



POLITECHNIKA WARSZAWSKA

**Wydział Samochodów
i Maszyn Roboczych**

INSTYTUT POJAZDÓW

Laboratorium Termodynamiki

Ćwiczenie nr: 7

BADANIE WILGOTNOŚCI POWIETRZA

opracował: dr inż. Zdzisław Nagórski

Celem ćwiczenia jest:

- poznanie metod i technik pomiaru wilgotności,
- wykonanie badań wilgotności względnej powietrza w funkcji jego temperatury,
- interpretacja wielkości służących do oceny wilgotności powietrza, przy użyciu wykresu Molliera.

1. WPROWADZENIE

Powietrze suche jest mieszaniną gazową azotu i tlenu, o łącznym udziale masowym sięgającym ok. 99%. Resztę, tj. ok. 1%, stanowią inne pierwiastki i związki chemiczne w stanie gazowym. Tę mieszaninę nazwano powietrzem suchym, gdyż w zakresie naturalnych zmian temperatury, tj. od ok. 200 K (≈ -70 °C) do ok. 350 K ($\approx +80$ °C), jego składniki występują tylko w stanie gazowym.

Powietrze atmosferyczne (gaz wilgotny nienasycony, nasycony lub przesycony) jest dwuskładnikową mieszaniną **powietrza suchego (gaz suchy)** i **wody (wilgoci)**, która w tym zakresie temperatury, występuje w trzech stanach skupienia (pary przegrzanej i nasyconej, mgły (para przesycona) ciekłej lub lodowej). Masa pary wodnej w **powietrzu nasyconym** zmienia się wraz z jego temperaturą, stąd np. po przechłodzeniu powietrza nasyconego, para wodna (gaz) wykrapla się. Między innymi, to zjawisko decyduje o transporcie wody w atmosferze ziemskiej i jest jednym z czynników klimatycznych, decydujących o ekosystemie na Ziemi. Przykładowo, w wymienionym zakresie temperatury masa pary wodnej w powietrzu nasyconym może wzrosnąć ok. 1000 - krotnie.

Obecność wody w powietrzu (chmury, mgła, deszcz, szron) ma wpływ na procesy energetyczne i technologiczne, w których substratem (spalanie) lub pośrednikiem (suszarnictwo, klimatyzacja) jest powietrze. Pośrednio ma także wpływ na wyposażenie urządzeń (np. wersje arktyczne lub tropikalne samochodów) oraz ich konstrukcję (np. obwody elektryczne i elektroniczne w samochodach) i eksploatację. Poważnym problemem technicznym jest korozja materiałów konstrukcyjnych, za którą odpowiedzialna jest przede wszystkim wilgoć, tworząca agresywne związki chemiczne z SO_x , NO_x itp. Przykłady te wykazują, że informacja o wilgotności powietrza jest nie tylko parametrem klimatycznym, ale często może być ważnym parametrem technicznym i eksploatacyjnym.

1.1. Pojęcia podstawowe

Do oceny jakościowej i ilościowej wilgoci w powietrzu wykorzystuje się następujące definicje i wielkości:

- **powietrze nasycone** (gaz wilgotny nasycony) - zawiera maksymalną w danej temperaturze, masę pary wodnej,
- **powietrze nienasycone** (gaz wilgotny nienasycony) - powietrze, które w danej temperaturze może jeszcze wchłonąć pewną masę pary wodnej,
- **powietrze przesycone** (gaz wilgotny przesycony) - powietrze, w którym wykropliła się woda w postaci mgły ciekłej lub lodowej,
- **ciśnienie baryczne** powietrza p_b jest sumą ciśnień cząstkowych (udziałowych, parcjalnych): powietrza suchego p_1 i pary wodnej p_w (zgodnie z prawem Daltona):

$$p_b = p_1 + p_w \quad (1)$$

W powietrzu nasyconym, ciśnienie pary wodnej p_w osiąga wartość maksymalną p_{wm} w temperaturze T , natomiast w powietrzu nienasyconym w tej temperaturze ciśnienie $p_w < p_{wm}$. W tablicy 1 podano Wartości ciśnienia nasycenia w funkcji temperatury powietrza,

- **punkt rosy** - stan powietrza nasyconego, w którym każde obniżenie temperatury powoduje wykroplenie się części pary wodnej w postaci mgły lub rosy (ciśnienie $p_w = p_{wm}$). Punkty rosy tworzą *linię rosy*,
- **wilgotność względna** powietrza φ jest równa stosunkowi ciśnień pary wodnej w powietrzu nienasyconym i w powietrzu nasyconym, w tej samej temperaturze T , tzn.

$$\varphi = \frac{p_w(T)}{p_{wm}(T)} \quad (2)$$

- **wilgotność bezwzględna masowa** (stopień wilgoci, zawartość wilgoci) X , wyznaczona z równań stanu pary wodnej (g.d.) i powietrza suchego (g.d.), jest równa stosunkowi masy pary wodnej m_w (w dowolnym stanie skupienia) do masy *powietrza suchego* m_p , tzn.

$$X[\text{kgH}_2\text{O} / \text{kg. pow. suchego}] = \frac{m_w}{m_p} = 0,622 \cdot \frac{p_w}{p_b - p_w} \quad (3)$$

Po uwzględnieniu zależności (2), wilgotność bezwzględną masową opisuje wzór

$$X[\text{kgH}_2\text{O} / \text{kg. pow. suchego}] = \frac{0,622 \cdot \varphi \cdot p_{wm}}{p_b - \varphi \cdot p_{wm}} \quad (4)$$

- **wilgotność bezwzględna objętościowa** jest stosunkiem masy pary wodnej m_w do objętości V powietrza, tzn.

$$b[\text{kgH}_2\text{O} / \text{m}^3 \text{pow.}] = \frac{m_w}{V} = \frac{m_w}{R_p \cdot T} \cdot p_b \quad (5)$$

gdzie R_p jest stałą gazową powietrza, a T jego temperaturą bezwzględną,

Tablica 1. Ciśnienie nasycenia pary wodnej p_{wm} w funkcji temperatury powietrza

T	t	P_{wm}	T	t	P_{wm}	T	t	P_{wm}
[K]	[st. C]	[Pa]	[K]	[st. C]	[Pa]	[K]	[st. C]	[Pa]
282	9	1147	297	24	2982	312	39	6991
283	10	1227	298	25	3166	313	40	7375
284	11	1312	299	26	3360	314	41	7777
285	12	1402	300	27	3563	315	42	8198
286	13	1497	301	28	3779	316	43	8639
287	14	1597	302	29	4004	317	44	9100
288	15	1704	303	30	4242	318	45	9582
289	16	1817	304	31	4491	319	46	10086
290	17	1936	305	32	4754	320	47	10612
291	18	2063	306	33	5029	321	48	11162
292	19	2196	307	34	5318	322	49	11736
293	20	2337	308	35	5622	323	50	12335
294	21	2486	309	36	5940	324	51	12960
295	22	2642	310	37	6274	325	52	13620
296	23	2808	311	38	6624	326	53	14367

- **stopień nasycenia** (parą wodną) **powietrza** Ψ jest określony stosunkiem wilgotności bezwzględnych masowych powietrza: nienasyconego X do nasyconego X_m , w tej samej temperaturze T , tzn.

$$\Psi = \frac{X}{X_m} = \frac{\varphi \cdot (p_b - p_{wm})}{p_b - \varphi \cdot p_{wm}} \quad (6)$$

Zwykle różnica między wartościami φ i Ψ jest zaniedbywalna, ze względu na bliski jedności, iloraz ciśnień we wzorze (6), tzn. $\Psi \approx \varphi$,

- stała gazowa powietrza (mieszaniny powietrza suchego i pary wodnej) R_p [J/(kg K)] jest równa

$$R_p = \frac{(R_g + X \cdot R_w)}{1 + X} \approx 462 \cdot \frac{0,622 + X}{1 + X} \cong \frac{287}{1 - 0,378 \cdot \frac{\varphi \cdot p_{wm}(T)}{p_b}} \quad (7)$$

gdzie: $R_g = 287$ J/(kg K) i $R_w = 462$ J/(kg K) są stałymi gazowymi powietrza suchego (gaz) i pary wodnej ($287/462 = 0,622$),

- entalpia powietrza i [kJ/kg] (odpowiadająca masie mieszaniny: 1 kg powietrza suchego oraz X kg pary wodnej) jest równa

$$i = (c_{pg} + X \cdot c_{pw}) \cdot (T - 273) + X \cdot r \quad (8)$$

gdzie: c_{pg} - jest izobarycznym ciepłem właściwym powietrza suchego (tabl. 2), c_{pw} - izobarycznym ciepłem właściwym pary wodnej, r - ciepłem parowania wody, a T [K] - temperaturą absolutną powietrza. Przyjęto, że powietrze o temperaturze 273 K ma entalpię równą 0.

Tablica 2. Izobaryczne ciepło właściwe powietrza suchego c_{pg} w funkcji temperatury

T [K]	c_{pg} [kJ/(kg K)]
283	1,005
293	1,005
303	1,005
313	1,006
323	1,006

1.2. Wykres Molliera $i - X$

Do analizy zmian wilgotności powietrza wykorzystuje się wykres Molliera (rys. 1), zbudowany w układzie: entalpia i - wilgotność bezwzględna masowa X i ciśnienie cząstkowe pary wodnej p_w . Na tym wykresie naniesione są linie stałej wilgotności względnej φ (z linią rosy $\varphi = 1$), linie stałej entalpii (izentalpy) i , stałej temperatury T [K] i wilgotności bezwzględnej masowej X oraz linie pomocnicze i oś ciśnień cząstkowych pary wodnej p_w [Pa lub Tr]. Linia rosy ($\varphi = 1$) oddziela obszar powietrza nienasyconego od powietrza przesyconego. Nachylenie izoterm wynika z równań:

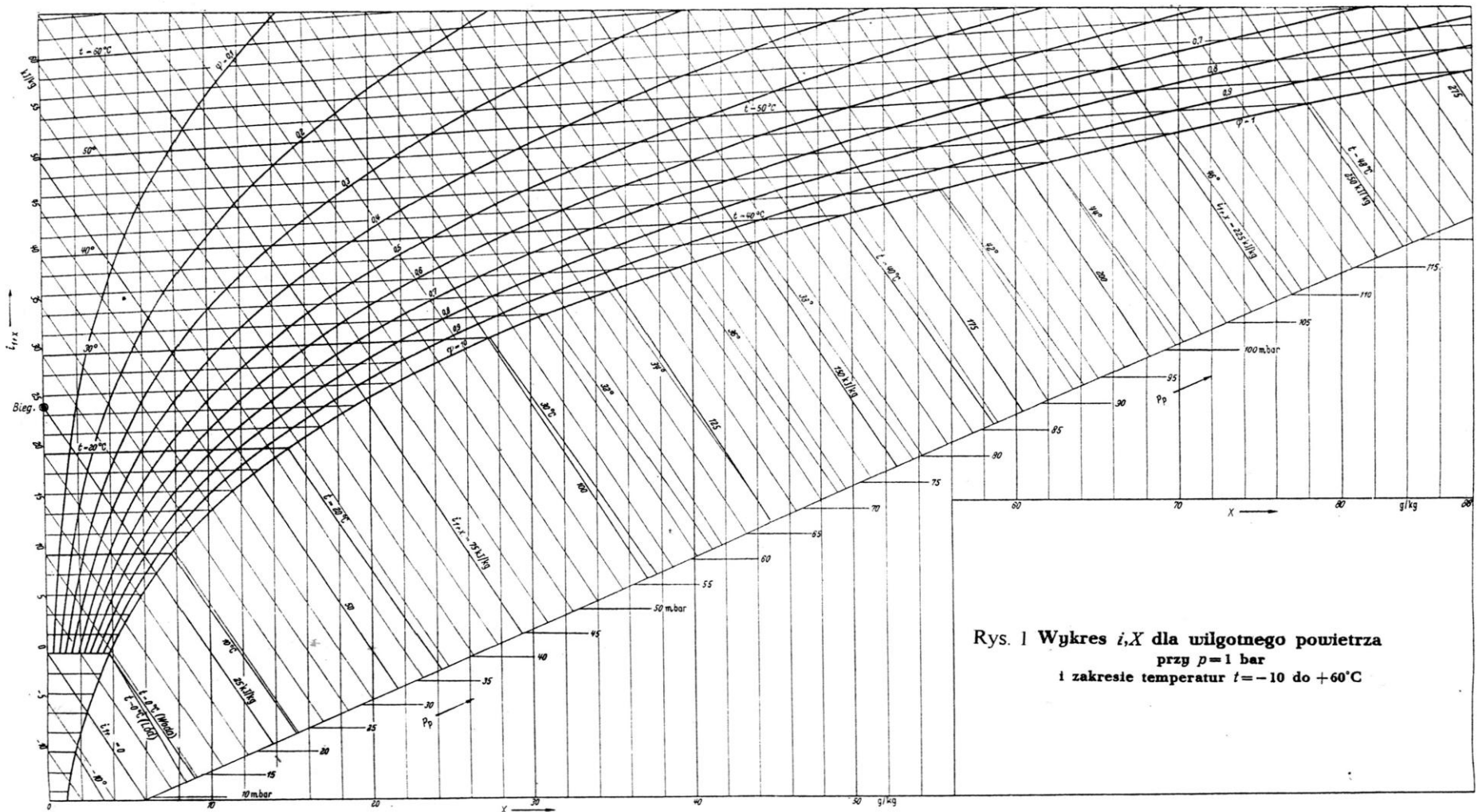
$$\text{- dla wartości } \varphi \leq 1: \left(\frac{\partial i}{\partial X} \right)_T = r + c_{pw} \cdot (T - 273),$$

$$\text{- dla } \varphi > 1: \left(\frac{\partial i}{\partial X} \right)_T = c_{pw} \cdot (T - 273),$$

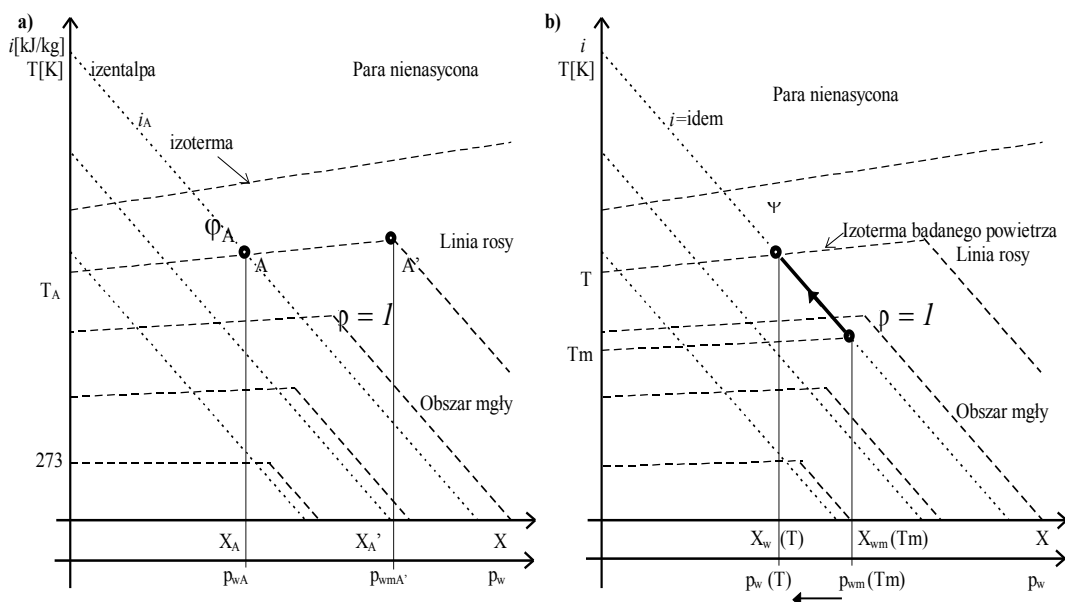
gdzie c_{pw} jest ciepłem właściwym wody lub lodu.

Linie izoterm załamują się na linii rosy i w obszarze mgły przebiegają podobnie, jak izentalpy. Oś ciśnień cząstkowych może pokrywać się z osią X lub może znajdować się po prawej stronie wykresu, przy czym wówczas jej skalę wyznacza kąt nachylenia pomocniczej linii ukośnej. Linie izentalp są odchylone od pionu o kąt 135° .

Przykładowo, na wykresie pokazanym na rys. 2a, punkt A reprezentuje powietrze nienasycone o temperaturze T_A i wilgotności względnej φ_A . Izentalpa i oraz linia stałej wilgotności bezwzględnej masowej X , przechodzące przez ten punkt, umożliwiają odczytanie wartości i_A i X_A lub p_{wA} tego powietrza. Punkt A', który powstał z przecięcia izotermy T_A z linią rosy, po rzutowaniu na oś X , wyznacza maksymalną zawartość wilgoci $X_{mA'}$ w powietrzu o tej temperaturze oraz maksymalne ciśnienie cząstkowe pary wodnej $p_{wmA'}$. W podobny sposób odczytuje się ciśnienie cząstkowe pary wodnej p_{wA} w powietrzu nienasyconym (punkt A).



Rys. 1. Wykres Molliera $i - X$ dla powietrza o ciśnieniu $p_b = 10^5$ Pa (prawdziwy dla zmian $p_b = 1000$ hPa w granicach $\pm 3\%$).



Rys. 2. Fragmety wykresu Molliera: a) interpretacja graficzna podstawowych wielkości występujących w badaniach wilgotności, b) interpretacja graficzna psychrometrycznej metody pomiaru wilgotności

1.3. Metody pomiaru wilgotności powietrza

Do pomiarów wilgotności powietrza wykorzystuje się metody **higrometryczne** i **psychrometryczne**. Poniżej, krótko zostaną scharakteryzowane ważniejsze z nich.

Metody higrometryczne wykorzystują zjawiska, w których zmiana ilości pary wodnej powoduje zmianę cech lub własności fizykochemicznych elementów pomiarowych czujników. Często pozwalają na bezpośredni odczyt wilgotności względnej powietrza. Rozróżnia się następujące metody higrometryczne:

- **absorpcyjną**. Bezwzględna ilość wilgoci, pochłoniętej przez tzw. osuszacz, jest wyznaczana z bilansu masy powietrza badanego i powietrza suchego. Metodę tę zaleca się do wzorcowych badań wilgotności powietrza,

- **kondensacyjną**. Z przechłodzonego powietrza, które kontaktuje się np. z odpowiednio zimną powierzchnią, wykrapla się para wodna. W powietrzu o stałej zawartości wilgoci, początek wykrapalania (zamglenie w punkcie rosy) pary wodnej na elemencie o regulowanej temperaturze, może służyć do wyznaczania wilgotności względnej powietrza. Wykorzystuje się do tego zmianę cech tego elementu, spowodowaną wykropleniem się na nim pary wodnej (zmatowione lustro, zmiana rezystancji elektrycznej). Temperatura punktu rosy pozwala pośrednio określić wilgotność względną powietrza,

- **higroskopową**. W tej grupie metod wykorzystuje się zmianę cech fizycznych substancji pod wpływem wilgoci. Najbardziej popularną (i tanią) jest metoda włosowa, w której wykorzystuje się efekt zmiany długości włosa lub specjalnego włókna pod wpływem zmian wilgotności względnej powietrza,

- **elektryczną**. W tej grupie metod wykorzystuje się zmiany rezystancji elektrycznego czujnika higroskopowego, powodujące zmianę parametrów obwodu elektrycznego. Rezystorem pomiarowym może tu być czujnik elektrolityczny (wpływ wilgoci na rezystancję roztworów soli lub kwasów), czujnik sorpcyjny (wpływ wilgoci na rezystor higroskopijny) itp.

Higrometry wykorzystujące ww. metody pomiarowe charakteryzują się różnymi dokładnościami pomiarowymi. Higrometry o dużej dokładności są dość skomplikowane i dlatego wykorzystuje się je zwykle do pomiarów wzorcowych, natomiast higrometry, o prostej budowie i najczęściej małej dokładności, wykorzystuje się do orientacyjnych pomiarów wilgotności względnej.

Metody psychrometryczne należą obecnie do powszechnie stosowanych sposobów pomiaru wilgotności powietrza. Pomiar wilgotności względnej opiera się na pośrednim pomiarze temperatury powietrza badanego - tzw. **termometrem suchym** i temperatury powietrza sztucznie nasyconego wilgocią - tzw. **termometrem mokrym**. Metodę psychrometryczną pomiaru wilgotności wykorzystuje się w psychrometrach Augusta i Assmanna. Przyrządy te są proste w obsłudze i tanie, przy czym

psychrometr Assmanna charakteryzuje się lepszą dokładnością pomiaru.

Podstawą do wyznaczenia wilgotności względnej powietrza są dwie wielkości: temperatura badanego powietrza (równa temperaturze termometru suchego) T [K] i różnica psychrometryczna $T_{\text{psych}} = T - T_m$, gdzie T_m [K] jest temperaturą termometru mokrego. Obydwie temperatury są zwykle mierzone termometrami wyskalowanymi w stopniach Celsjusza. Mechanizm tego zjawiska (z pewnym uproszczeniem) jest następujący: powietrze przy termometrach: suchym i mokrym (jego naczynie z rtęcią jest owinięte mokrą szmatką) zawiera parę wodną o różnych ciśnieniach cząstkowych, odpowiadających powietrzu nienasyconemu i nasyconemu. Potencjał ciśnieniowy (por. rys.2b) wywołuje efekt parowania wody z koszulki termometru mokrego. Woda podczas parowania pobiera ciepło od powietrza, które otacza naczynie z rtęcią termometru mokrego, i powoduje lokalne obniżenie temperatury. Można zauważyć, że im mniejsza wilgotność względna, tym większy potencjał ciśnień cząstkowych pary wodnej i większa różnica psychrometryczna.

Przy założeniu, że proces parowania wody jest adiabatyczny i izentalpowy, wilgotność względną powietrza φ można obliczyć ze wzoru

$$\varphi = \frac{p_w(T)}{p_{wm}(T)} = \frac{p_{wm}(T_m) - A \cdot (T - T_m) \cdot p_b}{p_{wm}(T)} \cdot 100\% \quad (9)$$

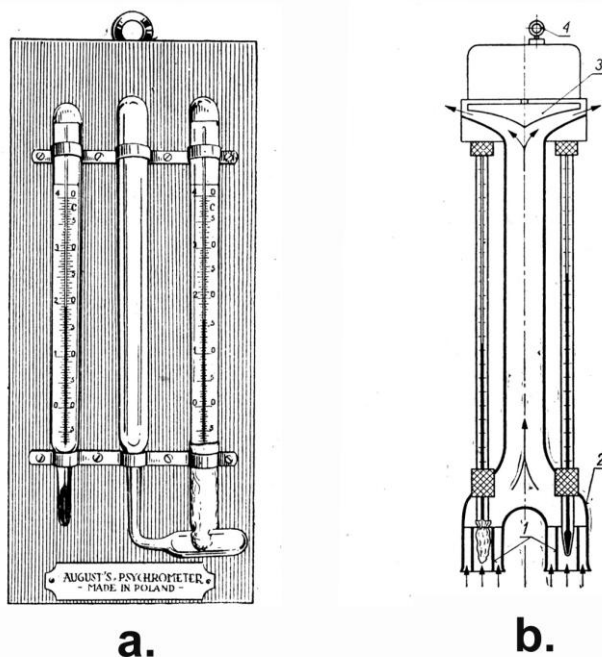
gdzie: $p_w(T)$ [mm Hg] - ciśnienie cząstkowe pary wodnej w badanym powietrzu o temperaturze T [K] (odczytanej z termometru suchego t [°C]), $p_{wm}(T)$ [mm Hg] - ciśnienie cząstkowe pary wodnej w powietrzu nasyconym o tej samej temperaturze t (lub T), T_m [K] - temperatura powietrza nasyconego (odczytana z termometru mokrego t_m (°C)), A - stała psychrometru, p_b [mm Hg] - ciśnienie baryczne. Wartości ciśnień nasycenia (punkty na linii rosy) w funkcji temperatury powietrza T lub T_m odczytuje się z tablicy 1.

Zasadę psychrometrycznego pomiaru wilgotności względnej powietrza pokazano na rys. 2b. W miejscu przecięcia się izotermy T_m z linią rosy ($\varphi = 1$), uzyskuje się punkt, przez który przeprowadza się izentalpę (zakłada się, że proces parowania wody z koszulki jest izentalpowy). Miejsce przecięcia tej izentalpy z izotermą T wskazuje punkt, przez który przechodzi linia stałej wilgotności względnej φ . Wyznaczenie tego punktu na wykresie Molliera pozwala odczytać pozostałe wielkości, charakteryzujące badane powietrze.

Budowę psychrometrów Augusta i Assmanna pokazano na rys. 3. Różnią się one tylko sposobem wymuszania ruchu powietrza, w miejscach pomiaru jego temperatury. W psychrometrze Augusta powietrze przepływa w warunkach konwekcji swobodnej (mała, niestabilna prędkość przepływu od 0,35 do 0,55 m/s, która zmienia wartość stałej $A = 0,00008 \text{ K}^{-1}$ w granicach $\pm 15\%$). Natomiast w psychrometrze Assmanna powietrze przepływa w warunkach konwekcji wymuszonej (z prędkością większą od 2,5 m/s, gwarantującą praktyczną stałość wielkości $A = 0,00068 \text{ K}^{-1}$). W psychrometrze Assmanna ruch powietrza wymusza wentylator napędzany elektrycznie lub przez mechanizm sprężynowy.

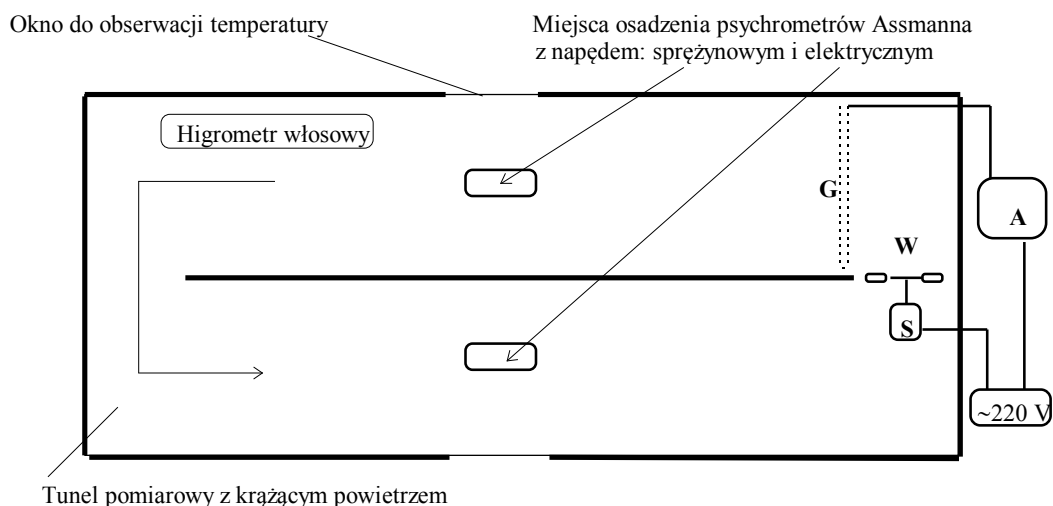
2. Opis stanowiska badawczego i procedura pomiarowa

Schemat stanowiska do badania wpływu temperatury powietrza na wilgotność względną powietrza pokazano na rysunku 4. Stanowisko to składa się z zamkniętego tunelu pomiarowego, w którym przemieszcza się badane powietrze o nieznannej wilgotności. Jest ono ogrzewane grzałką elektryczną, o mocy elektrycznej regulowanej autotransformatorem. Ruch powietrza wymusza wentylator. Po nagraniu powietrza (po ok. 20 min.) w tunelu, można rozpocząć obserwację temperatury na obydwu termometrach. Pomiar wilgotności przeprowadzane będą przy użyciu dwóch psychrometrów Assmanna, ze sprężynowym i elektrycznym napędem wentylatora, oraz higrometrem włosowym.



Rys. 3. Psychrometry: a) Augusta, b) Assmanna

Procedura pomiarowa dla obu psychrometrów jest taka sama. Po zwilżeniu szmatki i nałożeniu jej na pojemnik z rtęcią termometru mokrego, rozpoczyna się obserwację wskazań obu termometrów (w psychrometrze Assmanna należy przedtem włączyć wentylator). Po pewnym czasie (ok. 1 - 2 min.), można rozpocząć notowanie wskazań (w tym ćwiczeniu 9 pomiarów) obydwu termometrów, w celu znalezienia minimalnych wartości mierzonej temperatury (szczególnie t_m). Z chwilą wzrostu jednej z mierzonych temperatur można zakończyć pomiary (jednocześnie należy odczytać wskazania higrometru włosowego). Po zakończeniu pomiarów psychrometrami, można nastawić kolejną wartość mocy grzałki.



Rys. 4. Schemat blokowy stanowiska do badania wilgotności względnej powietrza, gdzie: G - grzałka, W - wentylator, S - silnik elektryczny, A - autotransformator

3. Obróbka danych pomiarowych

Wilgotność względna powietrza, w funkcji jego temperatury, będzie wyznaczana dwoma sposobami (odczyt higrometru daje wynik bezpośredni):

- klasycznym, przy użyciu tablic psychrometrycznych, stanowiących wyposażenie standardowe psychrometru Assmanna. Dla średniej wartości temperatury termometru suchego T_s ,

i różnicy psychrometrycznej $T_{\text{psych}} (= T_{\text{śr}} - T_{\text{mśr}})$, odczytuje się z tych tablic wartość wilgotności względnej φ [%] badanego powietrza,

- obliczeniowym, przy wykorzystaniu tablicy 1 i wzoru (9), w postaci

$$\varphi = \frac{p_{\text{wm}}(T_{\text{mśr}}) - 0,00068 \cdot (T_{\text{śr}} - T_{\text{mśr}}) \cdot p_{\text{b}}}{p_{\text{wm}}(T_{\text{śr}})} \cdot 100\%$$

Wielkości występujące w tablicy 3 oblicza się przy wykorzystaniu wzorów według następującej procedury:

- średnie wartości temperatury $T_{\text{śr}}$ i $T_{\text{mśr}}$:

$$T_{\text{śr}} = \frac{\sum_{i=1}^9 T_i}{9} \quad \text{oraz} \quad T_{\text{mśr}} = \frac{\sum_{i=1}^9 T_{m_i}}{9}$$

- wariancje ω temperatury T i T_m :

$$\omega(T) = \frac{\sum_{i=1}^9 (T_i - T_{\text{śr}})^2}{9} \quad \text{oraz} \quad \omega(T_m) = \frac{\sum_{i=1}^9 (T_{m_i} - T_{\text{mśr}})^2}{9}$$

- średnie odchylenia standardowe σ , które można w przybliżeniu uznać za błędy metody pomiaru temperatury ΔT oraz ΔT_m (błąd odczytu temperatury wynosi ok. $\pm 0,1$ K):

$$\Delta T \cong \sigma(T) = \sqrt{\omega(T)} \quad \text{oraz} \quad \Delta T_m \cong \sigma(T_m) = \sqrt{\omega(T_m)}$$

- różnicę psychrometryczną T_{psych} z odchyłkami:

$$T_{\text{psych}} \Big|_{-\Delta T_{\text{psych}}}^{+\Delta T_{\text{psych}}} = T_{\text{śr}} \Big|_{-\Delta T}^{+\Delta T} - T_{\text{mśr}} \Big|_{-\Delta T_m}^{+\Delta T_m}$$

$$\text{gdzie: } +\Delta T_{\text{psych}} = |+\Delta T| + |-\Delta T_m| \quad \text{oraz} \quad -\Delta T_{\text{psych}} = |-\Delta T| + |+\Delta T_m| ,$$

- stałą gazową powietrza wg. wzoru (7).

W sprawozdaniu należy podać cel ćwiczenia, wymienić podstawowe wielkości wykorzystywane w pomiarach oraz opisać stanowisko badawcze i wykorzystywane w badaniach metody pomiaru wilgotności. Wykonać obliczenia dla zadanych wartości temperatury powietrza i zestawić je w załączonej tablicy 3; jeden tok obliczeń załączyć do sprawozdania. Na podstawie danych (tabl. 3) wykonać wykres wilgotności względnej powietrza $\varphi = \varphi(T)$, wyznaczonej ww. trzema sposobami. Na wykresie nanieść pola błędów ΔT i ΔT_{psych} . Ocenic dokładność pomiarów i podać prawdopodobne przyczyny błędów. Uzyskane wyniki odnieść do wykresu Molliera (i odpowiednio skomentować).

Literatura pomocnicza:

- [1]. F. Kotlewski: Pomiary w technice cieplnej. WNT, Warszawa 1972.
- [2]. S. Wiśniewski, T. Wiśniewski: Termodynamika techniczna. PWN 1997.
- [3]. S. Wiśniewski i inni: Termodynamika - pomiary cieplne. Wyd. WAT 1979.

Tablica 3. Dane pomiarowe i wyniki obliczeń wilgotności powietrza

Lp.	U_{grz} [V]	T_i [K]	T_{sr} [K]	$\omega(T)$ [K] ²	ΔT [K]	Tm_i [K]	Tm_{sr} [K]	$\omega(Tm)$ [K] ²	ΔTm [K]	T_{psych} [K]	ΔT_{psych} [K]	ϕ_{tab} %	$p_{wm}(T)$ [Pa]	$p_{wm}(Tm)$ [Pa]	p_b [Pa]	ϕ_{obl} %	p_w [Pa]	R_p [J/kgK]	ψ -	X g/kg	ϕ_{hig} %	
1																						
2																						
3																						
4																						
5																						
6																						
7																						
8																						
9																						
1																						
2																						
3																						
4																						
5																						
6																						
7																						
8																						
9																						
1																						
2																						
3																						
4																						
5																						
6																						
7																						
8																						
9																						

Legenda: U_{grz} - napięcie zasilania grzałki (<180 V), T_i - wskazania termometru suchego, Tm_i - wskazania termometru mokrego, T_{sr} i Tm_{sr} - średnie wartości temperatur: t i Tm , $\omega(T)$ i $\omega(Tm)$ - wariacje temperatury zmierzonej termometrami T i Tm, ΔT i ΔTm - błędy pomiaru temperatury zmierzonej obu termometrami, T_{psych} - psychrometryczna różnica temperatury, ΔT_{psych} - błąd pomiaru temperatury T_{psych} , ϕ_{tab} - wilgotność względna powietrza odczytana z tablic psychrometrycznych, $p_{wm}(T)$ - ciśnienie nasycenia pary wodnej w temperaturze termometru suchego, $p_{wm}(Tm)$ - ciśnienie nasycenia pary wodnej w temperaturze termometru mokrego, p_b - ciśnienie powietrza, ϕ_{obl} - wilgotność względna powietrza obliczona ze wzoru (7), ψ - stopień wilgoci, X - wilgotność bezwzględna masowa, ϕ_{hig} - wilgotność względna powietrza odczytana z higrometru włosowego.