

# **Pomiary całkowitej zawartości pary wodnej w pionowej kolumnie atmosfery**

Krzysztof Markowicz

Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski

**Czas trwania:** 10 minut

**Czas obserwacji:** tuż przed lub tuż po pomiarach fotometrem słonecznym

**Wymagane warunki meteorologiczne:** brak chmur w szczególności blisko zenitu

**Częstotliwość wykonania:** 1-3 razy w ciągu dnia

**Poziom szkoły:** wszystkie

**Materiały i przyrządy:** pirometr

## **1. Wstęp**

Para wodna odgrywa bardzo ważną rolę w atmosferze. Jest najważniejszym gazem cieplarnianym regulującym w znacznym stopniu temperaturę dolnej atmosfery oraz przyczynia się do powstawania chmur i opadów. Na ogół zawartość pary wodnej w powietrzu opisujemy poprzez wilgotność względną mierzoną na wysokości 2 metrów nad powierzchnią ziemi. Wielkość ta mówi nam, w jakim stopniu powietrze jest nasycone parą wodną, czyli jak dużo pary wodnej może jeszcze pomieścić powietrze. Wilgotność względna 100% oznacza, że powietrze jest w pełni nasycone parą wodną a dalszy wzrost zawartości pary wodnej powoduje kondensację pary wodnej powodując powstawanie mgły lub chmury. Jednak przy wilgotności względnej 100% powietrze może zawierać różną ilość pary wodnej. Im wyższa temperatura tym wyższa zawartość pary wodnej i odwrotnie. Widzimy, więc, że wilgotność względna nie jest najlepszym wskaźnikiem zawartości pary wodnej w powietrzu. Alternatywną wielkością fizyczną jest całkowita zawartość pary wodnej w pionowej kolumnie atmosfery. Określa ona jak sama nazwa wskazuje jak dużo pary wodnej znajduje się naszymi głowami. Wielkość tę wyraża się w  $[g/cm^2]$  lub w  $[cm]$  skondensowanej wody. Średnia wartość tej wielkości w Polsce waha się pomiędzy 1 a 2 cm, przy czym zimą jest bardzo mała (często poniżej 0.5 cm) zaś latem wysoka (może sięgać 4 cm). Wartości te pokazują, że zawartość pary wodnej w atmosferze jest niewielka w porównaniu do innych gazów. Mimo to

pełni ona bardzo ważną rolę. Podobnie przedstawia się z ozonem gdyż jego zawartość sięga jedynie ok. 0.3 cm a mimo tego skutecznie chroni nas przed szkodliwym promieniowaniem ultrafioletowym. Zawartość pary wodnej w atmosferze jest też pewnym wskaźnikiem sum opadów. Skoro mamy średnio ok. 1-2 cm pary wodnej tyle też maksymalnie może выпаść wody z chmur. W pewnych okolicznościach sumy opadów są znacznie większe, bo powietrze przemieszcza się. W pewnych obszarach opadów w danym okresie nie ma za to są w innym i to istotnie większe niż wskazywałyby na to zawartość pary wodnej. Całkowita zawartość pary wodnej jest wielkością istotną z punktu widzenia promieniowania słonecznego oraz promieniowania ziemskiego. W pierwszym przypadku para wodna osłabia ilość energii dochodzącej do powierzchni ziemi, zaś w drugim skutecznie obniża ucieczkę promieniowania ziemskiego w przestrzeń kosmiczną (zwiększa efekt cieplarniany). Więcej na ten temat w opisie do ćwiczenia o efekcie cieplarnianym. Zawartość pary wodnej jest również istotna z punktu widzenia własności fizycznych zanieczyszczeń powietrza. Duża część aerozoli jest higroskopijna co oznacza, że para wodna kondensuje na nich nawet przy niskiej wilgotności względnej. Pojawiająca się na aerozolu warstwa wody zmienia ich własności fizyczne. Z tego powodu pomiary aerozoli prowadzi się równoległe z pomiarami zawartości pary wodnej z pionowej kolumnie powietrza. Zmienność czasoprzestrzenna zawartości pary wodnej jest bardzo duża. Z tego powodu istotne znaczenie ma monitoring tej wielkości. W niewielu stacjach pomiarowych w Polsce wykonuje się tego typu pomiary, przez co proponowane obserwacje mają istotne znaczenie dla monitoringu atmosferycznego.

## **2. Przyrządy pomiarowe**

Przyrządem, który będzie wykorzystany podczas obserwacji jest pirometr. Przyrząd ten służy do bezdotykowego pomiaru temperatury. Pirometr mierzą ilość (natężenie) energii emitowanej przez ciała w określonej jednostce czasu poprzez pomiar temperatury elementu, na który pada promieniowanie termiczne (termoparę). Obecnie pirometry coraz częściej stosuje się do pomiaru temperatury ciał fizycznych np. pirometr lekarski służy do pomiaru temperatury ciała człowieka czy temperatury przygotowywanych posiłków.



*Rys.1 PIR882-C Pirometr Compact*

Stosowany będzie pirometr kompaktowy PIR 882C (widoczny na zdjęciu) jednak doświadczenie może być przeprowadzone dowolnym pirometrem, którego zakres temperatury jest, co najmniej w przedziale od -50 do 50 °C. Przyrząd charakteryzuje się prostym sposobem obsługi oraz nowoczesną, ergonomiczną obudową. Wyposażony jest w celownik laserowy pozwalający na precyzyjne określenie punktu pomiarowego. Posiada funkcje podświetlenia wyświetlacza oraz zatrzymania wyniku pomiaru (Data Hold).

### **3. Przeprowadzenie obserwacji**

Pomiar przeprowadzamy jedynie, gdy okolice zenitu pozbawione są chmur.

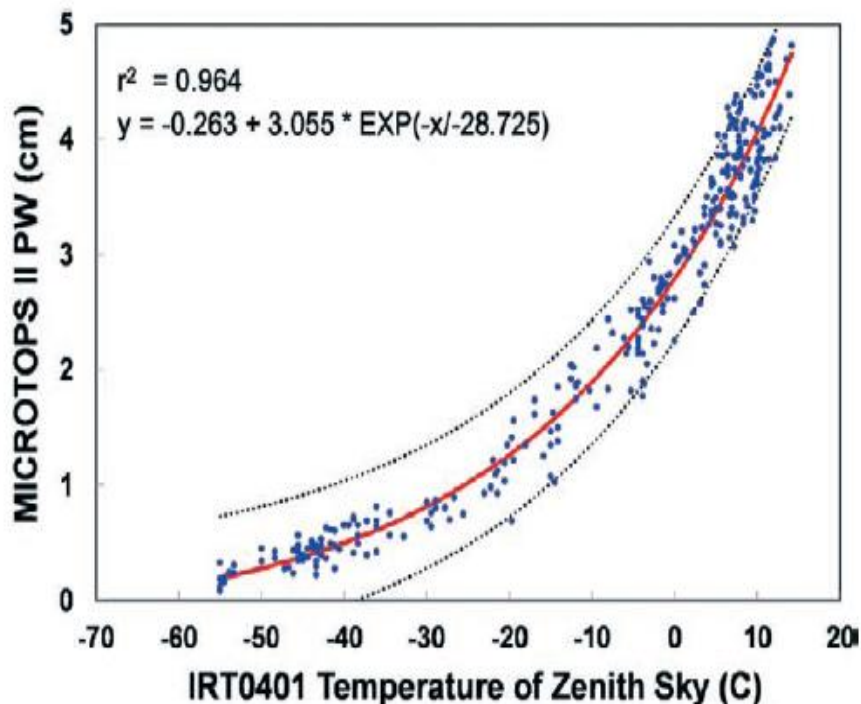
#### **Przebieg procedury pomiarowej:**

1. Skieruj pirometr w kierunku zenitu
2. Naciśnij czerwony przycisk
3. Sprawdź czy jednostkami temperatury są stopnie Celsiusa, jeśli nie to naciśnij przycisk °C.
4. W celu wykonania pomiaru temperatury naciśnij i trzymaj czerwony przycisk. W czasie pomiaru na wyświetlaczu pojawia się napis SCAN. Wyniki są odświeżane 2.5 razy na sekundę.
5. Przez 5 sekund obserwuj wskazania przyrządu i oszacuj wartość średnią temperatury.
6. Po zakończeniu pomiaru (zwolnieniu czerwonego przycisku) przyrząd zapamiętuje ostatnią wartość i wyświetla napis HOLD.
7. Przyrząd wyłącza się automatycznie.
8. Punkty 4-5 powtórz 5 razy.
9. Raz w miesiącu sprawdź stan baterii poprzez odłączenie baterii i podłączenie jej do miernika uniwersalnego. Jeśli napięcie jest mniejsze niż 8 V wymień baterie na nową.

**Uwaga: Nigdy nie kieruj przyrządu w kierunku słońca**

Dodatkowo w czasie pomiarów mierzymy temperaturę powietrza. W tym celu korzystamy z termometru zaokienego lub termometru w klatce meteorologicznej, (jeśli taką posiadamy).

Wyznaczenie całkowitej zawartości pary wodnej na podstawie pomiarów temperatury zenitu nieboskłonu wymaga dość skomplikowanych obliczeń, które będą wykonane automatycznie na serwerze projektu. Zależność tę obrazuje poniższy wykres. Na osi x przedstawiono temperaturę zenitu, zaś na osi y całkowitą zawartość pary wodnej w cm. Im niższa temperatura tym mniejsza zawartość pary wodnej. Aby to wyjaśnić należy uświadomić sobie, że najwięcej pary wodnej jest w dolnej atmosferze. Podczas wysokiej zawartości pary wodnej promieniowanie nie może przenikać przez wilgotne warstwy atmosfery stąd też przyrząd rejestruje temperaturę niskich (ciepłych) warstw atmosfery. W przypadku suchego powietrza do przyrządu dociera również promieniowanie z wysokich (zimnych) poziomów atmosfery. Tym samym wartość temperatury w tym przypadku jest niska.



Rys.2 Zależność całkowitej zawartości pary wodnej w [cm] od temperatury nieboskłonu w zenicie.

#### 4. Protokół wyników

Wypełnij tabele wpisując datę pomiaru, godzinę w czasie uniwersalnym (odjąć 2 godziny dla czasu letniego lub odjąć 1 godzinę dla czasu zimowego), temperaturę powietrza mierzona zwykłym termometrem oraz wyniki kolejnych pięciu pomiarów pirometrem. W ostatniej kolumnie oblicz wartość średnią pomiarów pirometrem z dokładnością do jednego miejsca po przecinku. W celu wyznaczenia zawartości pary wodnej korzystamy z serwera gdzie wpisujemy wyniki pomiarów a program automatycznie poda nam wynik i zapisze dane obserwacyjne.

data	godzina [UTC]	temperatura powietrza [°C]	Temperatura w kolejnych pomiarach [°C]					średnia
			I	II	III	IV	V	

#### 5. Analiza wyników

Na podstawie wielu obserwacji odpowiedz na pytanie czy istnieje zależność pomiędzy temperaturą powietrza a zawartością pary wodnej w atmosferze? Czy widoczne są jakieś różnice w zawartości pary wodnej w zależności od kierunku wiatru?

#### 6. Literatura

[1] Forrest M. Mims III, Lin Hartung Chambers, and David R. Brooks, 2011: Measuring Total Column Water Vapor by Pointing an Infrared Thermometer at the Sky. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2011, 1311-1320.

[2] Maghrabi, A., and R. Clay, 2010: Precipitable water vapour estimation on the basis of sky temperatures measured by a single-pixel IR detector and screen temperatures under clear skies. *Meteor. Appl.*, 17, 279–286.