

Silesian University of Technology
Faculty of Energy and Environmental Engineering
Institute of Power Engineering and Turbomachinery

Politechnika Śląska
Wydział Inżynierii Środowiska I Energetyki
Instytut Maszyn I Urządzeń Energetycznych

Air Humidity Measurements

Pomiary wilgotności powietrza

Fundamentals of Metrology and Experimental Engineering
Podstawy Metrologii i Techniki Eksperymentu

(M-VI)

Developed by MSc. Klaudia Dubiel

Opracowała mgr inż. Klaudia Dubiel

PURPOSE OF THE EXERCISE

The purpose of this exercise is to learn basic tools and methods used for measurements of the moisture content of the air and to conduct measurement of humidity of the air .

CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest poznanie podstawowych urządzeń i metod wykorzystywanych do pomiaru zawartości wilgoci w powietrzu oraz przeprowadzenie pomiaru wilgotności względnej powietrza atmosferycznego.

INTRODUCTION// WSTĘP

The amount of water present in the air has an important influence on the weather, industry and daily lives. Insufficient, excessive or variable humidity can contribute to damage of sensitive materials and objects, and influence various industrial processes. Humans are also sensitive to humid air, e.g., high humidity can cause discomfort.

Air is a mixture of dry air and water vapor. The amount of water vapor depends on weather conditions (pressure and temperature). The properties of water vapor are different from other gases.

//Zawartość wody w powietrzu atmosferycznym ma znaczący wpływ na zjawiska pogodowe, przemysł i życie codzienne. Zbyt niska, zbyt wysoka lub zmienna wilgotność, może przyczynić się do zniszczenia wrażliwych na zmiany wilgotności materiałów lub przedmiotów, a także wpływać na szereg procesów przemysłowych. Również ludzie reagują na zmianę wilgotności i np. nadmierna wilgotność może powodować dyskomfort.

Powietrze to mieszanina gazowa zawierająca powietrze suche i parę wodną. Ilość pary wodnej jest zależna od warunków atmosferycznych (takich jak ciśnienie i temperatura). Właściwości pary wodnej różnią się w stosunku do innych gazów.

When the air, in specific temperature, contains the maximum possible amount of water it is called **saturated air**. If the content of water is lower than the maximum possible, the air is called **unsaturated air**.

*//Gdy powietrze, w danej temperaturze, zawiera maksymalną możliwą ilość pary wodnej nazywane jest **powietrzem nasyconym wilgocią**. Jeżeli zawartość pary wodnej jest mniejsza niż maksymalna powietrze jest **nienasycone wilgocią**.*

The total (barometric) pressure in moist air can be expressed as: *//Ciśnienie całkowite (barometryczne) powietrza wilgotnego wyraża równanie:*

$$p_t = p_a + p_p$$

where: p_t = total pressure, p_a = partial pressure of the dry air, p_p = partial pressure of water vapor.

//gdzie: p_t = ciśnienie barometryczne, p_a = ciśnienie cząstkowe powietrza suchego, p_p = ciśnienie cząstkowe pary wodnej.

The **dew point temperature** is the temperature to which the air must be cooled, at constant barometric pressure, for water vapor to condense into water.

//Temperatura punktu rosy to temperatura, do której musi zostać schłodzone powietrze, przy stałym ciśnieniu barometrycznym, aby rozpoczął się proces wykraplania pary wodnej zawartej w powietrzu.

Absolute humidity – the amount of water vapor present in a unit volume (or mass) of air, usually expressed in grams of water vapor per cubic meter or kilogram of dry air.

//Wilgoć bezwzględna – masa pary wodnej przypadająca na jednostkę objętości (lub masy) powietrza.

Relative humidity, ϕ – the ratio of the actual amount of water vapor in the air at a specific temperature to the maximum amount, that the air could hold at that temperature. It can be also expressed as a ratio of partial pressure of water vapor to the saturation vapor pressure at a specific temperature.

//Wilgotność względna, ϕ – stosunek rzeczywistej ilości pary wodnej zawartej w powietrzu do maksymalnej zawartości pary wodnej w danej temperaturze. Może być również wyrażona jako stosunek ciśnienia cząstkowego pary do ciśnienia pary nasyconej w określonej temperaturze .

$$\phi = \left[\frac{p_p}{p_s} \right]_t \cdot 100\%$$

p_p – partial pressure of water vapor //ciśnienie cząstkowe pary wodnej, p_s – saturation vapor pressure //ciśnienie nasycenia.

HUMIDITY MEASUREMENT METHODS// METODY POMIARU WILGOTNOŚCI POWIETRZA

Many factors influence air humidity, thus there are many effects that can be used to measure it. The main type of instruments used for measuring the moisture content in the air are:

//Wiele czynników ma wpływ na wilgotność powietrza, dzięki czemu istnieje wiele zjawisk, które można wykorzystać do pomiaru wilgotności powietrza. Wśród podstawowych urządzeń, wykorzystywanych do pomiaru zawartości wilgoci w powietrzu można wyróżnić:

- 1) Hygrometers //higrometry
 - a) Absorption (gravimetric) //absorpcyjne (grawimetryczne)
 - b) Condensation //kondensacyjne
 - c) Mechanical //mechaniczne
 - d) Electrical //elektryczne

- 2) Psychrometers //psychrometry
 - a) August type //Augusta
 - b) Assmann type //Assmanna

Gravimetric hygrometer //higrometr grawimetryczny

This device measures the mass of a sample of material, which absorbed water vapor, and compares to a dry sample. This is considered the most accurate method to determine the absolute humidity of the air. Due to the inconvenience of measurements with the use this device it is usually used only to calibrate less accurate instruments.

//Urządzenie to mierzy masę próbki materiału, który zaabsorbował parę wodną z powietrza i porównuje ją z masą suchej próbki. Jest to jedna z najdokładniejszych metod wyznaczania

Air Humidity Measurements// Pomiar wilgotności powietrza

wilgoci bezwzględnej. Higrometry grawimetryczne, z uwagi na kłopotliwy proces pomiarowy, wykorzystywane są zazwyczaj do kalibracji mniej dokładnych urządzeń.

Condensation hygrometer //higrometr kondensacyjny

Condensation hygrometers consist of a polished metal or glass mirror that is cooled at a constant pressure and constant vapor content, until water starts to condense on it. The temperature of the metal (mirror) at which condensation begins is the dew point.

//Higrometry kondensacyjne składają się z wypolerowanej metalowej powierzchni lub lustra. Lustrzana powierzchnia jest chłodzona, przy stałym ciśnieniu i niezmienniej zawartości wilgoci w badanym powietrzu, do czasu zaobserwowania wykraplania się pary wodnej. Temperatura metalu (lustra), przy której następuje kondensacja pary wodnej stanowi temperaturę punktu rosy.

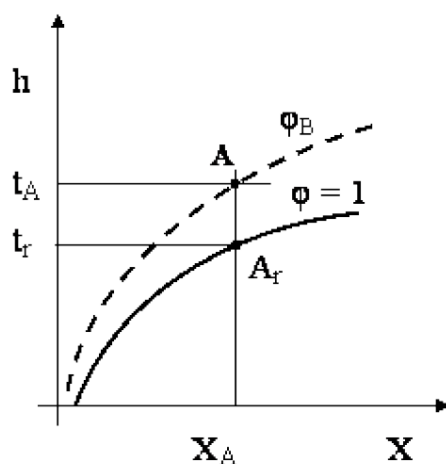


Fig. 1 Determination of the relative humidity in the h - X diagram, according to indications of a condensation hygrometer, t_A – measured air temperature, t_r – dew point temperature, φ – relative humidity, X – moisture content.

//Rys. 1 Wyznaczanie wilgotności względnej j na wykresie h - X wg wskazań higrometru kondensacyjnego; t_A - temperatura badanego powietrza, t_r - temperatura punktu rosy, φ - wilgotność względna badanego powietrza

Mechanical hygrometer //higrometr mechaniczny

Mechanical hygrometers use the change in length of a hair (hair hygrometer) or some synthetic material when they absorb water vapor. This change in dimensions can be used to move e.g. a pointer which, when calibrated, will measure the relative humidity. The accuracy of the hair hygrometer at the measuring range $\varphi = 30 \div 100\%$ is $\pm 3\%$.

//Higrometry mechaniczne wykorzystują zmianę długości włosa (higrometry włosowe) lub niektórych włókien syntetycznych pod wpływem absorpcji pary wodnej z powietrza. Zmiana długości może zostać wykorzystana do poruszania np. wskazówki, która po skalibrowaniu wskazuje wilgotność względną powietrza. Dokładność pomiaru zawiera się w granicach $\pm 3\%$, przy zakresie pomiarowym $30 \div 100\%$ wilgotności względnej.

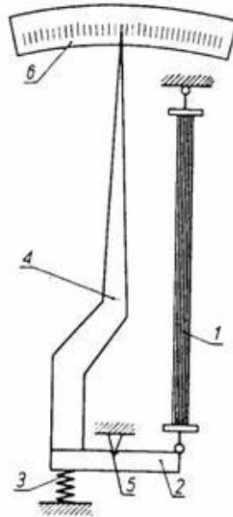


Fig. 2 Hair hygrometer, 1 – hair bundles, 2 – lever, 3 – spring, 4 – pointer, 5 – point of support, 6 – scale.

//Rys. 2 Higrometr włosowy, 1 – wiązka włosów, 2 – dźwignia, 3 – sprężyna dźwigni, 4 – wskazówka, 5 – punkt podparcia dźwigni, 6 - skala

Hair hygrometers have several drawbacks: *//Higrometry włosowe posiadają kilka wad:*

- occurrence of the phenomenon of hysteresis *//występowanie zjawiska histerezy,*
- a need for frequent cleaning (degreasing) and calibration *//konieczność częstego czyszczenia (odtłuszczenia) i kalibracji,*
- maximum measuring temperature 50 °C (synthetic material 120 °C) *//zakres stosowania do 50 °C (w przypadku włókien syntetycznych do 120 °C).*

Advantages of hair hygrometers: *//zalety higrometrów włosowych:*

- measurement in temperatures below 0 °C *//pomiar w temperaturze poniżej 0 °C,*
- simplicity *//prostota*

Electrical hygrometer *//hygrometry elektryczne*

There are two main types of electrical hygrometers: capacitive and resistive

//Wyróżnia się dwa główne rodzaje higrometrów elektronicznych: pojemnościowe i rezystancyjne.

Capacitive hygrometer consists of a capacitor that is sensitive to the amount of water vapor in the air. The change in capacitance is proportional to a change in relative humidity.

//Higrometry pojemnościowe zawierają kondensator wrażliwy na zmiany ilości pary wodnej zawartej w powietrzu. Zmiana pojemności jest proporcjonalna do zmiany wilgotności względnej.

Resistive hygrometers measure the change in electrical resistance of a material (salts and conductive polymers) with changing humidity of the air.

//Higrometry rezystancyjne mierzą zmianę oporu elektrycznego materiału (zwykle roztworów soli lub polimerów przewodzących) wraz ze zmianą wilgotności powietrza.

Psychrometer //Psychrometr

Psychrometer is a classical device for humidity measurement. It is a high precision instrument, provided it is properly used. Psychrometer consists of two thermometers mounted side by side in a small frame. One thermometer measures the temperature of the air (dry-bulb thermometer). The other thermometer is wrapped with a cloth which is soaked with distilled water (wet-bulb thermometer).

//Psychrometr jest klasycznym urządzeniem stosowanym do pomiaru wilgotności. Właściwie użytkowany, charakteryzuje się wysoką precyzją. Składa się z dwóch termometrów umieszczonych obok siebie w stalowej ramce. Jeden z termometrów mierzy temperaturę otaczającego powietrza (tzw. termometr suchy). Drugi termometr posiada zbiorniczek z rzęcią owinięty kawałkiem tkaniny nasączonej wodą destylowaną (tzw. termometr mokry).

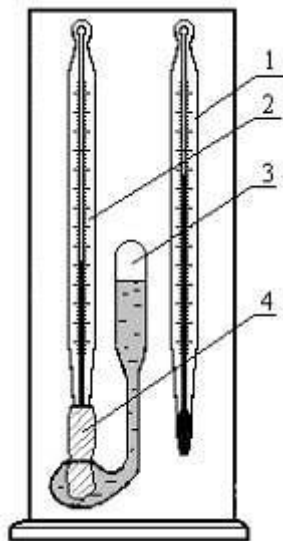


Fig. 3 Psychrometer: 1 – dry-bulb thermometer, 2 – wet-bulb thermometer, 3 – distilled water, 4 – wet wick (cloth),

//Rys. 3 Psychrometr: 1 - termometr suchy, 2 - termometr mokry, 3 - woda destylowana, 4 - koszulka higroskopijna

The air flows around the thermometers and accelerate evaporation of water from the wet cloth, so that the wet-bulb thermometer shows a lower temperature than that of the dry-bulb thermometer. The difference in the temperature between the two thermometers is the wet-bulb depression. The amount of wet-bulb depression depends on the amount of evaporation from the cloth and this depends on the absolute humidity of the air. Low absolute humidity results in higher evaporation (and lower wet-bulb temperature) than occurs in the air with high absolute humidity. When the air is saturated (100% relative humidity) both thermometers show the same value, as the water cannot evaporate, so both (the wet and dry bulb temperatures) are the same.

//Powietrze przepływa wokół termometrów i przyspiesza proces odparowania wody z koszulki termometru mokrego. Na skutek parowania wody termometr mokry wskazuje niższą temperaturę niż termometr suchy. Różnica wskazań termometrów nosi nazwę różnicy psychrometrycznej. Różnica ta zależy od ilości odparowanej wody a co za tym idzie od wilgoci bezwzględnej otaczającego powietrza. Im niższa wilgoć bezwzględna tym intensywniejszy proces parowania (niższa temperatura termometru mokrego). Jeżeli badane powietrze jest nasycone wilgocią (wilgotność względna równa jest 100%) proces odparowania nie występuje i oba termometry wskazują tą samą temperaturę.

The knowledge of two temperatures (wet- and dry-bulb) is sufficient for the determination of the relative humidity according to the following formula:

//Znajomość wskazań obu termometrów (mokrego i suchego) pozwala obliczyć wilgotność względną zgodnie ze wzorem:

$$\varphi = \frac{p_p}{p_{ps}} = \frac{p_{pm}'' - A(t_s - t_m)p_b}{p_{ps}} \cdot 100\%$$

where: p_p - partial pressure of water, Pa; p_{pm}'' - saturation vapor pressure in wet-bulb temperature ; p_{ps}'' - saturation vapor pressure in dry-bulb temperature, Pa; p_b - barometric pressure, Pa; t_s – dry-bulb temperature, °C; t_m - wet-bulb temperature, °C; A - psychrometer constant , 1/K, 1/°C.

//gdzie: p_p – ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa; p_{pm}'' – ciśnienie nasycenia dla temperatury termometru mokrego ; p_{ps}'' - ciśnienie nasycenia dla temperatury termometru suchego, Pa; p_b - ciśnienie barometryczne, Pa; t_s – temperatura termometru suchego °C; t_m – temperatura termometru mokrego, °C; A – stała psychrometryczna , 1/K, 1/°C.

Psychrometer constant A depends on the design of the psychrometer, velocity of gas flow, shape of a bulb, type of gas and temperature. For the air it can be calculated as:

//Stala psychrometryczna A , zależy od budowy psychrometru, prędkości przepływu gazu, kształtu zbiorniczka rtęci, rodzaju gazu i temperatury. Dla powietrza przyjmuje postać:

$$A = \left(65 + \frac{6.75}{w} \right) 10^{-5} K^{-1}$$

where: w – velocity of gas flow, m/s

//gdzie w – prędkość przepływu gazu, m/s.

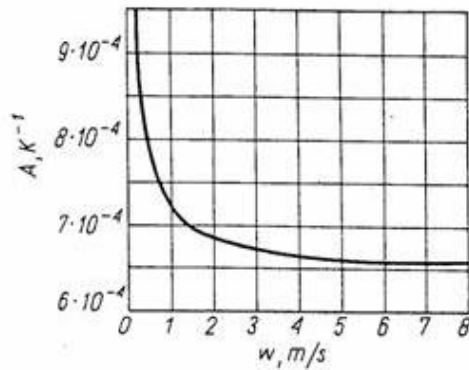


Fig. 4 The psychrometer constant as a function of velocity of air flow

//Rys. 4 Stala psychrometryczna w funkcji prędkości powietrza

August type psychrometer consists of two thermometers (wet- and dry-bulb) without ventilation device (air flow is random), wherefore an error in measurement can be as high as 15%.

//Psychrometr Augusta składa się z dwóch termometrów (mokrego i suchego) bez wymuszonego przepływu powietrza (przepływ jest przypadkowy), przez co błąd pomiaru może wynosić nawet 15%.

In **Assmann type psychrometer**, each thermometer is suspended within a vertical tube of polished metal, and that tube is in turn suspended within a second metal tube (frame) of slightly larger diameter; these double tubes serve to isolate the thermometers from radiant heating. Air is drawn through the tubes with a fan that is driven by a clockwork mechanism to ensure a consistent speed of air flow of 2.5 m/s.

//W przypadku psychrometru Assmanna, czujniki termometrów umieszczone są w dokładnie wypolerowanych tulejach, które dodatkowo znajdują się w drugiej metalowej osłonie (ramce) o nieco większej średnicy. Zabieg ten zabezpiecza czujniki termometrów przed negatywnym wpływem promieniowania. Przepływ powietrza w tulejach jest wymuszany za pomocą wentylatora, napędzanego mechanizmem zegarowym. Dzięki temu prędkość przepływu jest stała i wynosi około 2,5 m/s.

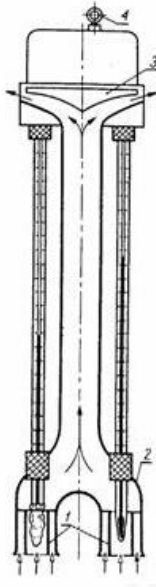


Fig. 5 Assmann type psychrometer: 1- metal tube , 2 – metal frame, 3 – fan, 4 - clockwork mechanism

//Rys. 5 Psychrometr Assmanna: 1 - metalowa tuleja, 2 – metalowa ramka, 3 – wentylator, 4 – mechanizm zegarowy

The measuring range of air humidity is about $5 \div 95\%$ at temperature $0 \div 50 \text{ }^\circ\text{C}$. Psychrometer constant (for air flow velocity $w = 2.5 \text{ m/s}$ and barometric pressure $p_b = 100 \text{ kPa}$) is $A = 67.7 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$.

//Zakres pomiarowy wilgotności względnej wynosi $5 \div 95\%$ w temperaturze $0 \div 50 \text{ }^\circ\text{C}$. Stała psychrometryczna (przy prędkości przepływu powietrza $w = 2,5 \text{ m/s}$ i ciśnieniu barometrycznym $p_b = 100 \text{ kPa}$) wynosi $A=67.7 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$.

TEST STAND // STANOWISKO POMIAROWE

The test stand to measure the air humidity consists of three Assmann type psychrometers. The students will determine the relative humidity, at a given air temperature (dry-bulb temperature), the wet-bulb temperature and barometric pressure, in several measuring points of the HMC building. In addition students will determine the relative humidity and other physical quantities (for example partial pressure of water vapor, dew point temperature etc.) by the use of a Mollier chart (h-X).

//Stanowisko pomiarowe składa się z trzech psychrometrów Assmanna. Zadaniem uczestników ćwiczenia będzie wyznaczenie wilgotności względnej, na podstawie odczytanych temperatur termometru suchego i mokrego przy znanym ciśnieniu barometrycznym, w kilku punktach pomiarowych zlokalizowanych w Hali Maszyn Ciepłych. Dodatkowo uczestnicy wyznaczą wilgotność względną i inne wielkości fizyczne (np. ciśnienie cząstkowe pary wodnej, temperaturę punktu rosy itp.) przy użyciu wykresu Molliera (h-X).

THE REPORT SHOULD INCLUDE: //SPRAWOZDANIE

- Title page (date of the exercise and its number, names of the participants),
//Strona tytułowa (data wykonania ćwiczenia, numer ćwiczenia, nazwiska i imiona uczestników,
- short theoretical introduction and objective of the exercise,
//krótki wstęp teoretyczny i cel ćwiczenia,
- development of measurement results and exemplary calculations,
//opracowanie wyników pomiarów i przykładowe obliczenia
- observations and conclusions.
//spostrzeżenia i wnioski