

## POMIAR CIŚNIENIA ATMOSFERYCZNEGO

### Ciśnienie atmosferyczne

Ćwiczenie obejmuje:

- definicje i jednostki ciśnienia,
- opis budowy i zasada działania przyrządów do pomiaru ciśnienia atmosferycznego  
(barometr rtęciowy, aneroid, barograf),
- zastosowanie wzoru Babineta do określania wysokości nad poziom morza.

### Definicja

*Ciśnieniem atmosferycznym nazywamy siłę parcia jaką wywiera na powierzchnię ziemi pionowy słup powietrza (Kaczorowska).*

*Ciśnieniem normalnym nazywamy ciśnienie wywierane przez atmosferę na 45<sup>o</sup> szerokości geograficznej odniesione do poziomu morza i temperatury 0<sup>o</sup>C.*

### Jednostki

mm Hg

mbar

bar = 1000000 dyn/cm<sup>2</sup>

Pascal = 1 N/m<sup>2</sup>

1hPa = 100 Pa

mb = hPa

1 hPa = 3/4 mmHg

1 mmHg = 4/3 hPa

Atmosfera to powłoka gazowa, której masa wynosi  $5.3 \cdot 10^{15}$  t, dzięki czemu wywiera ona na powierzchnię Ziemi ciśnienie, które średnio na poziomie morza i 45<sup>o</sup> szerokości geograficznej równoważy 760 mm Hg w barometrze. Mierzy się więc ciśnienie ciężarem słupa powietrza o poziomej podstawie jednostkowej (np. 1 m<sup>2</sup>) i wysokości równej wysokości atmosfery.

Na poziomie morza ciśnienie wynosi 1000hPa, im wyżej tym ciśnienie spada. I tak na wysokości: 5500m osiąga 500 hPa

10500 osiąga 250 hPa

25000 osiąga 25 hPa

50000 osiąga 1 hPa.

### Wyprowadzenie jednostek ciśnienia

Przy wyprowadzeniu jednostek ciśnienia wykorzystuje się definicję ciśnienia normalnego.

1. Objętość rtęci w rurce o pow. 1m<sup>2</sup>  $V = F \cdot h = 1m^2 \cdot 0.76 m = 0.76 m^3$

2. Masa rtęci  $m = V \cdot d = 0.76 \cdot 13600 = 10336 \text{ kg}$

gdzie: d - gęstość rtęci = 13600 kg/m<sup>3</sup>

3. Siła parcia  $F_p = m \cdot g = 10336 \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 = 101396.8 \text{ kg m/sek}^2$

4. Ciśnienie  $p = F_p / \text{pow.} = 101396.8 \text{ Pa} = 1013.9 \text{ hPa}$

stąd:

760 mmHg = 1013.9 hPa

1 mmHg = 1.33 hPa

1 hPa = 0.74 mmHg

Zależność ciśnienia od wysokości i temperatury wykorzystano do tzw. *niwelacji barometrycznej*. Jednym ze wzorów uwzględniających wzajemną zależność wymienionych wielkości jest wzór Babineta.

$$H = 8000 \frac{2(p_1 - p_2)}{(p_1 + p_2)} (1 + \alpha t_{sr})$$

(8000 m to wysokość, powyżej której powietrze jest już bardzo rozrzedzone).

Uwaga! Jest to wzór uproszczony, który pozwala na obliczenie różnicy wysokości pomiędzy dwoma punktami, jeśli znane są panujące w nich temperatura i ciśnienie. Można go stosować przy różnicach wysokości do 400 m i zakłada się przy tym, że w rozpatrywanej warstwie nie ma ruchów pionowych powietrza.

Przy założeniu, że  $p_1 - p_2 = 1$  i przy przyjęciu, że  $p_1 + p_2 = 2p$ , można wyprowadzić wzór na stopień baryczny:

$$h' = 8000 \frac{2 \cdot 1}{2p} (1 + \alpha t_{sr}) = \frac{8000}{p} (1 + \alpha t_{sr})$$

### Definicja

*Stopień baryczny jest to wysokość na jaką należy się wznieść lub obniżyć by ciśnienie zmieniło się o jednostkę.*

Stopień baryczny wykorzystuje się przy redukcji ciśnienia do poziomu morza. Tak wyliczone wartości ciśnień służą za podstawę do wykreślenia map synoptycznych.

### Przykład

Stacja meteorologiczna leży na wysokości 300 m n.p.m.. Ciśnienie zmierzone o godz. 13<sup>00</sup> wyniosło 1000 hPa a temperatura 15<sup>0</sup>C. Jakie będzie ciśnienie zredukowane do poziomu morza?

Stopień baryczny obliczony wg wzoru  $h'$  wynosi 8.48 m.

Następnie liczymy przybliżoną wartość ciśnienia na poziomie morza:

$$P = 1000 + 300/8.48 = 1035,38 \text{ hPa.}$$

W kolejnym kroku liczymy średnie ciśnienie dla warstwy pomiędzy poziomem morza a stacją:

$$P_{sr} = (1000 + 1035.4)/2 = 1017.7 \text{ hPa}$$

Kolejnym krokiem jest znalezienie średniej temperatury dla warstwy powietrza j.w. :

Pionowy gradient temperatury wynosi około 0.6<sup>0</sup>C na 100 m, co znaczy, że na poziomie morza temperatura jest wyższa o 1.8 <sup>0</sup>C w porównaniu z temperaturą stacji. Temperatura na poziomie morza wynosi więc 15 + 1.8 = 16.8<sup>0</sup>C.

Obliczamy teraz ponownie bardziej dokładnie stopień baryczny, a następnie ciśnienie zredukowane:

$$h' = 8000/1017.7 [ 1 + 0.004(16.8 + 15)/2 ] = 8.36 \text{ m.}$$

$$P_{zr} = 1000 + 300/8.36 = 1035.88 \text{ hPa}$$

## Przyrządy do pomiaru ciśnienia

Podstawowymi przyrządami służącymi do pomiaru ciśnienia są barometry i barografy.

Pierwsze odczytywane są w trzech terminach meteorologicznych (7<sup>00</sup>, 13<sup>00</sup>, 19<sup>00</sup>), drugie to samopisy standardowe lub czujniki pracujące w automatycznym systemie rejestracji danych.

### Barometry

#### Barometry cieczowe

Budowa barometrów cieczowych oparta jest na zasadzie doświadczenia Torricellego., które dowiodło, że w stałej temperaturze i w tym samym miejscu na Ziemi wysokość słupa cieczy jest proporcjonalna do ciśnienia. Można więc mierzyć ciśnienie powietrza ciśnieniem słupa cieczy o odpowiedniej wysokości. Stanowi to podstawę budowy barometrów cieczowych, prawie zawsze rtęciowych.

#### Barometry wagowe

Wykorzystuje się tu zasadę zmiany ciężaru wraz ze zmianą położenia słupka cieczy w rurce barometrycznej.

#### Barometry sprężyste

Pod wpływem zmian ciśnienia ciała sprężyste ulegają odkształceniu ale wracają do swej poprzedniej objętości. Na tej podstawie działają aneroidy i barografy.

### Budowa i działanie przyrządów do pomiaru ciśnienia atmosferycznego

#### Barometr rtęciowy

Zasada działania barometru rtęciowego opiera się na zależności wysokości słupa rtęci od ciśnienia atmosferycznego. Ciśnienie wyraża się w mm Hg, a następnie przelicza na hPa.

Przyrząd zbudowany jest z rurki szklanej z jednej strony zasklepionej i zanurzonej w naczyniu napełnionym rtęcią. Ciśnienie powietrza działające na powierzchnię rtęci znajdującej się w naczyniu powoduje wypychanie jej do rurki. Mierząc poziom menisku rtęci w rurce możemy odczytywać aktualne ciśnienie powietrza i jego zmianę w stosunku do poprzedniego odczytu. Ponieważ rtęć kurczy się bądź rozszerza w zależności od panującej temperatury, może więc wskazywać różne odczyty dla tego samego ciśnienia. Należy zatem każdy odczyt zaopatrzyć w poprawkę na temperaturę.

### **Poprawki do odczytu barometru**

W celu uzyskania porównywalnych wyników pomiaru ciśnienia atmosferycznego wykonanych w różnej wysokości n.p.m. i różnych punktach kuli ziemskiej stosuje się poprawki do odczytów.

**Poprawka stała** - czyli świadectwo sprawdzenia barometru. Często jest to już suma poprawek: instrumentalnej (wynikającej z niedoskonałości budowy) oraz poprawki wynikającej z różnicy siły ciężkości (przyspieszenie siły ciężkości rośnie w kierunku od równika ku biegunom i maleje ze wzrostem wysokości n.p.m.). Wskazania barometru redukuje się do standardowej wysokości tego przyspieszenia =  $980.655 \text{ cm/s}^2$ .

### **Poprawka wynikająca ze zmienności temperatury**

Wskazania barometru będącego pod wpływem tego samego ciśnienia atmosferycznego lecz w różnej temperaturze są różne ponieważ ze zmianą temperatury zmienia się gęstość rtęci. Dlatego wskazania barometru redukuje się do temperatury  $0^{\circ}\text{C}$ . Poprawki te są stabelaryzowane.

### **Poprawka redukująca ciśnienie do poziomu morza**

Na posterunkach meteorologicznych położonych do wysokości 500 m n.p.m. ciśnienie atmosferyczne redukuje się do poziomu morza. Każdy posterunek powinien być wyposażony w tablice sporządzone dla konkretnej wysokości n.p.m. zamontowanego barometru. Warto pamiętać, że dla wysokości barometru  $> 0$  poprawki do odczytu dodajemy natomiast dla  $< 0$  (tereny depresyjne) odejmujemy.

### **Barometr sprężysty (aneroid)**

Zasada działania barometrów sprężystych opiera się na odkształceniach ciała sprężystego pod wpływem działającego na nie ciśnienia atmosferycznego. Elementem pomiarowym jest w nich tzw. puszką Vidiego, naczynie płaskie, wewnątrz prawie puste, zbudowane ze stopu sprężystego. Pod wpływem zmian ciśnienia puszką rozszerza się bądź kurczy, przekazując te zmiany za pomocą sprężyny zakończonej wskazówką na skalę przyrządu.

### **Barograf**

Jest to barometr sprężysty, rejestrujący przebieg ciśnienia w czasie na taśmie papieru nawiniętej na metalowy bęben, poruszany mechanizmem zegarowym. Oparty na zasadzie działania puszką Vidiego pozwala na obserwacje zmian ciśnienia w dłuższym okresie czasu (np. tydzień). Ta sama zasada działania stosowana jest już w przyrządach wyższej generacji, pracujących w systemie automatycznego rejestrowania danych.

### **Analiza danych**

Każda doba obserwacyjna dostarcza nam w przypadku standardowo wyposażonego posterunku następujących informacji:

- odczytów z barometru rtęciowego (w trzech terminach pomiarowych),
- odczytów termometru umieszczonego na barometrze ( w terminach j.w.),
- barogramu.

### **Definicja**

*Barogram jest to wykres przedstawiający zmiany ciśnienia atmosferycznego w czasie.*

Po obliczeniu i uwzględnieniu poprawek do odczytów barometru prawidłowy odczyt wpisujemy do dziennika, a następnie наносимy w odpowiednich terminach meteorologicznych na barogram, aktualizując jego przebieg. Tak przygotowany barogram może być poddany analizie, w wyniku której uzyskuje się wartości godzinowe ciśnienia, ekstrema dobowe, tendencje i amplitudy.