu (obliczonemu bez uwzględnienia zaworu)



[Źródło 9].

## Obliczenia hydrauliczne instalacji grzewczej

---

Projektowanie sieci przewodów polega na dobraniu średnic przewodów i elementów regulacyjnych w celu:

- zapewnienia odpowiedniego rozdziału czynnika grzejącego do poszczególnych grzejników,
- zapewnienia stateczności cieplnej i hydraulicznej instalacji,
- optymalizacji kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych.

## Tok postępowania przy obliczaniu instalacji grzewczej

1. Założenie parametrów obliczeniowych, temperatury zasilania i powrotu
2. Obliczenie strat ciepła pomieszczeń, dobór grzejników, rozmieszczenie grzejników, dobór źródła ciepła
3. Rozmieszczenie na rzutach kondygnacji pionów
4. Rozmieszczenie pionów na rzucie piwnicy i zaprojektowanie rozprowadzenia przewodów w piwnicy oraz podłączenia instalacji do źródła ciepła (kotła).
5. Wykonanie rysunku rozwinięcia instalacji c.o.
6. Sprawdzenie warunku rozruchu instalacji (grawitacyjna)

## Obliczenia hydrauliczne instalacji grzewczej

---

7. Podział instalacji na działki obliczeniowe.
8. Obliczenie ciśnienia czynnego.
9. Określenie obiegu najbardziej niekorzystnego.
10. Określenie oporu orientacyjnego i strumieni przepływu na działkach.
11. Dobór średnic.
12. Dobór kryz grzejnikowych, nastaw na zaworach termostatycznych

## Obliczenia hydrauliczne instalacji grzewczej

Prędkość czynnika w przewodzie

$$w = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{\dot{m}}{A \cdot \rho}$$

Prędkość wody dla przekroju kołowego można obliczyć w następujący sposób

$$w = \frac{4 \cdot G}{\Pi \cdot d_w^2 \cdot \rho}, \text{ m/s}$$

G – strumień masowy wody płynącej w działce, kg/s.

## Obliczenia hydrauliczne instalacji grzewczej

Jak obliczyć strumień czynnika w warunkach obliczeniowych c.o. ?

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{c_p * (t_z - t_p)}$$

Obciążenie cieplne działki, [W]

Ciepło właściwe wody, 4190 [J/kgK]

$t_z$  - temp. czynnika zasilającego c.o.  
 $t_p$  - temp. czynnika powrotnego c.o.

## Obliczenia hydrauliczne instalacji grzewczej

Maksymalne dopuszczalne prędkości przepływu dla przewodów różnych średnic ze stali podano w tabeli

### Tabela: Maksymalne dopuszczalne prędkości przepływu wody w przewodach stalowych dla ogrzewań wodnych

dn [mm]	10	15	20	25	32	40	ponad 50
$v_{dop}$ [m/s]	0,30	0,50	0,65	0,80	1,00	1,20	1,50

W instalacjach c.o. nigdy nie należy przekraczać prędkości **1 m/s** ze względu na szумы.

Prędkość przepływu wody w przewodach miedzianych małych średnic tzn. do 22 mm nie powinna przekroczyć 0,3 m/s, natomiast w większych od 28 mm nie powinna przekroczyć 0,5 m/s.

## Maksymalne dopuszczalne prędkości przepływu w przewodach miedzianych

Maksymalne prędkości przepływu

Rodzaj instalacji	Rodzaj przewodu	Prędkość maksymalna m/s
Instalacja wodociągowa	Przewody rozdzielcze i piony	1,0
	Połączenia od pionów do punktów czerpalnych	2,0
	Przewody cyrkulacyjne	0,5
Instalacja ogrzewania	Przewody o średnicy do 28mm	0,3
	Przewody o średnicy powyżej 28mm	0,5
Instalacja gazowa na paliwo gazowe	Wszystkie przewody	6,0

[Źródło 9]

**Działka** – odcinek instalacji o jednakowej średnicy i jednakowym przepływie, wraz z zamontowanymi na nim urządzeniami.

**Obieg** – zespół przewodów, którymi woda przepływa od źródła ciepła do grzejnika i z powrotem wraz z zamontowanymi urządzeniami.

W skład obiegu wchodzi :

- źródło ciepła (kocioł, wymiennik ciepła),
- grzejnik,
- przewody łączące źródło ciepła z grzejnikiem

Obieg najbardziej niekorzystny – jako **najniekorzystniej usytuowany grzejnik** w instalacji ogrzewania wodnego grawitacyjnego z rozdziałem dolnym przyjmuje grzejnik:

- najniżej położony – najniższe ciśnienie czynne,
- najdalej położony od źródła – największa długość poziomych przewodów rozprowadzających,
- o większym obciążeniu cieplnym – większy strumień przepływu czynnika grzejnego

## Obliczenia instalacji grawitacyjnej

W przypadku instalacji grawitacyjnej na podstawie rozwinięcia instalacji wyznaczymy:

- ciśnienie czynne  $\Delta p_{cz}$ , H
- długość działek i całego obiegu,
- jednostkowy opór orientacyjny pierwszego obiegu,
- jednostkowy opór orientacyjny następnych obiegów.

## Obliczenia instalacji grawitacyjnej

W przypadku instalacji grawitacyjnej na podstawie rozwinięcia instalacji wyznaczymy:

- ciśnienie czynne  $\Delta p_{cz}$ , H
- długość działek i całego obiegu,
- jednostkowy opór orientacyjny pierwszego obiegu,
- jednostkowy opór orientacyjny następnych obiegów.

## Obliczenia instalacji grawitacyjnej

Ciśnienie czynne

$$\Delta p_{cz} = h * g (\rho_p - \rho_z)$$

h- wysokość od środka kotła, do środka grzejnika obiegu który liczymy [m],

g- przyspieszenie ziemskie 9,81 [m/s<sup>2</sup>],

$\rho_p$  – gęstość wody powrotnej [kg/m<sup>3</sup>],

$\rho_z$  - gęstość wody na zasilaniu [kg/m<sup>3</sup>],

## Obliczenia instalacji grawitacyjnej

### Gęstość wody w zależności od jej temperatury

t, °C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	100
$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	999,73	998,23	995,67	992,24	988,07	983,24	977,81	971,83	965,34	961,29	958,40

## Obliczenia instalacji grawitacyjnej

Sprawdzenie warunku rozruchu

Kryterium rozruchu - Tichelmana

$$H_{pr} \geq 2/3 H_{grz}$$

$H_{pr}$  - wysokość prowadzenia poziomych przewodów rozprowadzających w piwnicy względem środka kotła,

$H_{grz}$  - wysokość środka najniżej położonego grzejnika względem środka kotła.

## Obliczenia instalacji grawitacyjnej

Opór orientacyjny pierwszego obiegu

$$R_{\text{orient}} = \frac{a^* \Delta p_{\text{cz}}}{\Sigma l}$$

a- współczynnik uwzględniający udział oporów linowych,  $a=0,5-0,67$

$\Delta p_{\text{cz}}$  – ciśnienie czynne [Pa]

$\Sigma l$ - długość działek w danym obiegu [m]

## Obliczenia instalacji grawitacyjnej

Opór orientacyjny pozostałych obiegów

$$R_{\text{orient}} = \frac{a^* (\Delta p_{\text{cz}} - \Sigma RI + Z)}{\Sigma I}$$

$\Sigma RI + Z$ - opory miejscowe i liniowe działek wspólnych

## Obliczenia hydrauliczne instalacji grzewczej

## Obliczenia instalacji grawitacyjnej

Tabela do obliczeń hydraulicznych

Nr działki	Q – obciążenie cieplne [kW]	m – strumień ciepła [ kg/s]	l [m]	d [mm]	w Prędkość [m/s]	R Opór jednostkowy [Pam]	R*l Straty ciśnienia	$\sum \xi$	Z [Pa]	R*l+Z [Pa]
1										
2										

## Przykład instalacji grzewczej grawitacyjnej

---

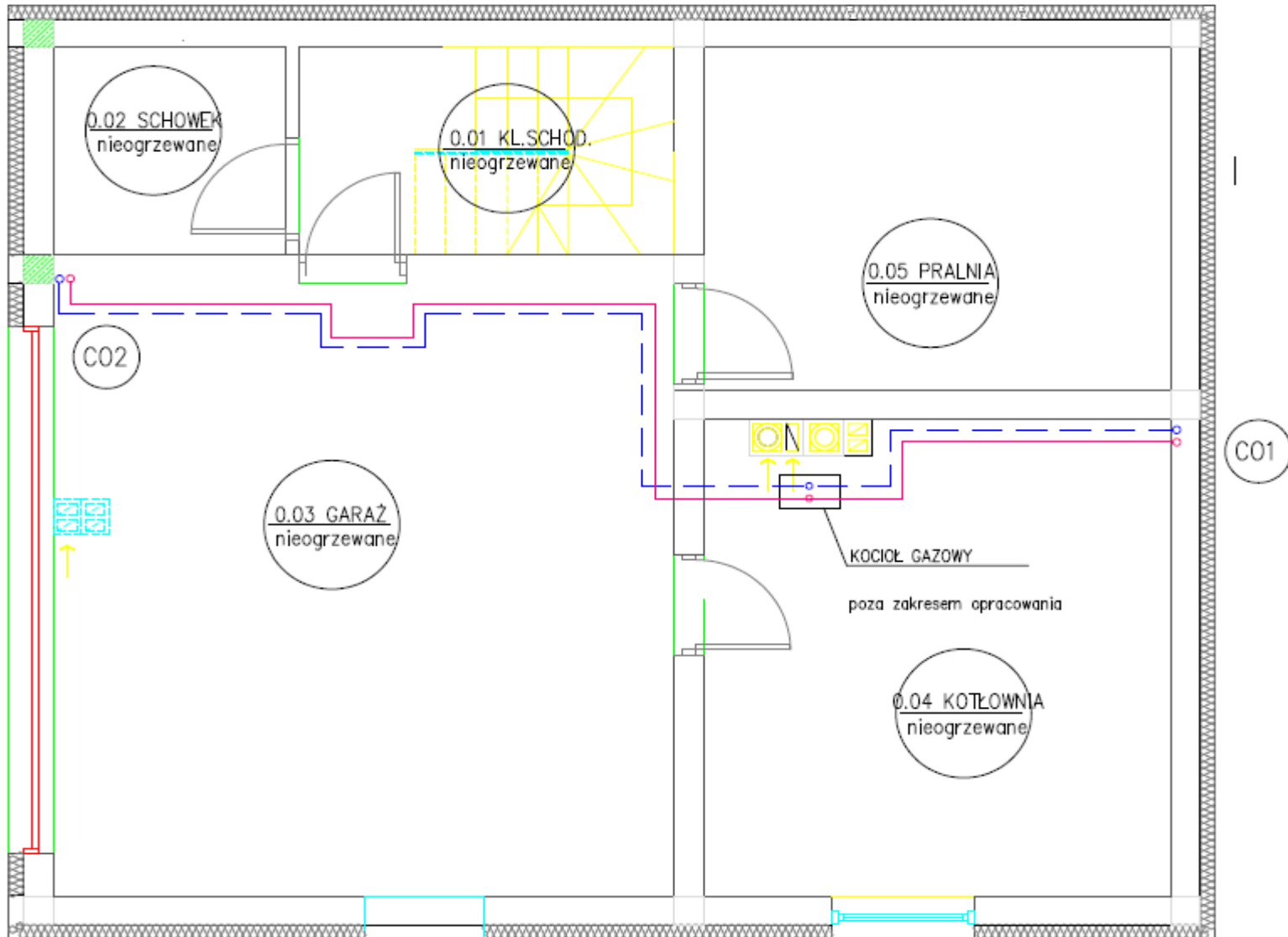
1. Założenie parametrów obliczeniowych, temperatury zasilania i powrotu **70/50 stC**
2. Obliczenie strat ciepła pomieszczeń, dobór grzejników, rozmieszczenie grzejników, dobór źródła ciepła - **zakładamy**
3. Rozmieszczenie na rzutach kondygnacji pionów - **rysunek**
4. Rozmieszczenie pionów na rzucie piwnicy i zaprojektowanie rozprowadzenia przewodów w piwnicy oraz podłączenia instalacji do źródła ciepła (kotła) - **zakładamy**.
5. Wykonanie rysunku rozwinięcia instalacji c.o. - **rysunek**
6. Sprawdzenie warunku rozruchu instalacji (grawitacyjna) -  $H_{pr} \geq 2/3 H_{grz}$

## Przykład instalacji grzewczej grawitacyjnej

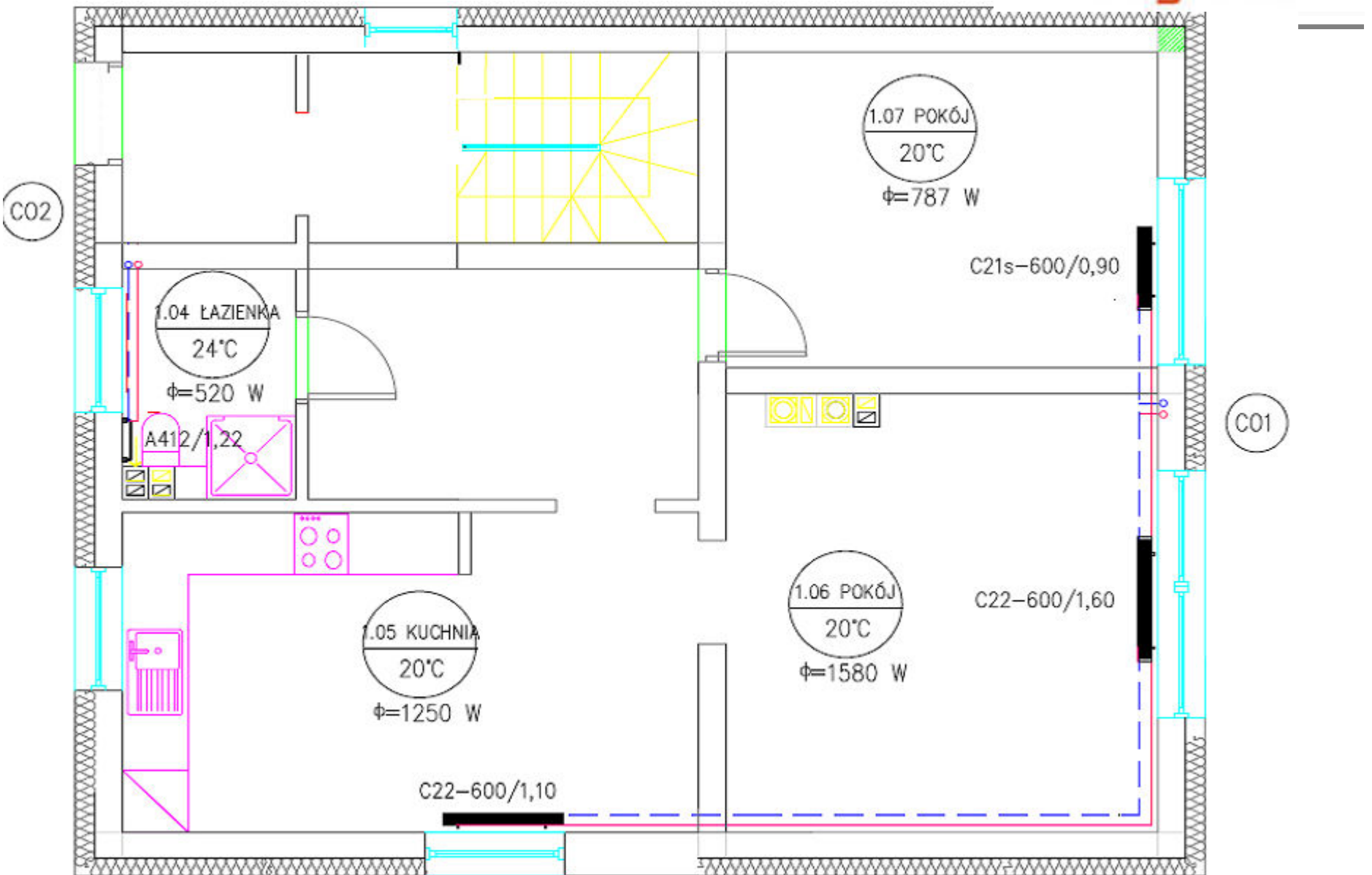
---

7. Podział instalacji na działki obliczeniowe.
8. Obliczenie ciśnienia czynnego  $\Delta p_{cz} = h \cdot g(\rho_p - \rho_z)$
9. Określenie obiegu najbardziej niekorzystnego – w instalacji grawitacyjnej obieg najdalej, najniżej i najbardziej obciążony.
10. Określenie oporu orientacyjnego i strumieni przepływu na działkach
$$R_{orient} = \frac{a^* \Delta p_{cz}}{\Sigma l}$$
11. Dobór średnic – z nomogramu na podstawie przepływu (mocy) oraz maksymalnej dopuszczalnej prędkości przepływu
12. Dobór kryz grzejnikowych, nastaw na zaworach termostatycznych – nomogram do doboru zaworów termostatycznych

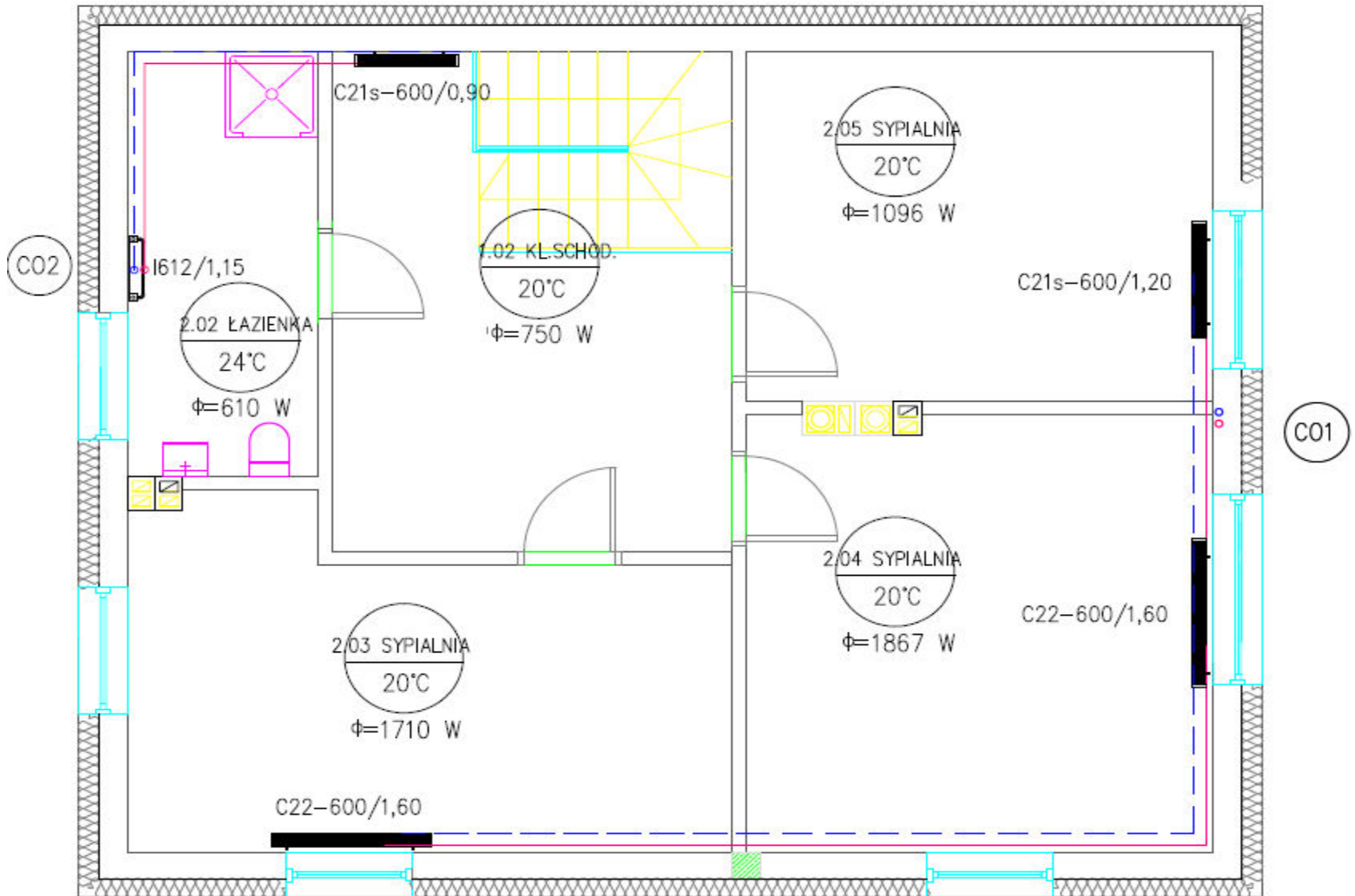
# Przykład instalacji grzewczej grawitacyjnej - rzut piwnic



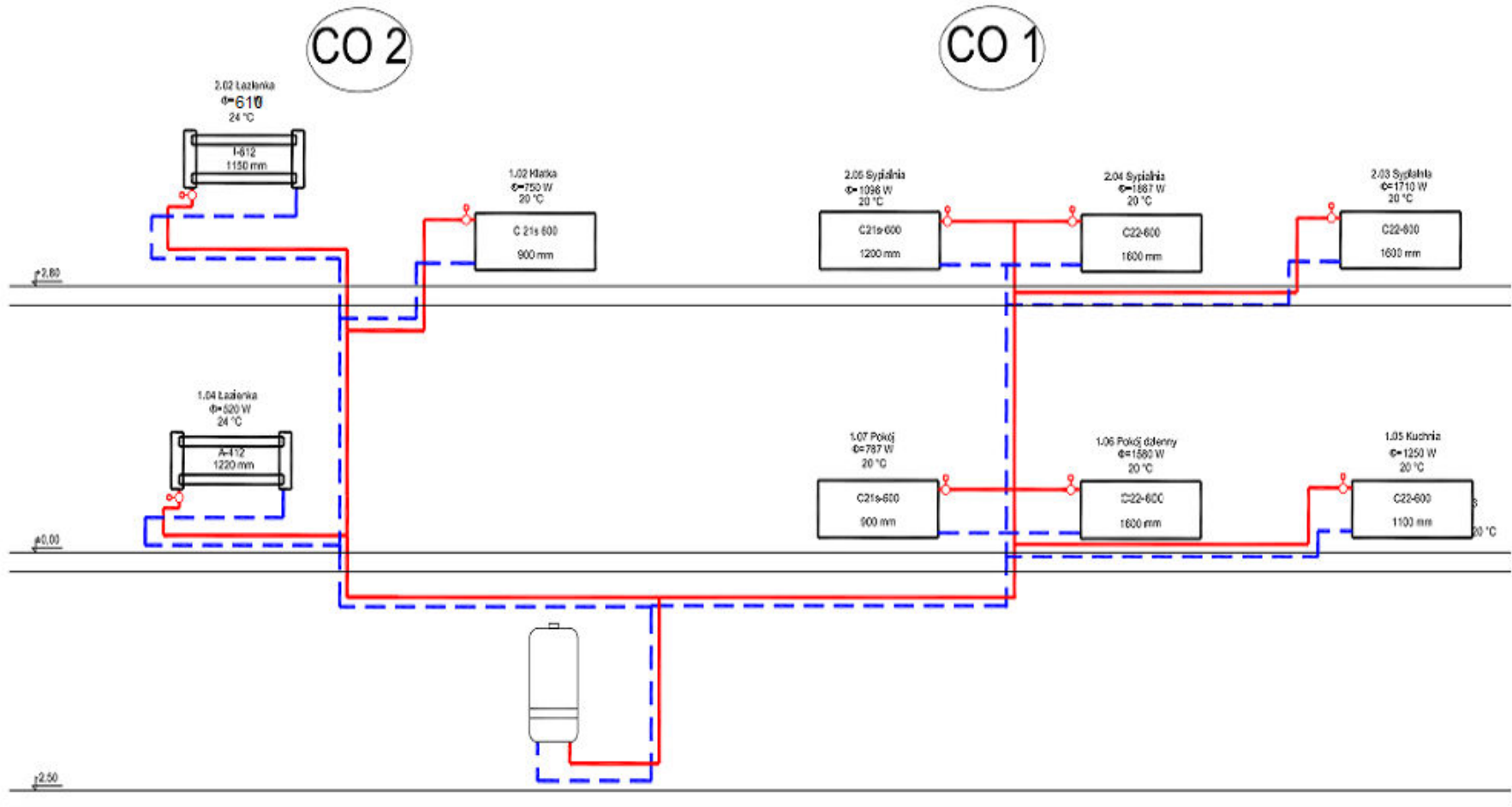
## Przykład instalacji grzewczej grawitacyjnej - rzut parteru



# Przykład instalacji grzewczej grawitacyjnej - rzut piętra



# Przykład instalacji grzewczej grawitacyjnej - rozwinięcie



## Przykład instalacji grzewczej grawitacyjnej

---

Sprawdzenie warunku rozruchu instalacji (grawitacyjna) -  $H_{pr} \geq 2/3 H_{grz}$

Kryterium rozruchu - Tichelmana

$$H_{pr} \geq 2/3 H_{grz}$$

$H_{pr}$  - wysokość prowadzenia poziomych przewodów rozprowadzających w piwnicy względem środka kotła wynosi  $2,50 - 0,15 - 0,6 = 1,75$  m

$H_{grz}$  - wysokość środka najniższego położonego grzejnika względem środka kotła  $2,50 + 0,1 + 0,4 - 0,6 = 2,40$  m

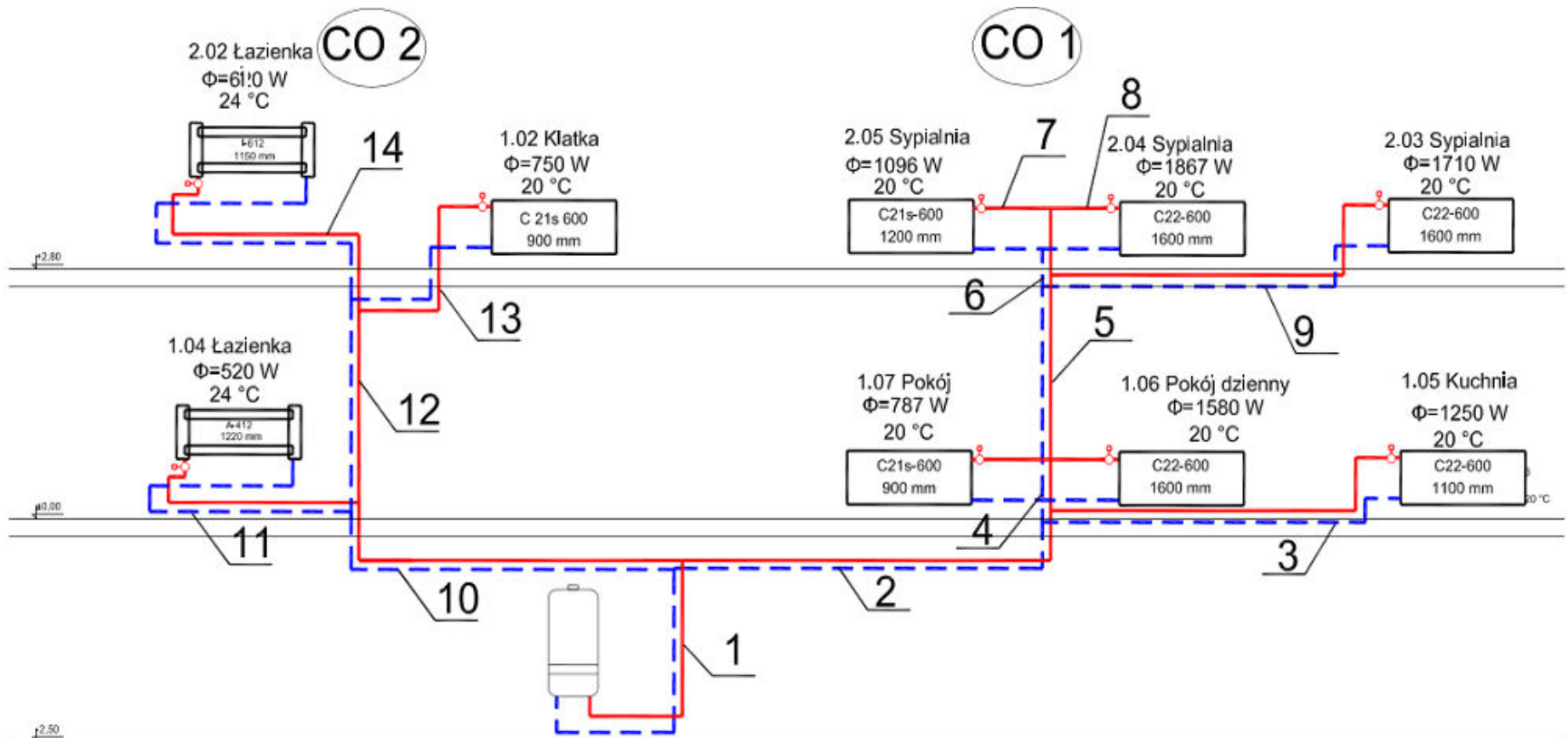
$$1,75 \geq 2/3 * 2,40$$

$$1,75 \geq 1,60 \text{ m}$$

Warunek rozruchu spełniony

# Przykład instalacji grzewczej grawitacyjnej

Dzielimy instalację na działki obliczeniowe



## Przykład instalacji grzewczej grawitacyjnej

---

Obliczenie ciśnienia czynnego  $\Delta p_{cz} = h \cdot g(\rho_p - \rho_z)$

$$\Delta p_{cz} = h \cdot g(\rho_p - \rho_z) = (2,40) \cdot 9,81 (988,07 - 977,81) = \mathbf{241,56 \text{ Pa}}$$

$\rho_p$  dla 50 stC = 988,07 kg/m<sup>3</sup>

$\rho_z$  dla 70 stC = 977,81 kg/m<sup>3</sup>

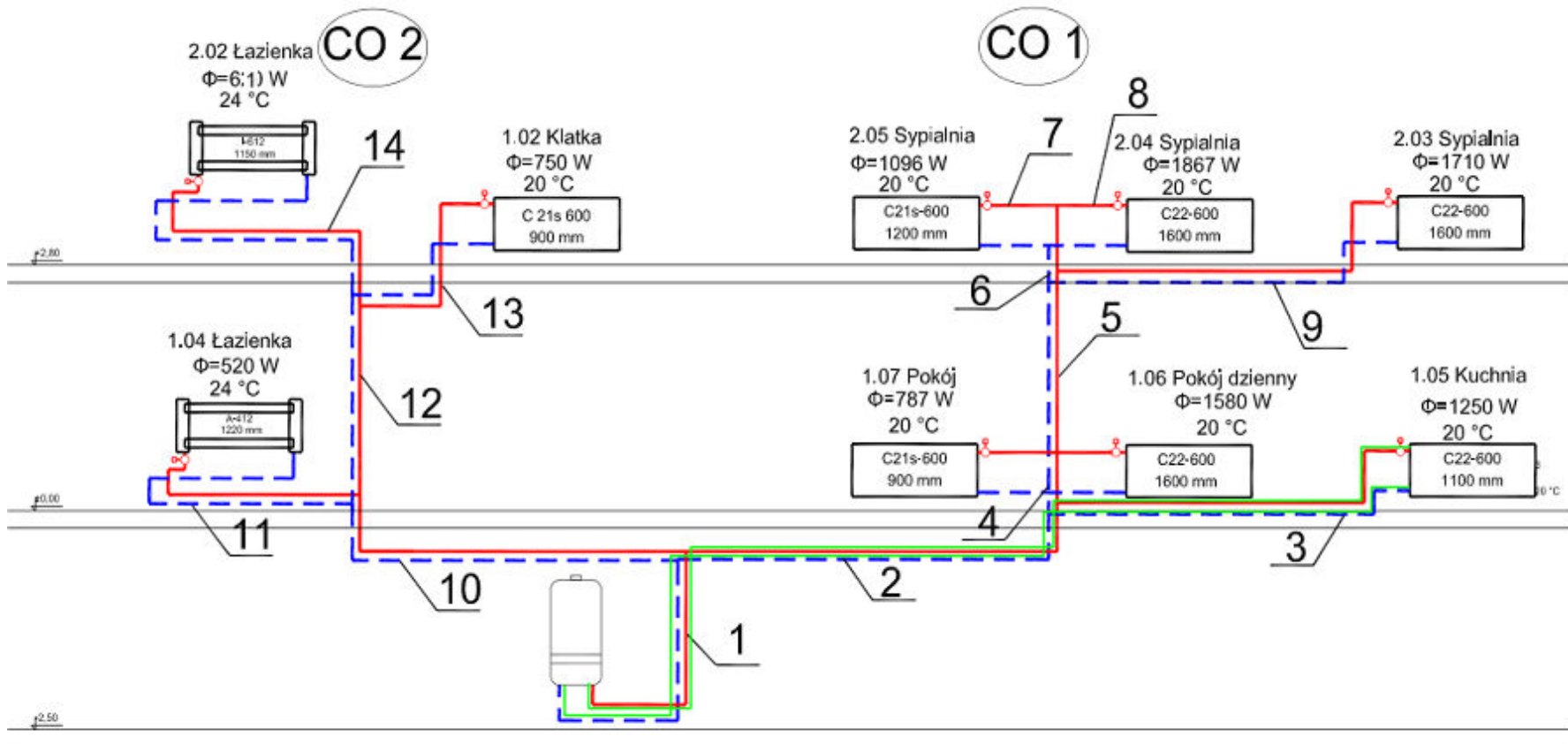
Gęstość wody w zależności od jej temperatury

t, °C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	100
$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	999,73	998,23	995,67	992,24	988,07	983,24	977,81	971,83	965,34	961,29	958,40

## Przykład instalacji grzewczej grawitacyjnej

Określenie obiegu najbardziej niekorzystnego – w instalacji grawitacyjnej obieg najdalej, najniżej i najbardziej obciążony.

W naszej instalacji obieg najbardziej obciążony to obieg do grzejnika w kuchni na parterze.



## Przykład instalacji grzewczej grawitacyjnej

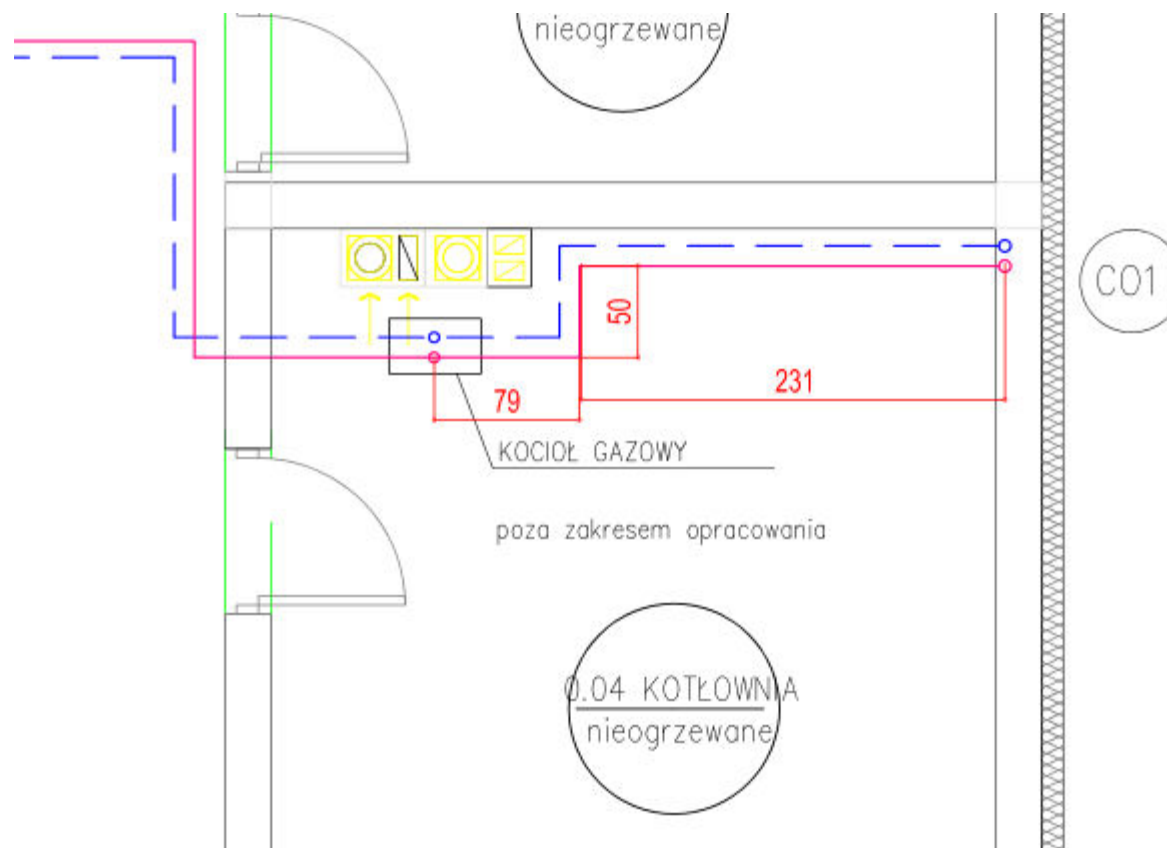
---

Określenie oporu orientacyjnego

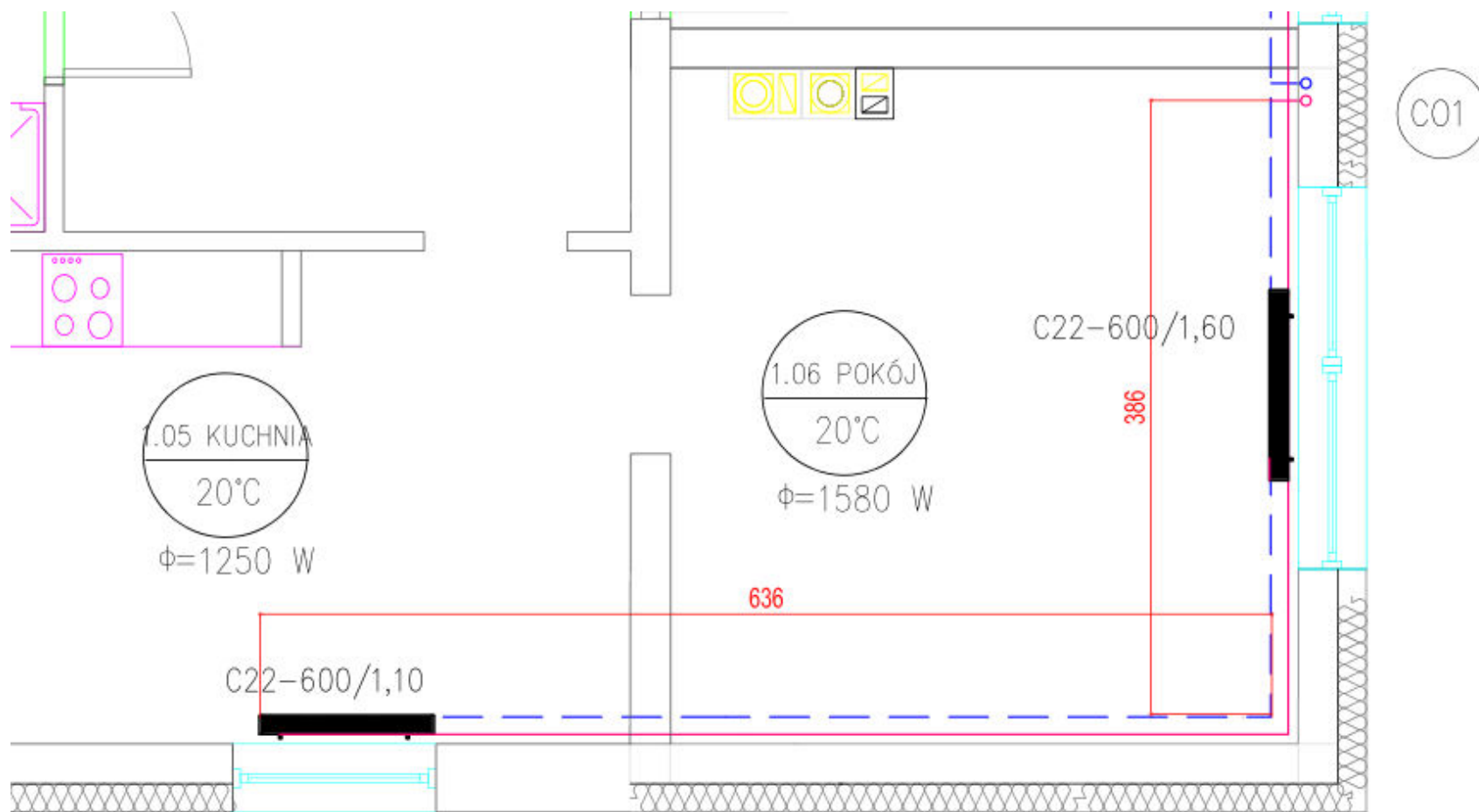
$$R_{\text{orient}} = \frac{a^* \Delta p_{\text{cz}}}{\Sigma l} = (0,50 * 241,56) / 19.36 \times 2 = \mathbf{3,12 \text{ Pa /m}}$$

Dobierając średnice z nomogramu nie powinniśmy przekroczyć obliczonego oporu orientacyjnego

# Przykład instalacji grzewczej grawitacyjnej



# Przykład instalacji grzewczej grawitacyjnej



## Przykład instalacji grzewczej grawitacyjnej

Obliczenie strumieni przepływu działek w obiegu najbardziej niekorzystnym

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{c_p * (t_z - t_p)}$$

Obciążenie cieplne działki, [W]

$t_z$  - temp. czynnika zasilającego c.o.  
 $t_p$  - temp. czynnika powrotnego c.o.

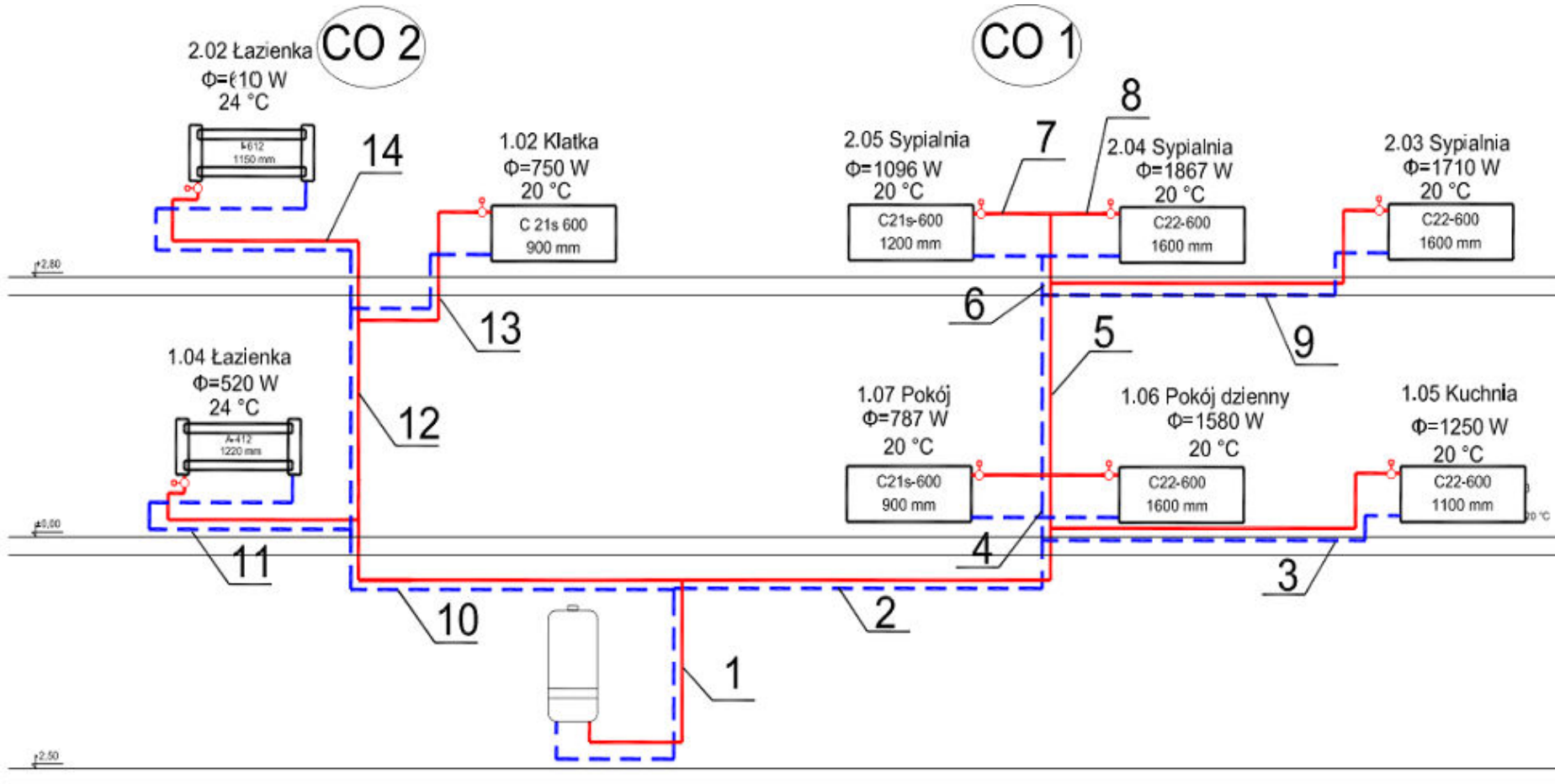
Ciepło właściwe wody, 4190 [J/kgK]

$$m_1 = 10180 \text{ W} / 4190 * (70-50) = 0,12 \text{ kg/s} = 432 \text{ dm}^3/\text{h}$$

$$m_2 = 8290 \text{ W} / 4190 * (70-50) = 0,09 \text{ kg/s} = 324 \text{ dm}^3/\text{h}$$

$$m_3 = 1250 \text{ W} / 4190 * (70-50) = 0,01 \text{ kg/s} = 36 \text{ dm}^3/\text{h}$$

# Przykład instalacji grzewczej grawitacyjnej

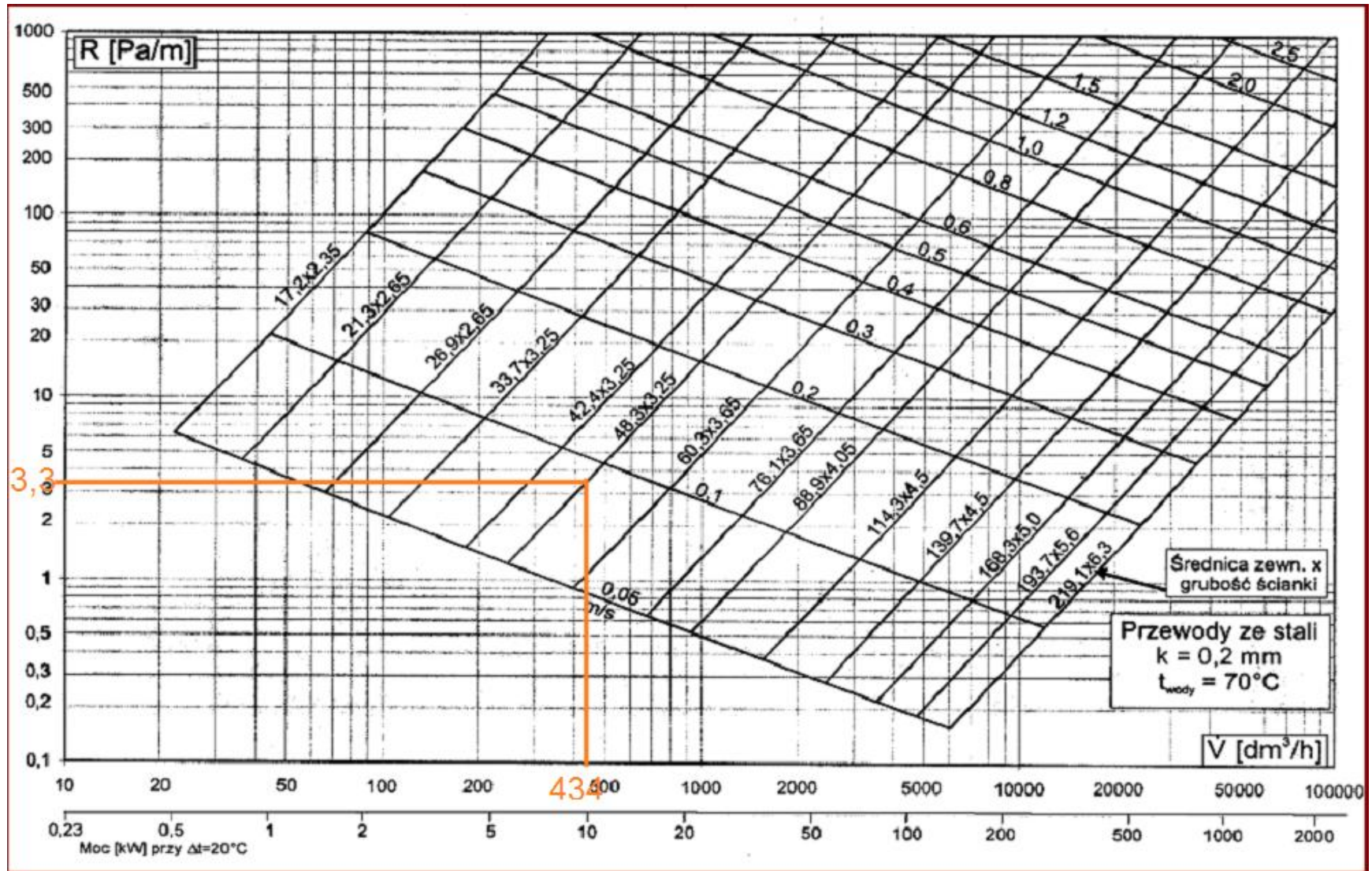


# Przykład instalacji grzewczej grawitacyjnej

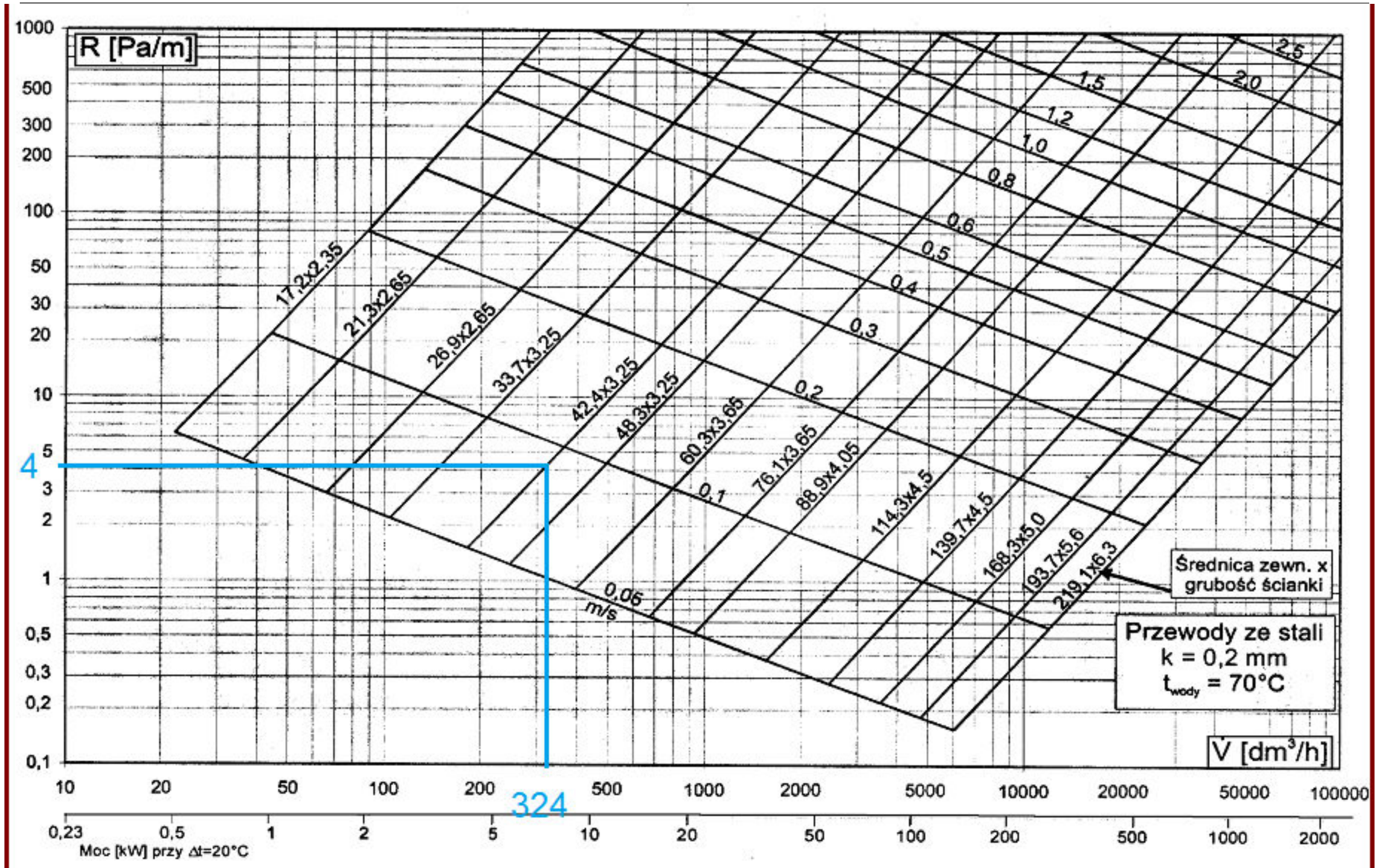
## Dobór średnic – obliczenia hydrauliczne

Nr dzi ałki	$\phi$ – obciążenie cieplne [W]	m – stru mień ciepł a [kg/s]	l [m]	d [m m]	w Prędk ość [m/s]	R Opór jednostko wy [Pa/m]	R*I Straty ciśni enia Linio we [Pa]	$\Sigma \xi$ [-]	Z [Pa]	R*I + Z [Pa]
1	10 180	0,12	3x2 =6							
2	8 290	0,09	4x2 =8							
3	1 250	0,01	10x 2 =20							

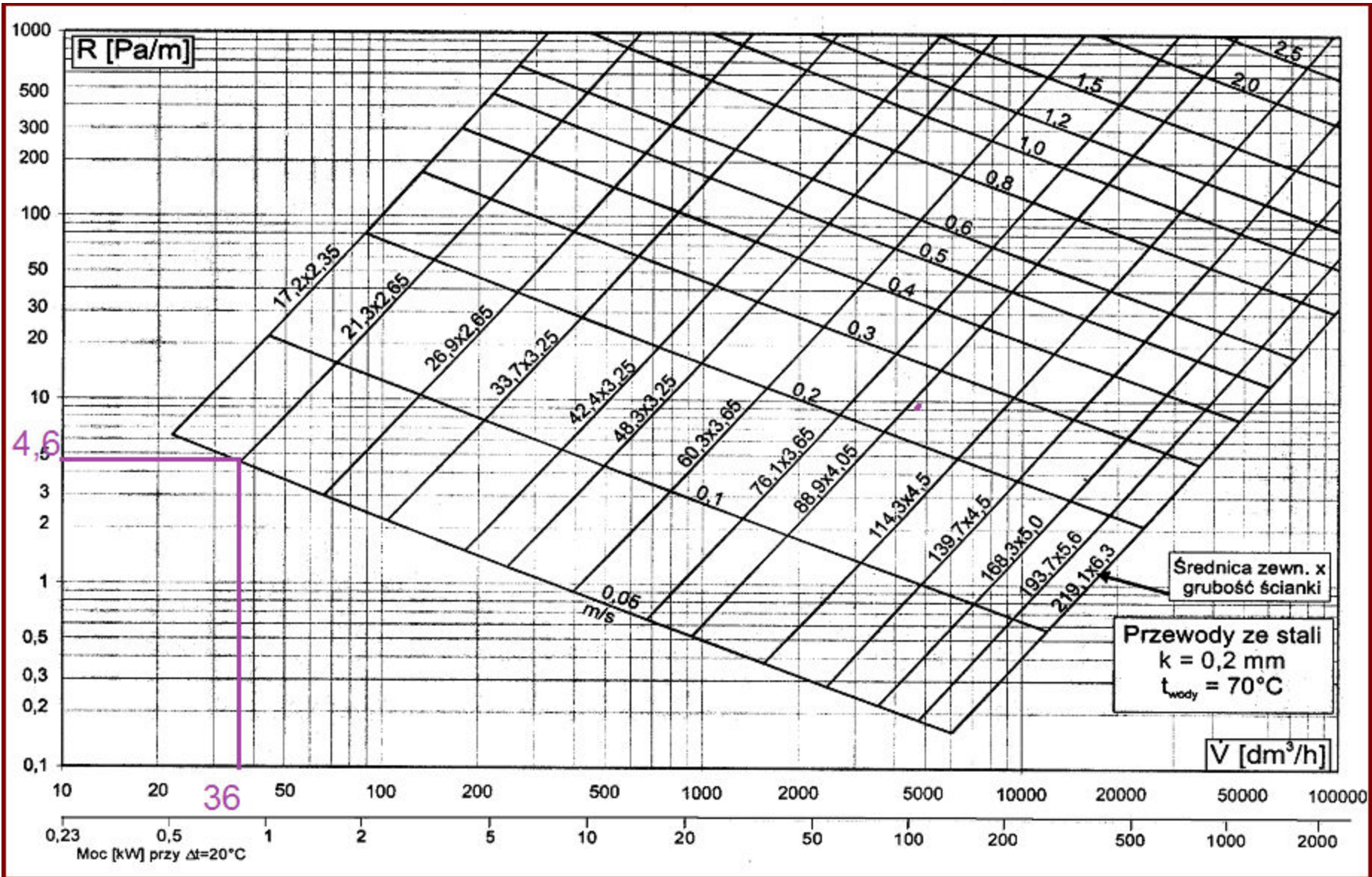
## Przykład instalacji grzewczej grawitacyjnej



## Przykład instalacji grzewczej grawitacyjnej

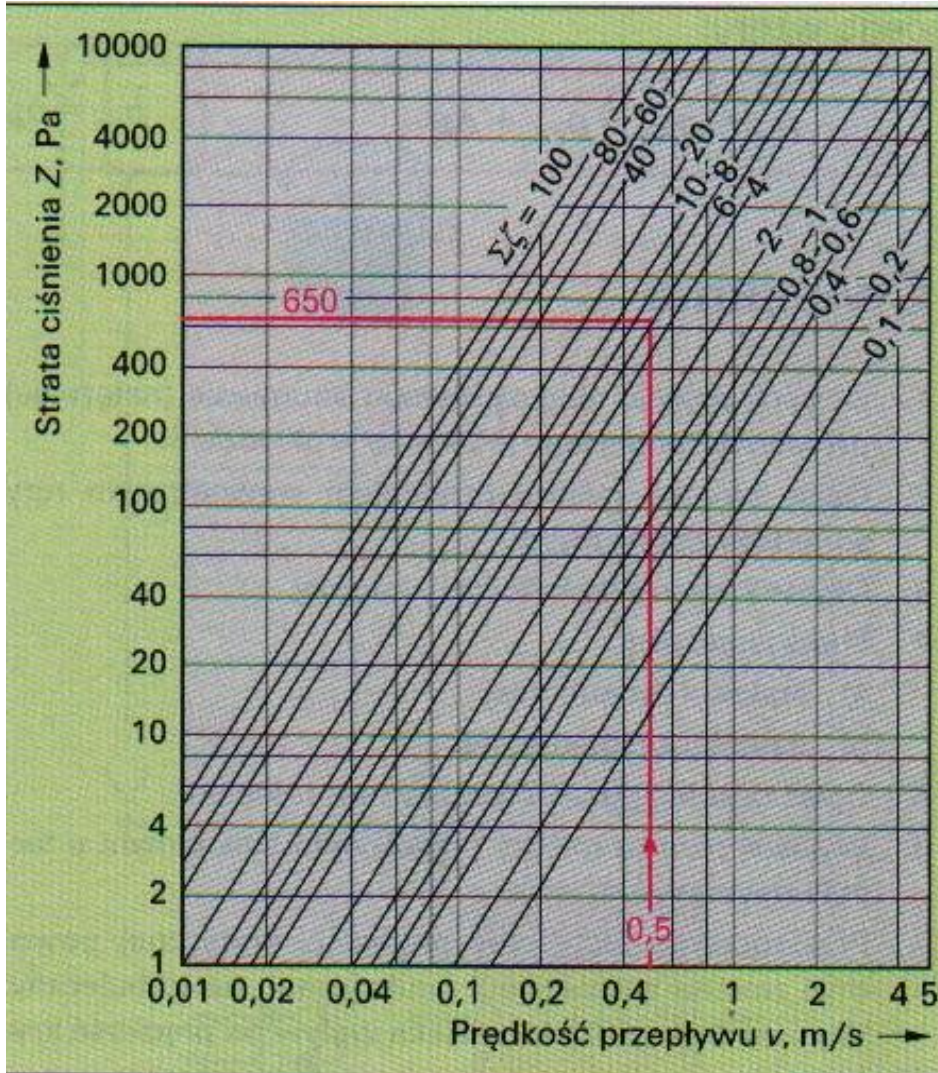


## Przykład instalacji grzewczej grawitacyjnej



# Przykład instalacji grzewczej grawitacyjnej

## Opory miejscowe Z z nomogramu



**Działka nr 1**

$$\Sigma \xi = 4,5$$

$$w = 0,08 \text{ m/s}$$

$$\text{Dla } \Sigma \xi = 1,0 \quad Z = 4 \text{ Pa}$$

$$\text{Dla } \Sigma \xi = 4,5 \quad Z = 4 \times 4,5 = 18 \text{ Pa}$$

**Działka nr 2**

$$\Sigma \xi = 9,0$$

$$w = 0,08 \text{ m/s}$$

$$\text{Dla } \Sigma \xi = 1,0 \quad Z = 4 \text{ Pa}$$

$$\text{Dla } \Sigma \xi = 9,0 \quad Z = 4 \times 9 = 36 \text{ Pa}$$

**Działka nr 3**

$$\Sigma \xi = 25,5$$

$$w = 0,05 \text{ m/s}$$

$$\text{Dla } \Sigma \xi = 1,0 \quad Z = 1,5 \text{ Pa}$$

$$\text{Dla } \Sigma \xi = 24,5 \quad Z = 1,5 \times 25,5 = 38,2 \text{ Pa}$$

## Przykład instalacji grzewczej grawitacyjnej

Dn	Przyłącze gwintowane [cal]	Średnica zewnętrzna [mm]	Grubość ścianki [mm]
8	1/4"	13,5	2,35
10	3/8"	17,2	2,35
15	1/2"	21,3	2,65
20	3/4"	26,9	2,65
25	1"	33,7	3,25
32	1 1/4"	42,4	3,25
40	1 1/2"	48,3	3,25
50	2"	60,3	3,65
65	2 1/2"	76,1	3,65
80	3"	88,9	4,05
100	4"	114,3	4,50
125	5"	139,7	4,85
150	6"	165,1	4,85

## Przykład instalacji grzewczej grawitacyjnej

Nr działki	$\phi$ – obciążenie cieplne [W]	m – strumień ciepła [ kg/s]	l [m]	d [m m]	w Prędkość [m/s]	R Opór jednostkowy [Pa/m]	R*I Straty ciśnienia liniowe [Pa]	$\Sigma \xi$ [-]	Z [Pa]	R*I +Z [Pa]
1	10 180	0,12	3x2=6	40	0,08	3,3	19,8			
2	8 290	0,09	4x2=8	32	0,08	4,0	32,00			
3	1 250	0,01	10x2 =20	15	0,05	4,6	92,00			

## Przykład instalacji grzewczej grawitacyjnej

### Współczynniki oporów miejscowych z tabeli

#### Działka nr 1

kocioł  $\xi = 2,5$

4xkolano  $\xi = 4 \times 0,5 = 2,0$

**$\Sigma \xi = 4,5$**

#### Działka nr 2

trójnik przeciwprąd zasilanie  $\xi = 3,0$

trójnik przeciwprąd powrót  $\xi = 3,0$

6xkolano  $\xi = 6 \times 0,5 = 3,0$

**$\Sigma \xi = 9,0$**

#### Działka nr 3

grzejnik płytowy  $\xi = 6,5$  ( dla DN15)

zawór grzejnikowy prosty  $\xi = 8,5$  ( dla DN15)

4xkolano  $\xi = 4 \times 1,5 = 6,0$



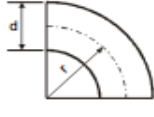










trójnik – odgałęzienie zasilanie  $\xi = 1,5$

trójnik – odgałęzienie powrót  $\xi = 1,0$

Odsadzka –  $\xi 0,5 \times 2 = 1,0$  Obejście –  $\xi = 1,0$

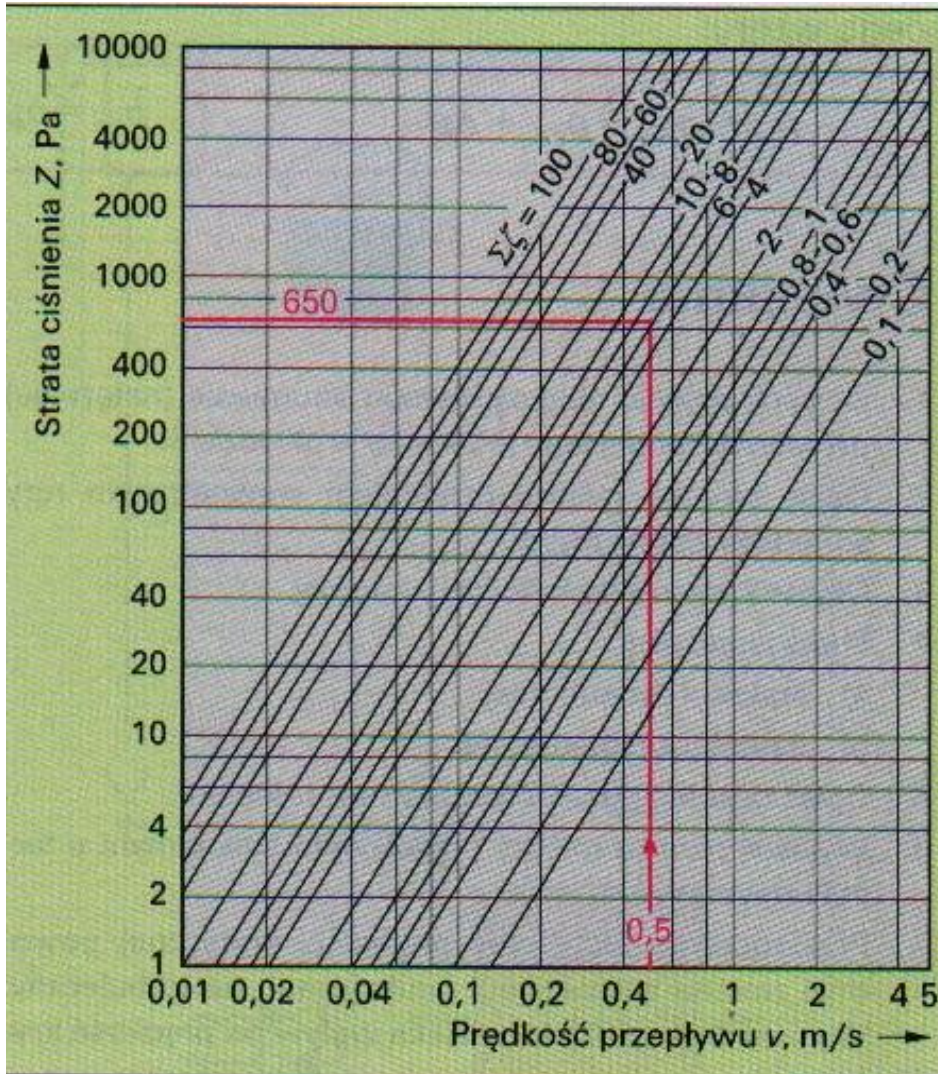
**$\Sigma \xi = 25,5$**

Wartości współczynników oporów miejscowych  $\zeta$  elementów instalacji centralnego ogrzewania z rur stalowych

Lp.	Nazwa	Symbol	Średnica nominalna przewodu	Współczynnik oporu miejsc. $\zeta$
1	Grzejnik członowy*	G 	10–15	3,0
			20–25	2,0
2	Grzejnik płytowy*	Gp 	10	2,5
			15	6,5
			20	19,0
			25	46,0
3	Łuk lub kolano gięte $r/d \geq 1,5$		10	2,0
			15	1,5
			20	1,0
			25	0,5
			32	0,5
4	Zawór grzejnikowy M-3173 i M-3175		10–15	8,5
			20–25	6,5
5	Zawór odcinający przelotowy prosty*		10–15	16,0
			20–25	12,0
			32–40	9,0
			50	7,0
6	Zawór jw. skośny*		10–15	3,5
			20–25	3,0
			32–40	2,5
			50	2,0
7	Kurek dwudrogowy stożkowy*		15	5,0
			20–25	3,5
8	Kocioł żeliwny*	K		2,5
9	Odsadzka			0,5
10	Obejście			1,0
11	Wydłużka* prostokątna falista dławicowa			2,0
				3,0
				0,5
12	Trójniki prostokątne zasilanie			0,5
				1,5
				3,0
				0,5
				1,0
				3,0
13	Czworniki przelot odgałężenie			2,0
				3,0
14	Nagła zmiana przekroju rozszerzenie			1,0

# Przykład instalacji grzewczej grawitacyjnej

## Opory miejscowe Z z nomogramu



**Działka nr 1**

$$\Sigma \xi = 4,5$$

$$w = 0,08 \text{ m/s}$$

$$\text{Dla } \Sigma \xi = 1,0 \quad Z = 4 \text{ Pa}$$

$$\text{Dla } \Sigma \xi = 4,5 \quad Z = 4 \times 4,5 = 18 \text{ Pa}$$

**Działka nr 2**

$$\Sigma \xi = 9,0$$

$$w = 0,08 \text{ m/s}$$

$$\text{Dla } \Sigma \xi = 1,0 \quad Z = 4 \text{ Pa}$$

$$\text{Dla } \Sigma \xi = 9,0 \quad Z = 4 \times 9 = 36 \text{ Pa}$$

**Działka nr 3**

$$\Sigma \xi = 25,5$$

$$w = 0,05 \text{ m/s}$$

$$\text{Dla } \Sigma \xi = 1,0 \quad Z = 1,5 \text{ Pa}$$

$$\text{Dla } \Sigma \xi = 25,5 \quad Z = 1,5 \times 25,5 = 38,2 \text{ Pa}$$

## Przykład instalacji grzewczej grawitacyjnej

### Określenie całkowitej starty ciśnienia w obiegu najbardziej niekorzystnym

Nr działki	$\phi$ – obciążenie cieplne [W]	m – strumień ciepła [ kg/s]	l [m]	d [mm ]	w Prędkość [m/s]	R Opór jednostkowy [Pa/m]	R*I Straty ciśnienia liniowe [Pa]	$\Sigma \xi$ [-]	Z [Pa]	R*I +Z [Pa]
1	10 180	0,12	3x2=6	40	0,08	3,30	19,8	4,5	18,00	37,8
2	8 290	0,09	4x2=8	32	0,08	4,00	32,00	9,0	36,00	68,0
3	1 250	0,01	10x2=20	15	0,05	4,6	92,00	25,5	38,20	130,2

$$\Sigma R \cdot I + Z = 236 \text{ Pa}$$

Całkowita starta ciśnienia w obiegu najbardziej niekorzystnym wynosi  $\Delta p_{ob} = 236 \text{ Pa}$

**Wartość ta przekracza opór czynny należy dokonać korekty obliczeń**

## Przykład instalacji grzewczej grawitacyjnej

---

Ciśnienie czynne dla obliczanego obiegu wynosi:

$$\Delta p_{cz} = h * g(\rho_p - \rho_z) = (2,40) * 9,81 ( 988,07-977,81) = \mathbf{241,56 \text{ Pa}}$$

Zatem jest ono wystarczające dla pokrycia obliczonych strat ciśnienia w obiegu

$$\mathbf{\Delta p_{ob}=236 \text{ Pa} < \Delta p_{cz} = 241,56 \text{ Pa}}$$

## Przykład instalacji grzewczej grawitacyjnej

Zgodnie z zasadą równoważenia obiegów błąd jest mniejszy niż 10% zatem nie ma konieczności stosowania kryzy w obliczanym zadaniu.

$$\Delta p_{cz} \approx \Delta p_{obj}$$

gdzie:

$\Delta p_{cz}$  – ciśnienie czynne w obiegu, Pa,

$\Delta p_{obj}$  – starty ciśnienia w obiegu przy obliczeniowych strumieniach wody, Pa.

Dopuszcza się błąd w zrównoważeniu obiegu do 10%:

$$\delta = \frac{|\Delta p_{cz} - \Delta p_{obj}|}{\Delta p_{cz}} \leq 10\%$$

$$\Delta p_{obj} = 236 \text{ Pa} < \Delta p_{cz} = 241,50 \text{ Pa}$$

$$(241,56 - 236) / 241,56 = 0,023 \quad 2,3\% - \text{nie stosujemy kryzy}$$

## Przykład instalacji grzewczej grawitacyjnej

### UWAGI DO OBLICZEŃ INSTALACJI GRAWITACYJNEJ:

- dla instalacji wykonanej z rur stalowych nie dobierać średnic przewodów mniejszych niż 15mm
- pomimo tego, że kierujemy się przy doborze średnic instalacji wartością  $R_{or}$ , **nie należy bać się** przyjęcia średnicy przewodu, dla której opór liniowy, przy założonym przepływie **odbiega od tej wartości** (w górę lub w dół)
- ponieważ konieczne jest zrównoważenie ciśnienia czynnego oporami przepływu również dla obiegów pozostałych grzejników, starajmy się nierównomiernie (nieliniowo) rozkładać opory przepływu, “kumulując” je w działkach wspólnych z obiegami bardziej “uprzywilejowanymi” (tzn. bliżej kotła lub z większymi ciśnieniami czynnymi)
- w razie konieczności, wstępnie założoną jako jedną (stały przepływ) działkę obliczeniową można podzielić na dwie o różnych średnicach, a długość “nowych” działek tak dobrać, aby zrównoważyć do żądanych opory przepływu.
- patrząc od grzejnika, w kierunku źródła ciepła, średnice działek obiegu nie powinny maleć (poza przypadkiem redukcji średnicy w celu podłączenia do króćców kotła)

**Dobór pompy**

**Dobór wentylatora**



## Dobór pompy

### Dobór pompy obiegowej

W celu doboru pompy należy ustalić dwie wielkości:

- wymaganą wydajność,
- wysokość podnoszenia.



### **Zadania pompy w instalacji c.o :**

- wytwarzanie ciśnienia potrzebnego na pokonanie oporów hydraulicznych, zmniejszonych o obliczeniową wartość ciśnienia grawitacyjnego,
- doprowadzenie do grzejników potrzebnej ilości nośnika ciepła,

## Dobór pompy

### Dobór pompy obiegowej

Wymagana wydajność pompy obiegowej:

$$V_p = \frac{1,1 \cdot Q_{inst}}{c_w \cdot (t_z - t_p) \cdot \rho}, \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{V}_p = \frac{1,10 \cdot Q \cdot 1000 \cdot 60}{C_w \cdot \Delta t \cdot \rho} \quad [\text{dm}^3/\text{min}]$$

$Q_{ins}$  – obliczeniowa moc cieplna instalacji, W,

$c_w$  – ciepło właściwe wody, 4186 J/kgK,

$t_z$  – obliczeniowa temperatura wody zasilającej instalację, °C,

$t_p$  – obliczeniowa temperatura wody powracającej z instalacji, °C,

$\rho$  – gęstość wody płynącej przez pompę, tzn. gęstość dla temperatury zasilania lub powrotu w zależności od lokalizacji pompy, kg/m<sup>3</sup>

## Dobór pompy

---

### Dobór pompy obiegowej

**1m** wysokości podnoszenia wody przez pompę

~

**10 kPa**

## Dobór pompy

---

### Dobór pompy obiegowej

Orientacyjna wysokość podnoszenia pompy

$$H_{p,or} = \frac{\Delta p_{zc} + (100 \div 250) \cdot \sum L}{9,81 \cdot \rho}, \text{ m H}_2\text{O}$$

$\Delta p_{zc}$  – opór źródła ciepła, np. opór wymiennika ciepła po stronie instalacyjnej, Pa,

$\sum L$  – suma długości działek w najbardziej niekorzystnym obiegu, m,

$\rho$  – gęstość wody płynącej przez pompę, kg/m<sup>3</sup>.

## Dobór pompy obiegowej

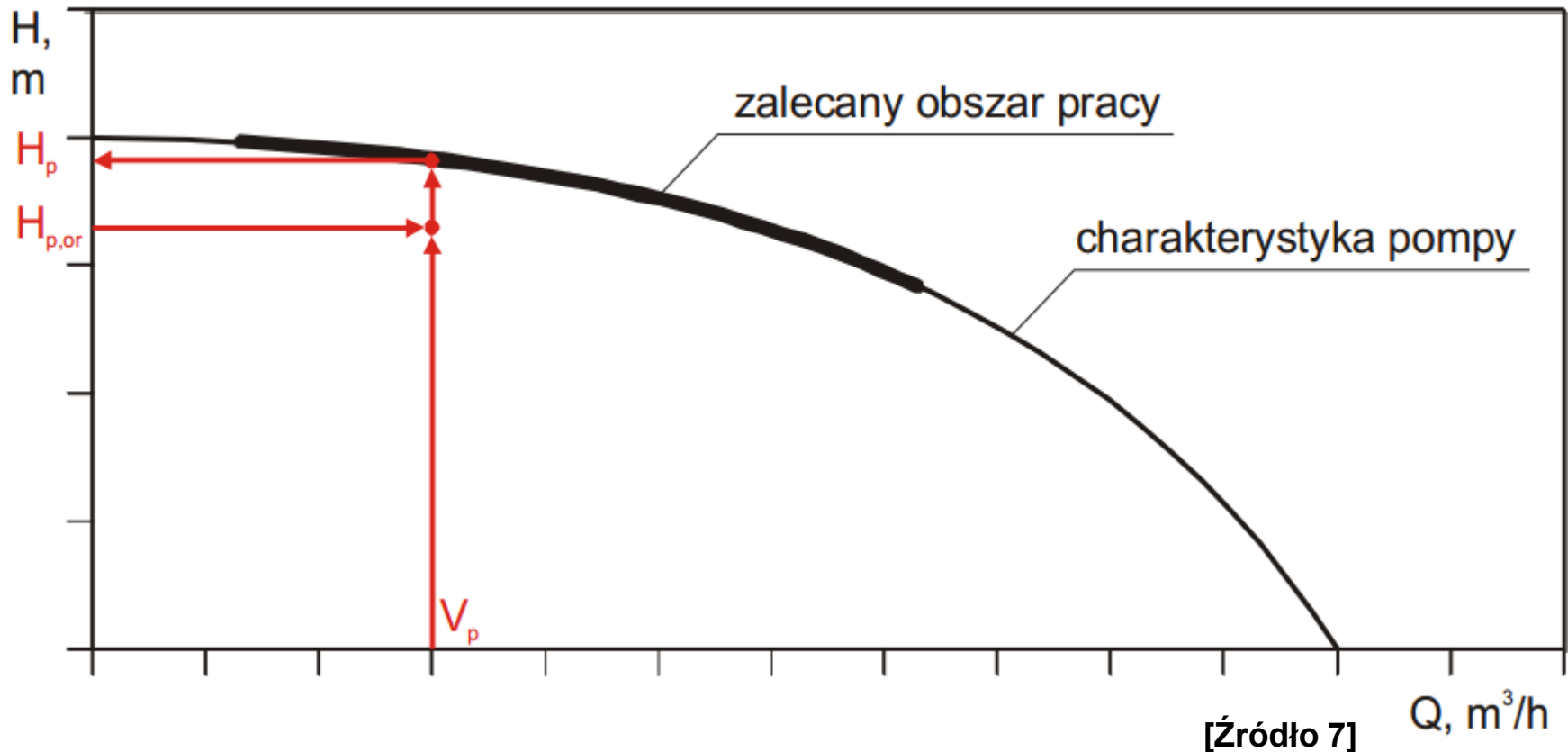
Dobierając pompę należy w miarę możliwości zapewnić, aby punkt pracy znajdował się w zalecanym obszarze, dzięki czemu pompa będzie osiągać wysoką sprawność.

W przypadku pomp, które posiadają kilka biegów, należy również wskazać bieg, na którym pompa ma pracować.

# Dobór pompy

## Dobór pompy obiegowej

### Charakterystyka pompy



[Źródło 7]

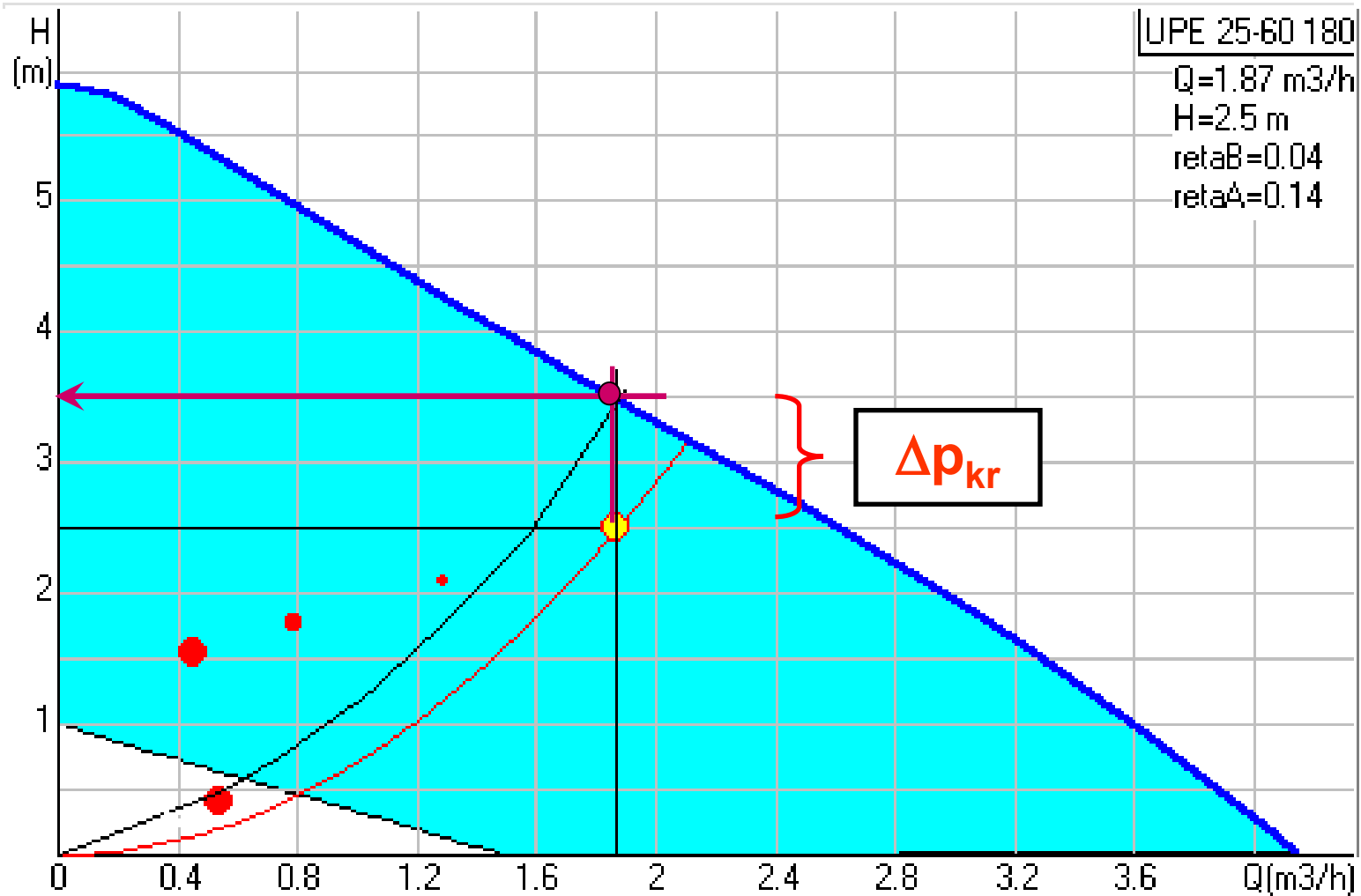
## Dobór pompy obiegowej

Kolejnym krokiem jest ustalenie wysokości podnoszenia dobranej pompy dla wymaganej wydajności.

Wysokość ta będzie następnie podstawą równoważenia hydraulicznego instalacji.

# Dobór pompy

## Dobór pompy obiegowej



## Dobór pompy



U M(P) C (D) 50-30 F06 (F10)

Pompa obiegowa

Silnik 4-biegowy

Silnik 2-biegowy

Sterowanie, przełączanie obrotów

Pompa podwójna

Przyłącza i  $\varnothing$  nom 50mm

Max. wysokość podnoszenia 3,0m

Kołnierze PN6/DIN 2531(PN 16/DIN 2533)

## Dobór wentylatora

Po zaprojektowaniu wentylacji lub klimatyzacji, po obliczeniu oporów przepływu powietrza dobieramy wentylator.

Do doboru wentylatora potrzebne są dwa podstawowe parametry:

- $V$  [ $m^3/s$ ] – wydajność, czyli strumień objętości powietrza przetłaczanego przez wentylator,
- $\Delta P$  [Pa] – wymagane ciśnienie, niezbędne do pokonania oporów przepływu powietrza przez zaprojektowaną instalację.

## Dobór wentylatora

Podstawą doboru wentylatora do projektowanej instalacji jest jego charakterystyka sporządzona przez producenta.

Prawidłowo dobrany punkt pracy wentylatora powinien znajdować się w obszarze jego maksymalnej sprawności.

## Dobór wentylatora

---

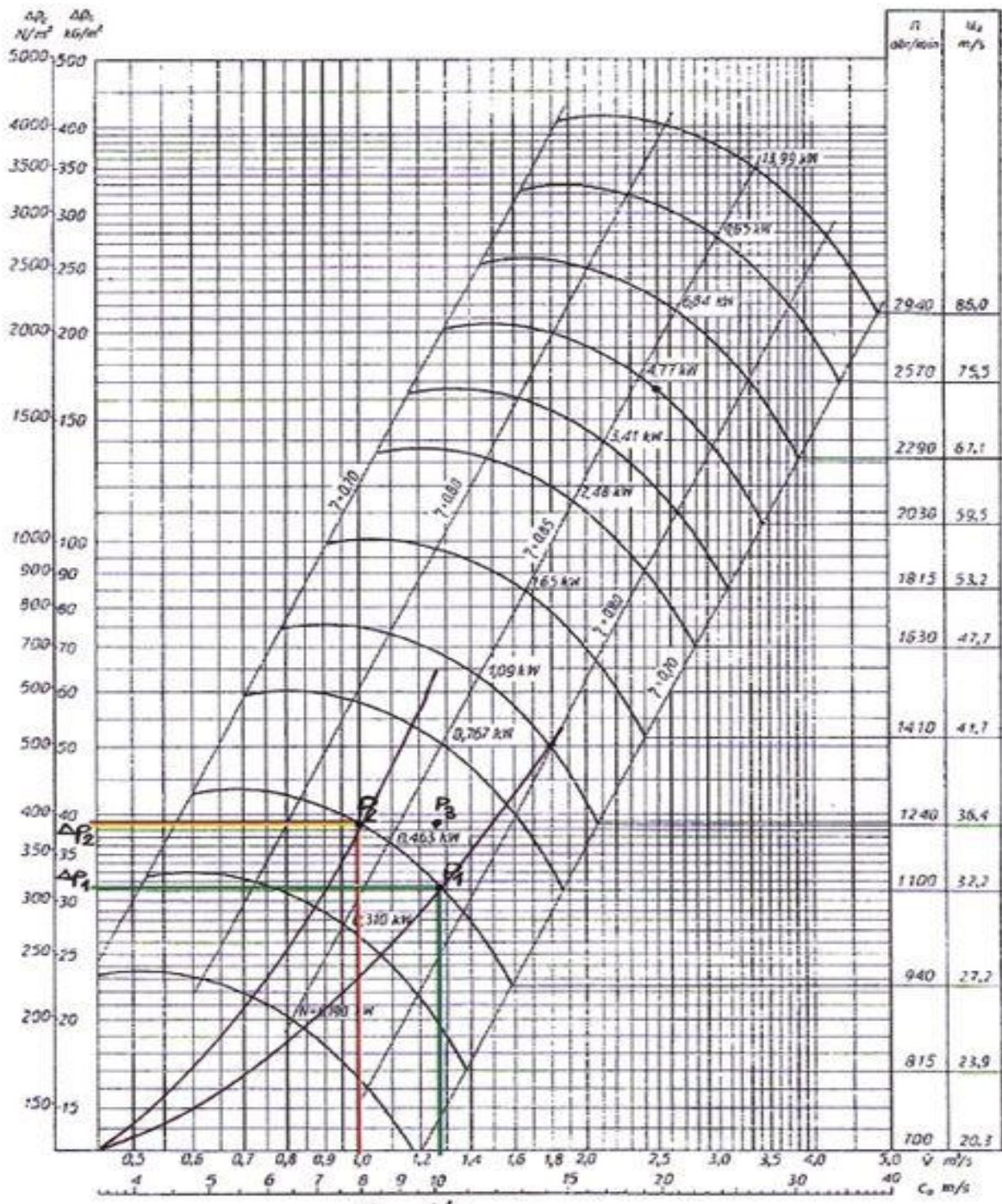
Na wykresie na rysunku pokazano przykładową charakterystykę wentylatora promieniowego.

Nanosząc na charakterystykę parametry wentylatora np.

$$V_1 = 1,27 \text{ m}^3/\text{s}$$

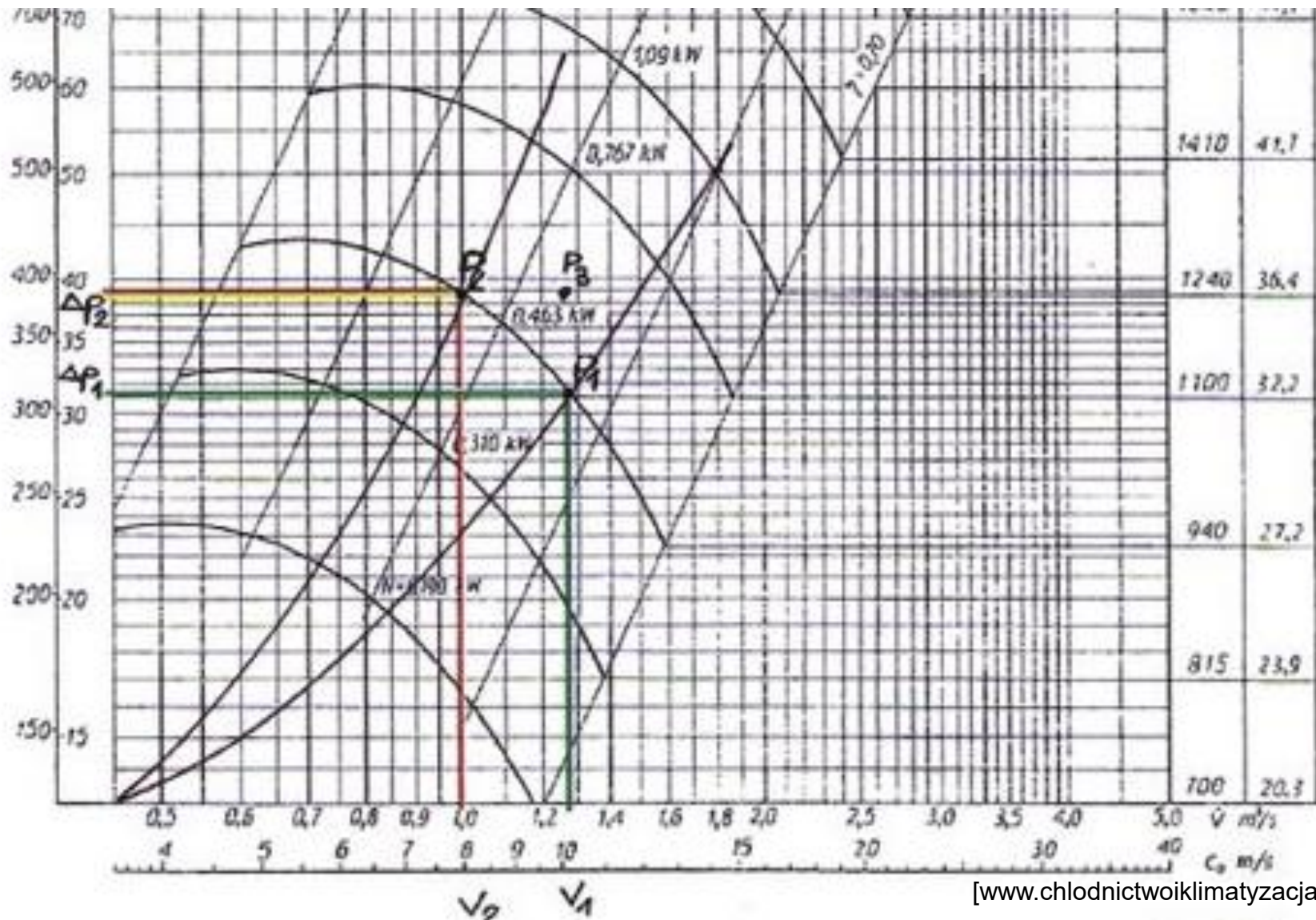
$$\text{i } \Delta P_1 = 314 \text{ Pa,}$$

dobrano urządzenie ze sprawnością  $\eta = 0,82$ , oraz liczbą obrotów  $n = 940 \text{ obr/min}$ .



[[www.chlodnictwoiklimatyzacja.pl](http://www.chlodnictwoiklimatyzacja.pl)]

# Dobór wentylatora



[[www.chlodnictwoiklimatyzacja.pl](http://www.chlodnictwoiklimatyzacja.pl)]

## Dobór wentylatora

---

Przy doborze wentylatora bardzo ważne jest dokładne obliczenie oporu przepływu powietrza (spiętrzenia) przez instalację. Jeżeli rzeczywisty opór przepływu będzie większy od przyjętego to wydajność wentylatora będzie mniejsza od wymaganej, czyli ilość wymian powietrza w wentylowanym pomieszczeniu będzie mniejsza od obliczonej.

W naszym przypadku, jeżeli  $\Delta P_p = 390 \text{ Pa}$  to strumień objętości powietrza zmaleje do  $V_2 = 1,00 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Jeżeli opory przepływu będą mniejsze od przyjętych to strumień objętości powietrza będzie większy. Jeżeli różnica będzie dotyczyła tylko wentylatora nawiewnego lub wywiewnego to otrzymamy w wentylowanych pomieszczeniach odpowiednio nadciśnienie lub podciśnienie. Jeżeli wyznaczony punkt nie leży na charakterystyce wentylatora, wówczas należy dobrać wentylator z najbliższej charakterystyki i przez zmianę liczby obrotów dostosować go do wymaganych warunków pracy.

## Dobór wentylatora

---

Charakterystyki wentylatorów są opracowywane dla powietrza o:

- temperaturze  $t = 20^{\circ}\text{C}$ ,
- wilgotności względnej  $\phi = 40\%$ ,
- gęstości powietrza  $\rho = 1,20 \text{ kg/m}^3$  oraz dla ciśnienia barometrycznego  $p = 1013 \text{ hPa}$ .

Jeżeli wentylator jest przeznaczony do pracy w innych warunkach to należy obliczyć rzeczywistą wartość strumienia objętości powietrza.

## Zadanie domowe nr 1

Dla zadanego schematu dobierz pompę cyrkulacyjną c.w.u, pompę obiegową centralnego ogrzewania ( $\Delta t = 20K$ ) oraz pompę obiegową dla ogrzewania podłogowego ( $\Delta t = 15K$ )

Parametry instalacji:

Cyrkulacja:

$$q = 0,15 \text{ dm}^3/\text{s}$$

$$\Delta p = 9 \text{ kPa}$$

Obieg c.o (PG)

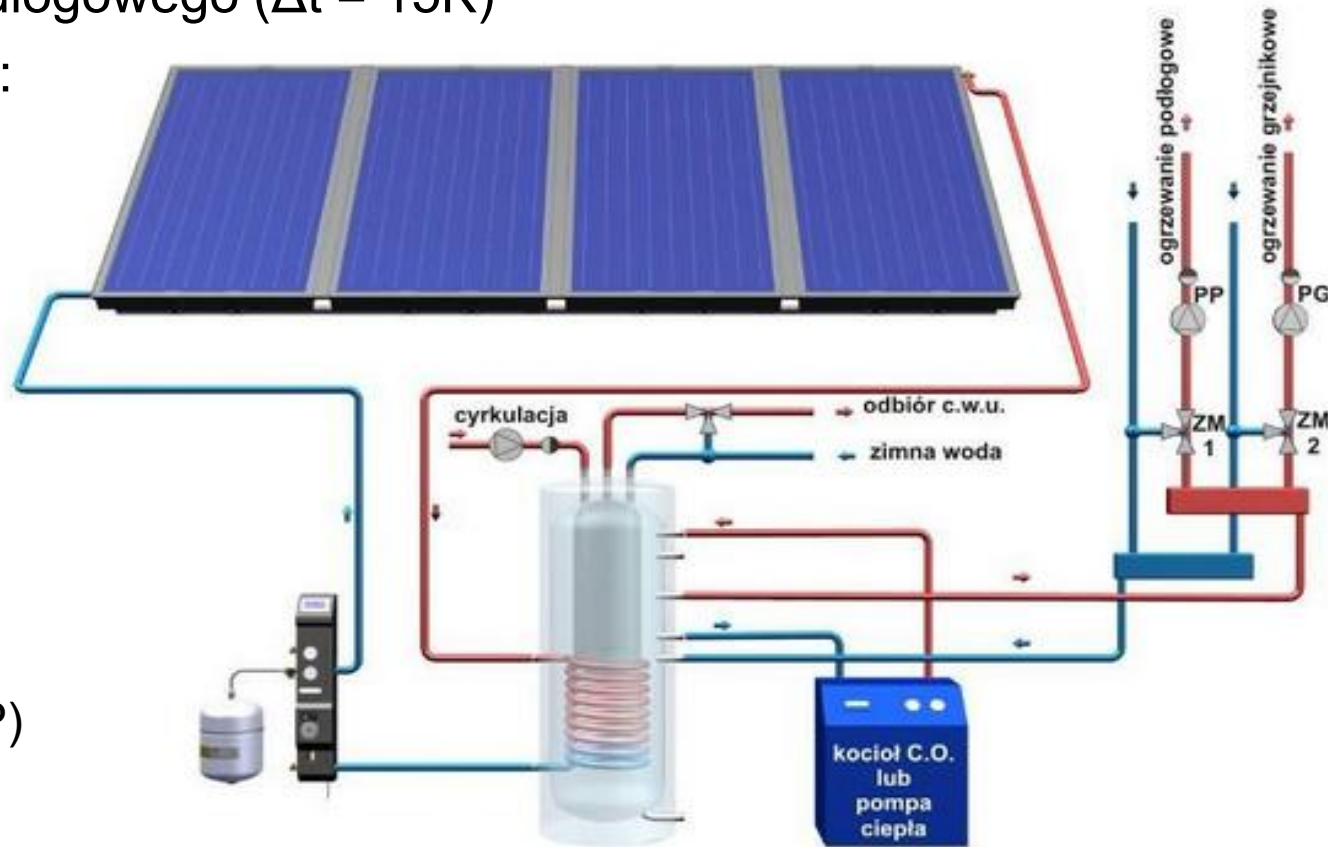
$$q = 0,06 \text{ dm}^3/\text{s}$$

$$\Delta p = 10 \text{ kPa}$$

Obieg podłogówki (PP)

$$q = 0,12 \text{ dm}^3/\text{s}$$

$$\Delta p = 32 \text{ kPa}$$



fot.: Hewalex

# Systemy energetyki odnawialnej

---

Dziękuję za uwagę

**Zapraszam na kolejny wykład**

