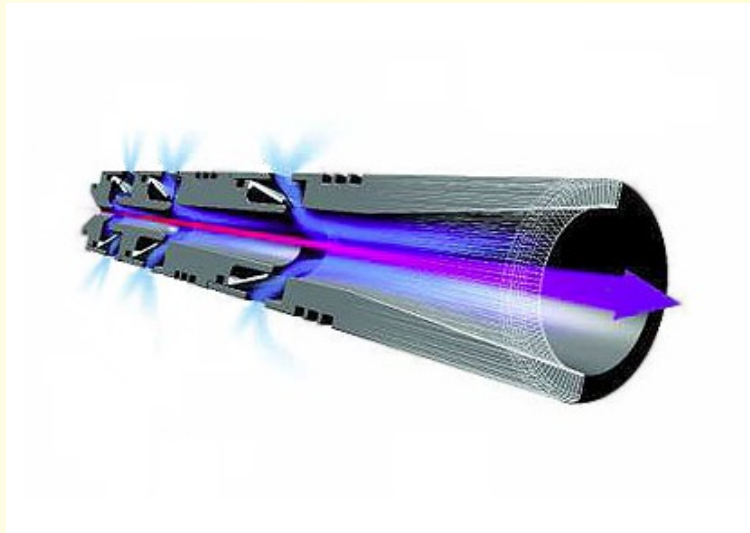


Podstawy mechatroniki (wykład 4)

Wstęp do napędów pneumatycznych



Mgr inż. Grzegorz Lis St405; St28; St130; grzegorzlis@hotmail.com

1_wstęp

2_podzespoły pneumatyczne V2

3_układy pneumatyczne

4_napędy hydrauliczne cz.1

5_napędy hydrauliczne cz.2

6_wady i zalety

materia

```
graph TD; materia[materia] --- ciała_stale[ciała stałe]; materia --- cieczy[cieczy]; materia --- gazy[gazy];
```

ciała stałe

Cechy:

- Sprężystość -duża po zaniku obciążenia wraca do postaci przed obciążeniem
- Ścisłość-mała poddane obciążeniu stawia opór
- Opór postaciowy-duży do zmiany kształtu potrzebana jest duża siła

cieczy

Cechy:

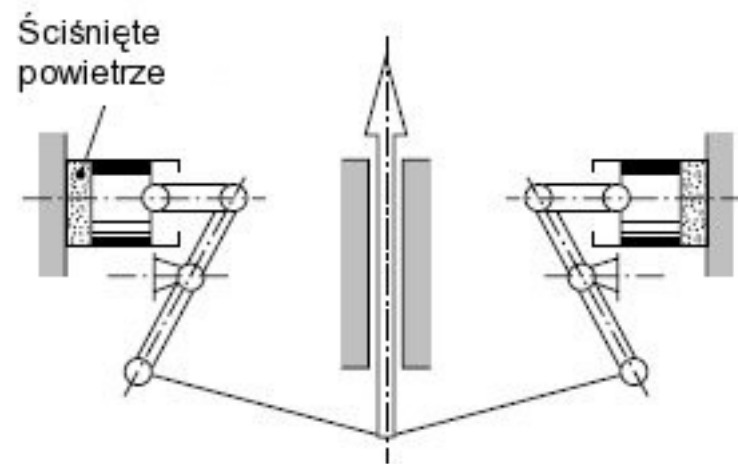
- Sprężystość -duża po zaniku obciążenia wraca do postaci przed obciążeniem
- Ścisłość-mała poddane obciążeniu stawia opór
- Tworzy powierzchnię swobodną na granicy ciecz-gaz.
- Płynność nie ma oporu postaciowego, siła maleje wraz ze spadkiem prękości odkształcenia

gazy

Cechy:

- Sprężystość
- Ścisłość
- Tworzy powierzchnię swobodną na granicy ciecz-gaz.
- Płynność
- Wypełnia całkowicie objętość do której jest wpuszczony

historia



katapulta pneumatyczna ok 140 r. pne

historia

W 17 stuleciu podwaliny pod rozwój pneumatyki położyli: niemiec *Otto von Guericke*, francuzi *Blaise Pascal* i *Denis Papin*

Pierwsze narzędzie o napędzie pneumatycznym zostało zastosowane w Austrii podczas budowy tunelu pod Mont Cenis w 1861r.

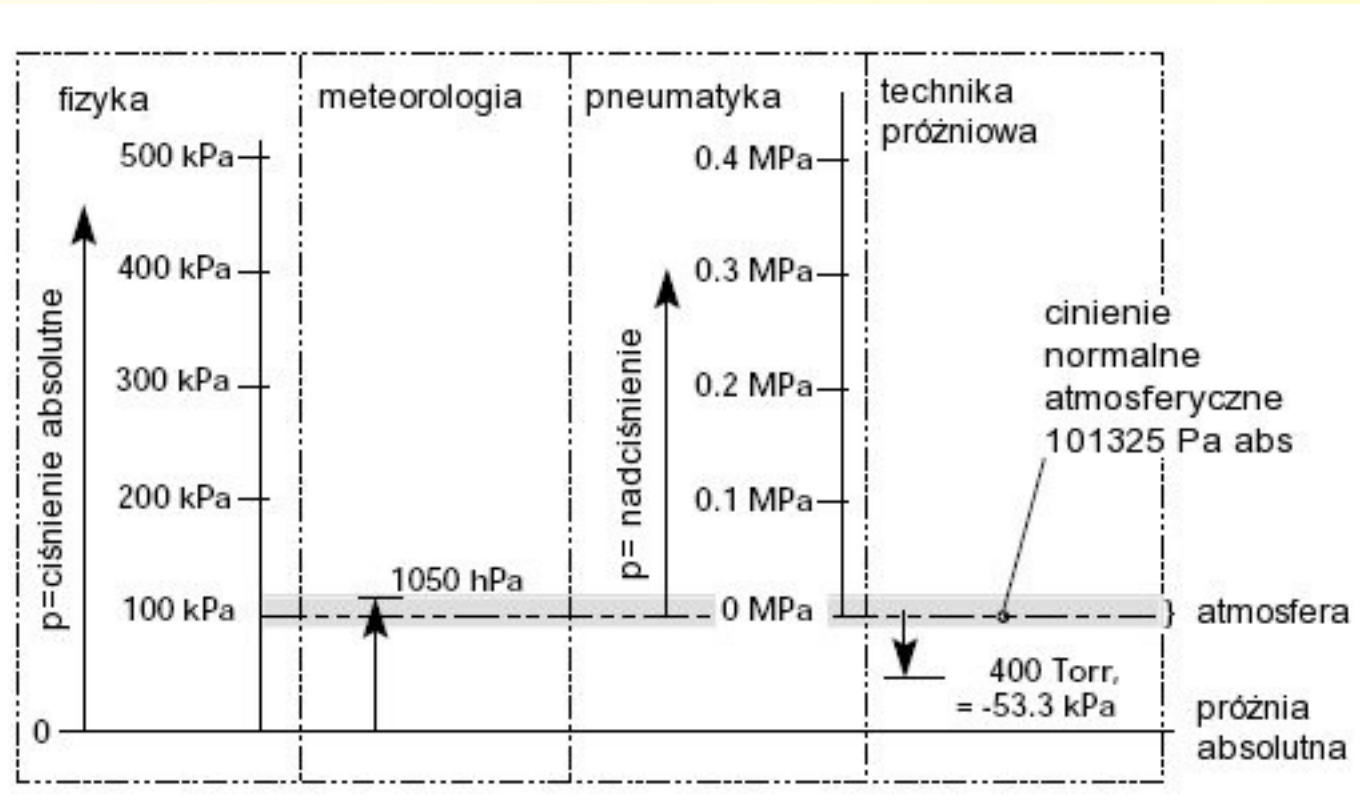
Pierwszy kolejowy hamulec pneumatyczny powstał w 1880 r.

Zastosowanie wspomaganie podciśnieniowego hamulca w samochodzie ciężarowym lata trzydzieste XX wieku.

Współczesną pneumatykę przemysłową datuje się na 1960 r, gdy powstają pierwsze firmy oferujące napędy pneumatyczne.

W latach 80 ubiegłego wieku rozwijane są elementy sterowania pneumatycznego, początkowo analogowe, w okresie późniejszym elementy logiczne strumieniowe i dwustanowe.

Sprężone powietrze



Normalne ciśnienie atmosferyczne – nacisk słupa powietrza atmosferycznego na poziomie morza: $p_n = 1013,25 \text{ hPa} = 1013,25 \text{ mbar} = 760 \text{ mmHg (Torr)}$.

Sprężone powietrze

nowe jednostki	Pascal	Pa	1 Pa = 1 N/m ²
	Megapascal	MPa	1 MPa = 10 ⁶ Pa
	Bar	bar	1 bar = 10 ⁵ Pa
	Millibar	mbar	1 mbar = 10 ⁻³ bar = 100 Pa
	Hektopascal	hPa	1 hPa = 100 Pa = 1 mbar
stare jednostki	kilofunt na milimetr kwadratowy	kp/cm ²	1 kp/cm ² = 98 066 Pa = 0.981 bar
	metr słupa wody	mWS	10 mWS = 98 066 Pa = 0.981 bar
	atmosfera techniczna	at	1 at = 98 066 Pa = 0.981 bar
	atmosfera fizyczna	atm	1 atm = 101 325 Pa
	Torr(milimetry słupa rtęci)	Torr (mmHg)	1 Torr = 133.3224 Pa (1 bar ≈ 750 Torr)
jednostki anglosaskie	funt na cal kwadratowy	p.s.i.	1 p.s.i. = 6 894.74 Pa (1 bar ≈ 14.5 p.s.i.)
	funt na stopę kwadr.	lb./sq. ft.	1 lb./sq. ft. = 47.8802 Pa

Warunki normalne

Standardowa temperatura i ciśnienie STP (*Standard Temperature and Pressure*) – standardowe warunki pomiarów i przebiegu procesów fizycznych: temperatura 273,15 K, ciśnienie 101,325 kPa.

Normalna temperatura i ciśnienie NTP (*Normal Temperature and Pressure*) – normalne warunki przeprowadzania prób urządzeń wentylacyjnych: 293,15 K, ciśnienie 101,325 kPa, gęstość 1,204 kg/m³.

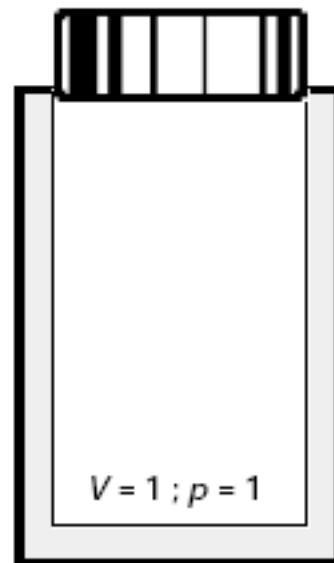
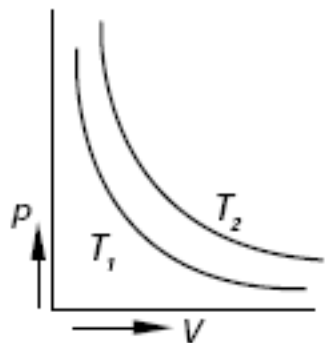
Międzynarodowa atmosfera odniesienia ISA (*International Standard Atmosphere*) – standardowa atmosfera odniesienia zalecana w ruchu lotniczym: ciśnienie 1013,25 hPa, temperatura 288,15 K, wilgotność względna 0%.

Znormalizowana atmosfera odniesienia ANR (*Atmosphere Normale de Reference*) – normalna atmosfera odniesienia według ISO 8778, stosowana w napędach pneumatycznych do przedstawiania wyników badań i charakterystyk elementów pneumatycznych w celu ich porównywania: ciśnienie $p_N = 100$ kPa, temperatura $T_N = 293,15$ K, gęstość $\rho_N = 1,188$ kg/m³, względna wilgotność $\phi = 65\%$.

Prawa gazowe

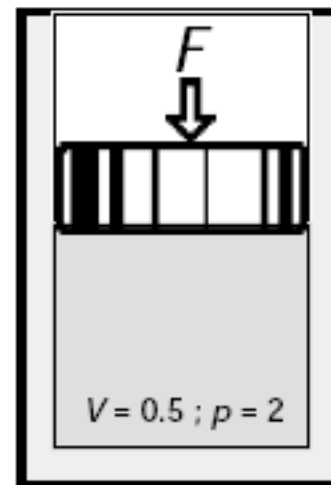
Boyla-Mariotte'a (przemiana izotermiczna)

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$



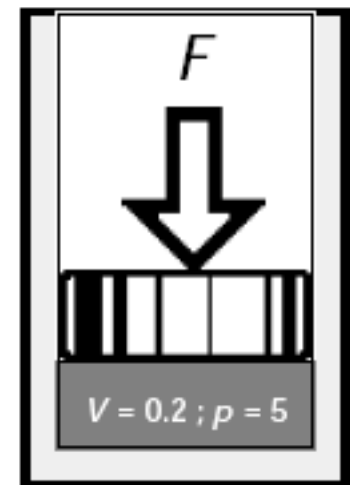
$$p_1 \times V_1$$

=



$$p_2 \times V_2$$

=



$$p_3 \times V_3$$

Przykład :

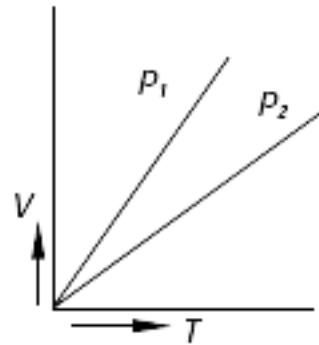
Objętość powietrza 1m sześciennego pod ciśnieniem 101325 Pa i w stałej temperaturze została zmniejszona do objętości 0,5 msześciennego, jakie jest ciśnienie powietrza w nowych warunkach?

$$p_2 = \frac{p_1 \cdot V_1}{V_2} = \frac{101325 \text{ Pa} \cdot 1 \text{ m}^3}{0.5 \text{ m}^3} = 202650 \text{ Pa}$$

Prawa gazowe

Gay'a- Lussaca (przemiana izobaryczna)

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$



Przykład:

Objętość 100m sześciennych gazu podgrzano od temperatury

$$T_1 = 0^\circ\text{C}, T_2 = 20^\circ\text{C}, V_2 = ?\text{m}^3$$

$$V_2 = \frac{V_1 \cdot T_2}{T_1} = \frac{100\text{m}^3 \cdot 293^\circ\text{K}}{273^\circ\text{K}} = 107.326\text{m}^3$$

Prawa gazowe

prawo Clapeyrona

$$pv = \frac{p}{\rho} = RT$$

p - ciśnienie absolutne, v - objętość właściwa, ρ - gęstość, R - indywidualna stała gazowa,

dla powietrza $R = 287 \left[\frac{m^2}{s^2 \cdot K} \right]$

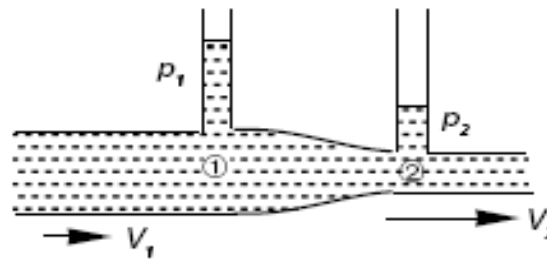
$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = \text{const}$$

Prawa gazowe

równanie Bernoulliego

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_2^2$$

ρ = ciężar właściwy medium

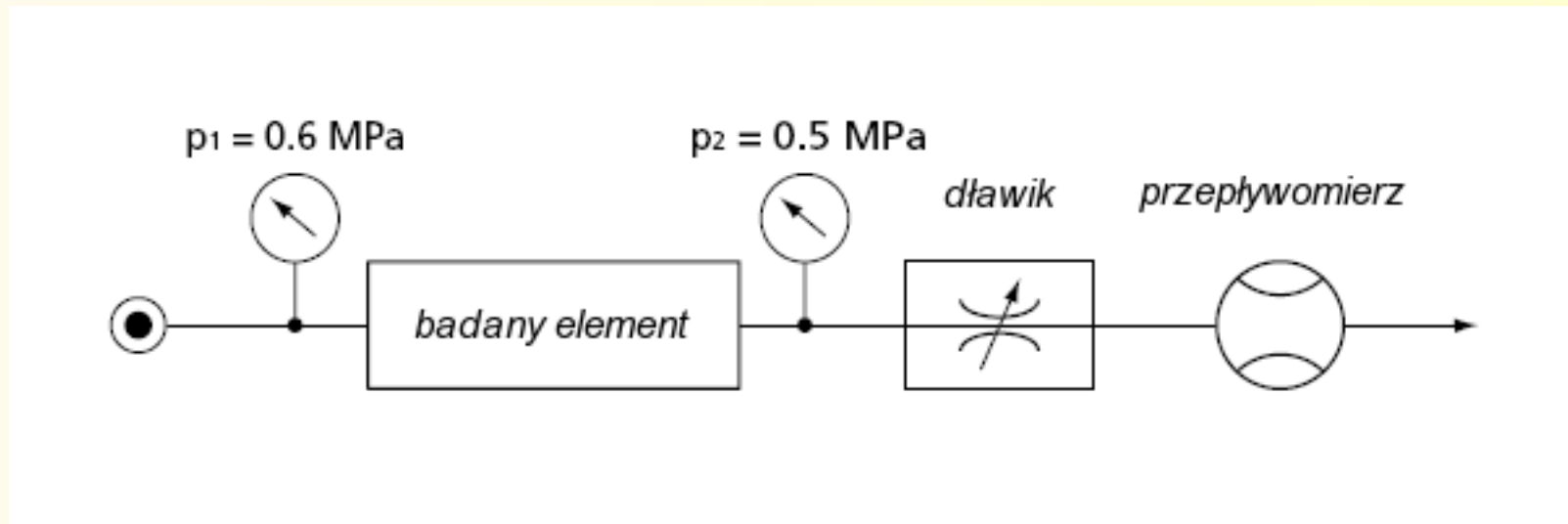


Pełna postać równania Bernoulliego jest zasadą zachowania energii dla przepływów. Poszczególne człony oznaczają; energię kinetyczną strumienia i energię potencjalną ciśnienia i wysokości.

Równanie wyprowadzono dla cieczy, jest ono słuszne i dla gazów jeżeli prędkość przepływu nie przekracza 300 m/s

Przepływy

przepływ nominalny Q_{vn}



Przepływ nominalny objętościowy Q_{vn} elementu pneumatycznego jest to natężenie przepływu powietrza przez badany element w warunkach, gdy na wlocie elementu panuje ciśnienie p_1 , a na wylocie ciśnienie p_2 i jest ono mniejsze od wlotowego o Δp .

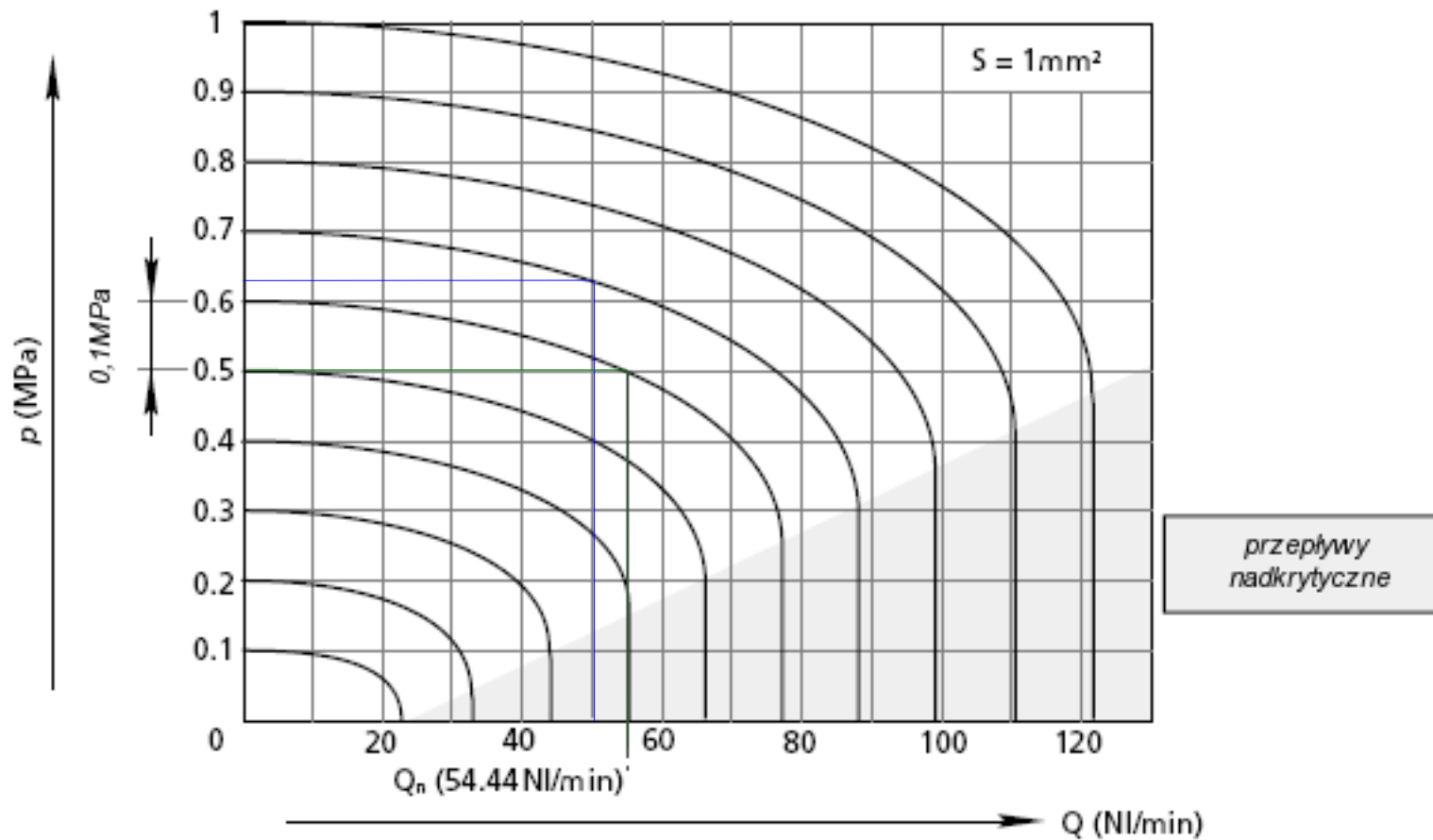
Większość firm przyjmuje $p_1=0,6$ MPa i $\Delta p=0,1$ MPa

temperatura gazu (°C)	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
współ. korekcyjny	1.08	1.06	1.04	1.02	1	0.98	0.97	0.95	0.94

Przepływy

przepływ nominalny Q_{vn}

Rodzina charakterystyk przepływowych



Przepływy

przepływ objętościowy nominalny Q_{vn}

Przykład obliczeniowy

Ciśnienie wejściowe na elemencie 0,6 MPa, spadek ciśnienia $\Delta p=0,1$ MPa, ciśnienie wyjściowe 0,5 MPa, obliczyć przepływ nominalny dla elementu o przekroju kanału 4,5 mm². Z wykresu odczytujemy wartość $Q_{vn}=54.44$ NI/min. Ponieważ rodzina charakterystyk została wykonana dla elementu o przekroju kanału $s=1$ mm² to:

- $Q_{vn}(4,5) = 4,5 \cdot Q_n(1) = 254$ NI/min

Przykład obliczeniowy

Zawór ma przekrój równoważny 12 mm², zasilany jest ciśnieniem 0,7 MPa i przepływ wynosi 600 NI/min. Oblicz ciśnienie wyjściowe.

Przepływ dla zaworu o wielkości 12 mm² odpowiada przepływowi przy wielkości zaworu 1mm².

- $600/12 = 50$ [NI/min]

Prowadząc na wykresie **linię pionową** dla przepływu **50 NI/min** do przecięcia z krzywą **0,7 MPa** uzyskujemy punkt przecięcia odpowiadający ciśnieniu ok. **0,63 MPa**

Przepływy

przepływ nominalny Q_m

Przepływ masowy – przepływ masy płynu przez rozpatrywany (kontrolny) przekrój poprzeczny w przedziale czasu:

Przepływy

przepływy nominalne Q_{vn} pod i nadkrytyczne

- przepływ podkrytyczny

$$p_1 + 0.1013 \text{ MPa} < 1.896 (p_2 + 0.1013 \text{ MPa})$$

$$Q = 222 S \sqrt{\Delta p (p_2 + 0.1013 \text{ MPa})}$$

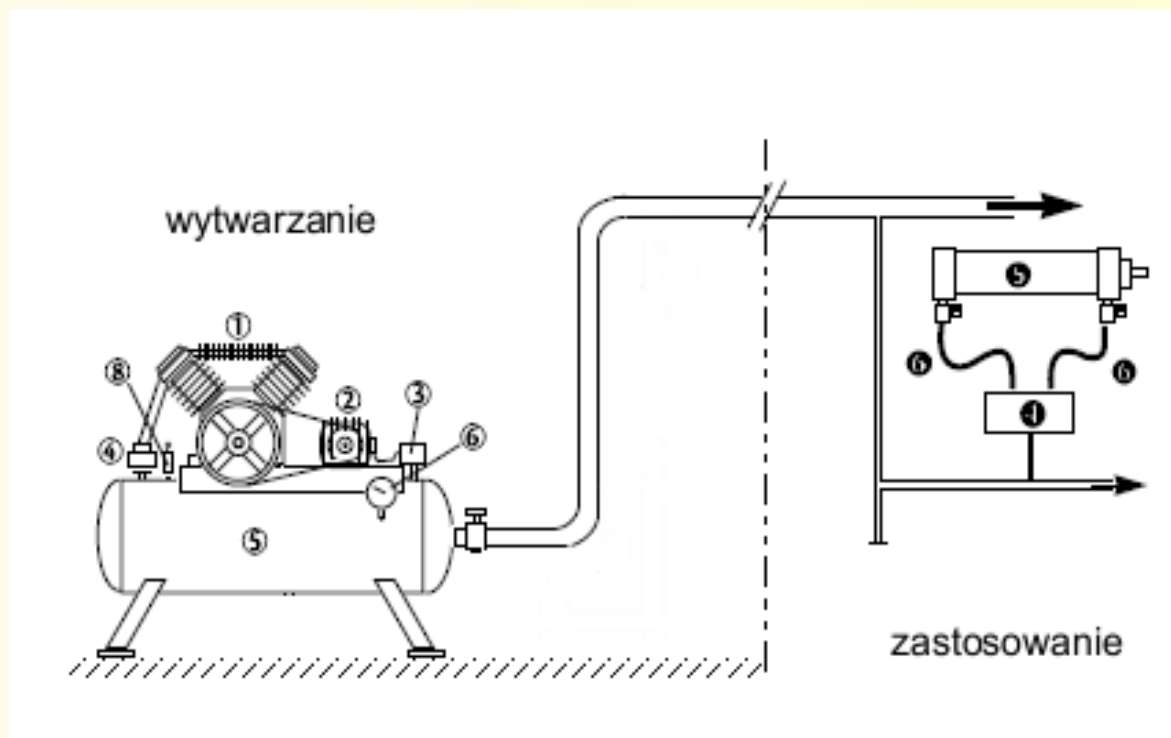
- przepływ nadkrytyczny

$$p_1 + 0.1013 \text{ MPa} \geq 1.896 (p_2 + 0.1013 \text{ MPa})$$

$$Q = 111 S (p_1 + 0.1013 \text{ MPa})$$

Q	= natężenie przepływu	[Nl/min.]
p_1	= ciśnienie wejściowe	[MPa]
p_2	= ciśnienie wyjściowe	[MPa]
Δp	= spadek ciśnienia	[$p_1 - p_2$]
S	= przekrój równoważny	[mm ²]

Wytwarzanie sprężonego powietrza



- 1) chłodnica międzystopniowa, 2) silnik napędowy, 3) przetwornik ciśnienia max. 4) kompensator drgań, 5) zbiornik ciśnieniowy, 6) manometr kontrolny, 8) zawór bezpieczeństwa, (1) przyłącze odbiorcze sprężonego powietrza, (4) zawór sterujący, (5) siłownik napędu, (6) przewody elastyczne.

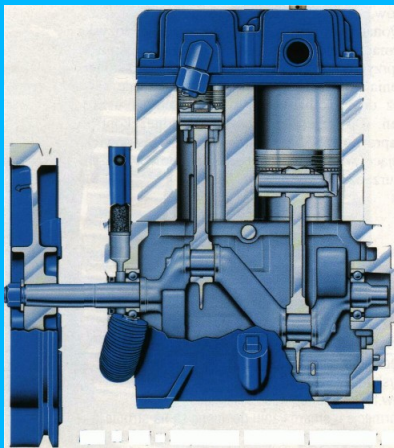
Wytwarzanie sprężonego powietrza

Sprężarki

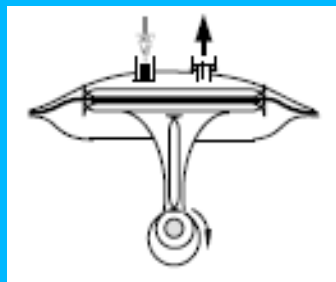
wyporowe

rotacyjne

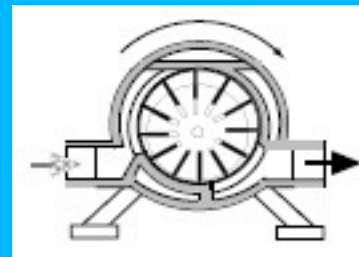
Tłokowe



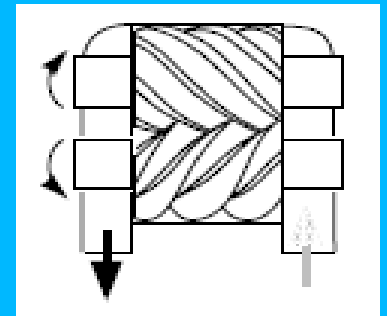
Membranowe



Łopatkowe



Śrubowe



Wytwarzanie sprężonego powietrza

Sprężarki tłokowe

- Niska jakość powietrza (silne zaolejenie duża ilość kondensatu - wody)
- Hałas akustyczny ok. 80 dB.
- Silne wibracje mechaniczne konieczność stosowania tłumików drgań,
- Dość trudny rozruch wymagający odpowiedniej konstrukcji elektrycznej (trójkąt-gwiazda) i mechanicznej zawór przełączający do atmosfery na czas rozruchu
- Stosunkowo wysoka trwałość do ok. 10 000 godzin pomiędzy remontami głównymi
- Stosunkowo nieduża cena
- Łatwość w konserwacji i utrzymaniu w ruchu
- Niewielkie zużycie energii elektrycznej (cykle przerywane)

Zakres zastosowania do małych zakładów o niewielkim zapotrzebowaniu na sprężone powietrze

Wytwarzanie sprężonego powietrza

Sprężarki śrubowe

Wysoka trwałość

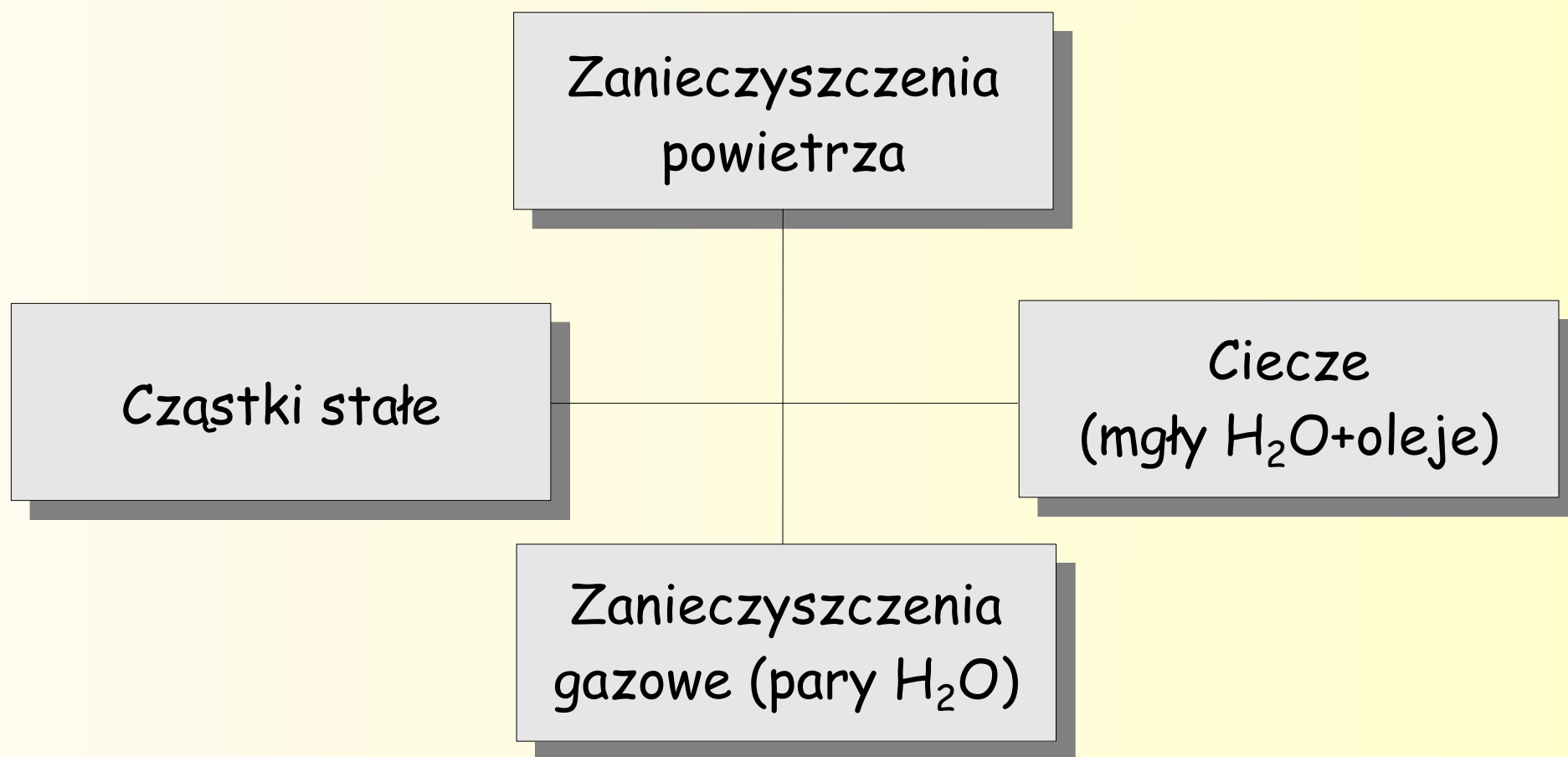
Niskie tętnienie ciśnienia powietrza

Niski poziom hałasu akustycznego

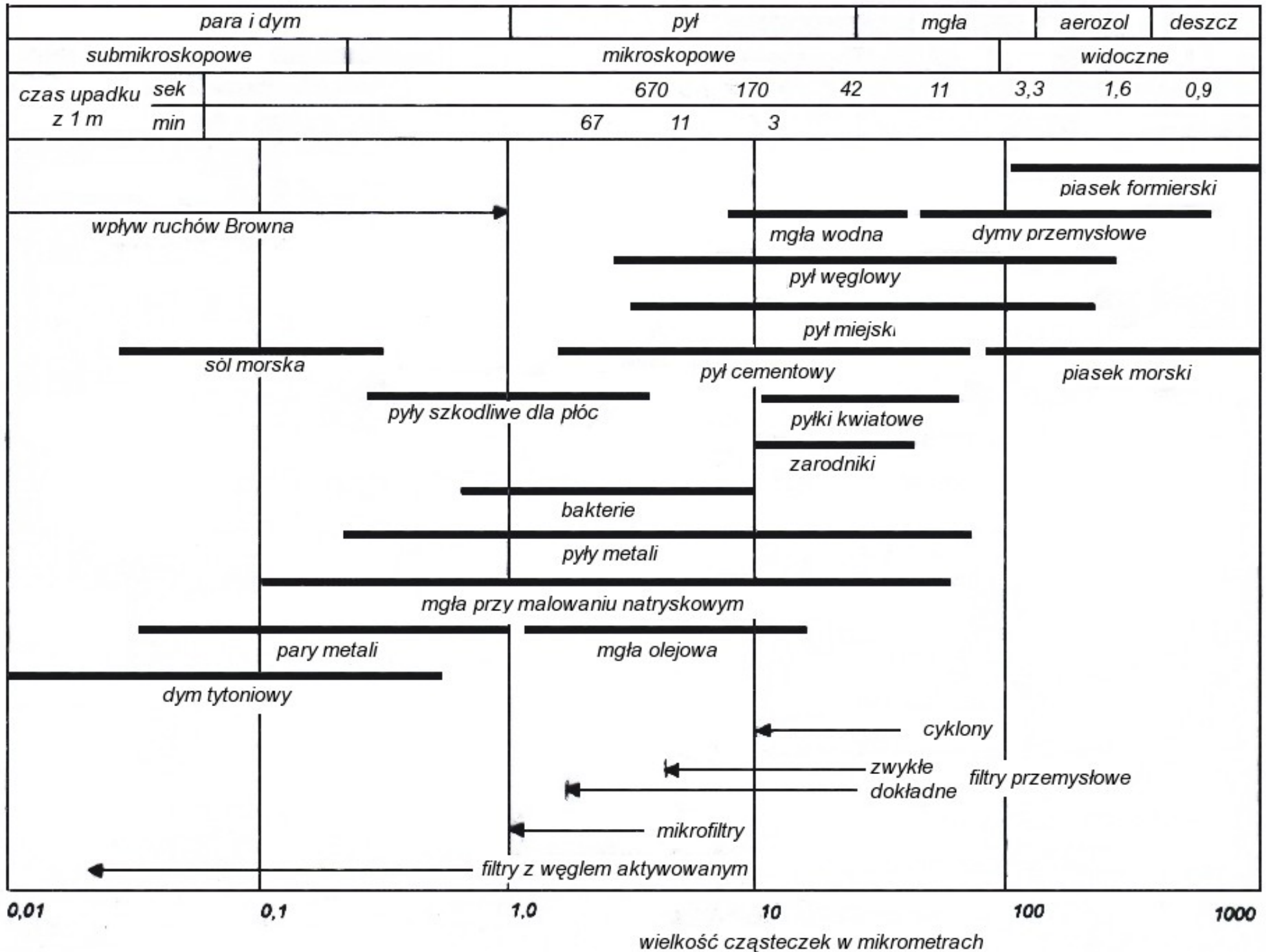
Mała zajmowana przestrzeń

Dość wysokie koszty zakupu

Zanieczyszczenia powietrza

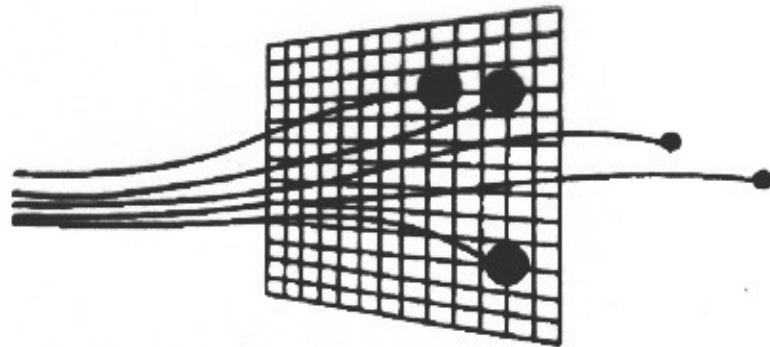


Zanieczyszczenia - wielkości i wykrywanie



Usuwanie zanieczyszczeń filtry

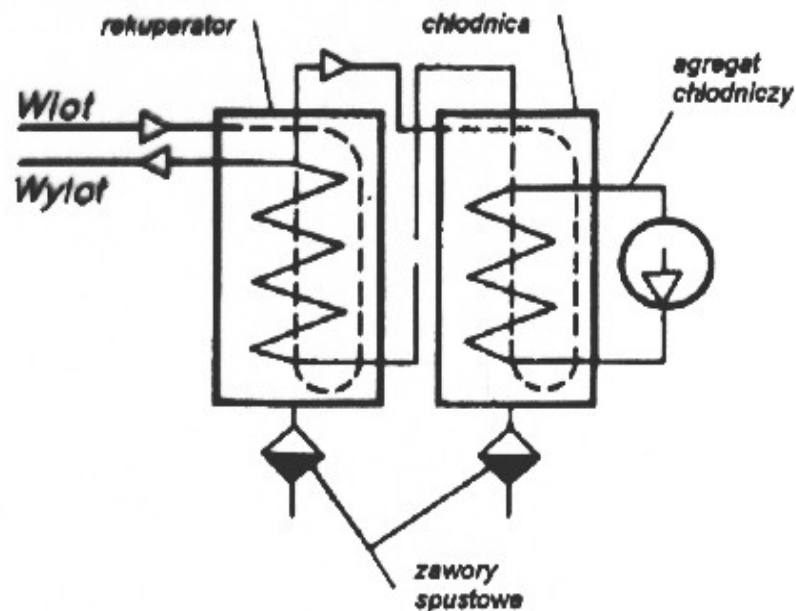
filtrowanie mechaniczne



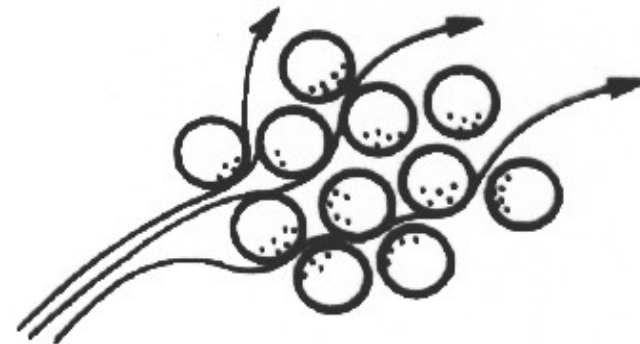
filtrowanie adsorbcyjne



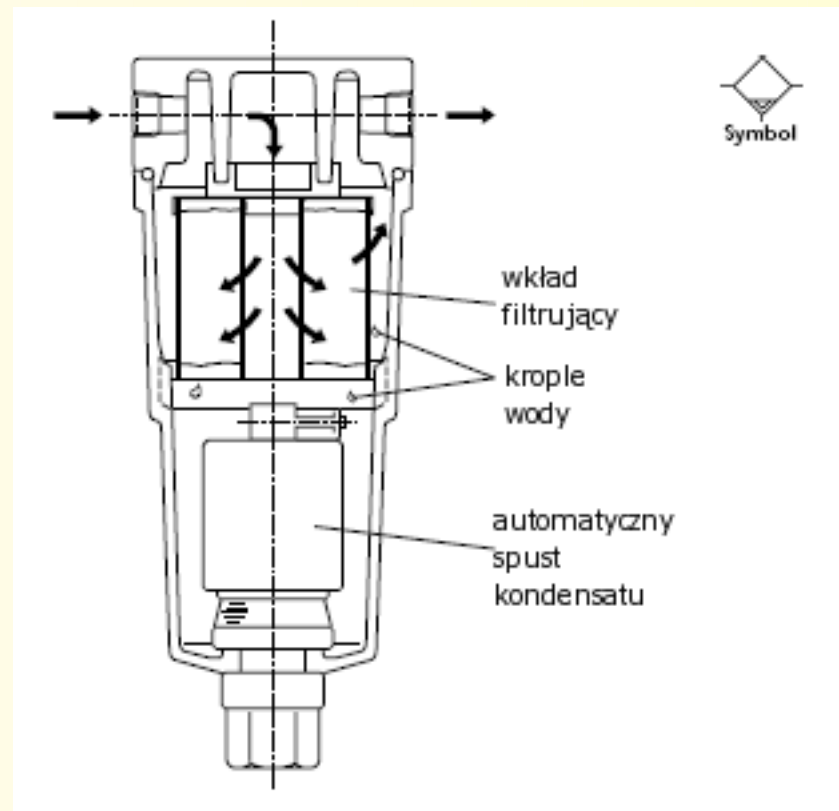
osuszanie sprężonego
powietrza



filtrowanie absorbcyjne

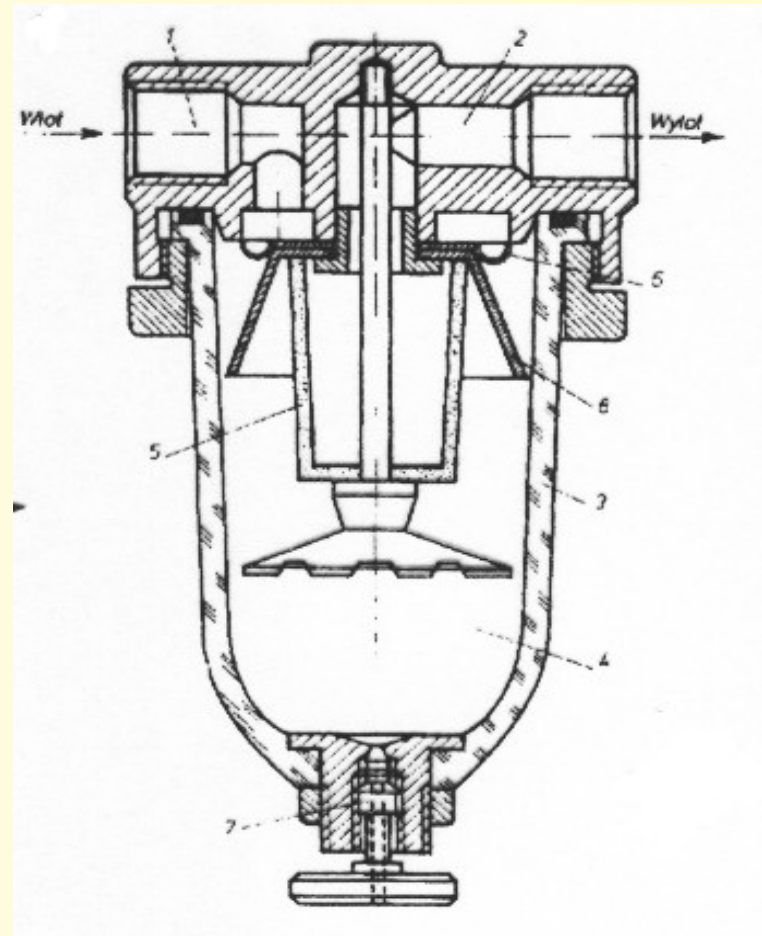
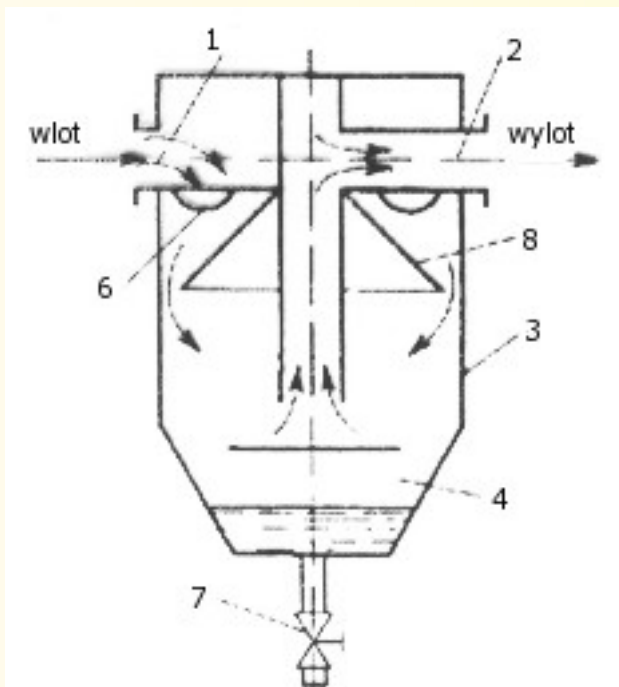


Usuwanie zanieczyszczeń odwadniacz

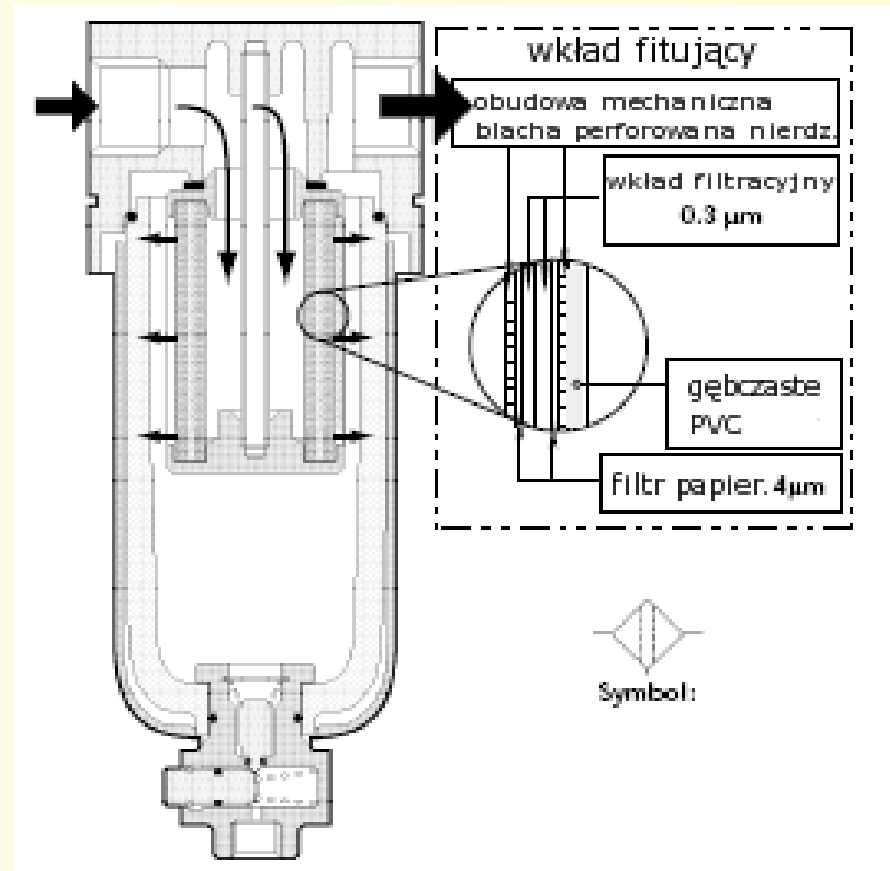


Wkłady filtrujące mają konstrukcję ze spieków, tkanin lub siatek
zdolność filtracyjna do wielkości do $0,5 \mu\text{m}$

Usuwanie zanieczyszczeń filtry mechaniczne typu cyklon

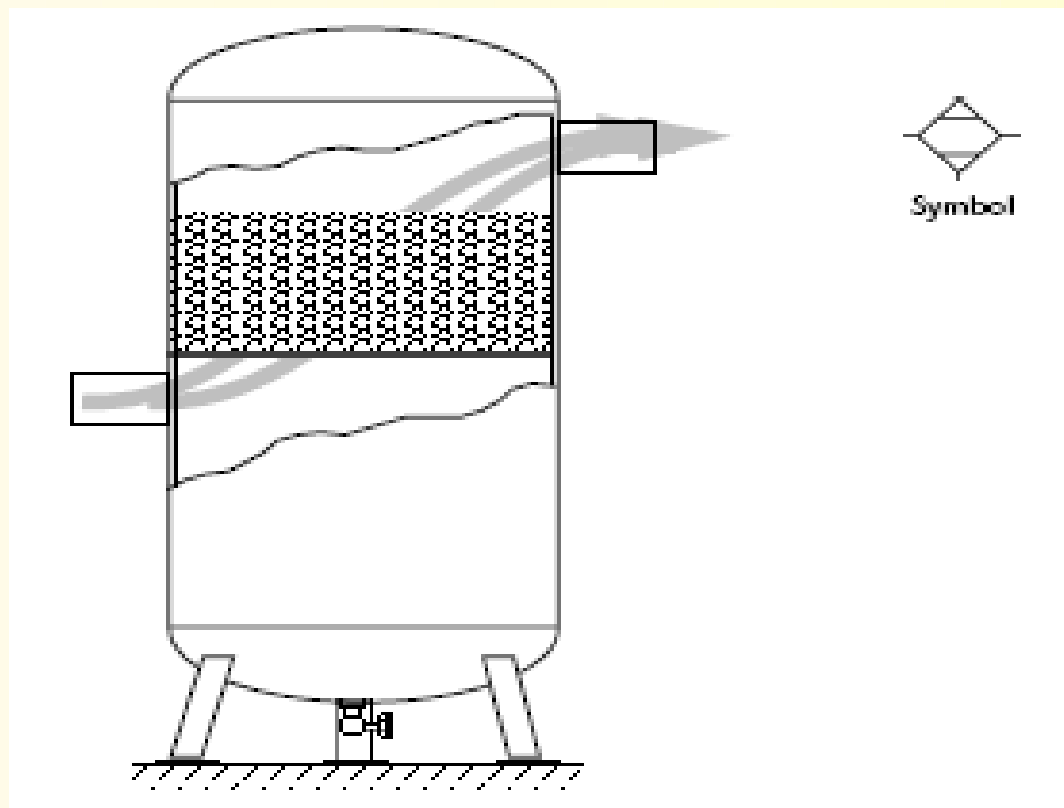


Usuwanie zanieczyszczeń mikrofiltry



zdolność filtracyjna do wielkości do 0,3 μm

Usuwanie zanieczyszczeń filtry absorbcyjne

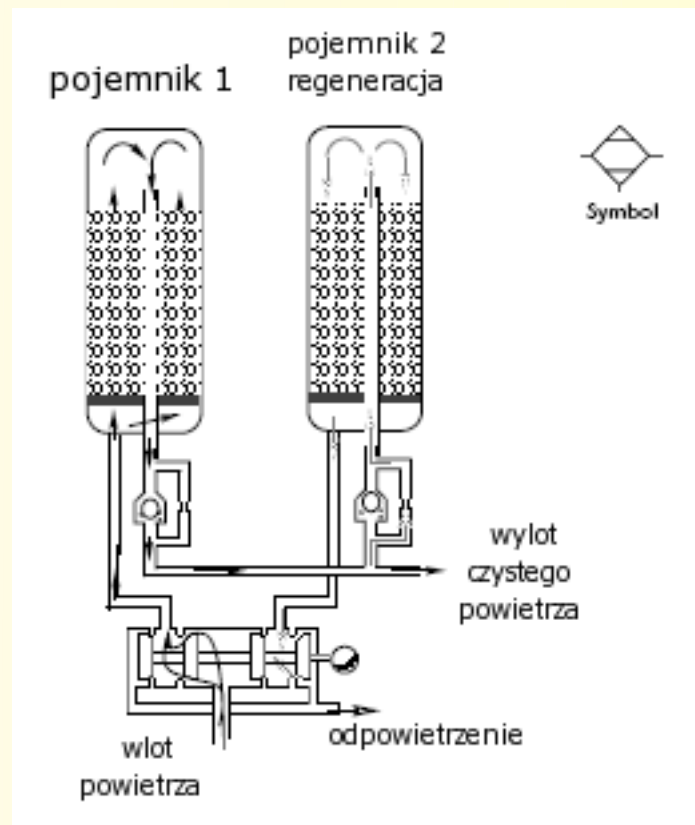


Zdolność filtracyjna aż do 100% zanieczyszczeń w zależności od dobrania środka chemicznego - absorbenta

Możliwość uzyskania punktu rosy odpowiadającemu temperaturze -100°C

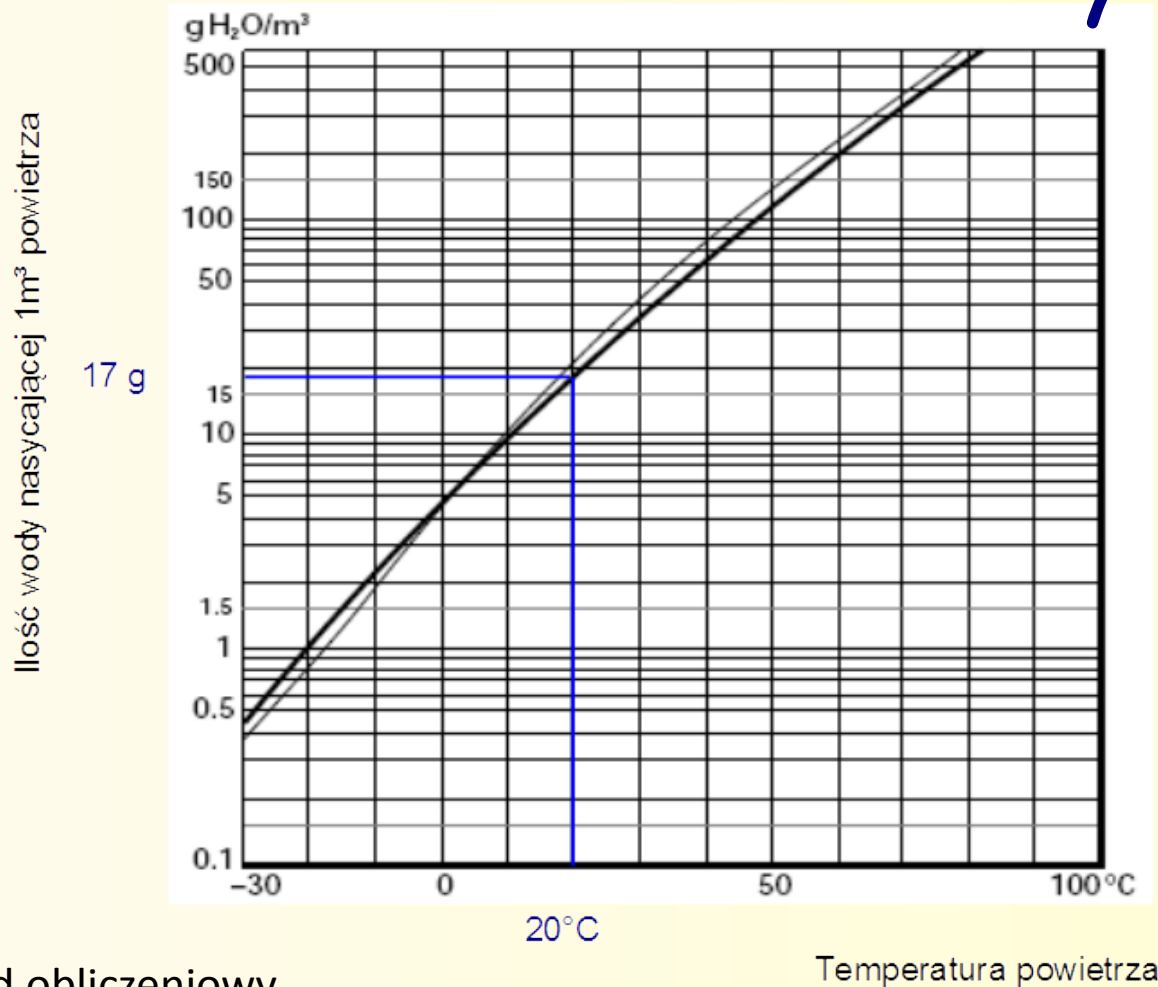
Wada: konieczność wymiany lub regeneracji 2-4 razy w roku

Usuwanie zanieczyszczeń filtry adsorbcyjne



Filtry zapewniają konglomerację mniejszych cząstek w większe zdolność filtracyjną do wielkości 0,5-0,01 μm

Punkt rosy



Przykład obliczeniowy

Powietrze zasysane ma temperaturę 20°C i wilgotność względną 60%:

Z wykresu punktu rosy określającego max zawartość wody w powietrzu można odczytać:

$$W_b = W_w \cdot N / 100\% = 60 \cdot 17 / 100 = 10,2 \text{ g/m}^3$$

Punkt rosy

Przykład obliczeniowy

10m³ powietrza o temperaturze 15°C o wilgotności względnej 65% zostało sprężonych do ciśnienia 0,6 MPa. Temperatura gazu nie wzrosła (przemian izotermiczna). Ile wykropliło się wody?

Z wykresu punktu rosy i po obliczeniach można otrzymać:

$$W_{b10} = 65\% \cdot 13,4 \text{ g/m}^3 = 130,4 \cdot 0,65 \text{ co daje masę wody } m_p = 84,9 \text{ g}$$

ponieważ gaz został sprężony to zajmie mniejszą objętość :

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \Rightarrow V_2 = p_1 \cdot V_1 / p_2 \Rightarrow V_2 = 1,44 \text{ m}^3$$

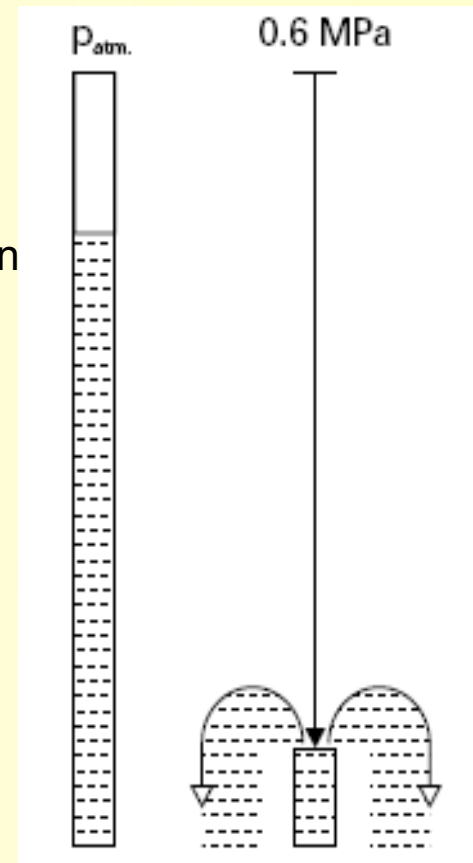
Z wykresu punktu rosy dla objętości 1,44 m³ i temp. 15°C:

$$W_{b1,44} = 13,4 \text{ g/m}^3$$

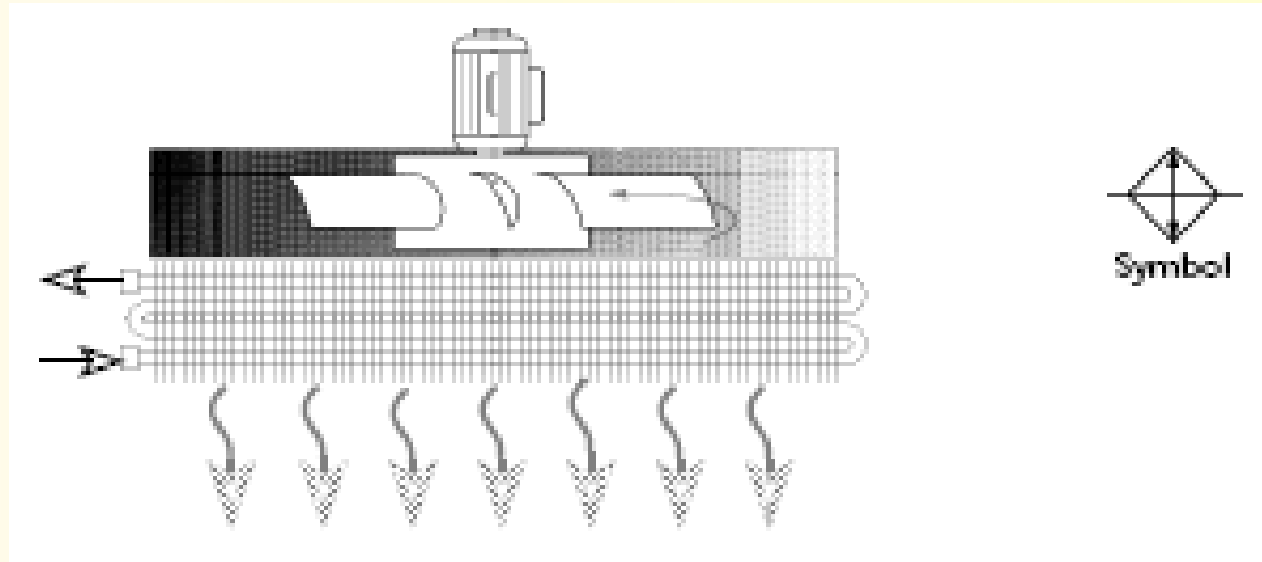
I tak:

$$W_{b10} - W_{b1,44} = 84,9 - 13,4 = 50,6 \text{ g,}$$

woda się więc wykropliła,
a pozostałe powietrze ma $W_b = 100\%$

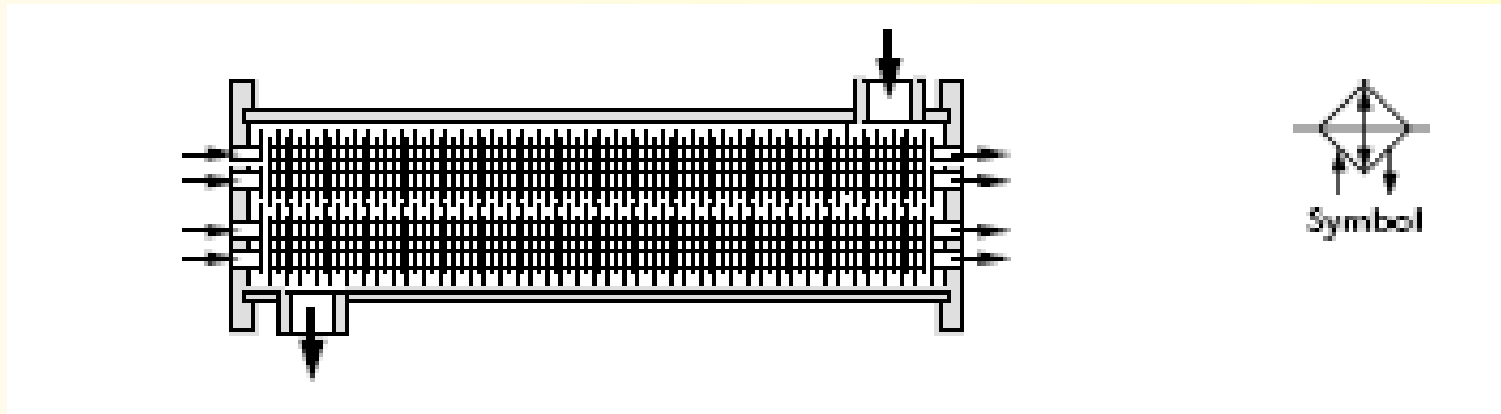


Cłodnica powietrzna



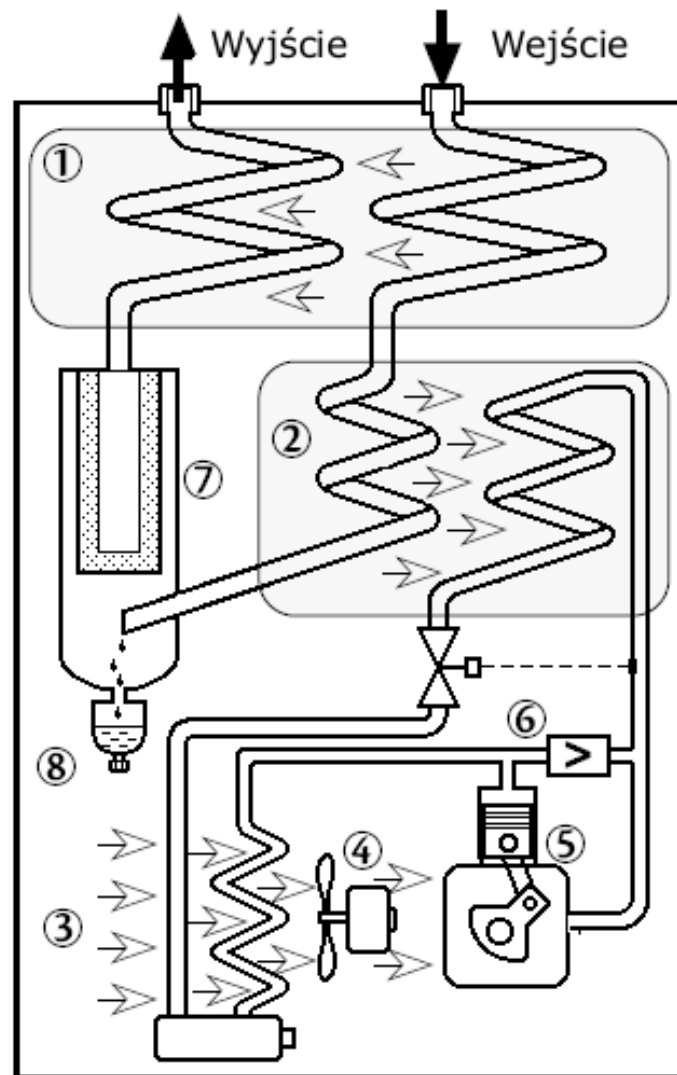
Cłodnica powietrzna stosowana najczęściej jako cłodnica międzystopniowa. Różnica temperatur pomiędzy strumieniem powietrza schładzanego a cłodącego powinna wynosić min 15°C

Chłodnica wodna

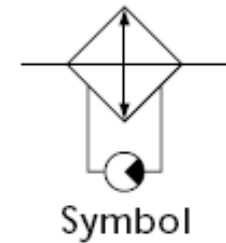


Chłodnica powietrzna stosowana najczęściej jako chłodnica międzystopniowa.
Różnica temperatur pomiędzy strumieniem powietrza schładzanego a chłodzącego
powinna wynosić min 10°C

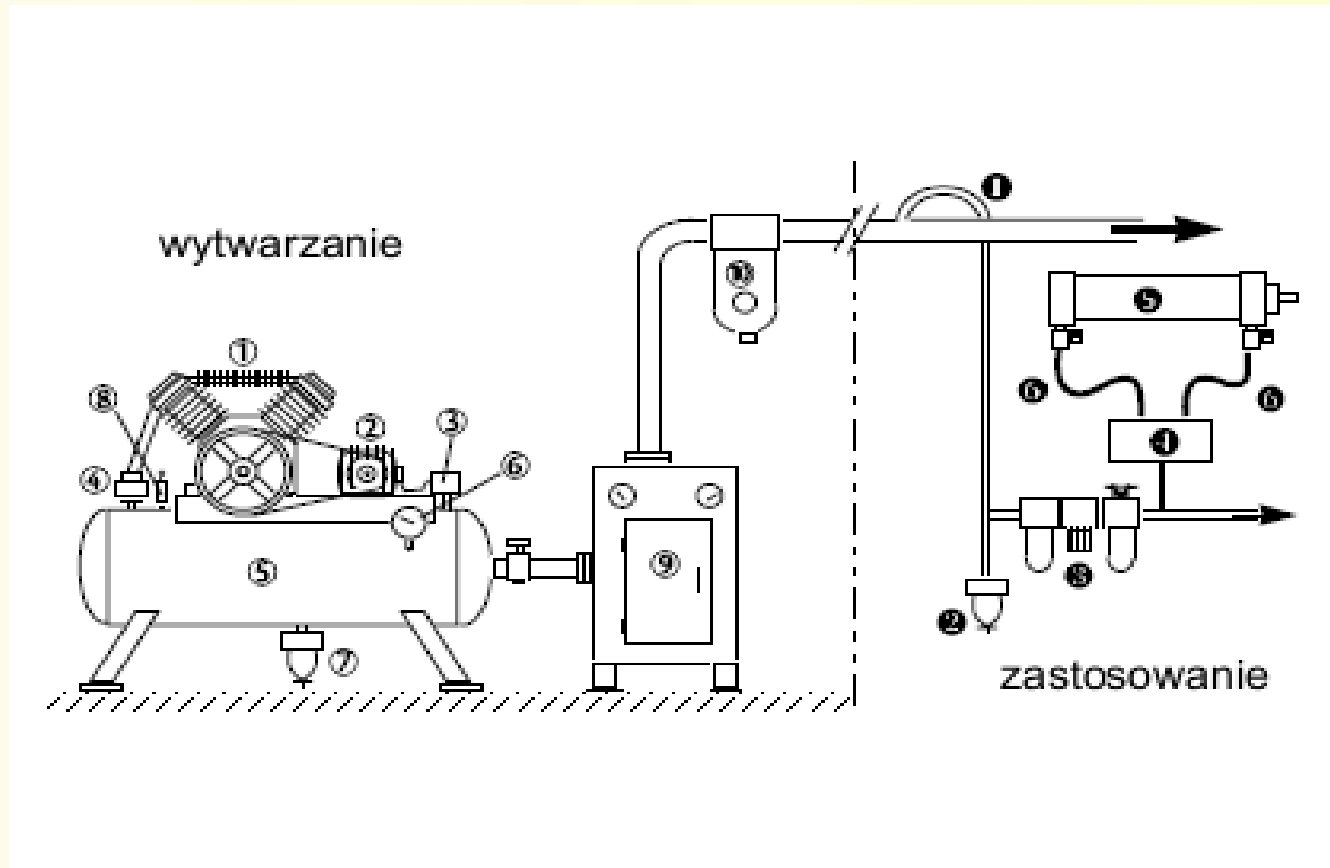
Odwadniacz niskotemperaturowy



- ① wymiennikowy podgrzewacz powietrza wylotowego
- ② komora schładzania (freonowa)
- ③ chłodnica czynnika (freonu)
- ④ wentylator
- ⑤ sprężarka
- ⑥ zawór termostatyczny
- ⑦ filtr powietrza
- ⑧ automatyczny spust kondensatu

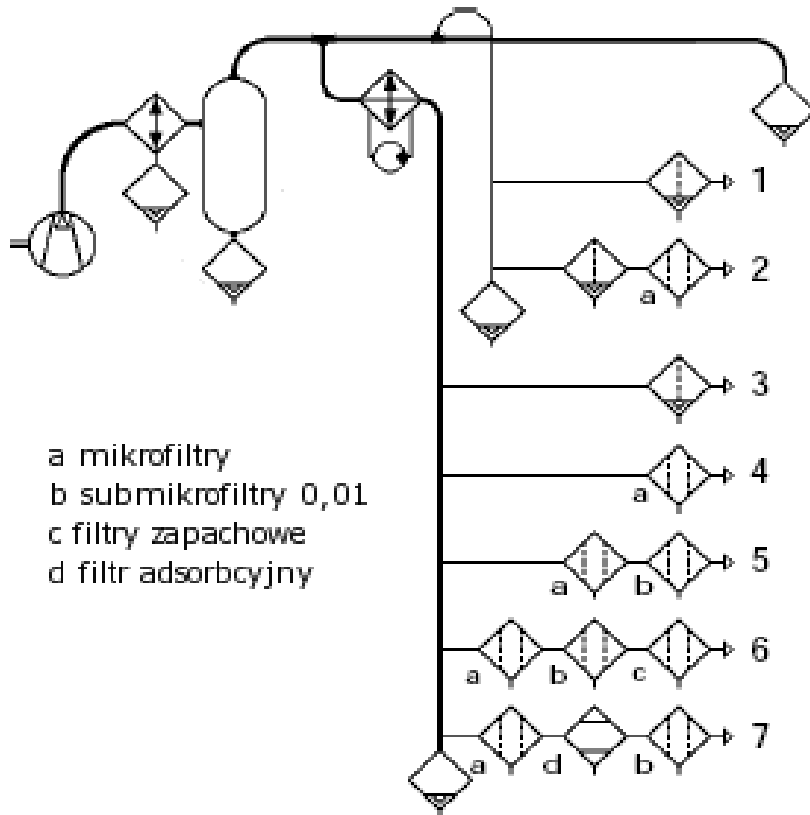


Wytwarzanie sprężonego powietrza



- 1) chłodnica międzystopniowa, 2) silnik napędowy, 3) przetwornik ciśnienia max. 4) kompensator drgań, 5) zbiornik ciśnieniowy, 6) manometr kontrolny, 7) spust kondensatu, 8) zawór bezpieczeństwa, 9) chłodnice-skrapalacz, 10) filtr cząstek mechaniczny, (1) przyłącze odbiorcze sprężonego powietrza, (2) spust kondensatu, (3) zespół przygotowania powietrza, (4) zawór sterujący, (5) siłownik napędu, (6) przewody elastyczne.

Usuwanie zanieczyszczeń kaskadowe łączenie filtrów



1) pneumatyka przemysłowa ogólnego przeznaczenia, wielkość zanieczyszczeń $5\mu\text{m}$, usunięto cząstek oleistych 99% wody 95%

2) bardziej wymagająca pneumatyka przemysłowa-uszczelnienia metal-metal silniki pneumatyczne, wielkość zanieczyszczeń $0,3\mu\text{m}$, usunięto cząstek oleistych 99% wody 95%

3) powietrze do pistoletów lakierniczych, jak 1- ale bez wody punkt rosy -17°C

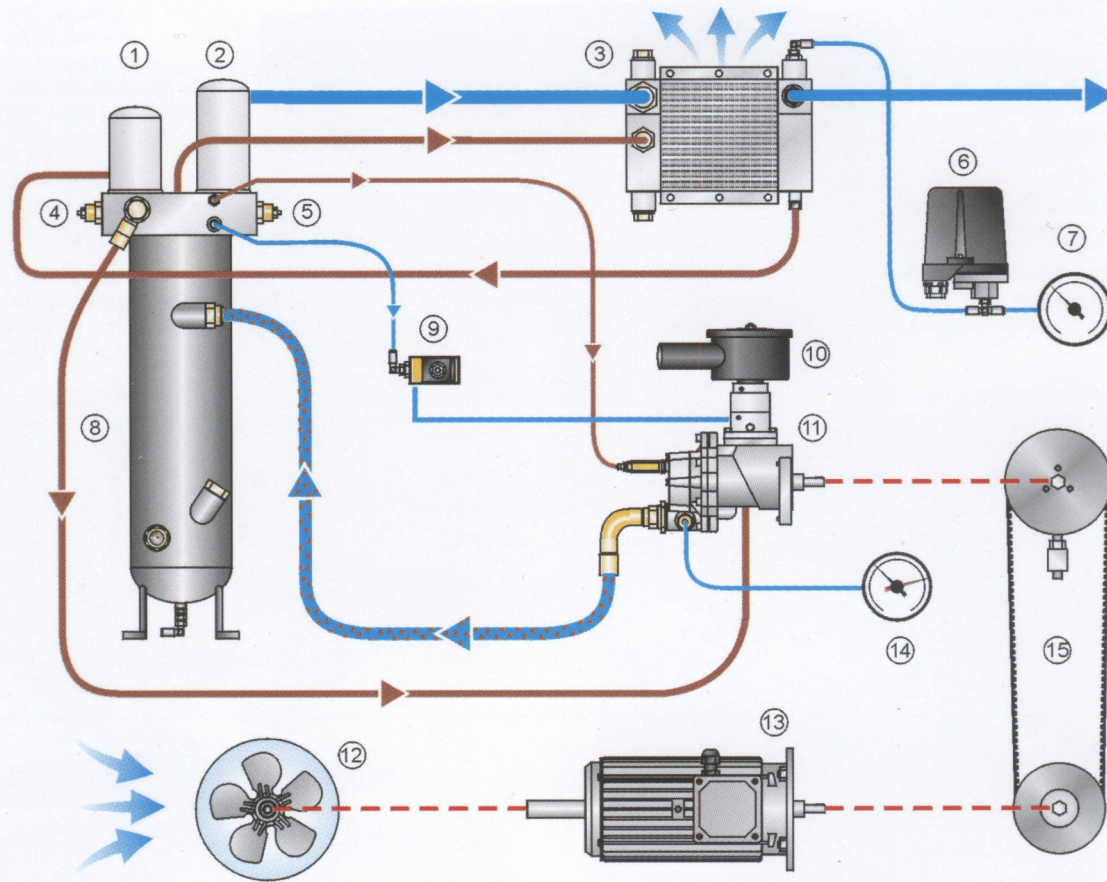
4) wymagające lakierowanie, urządzenia pomiarowe, chłodzenie form do tworzyw sztucznych. Wielkość zanieczyszczeń $0,3\mu\text{m}$, usunięto cząstek oleistych 99%, punkt rosy -17°C

5) pneumatyczne narzędzia pomiarowe, lakierowanie elektrostatyczne, suszenie i chłodzenie nawiewowe elementów elektronicznych. Wielkość zanieczyszczeń $0,01\mu\text{m}$, usunięto cząstek oleistych 99,9%, punkt rosy -17°C

6) farmaceutyka, pakowanie produktów spożywczych, medycyna, powietrze do oddychania. Wielkość zanieczyszczeń $0,01\mu\text{m}$, usunięto cząstek oleistych 99,9999%, punkt rosy -17°C

7) transport powietrzny, farmaceutyczne łożyskowania, morskie przyrządy pomiarowe, technika wojskowa. Wielkość zanieczyszczeń $0,01\mu\text{m}$, usunięto cząstek oleistych 99,9%, punkt rosy -30°C

Wytwarzanie sprężonego powietrza



1 - Filtr oleju
2 - Separator oleju
3 - Chłodnica oleju i powietrza
4 - Zawór bezpieczeństwa

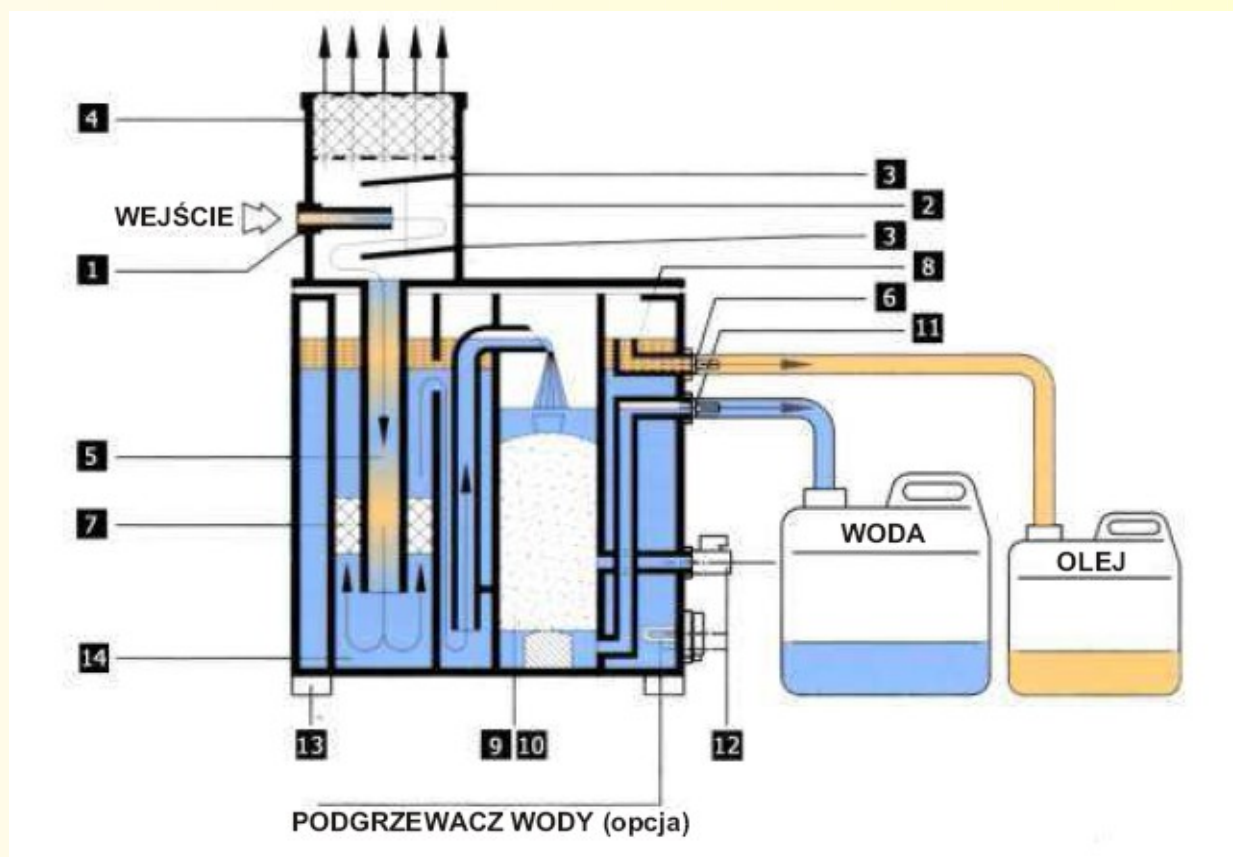
5 - Zawór termostatyczny
6 - Regulator ciśnienia
7 - Wyświetlacz
8 - Zbiornik oleju

9 - Zawór elektromagnetyczny powietrza wlotowego
10 - Filtr powietrza wlotowego
11 - Stopień śrubowy
12 - Wentylator chłodzący

13 - Silnik elektryczny
14 - Pomiar temperatury (termometr)
15 - Przekładnia pasowa
— (powietrze) — (olej)

Zagospodarowanie kondensatu

dyrektywa europejska 91/271/CEE określa ilość zanieczyszczeń olejowych jakie mogą być odprowadzane do wód ściekowych



- 1) wejście kondensatu,
- 2) komora rozprężania,
- 3) filtr meandrowy - oczyszczanie wstępne,
- 4) odpowietrznik z filtrem węglowym,
- 5) kruciec wlotu kondensatu,
- 6) wylot frakcji olejowej,
- 7) filtr cząstek stałych,
- 8) powierzchnia cieczy,
- 9) i 10) filtr węglowy wody,
- 11) kruciec wody wylotowej,
- 12) zawór rewizyjny do pobierania próbek kondensatu,
- 13), 14) komory osadnika,

Uwagi do projektowania sieci przemysłowych sprężonego powietrza

Podstawowe błędy projektowe:

Za mała średnica przewodów zasilających

Przy obliczeniach nie są uwzględnione opory przepływu na kolankach i trójnikach,

Przy projektowaniu nie są uwzględnione czynniki takie jak korozja wewnętrznych ścian przewodów, osadzanie się zanieczyszczeń, co powoduje z czasem zwiększone opory przepływu,

Przy projektowaniu nie zakłada się dostatecznego zapasu na rozwój sieci (zwiększone zapotrzebowanie bo firma się rozwija),

Przy projektowaniu nie zakłada się stosowania lokalnych zbiorników - akumulatorów.

Zły podział na sekcje, trudny dostęp do zaworów sekcji (zawory umieszczone za wysoko, z napędem ręcznym).

Brak kompensatorów termicznych i tłumików drgań w wyniku których następuje stopniowe rozszczelnianie się rurociągu

Złe projektowanie i wykonawstwo odejść.

Zła konfiguracja i technologia sieci (rurociągi spawane, lutowane, skręcane) uniemożliwiająca tani jej rozwój (wykonanie nowego odejścia) lub likwidację.

