

# SEMINARIUM

## POMPY PRÓŻNIOWE

Opracował: mgr farm. Tomasz Słowiński

# DEFINICJA PRÓŻNI

**Obszar wypełniony gazem o ciśnieniu niższym od atmosferycznego. W mechanice klasycznej próżnia oznacza obszar, w którym nie ma żadnych mogących oddziaływać ciał ani płynów.**

Próżnię można sklasyfikować w zależności od jej wartości, co wiąże się z jej wykorzystaniem w różnych procesach i operacjach.

## **Próżnia**

Niska

Średnia

Wysoka (HV)

Bardzo wysoka (UHV)

Ekstremalnie wysoka (XHV)

## **Zakres**

Atm ÷ 1 mbar

1 mbar ÷  $10^{-3}$  mbar

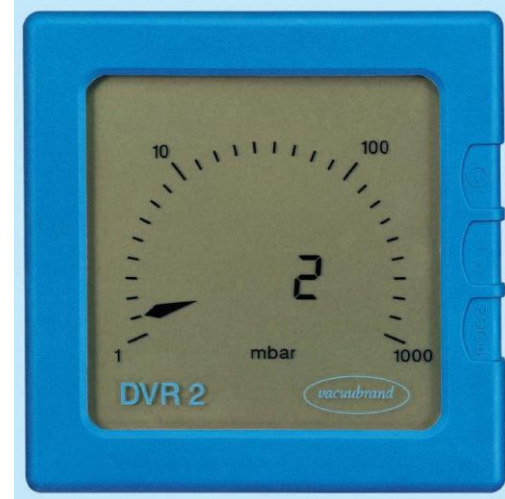
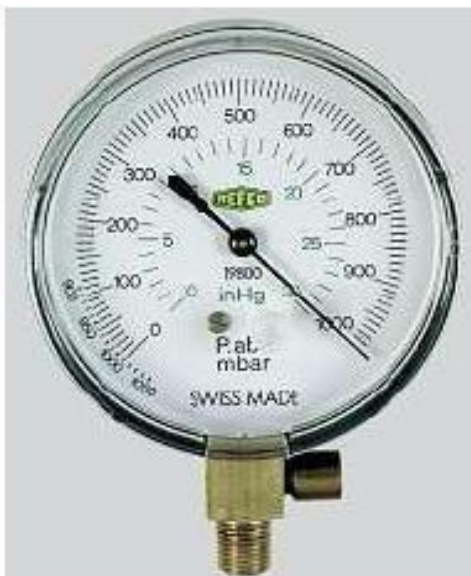
$10^{-3}$  mbar ÷  $10^{-8}$  mbar

$10^{-8}$  mbar ÷  $10^{-12}$  mbar

Mniej niż  $10^{-12}$  mbar

W przemyśle farmaceutycznym wykorzystujemy próżnię z trzech pierwszych zakresów, z tym że pierwsze dwa wykorzystywane są w procesach technologicznych, zaś trzeci w aparaturze pomiarowo-badawczej.

Jednostki w jakich wyrażana jest wielkość próżni to te same, za pomocą których opisujemy ciśnienie. Graniczną wartość ciśnienia stanowi „0”, chociaż niektóre manometry mają skalę „ujemną”, na której pojawia się wartość -1. W takim przypadku zeru odpowiada ciśnienie atmosferyczne wynoszące 1 atm.



# JEDNOSTKI CIŚNIENIA

| Symbol                  | jednostki nazwa   | przeliczenie na jedn.SI                     |
|-------------------------|---|---|
| • 1 Pa                  | Pascal  | 1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup>                   |
| • 1 bar                 | bar   | 10 <sup>5</sup> Pa                          |
| • 1 at                  | atmosfera techniczna<br>(kilogram siła na cm <sup>2</sup> ) | 1 kG/cm <sup>2</sup> = 98 066,5 Pa          |
| • 1 atm                 | atmosfera fizyczna  | 1 atm = 101 325 Pa                          |
| • 1 torr                | tor - mm Hg   | 1 mmHg = 133.322 Pa                         |
| • 1 psi                 | funt na cal kwadratowy                                      | 1 lb/in <sup>2</sup> = 6 894.76 Pa          |
| • 1 dyn/cm <sup>2</sup> | dyn na cm kwadr.  | 1 dyn/cm <sup>2</sup> = 10 <sup>-1</sup> Pa |

# ZASTOSOWANIA PRÓŻNI W FARMACJI

- transport ciecchy i sypkich ciał stałych
- sączenie pod zmniejszonym ciśnieniem
- suszenie w eksykatorach i suszarkach próżniowych
- destylacja pod zmniejszonym ciśnieniem
- liofilizacja preparatów leczniczych (antybiotyki, białka, enzymy)
- w aparaturze badawczej (wysoka próżnia wykorzystywana w detektorach używanych w spektroskopii masowej)

# POMPY PRÓŻNIOWE

Urządzenia służące do wytwarzania próżni to pompy próżniowe. Najprostszym spośród nich jest laboratoryjna pompka wodna. Pozwala na uzyskanie próżni rzędu 1000 – 2000 Pa w zależności od temperatury używanej wody, zgodnie z zależnością: im niższa temperatura, tym lepsza próżnia. Granicę możliwości pompki wodnej określa prężność pary wodnej w temperaturze 0°C wynosząca 610,5 Pa (4,58 mmHg).



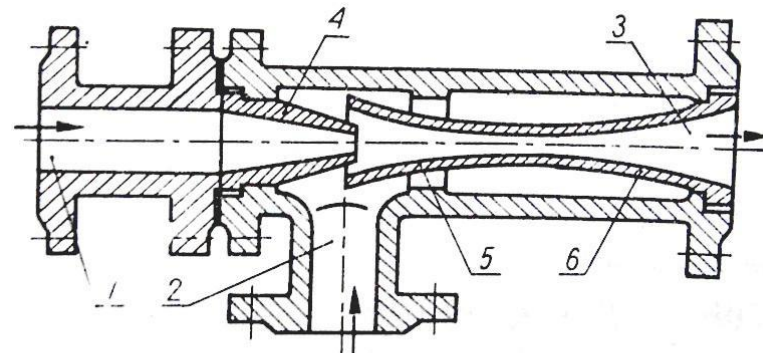
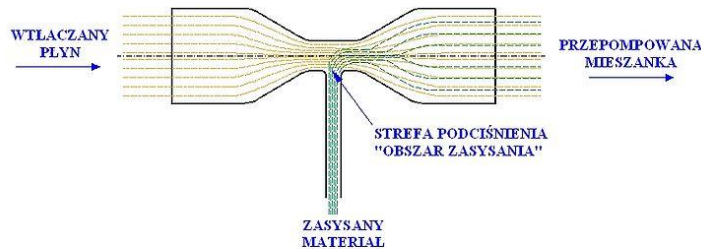
# Eżektor – zasada działania

W eżektorze pojawia się zjawisko paradoksu hydrodynamicznego. Dokładnie wyjaśnia je równanie Bernoulliego

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

$v$  - prędkość płynu  
 $\rho$  - gęstość płynu  
 $p$  - ciśnienie płynu

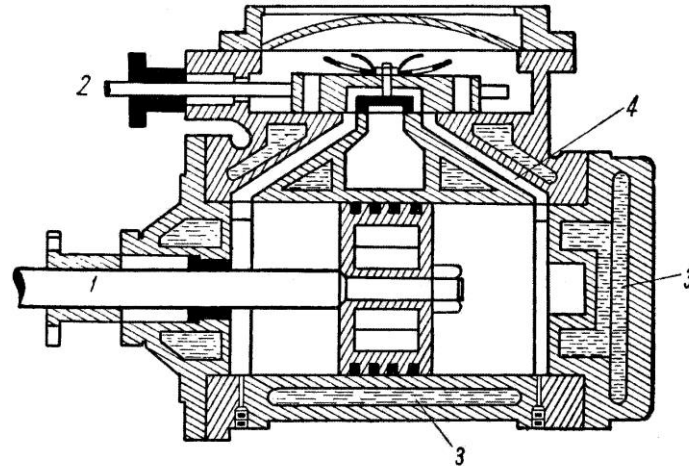
W rurze o mniejszym przekroju ciecz płynie szybciej, w związku z tym panuje w niej mniejsze ciśnienie niż w rurze o większym przekroju.



1 – dolot cieczy roboczej, 2 – dolot cieczy pompowanej, 3 – wylot cieczy pompowanej, 4 – dysza zasilająca, 5 – zwężka, 6 – dyfuzor

# Pompa tłokowa

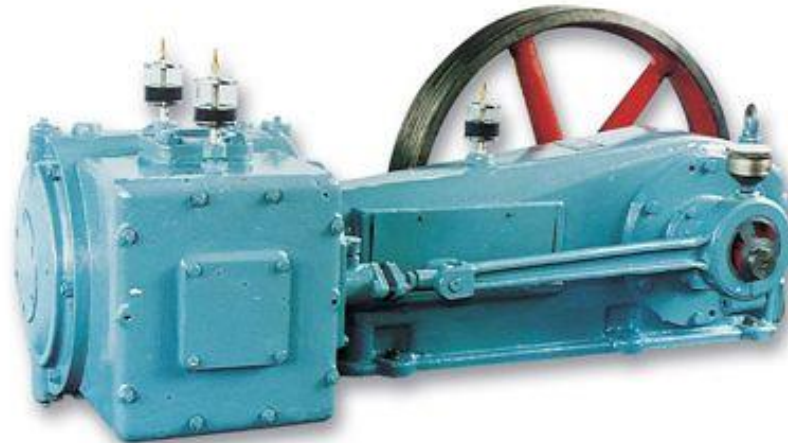
- Budowa i zasada działania



Schemat tłokowej pompy próżniowej: 1 — drążek tłokowy z tłokiem tarczowym; 2 — sterowanie suwakowe; 3 — chłodzenie; 4 — przewód łączący przestrzeń szkodliwą z drugą stroną przestrzeni cylindra.

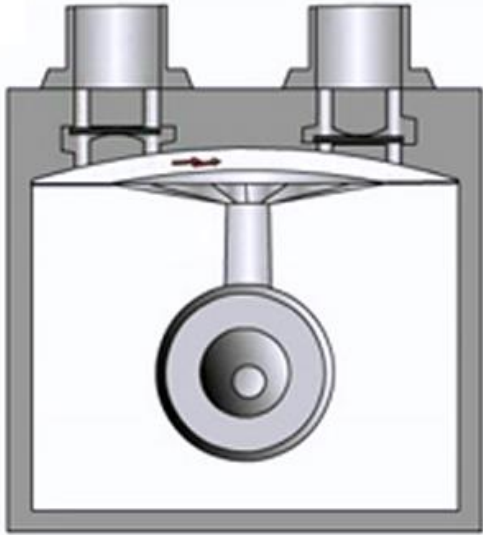
uzyskiwane podciśnienie  
Od 1000 Pa

- Wygląd zewnętrzny





# i przeponowa

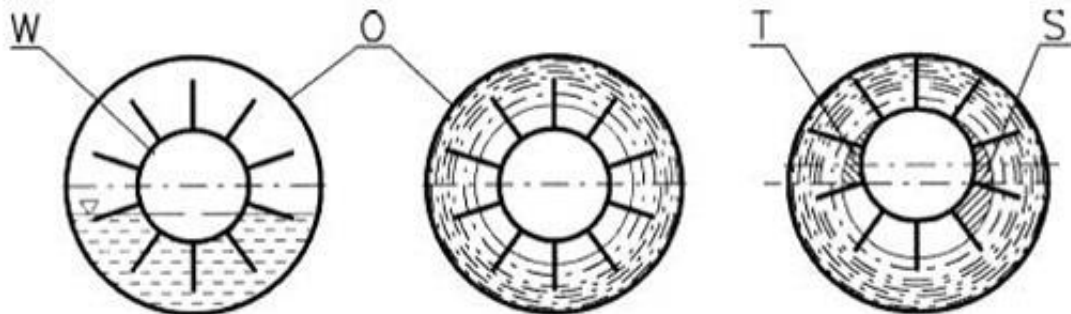


Pozwalają na uzyskanie podciśnienia na poziomie 200 do 800 Pa



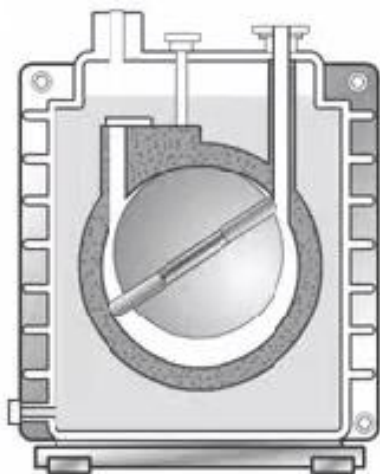
# POMPY ROTACYJNE

Z PIERŚCIENIEM CIECZY



uzyskiwane podciśnienia od ok. 700 Pa

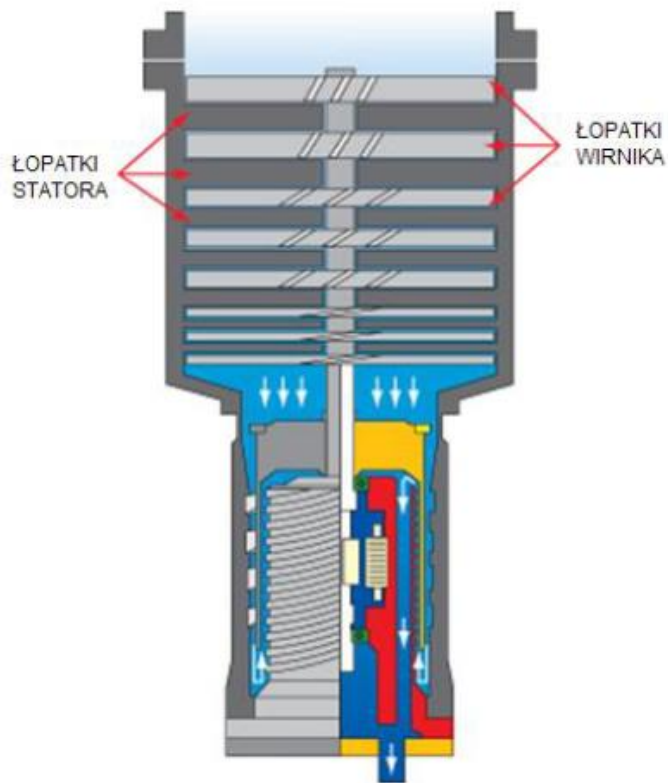
ŁOPATKOWE



uzyskiwane podciśnienia od ok. 2 Pa

# TURBOMOLEKULARNE

przekrój



budowa



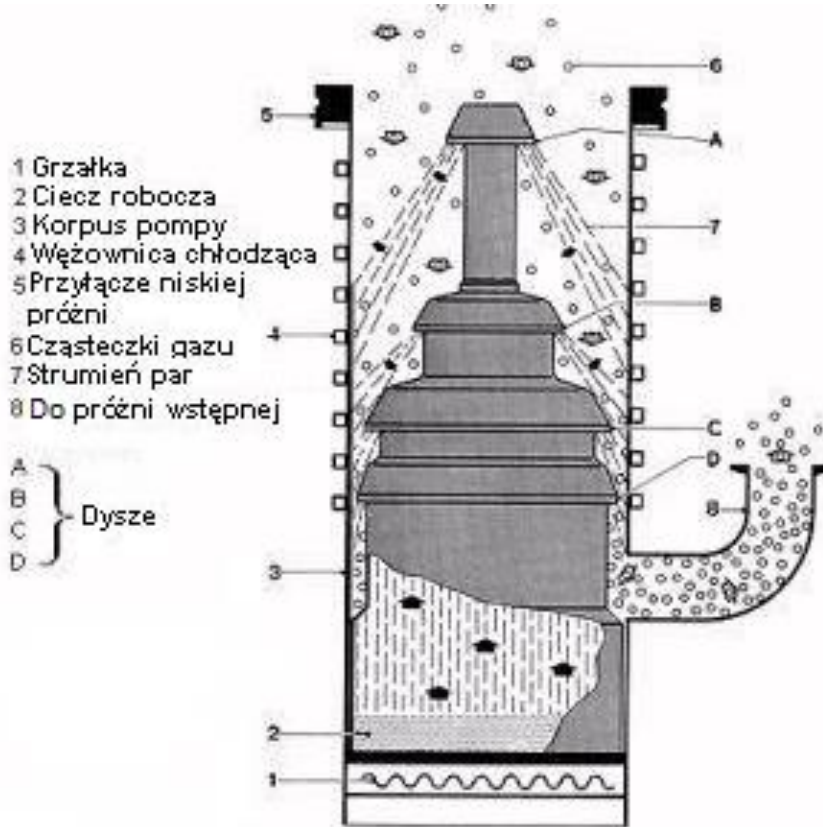
wygląd



Zakres uzyskiwanych ciśnień od  $10^{-2}$  do  $10^{-7}$  Pa

# DYFUZYJNE

zasada działania



wygląd zewnętrzny



Uzyskiwana próżnia od  $10^{-1}$  Pa przy pompie jednostopniowej do  $10^{-5}$  Pa w przypadku wielostopniowej (4.)

# SEMINARIUM

DESTYLACJA  
REKTYFIKACJA



# DESTYLACJA

- prawo Raoult'a:

w stanie równowagi cząstkowe prężności par składników A i B można wyrazić równaniami:

$$p_A = x_A \cdot p_A^{\circ}$$

$$p_B = x_B \cdot p_B^{\circ} = (1 - x_A) \cdot p_B^{\circ}$$

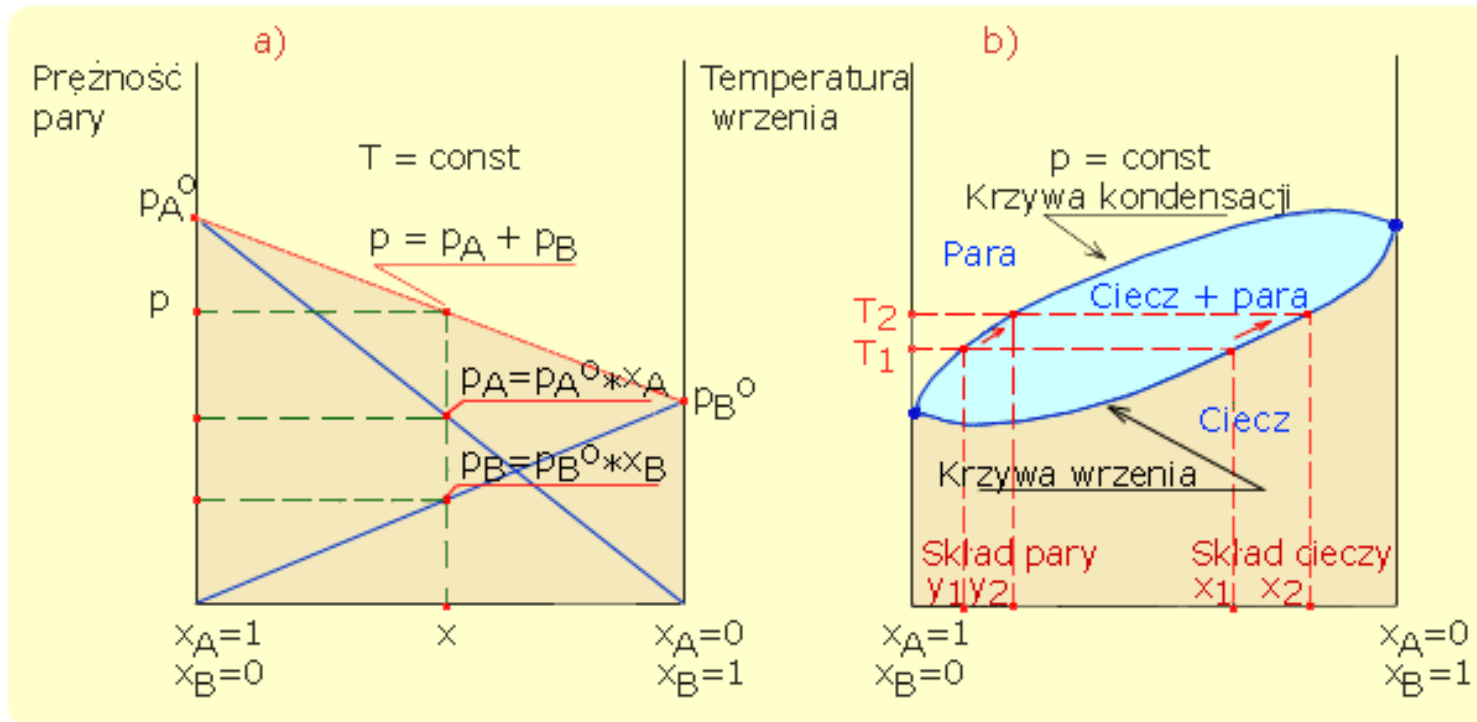
- reguła faz Gibbsa:

układ zawierający dwie ciecze o nieograniczonej wzajemnej mieszalności, pozostaje w równowadze z ich parą nasyconą i jest układem dwuzmiennym:

$$s = n - f + 2 = 2 - 2 + 2 = 2$$

a) Wykres izotermy

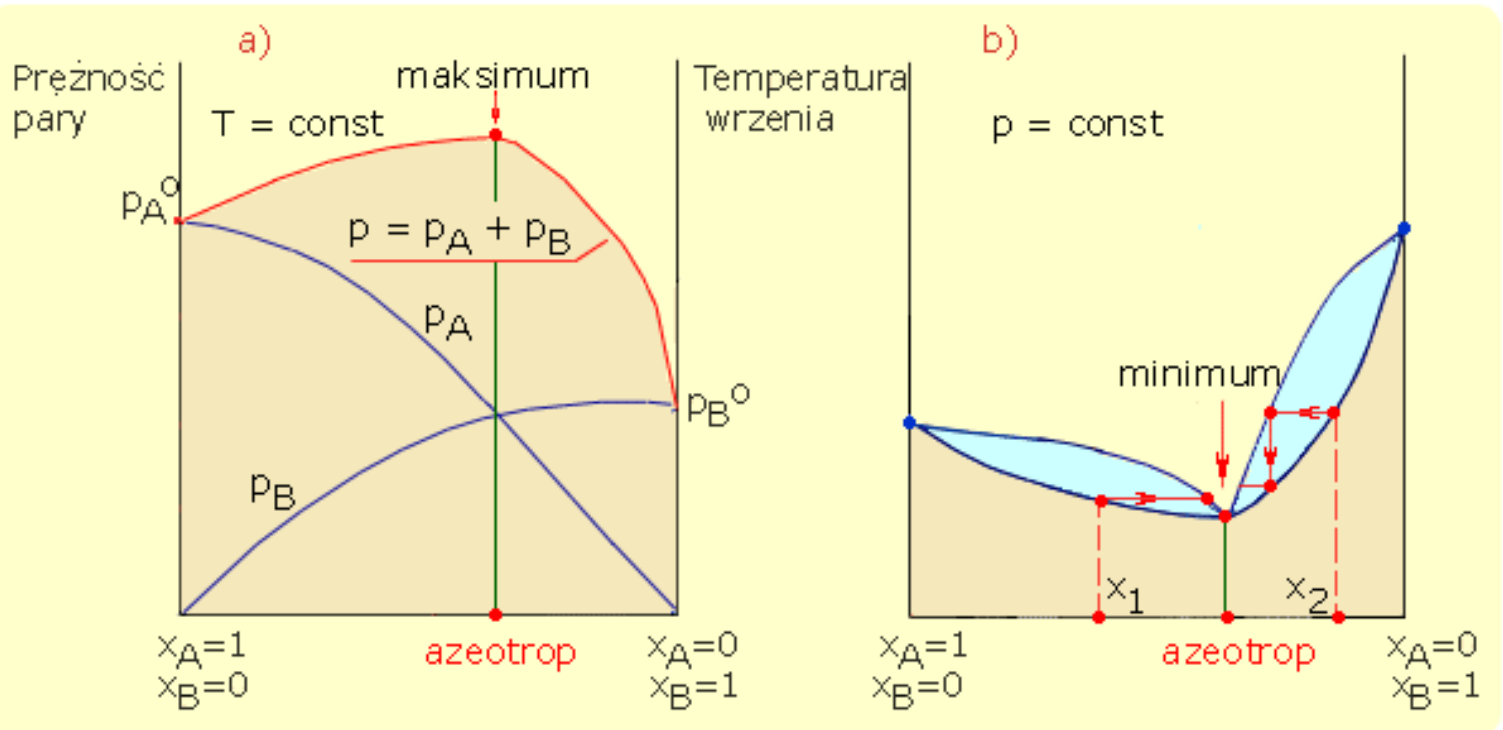
b) Wykres izobary



# DESTYLACJA

Tylko roztwory idealne spełniają prawo Raoult'a. Są to głównie ciecze należące do szeregów homologicznych, takie jak benzen-toluen, toluen-ksylen czy heksan-heptan. W praktyce częściej mamy do czynienia z roztworami rzeczywistymi, w których pojawiają się odchylenia. Częściej występuje dodatnie odchylenie od prawa Raoult'a, które wykazują przykładowo takie mieszaniny jak: etanol-woda, etanol-benzen, aceton-CS<sub>2</sub>.

a) Wykres izotermy

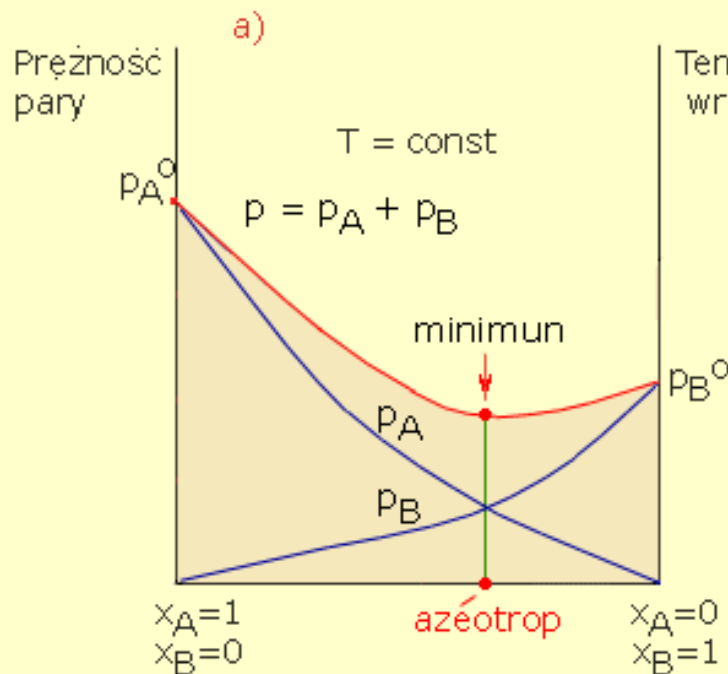


b) Wykres izobary

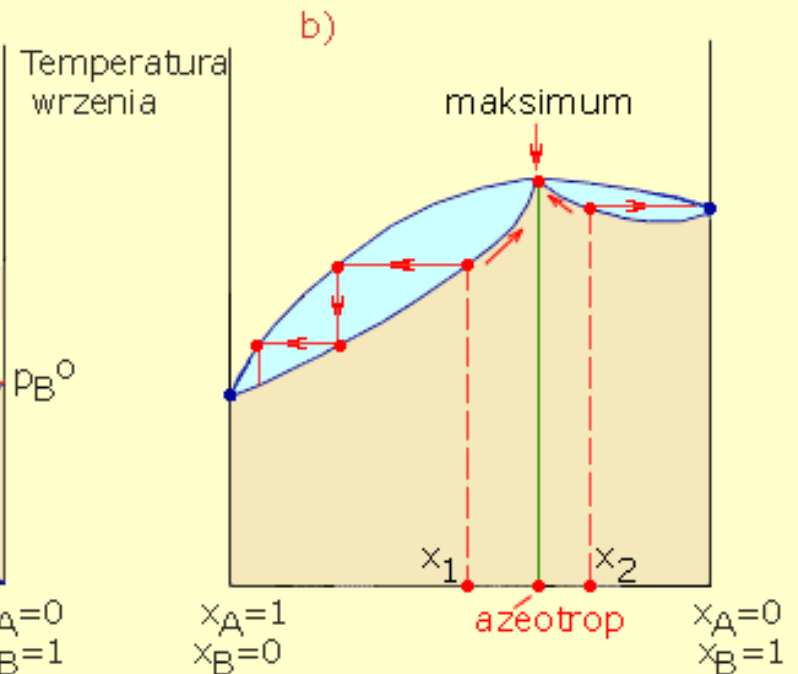
# DESTYLACJA

Ujemnym odchyleniem cechują się roztwory, w których wzajemne oddziaływania cząsteczek cieczy utrudniają parze opuszczenie roztworu. Dzieje się tak np. w związku z powstawaniem wiązań wodorowych między cząsteczkami w roztworze. To rzadsze odchylenie ma miejsce w układach: chlorowódor-woda, aceton-chloroform czy woda-kwas mrówkowy.

a) Wykres izotermy



b) Wykres izobary





# DESTYLACJA

Ponieważ rozdział azeotropu na drodze destylacji nie jest możliwy, aby go dokonać należy posłużyć się innymi technikami. Pierwsza to wprowadzenie do mieszaniny trzeciego składnika, który spowoduje zmianę właściwości rozdzielanej mieszaniny. Sposób ten wykorzystywano w przeszłości przy otrzymywaniu bezwodnego etanolu. Do rektyfikatu (96% v/v) dodawano benzen i przeprowadzano destylację frakcyjną. W pierwszej kolejności destylował azeotrop trójskładnikowy (etanol-woda-benzen), następnie etanol z benzenem, a na końcu czysty (99,8% v/v) etanol. Metoda ta ma znaczenie historyczne, ponieważ z racji na toksyczność benzenu została zaniechana. Obecnie jako czynnika tworzącego azeotrop trójskładnikowy używa się cykloheksanu. Inna metoda umożliwiająca rozdział azeotropu to zmiana ciśnienia, pod jakim prowadzi się destylację. Ilustruje to przykład:

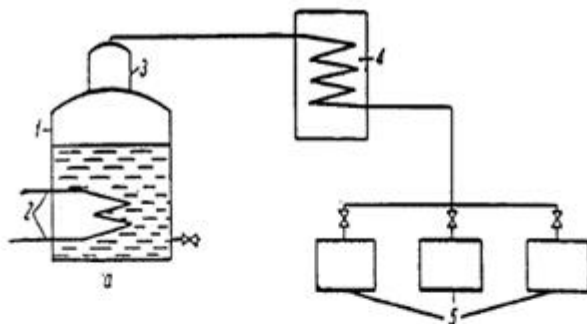
**Wpływ ciśnienia na skład azeotropowy roztworu alkohol etylowy-woda**

|                         |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ciśnienie, mm Hg        | 1450 | 1100 | 760  | 400  | 200  | 150  | 100  |
| Temperatura wrzenia, °C | 93,5 | 87,8 | 78,1 | 62,8 | 47,8 | 42,0 | 34,2 |
| Alkohol etylowy, % mol  | 89,0 | 89,3 | 90,0 | 91,4 | 93,8 | 96,2 | 99,6 |
| Woda, % mol             | 11,0 | 10,7 | 10,0 | 8,6  | 6,2  | 3,8  | 0,4  |

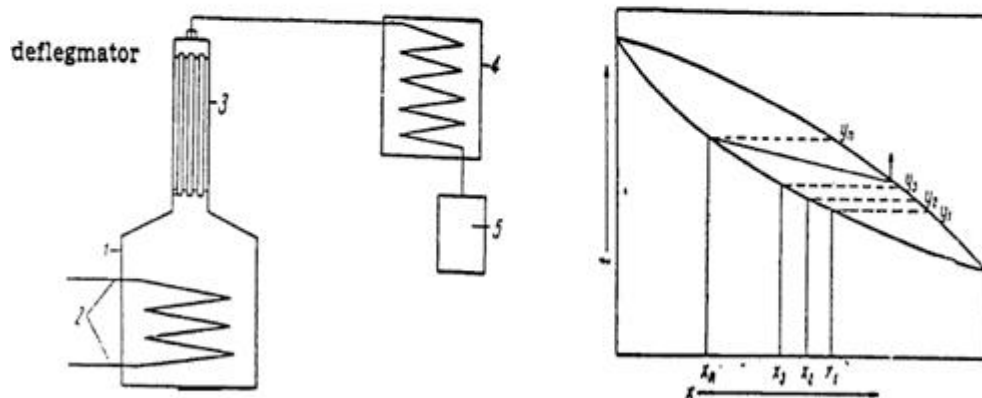
Nowymi metodami stosowanymi w rozdziale azeotropów, wprowadzonymi pod koniec XX w. są perwaporacja i permeacja. Polegają na wykorzystaniu membran polimerowych w celu oddzielenia jednego ze składników azeotropu na drodze dyfuzji przez porowatą przegrodę.

# DESTYLACJA

## Aparatura do destylacji prostej i z deflegmacją



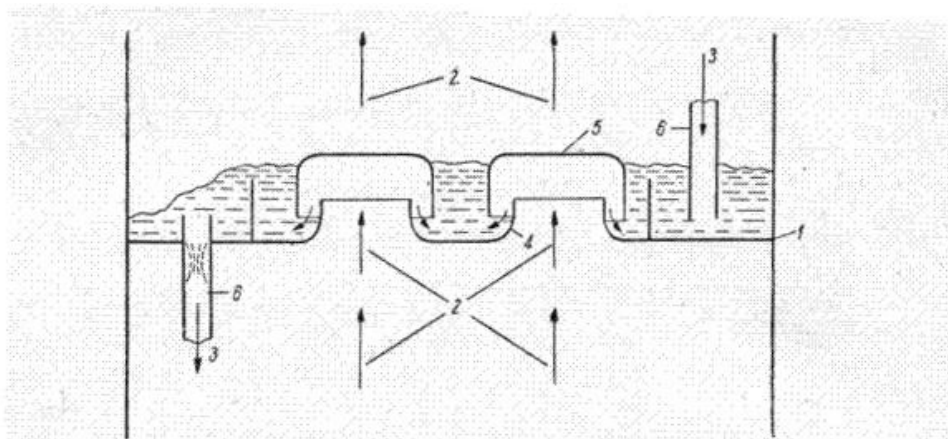
Schemat destylacji prostej: 1 — kocioł; 2 — grzejnik; 3 — hełm; 4 — chłodnica; 5 — odbieralniki.



Schemat destylacji prostej z deflegmatorem: 1 — kocioł; 2 — grzejnik; 3 — deflegmator; 4 — chłodnica; 5 — odbieralnik.

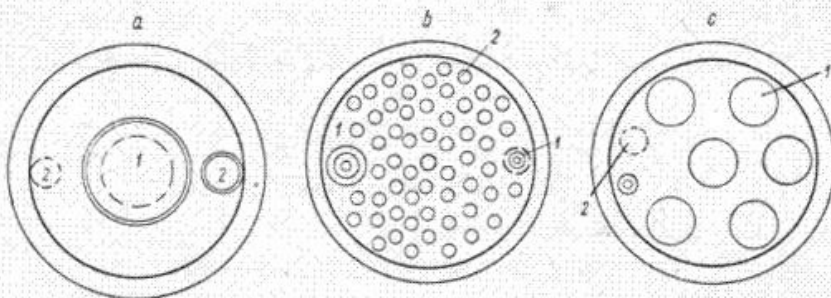


# DESTYLACJA - REKTYFIKACJA



Półki dzwonowe: 1 — dno półki; 2 — przepływ pary; 3 — przepływ cieczy; 4 — nasadka parowa; 5 — dzwon; 6 — rury przelewowe.

Zasada działania kolumny dzwonowej



Półki: a — dzwonowa, b — sitowa, c — kapkowa.

a: 1 — dzwon; 2 — przelewy;

b: 1 — przelewy; 2 — otwory w dnie półki;

c: 1 — kapki; 2 — przelewy.

Rodzaje kolumn półkowych

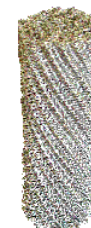
# DESTYLACJA – REKTYFIKACJA kolumny





# DESTYLACJA - REKTYFIKACJA

Kolumny  
z wypełnieniem

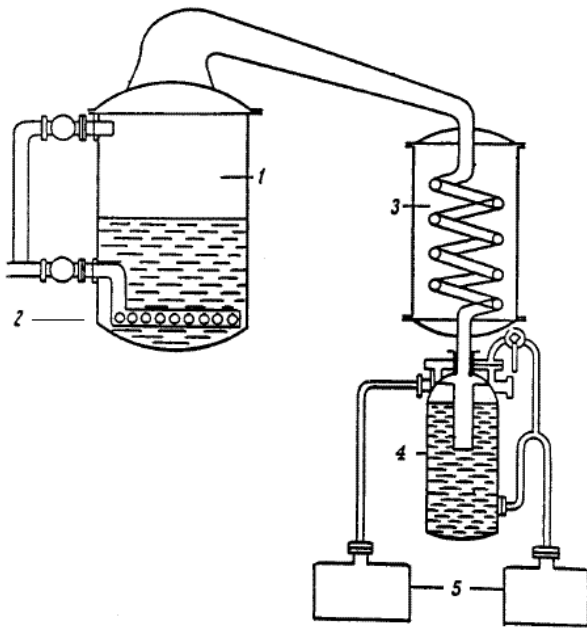


# DESTYLACJA Z PARĄ WODNĄ

## PRAWO DALTONA:

Ciśnienie wywierane przez mieszaninę gazów jest równe sumie ciśnień wywieranych przez składniki mieszaniny, gdyby każdy z nich był umieszczony osobno w tych samych warunkach objętości i temperatury, jest ono zatem sumą ciśnień cząstkowych.

$$p = \sum_{i=1}^k p_i$$

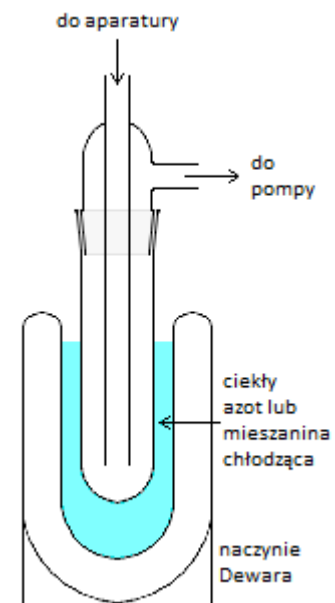
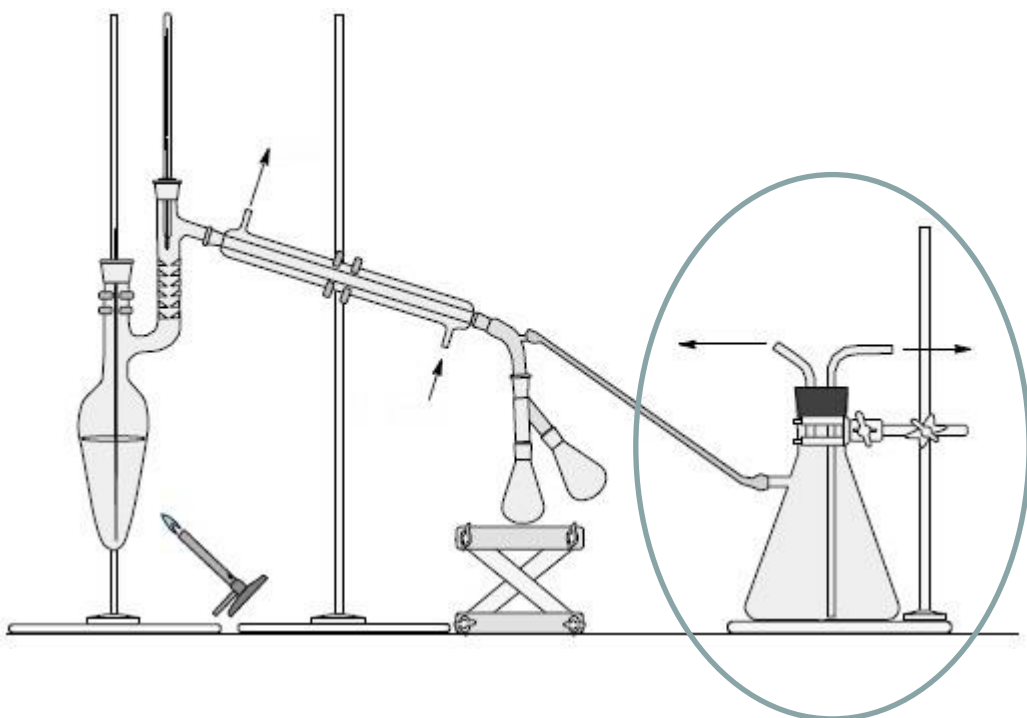


Destylacja z parą wodną: 1 — kocioł; 2 -- doprowadzenie pary wodnej przez bełkotkę; 3 — chłodnica; 4 — flaszka fiorentyńska; 5 -- odbieralniki.

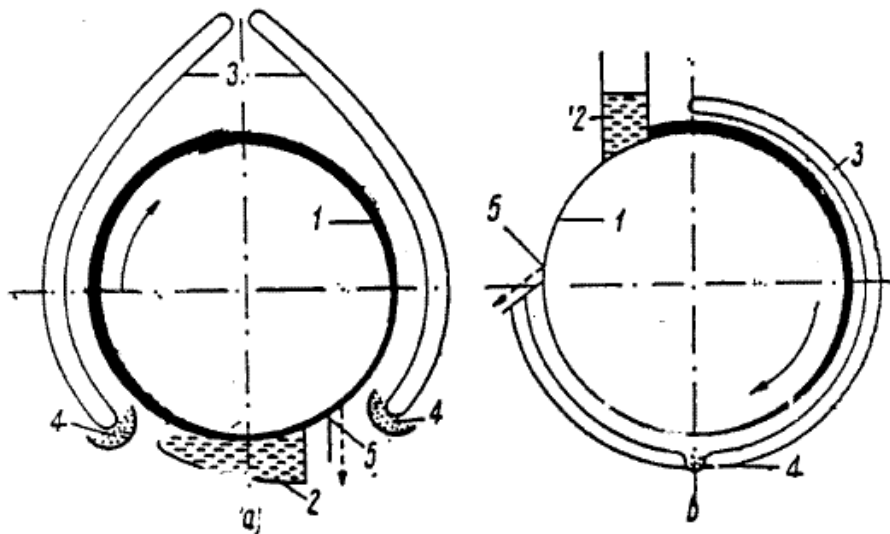


# DESTYLACJA POD ZMNIEJSZONYM CIŚNIENIEM

Laboratoryjny zestaw do destylacji pod zmniejszonym ciśnieniem



# DESTYLACJA MOLEKULARNA



Schemat urządzeń walcowych do destylacji molekularnej: 1 — walce ogrzewane od wewnątrz; 2 — zbiorniki na ciecz destylowaną; 3 — powierzchnie kondensacyjne; 4 — zbiorniki destylatu; 5 — zbiór niedogonu.



# DESTYLACJA MOLEKULARNA

