

1. DETERMINAREA PARAMETRILOR AERULUI UMED

1.1 NOȚIUNI GENERALE, RELAȚII DE BAZĂ

Cu psihrometrul Asmann se determină umiditatea relativă φ și temperatura t_a a aerului umed. Cu aceste două valori putem găsi toți parametrii care ne interesează atât cu ajutorul diagramei $i - x(i - d)$ cât și prin calculul cu ajutorul ecuațiilor caracteristice.

În referatul de față se prezintă modalitatea determinării parametrilor aerului umed cunoscând φ și t_a și apoi determinarea lui φ și t_a cu psihrometrul Asmann.

Aerul umed este un amestec de aer uscat și vapori de apă. Neglijând participațiile foarte mici de Argon (1,3 %) și de CO_2 (0,05 %) compoziția standard (în kg) este de 23 % Oxigen și de 77 % azot. Participația vaporilor de apă este foarte variabilă așa încât ca unitate de referință pentru cantitate se ia 1 kg de aer uscat (1 kg L_{usc}).

Fiind vorba de un amestec, sub presiune totală p , presiunea parțială a aerului uscat este notată cu p_a , iar cu p_v se notează presiunea parțială a vaporilor de apă.

După starea vaporilor din aerul umed vom putea clasifica aerul umed în trei categorii:

- aer saturat;
- aer nesaturat;
- aer suprasaturat.

Se știe, de la studiul fierberii, că la o presiune de fierbere (saturație) corespunde o temperatură bine determinată care rămâne constantă. Dacă la temperatura t_a a aerului umed presiunea parțială p_v a vaporilor este egală cu presiunea de saturație, iar vaporii se prezintă sub starea de vapori saturați uscați, spunem că aerul este saturat (cu vapori de apă). La temperatura t_a aerul saturat conține cantitatea maximă de umiditate sub formă de vapori. Orice exces de umiditate rămâne sub formă lichidă, așadar:

Aer saturat = aer uscat + vapori saturați uscați

Dacă, la presiunea p_v a umidității, temperatura t_a a aerului este mai mare decât temperatura t_a de saturație, umiditatea din aer este mai mică decât cantitatea maximă, aerul este nesaturat (cu vapori) starea acestora este de vapori supraîncălziți, așadar:

Aer nesaturat = aer uscat + vapori supraîncălziți

Dacă temperatura t_a a aerului umed coboară sub temperatura t_a de saturație a vaporilor cu presiunea parțială p_v , excesul de umiditate se condensează sub starea de apă saturată, care poate fi înlăturată prin mijloace mecanice, așadar:

Aer suprasaturat = aer uscat + vapori saturați uscați + lichid saturat = aer uscat + vapori umezi

Umiditatea absolută este cantitatea de vapori existenți în aerul umed. Ca notații și unități vom avea:

- x (kg umiditate/1 kg aer uscat) sau d (g umiditate/1kg aer uscat);
- φ - umiditatea relativă, este exprimată prin raportul dintre cantitatea m_v de vapori pe care o conține aerul umed la temperatura t_a și cantitatea maximă de vapori m_{sat} pe care ar putea-o conține la aceeași temperatură t_a . Vom avea:

$$\varphi = \frac{m_v}{m_{sat}} = \frac{p_v}{p_{sat}} \quad (1)$$

unde p_{sat} este presiunea de saturație a vaporilor la temperatura t_a .

În practică, umiditatea absolută x (sau d) se determină destul de precis cu ecuația:

$$x = 0,622 \frac{p_v}{p} = 0,622 \frac{p_v}{p - p_v} = 0,622 \frac{\varphi \cdot p_{\text{sat}}}{p - \varphi_{\text{sat}}} \quad (\text{kg}_v/\text{kg}_a) \quad (2)$$

Cantitatea maximă de umiditate la temperatura t_a se obține din (2) făcând $\varphi = 1$;

$$x_{\text{max}} = 0,622 \frac{p_{\text{sat}}}{p - p_{\text{sat}}} \quad (\text{kg}_v/\text{kg}_{\text{aer uscat}}) \quad (3)$$

Cunoscând umiditatea absolută x putem calcula presiunea parțială p_v a vaporilor de apă din ecuația (2).

$$p_v = \frac{p \cdot x}{0,622 + x} \quad (4)$$

Dacă aerul nesaturat este răcit ($x = \text{const.}$), în momentul în care se atinge temperatura t_r corespunzătoare saturației la presiunea p_v a vaporilor de apă, orice scădere a temperaturii duce la apariția condensatului, t_r fiind denumită ”temperatura punctului de rouă”. Se determină prin interpolare cu ajutorul tabelii de saturație a apei (Tabelul I).

$$t_r = t_{\text{sat}} \text{ la presiunea } p_{\text{sat}} = p_v \quad (5)$$

entalpia aerului umed se determină cu ajutorul ecuației:

$$i = t_2 + x(2490 + 1,96t) \quad (\text{kg}/\text{kg}_{\text{aer uscat}}) \quad (6)$$

1.2 2. DETERMONAREA CARACTERISTICILOR AERULUI UMED CU AJUTORUL DIAGramei $i - x$ fiind cunoscute φ și t_a

Presupunem că, pentru starea aerului, s-a determinat umiditatea și temperatura t_a cu ajutorul psihrometrului Assmann.

Intersectând aceste două curbe în diagrama $i - x$ (sau $i - d$) (Figura 1.1) obținem starea A a aerului. Se observă că, în situația din figură, aerul este nesaturat. Pe abscisă se citește umiditatea absolută x_a (sau d_a) a aerului, segmentul cuprins între curba presiunii parțiale p_v și

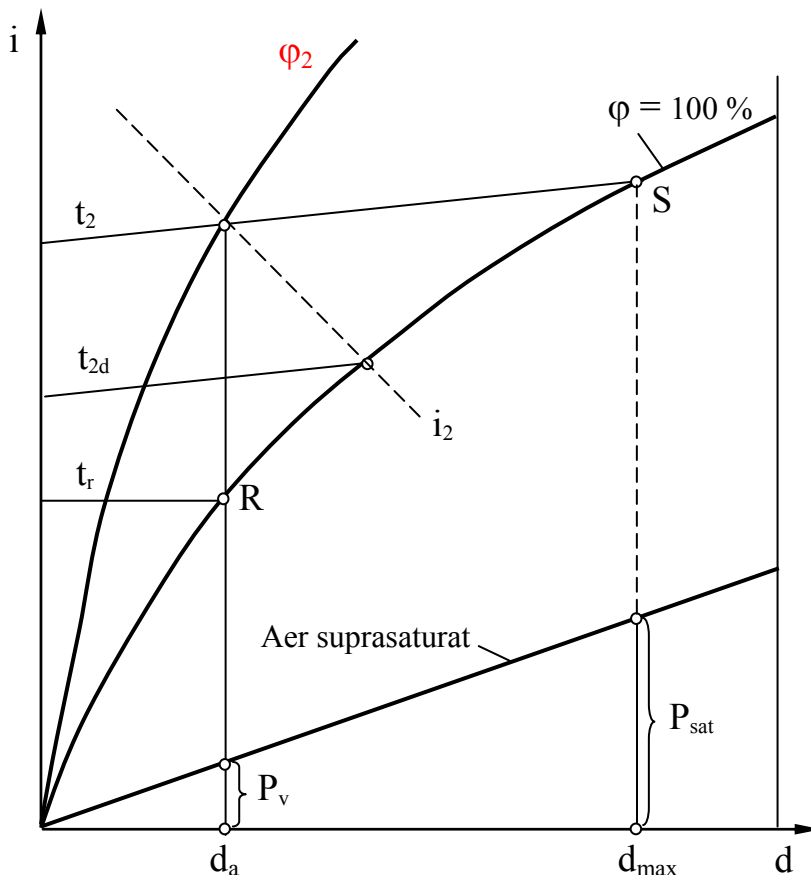


Figura 1.1 Diagrama de aer umed

și abscisă reprezintă presiunea parțială p_v a vaporilor de apă (citită pe scala din dreapta în mm Hg sau în mbari). Intersecția dintre ordonata dusă din A și curba de saturație ($\varphi = 100\%$), reprezintă punctul de rouă R, valoarea izotermei care trece prin R reprezintă temperatura punctului de rouă t_r . Intersecția dintre izoterma t_a . La fel ca mai sus, se citește pe abscisă umiditatea absolută d_{max} precum și presiunea de saturație p_{sat} corespunzătoare temperaturii t_a .

Entalpia i_a a aerului este dată de valoarea curbei $i = \text{constant}$ care trece prin starea A. Intersecția U dintre i_a și $\varphi = 100\%$ reprezintă

„punctul adiabetic” sau „starea adiabetică” a aerului cu starea A; izoterma t_{ad} care trece prin U este „temperatura adiabetică” sau „temperatura termometrului umed”.

Observație referitoare la ultima noțiune: Dacă un corp îmbibat în apă este situat într-un curent de aer, iar căldura necesară evaporării este luată exclusiv de la aer (incintă adiabetică), temperatura umidității și a corpului se va micșora până la valoare pentru care cedarea de căldură din partea aerului este egală cu căldura corespunzătoare evaporării apei. Entalpia aerului va rămâne constantă deoarece (ecuația 6) **se micșorează t** , dar va crește x în mod corespunzător. Termometrul cu rezervorul învelit cu țesătură umezită va arăta în final t_{ad} .

1.3 DETERMINAREA PRIN CALCUL A STĂRII AERULUI UMED CUNOSCÂND φ și t_a

Presupunem că am determinat cu psihrometrul Assmann: $t_a = 25 \text{ }^\circ\text{C}$; $\varphi = 0,4 = 40 \%$ iar presiunea barometrică (redușă la $0 \text{ }^\circ\text{C}$) este: $p = 1015,86 \text{ m bar}$

Presiunea de saturație a vaporilor la $t_a = 25^\circ$ este $p_{sat} = 31,66 \text{ m bar}$ (după Tab. I sau după tabelele de saturație a apei) presiunea parțială p_v a vaporilor de apă (ecuația 1):

$$p_v = \varphi \cdot p_{sat} = 0,4 \cdot 31,66 = 12,66 \text{ m bar}$$

$$\text{Umiditatea absolută (ecuația 2): } x = 0,622 \frac{p_v}{p - p_v} = \frac{0,622 \cdot 12,66}{1015,86 - 12} = 7,85 \cdot 10^{-3} \text{ kg}_v/\text{kg}_{a \text{ uscat}}$$

$$d = 7,85 \text{ g}_v/\text{kg}_{aer \text{ uscat}}$$

Temperatura punctului de rouă t_r (5): După tabelul I prin interpolarea între 12,277 m bar și 13,118 m bar: $T_r = 9,36 \text{ }^\circ\text{C}$

Entalpia aerului i (ecuația 6):

$$i = t_a + x(2490 + 1,96 t_a) = 25 + 7,85 \cdot 10^{-3}(2490 + 1,96 \cdot 25) = 39,9$$

$$I = 39,9 \text{ kJ/kg aer uscat}$$

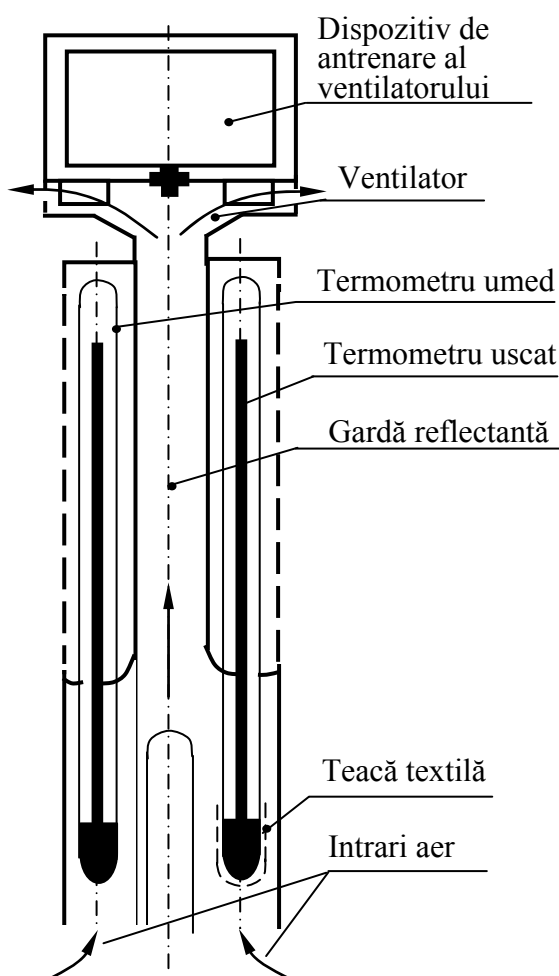


Figura 1.2 Psihrometrul Assmann

1.4 PSICHROMETRUL ASSMANN (Fig. 2)

Psihrometrul cu aspirație servește la determinarea precisă a temperaturii și umidității relative a aerului umed. Este format din două termometre identice, de precizie, dintre care cel din stânga (termometrul uscat) măsoară temperatura t_a a aerului, cel din dreapta (termometrul umed) are rezervorul cu mercur învelit într-o țesătură textilă care se umezește înainte de efectuarea măsurătorii. Ambele termometre sunt protejate lateral față de radiațiile termice prin ecrane cu indice de reflexie ridicat, așa că se pot face determinări corecte chiar dacă instrumentul este expus radiației solare. Nu are însă protecție frontală. Ambele termometre sunt ventilate printr-un ventilator acționat printr-un dispozitiv cu arc. Termometrul umed măsoară o temperatură apropiată de temperatura adiabetică. Dacă t este temperatura arătată de termometrul uscat, iar t_u este temperatura minimă pe care

o atinge termometrul umed în timpul măsurătorii, diferența psihrometrică $t - t_u$ și temperatura t servesc la determinarea umidității relative φ după Tabelul II. Pe abscisa tabelii sunt marcate temperaturile t ale termometrului uscat, pe ordonată este trecută diferența psihrometrică $t - t_u$. La intersecția celor două valori se citește umiditatea relativă φ exprimată în procente. Pentru pornirea psihrometrului cu arc, se armează arcul până la refuz cu ajutorul cheii de la partea superioară a aparatului.

1.5 EFECTUAREA MĂSURĂTORII

- Se verifică dacă rezervorul termometrului din dreapta este învelit în țesătură;
- Se modifică țesătura: Ne vom servi de pipeta cu pară de cauciuc. Se introduce pipeta în paharul cu apă distilată, se comprimă para de cauciuc, se trage apa și se introduce pipeta, prin partea inferioară a aparatului până la refuz în tubul de gardă al termometrului umed fără a se pompa. Se ține 1 - 2 secunde după care se scoate și se pune înapoi în pahar.
- Se pornește psihrometrul, rotind cheia până la refuz în sensul înșurubării. Se va auzi zgomotul de funcționare a motorului;
- Se așteaptă trecerea a 3 minute după care se pot face criteriile. Se notează indicația termometrului uscat, iar din minut în minut indicația termometrului umed. Indicația necesară este cea minimă. După uscarea țesăturii temperatura termometrului umed începe să crească. Dacă aerul este foarte uscat este adesea saturat, este adesea necesară repetarea umezirii țesăturii. Dacă aerul este saturat, indicațiile celor două termometre sunt aceleași;
- Observație: La temperaturi negative se va observa dacă la rezervorul termometrului umed se găsește apă sau gheață. Prin subrăcirea apei se poate întârzia formarea de gheață, aceasta se poate observa prin coborârea continuă a coloanei de mercur sub punctul 0° C fără să se oprească. Când se formează gheața, coloana de mercur urcă din nou până la zero și apoi începe iar să coboare.
- Dacă subrăcirea durează mai mult de 5 minute și termometrul arată o temperatură constantă, această temperatură poate fi luată ca valabilă.
- Psihrometrul cu arc se va opri singur după derularea completă a arcului;
- Se citește presiunea barometrică la barometru etalonat în mm Hg (torr) precum și temperatura t_B arătată de termometrul acestuia.

1.6 BULETIN DE MĂSURĂTORI

Data:
Ora:
1. Presiunea citită la barometru:	$p_B = \dots\dots\dots$ mm Hg
2. Temperatura barometrului:	$t_B = \dots\dots\dots$ °C
3. Corecția de temperatură a barometrului (Δp_B din Anexa II)	$\Delta p_B = \dots\dots\dots$ mm Hg
4. Presiunea barometrică redusă la 0° C	$p_{mm\ Hg} = p_B - \Delta p_B$
5. Presiunea barometrică redusă transformată	$p = \dots\dots\dots$ m bar
	$p_{m.bar} = \frac{p_{mm\ Hg}}{0,75}$
6. Temperatura termometrului uscat:	$t = \dots\dots\dots$ °C
7. Temperatura minimă a termometrului umed:	$t_u = \dots\dots\dots$ °C
8. Diferența psihrometrică:	$t - t_u = \dots\dots\dots$ °C
9. Umiditatea relativă: (Tabelul II)	$\varphi = \dots\dots\dots$ %
10. Presiunea de saturație a vaporilor la temperatura t (Tabelul I)	$p_{sat} = \dots\dots\dots$ mbar
11. Presiunea parțială a vaporilor (ecuația 1)	$p_v = \dots\dots\dots$ mbar

12. Umiditatea absolută (ecuația 2)
 13. Umiditatea absolută maximă (ecuația 3)
 14. Temperatura punctului de rouă (pct. 5)
 15. Entalpia aerului (ecuația 6)

$d = \dots\dots\dots$ g/kg aer
 $d_{\max} = \dots\dots\dots$ g/kg aer
 $t_r = \dots\dots\dots$ °C
 $i = \dots\dots\dots$ kJ/kg a us

Notă Determinarea stării aerului umed se va face și cu ajutorul diafragmei i - d, așa cum s-a arătat în figura 1.

Tabelul 1.1 Presiunea și temperatura apei la saturație

t (°C)	P mbar	t (°C)	P mbar	t (°C)	P mbar	t (°C)	P mbar	t (°C)	P mbar
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
- 5	4,000	1	6,566	11	13,118	21	24,86	31	44,91
- 4	4,373	2	7,054	12	14,016	22	26,43	32	47,53
-3	4,730	3	7,575	13	14,967	23	28,08	33	50,29
- 2	5,173	4	8,129	14	15,974	24	29,82	34	53,18
-1	5,626	5	8,719	15	17,041	25	31,66	35	65,22