

DETERMINAREA PARAMETRILOR AERULUI UMED CU AJUTORUL PSICHROMETRULUI

Proprietatile si marimile de stare ale aerului umed

Aerul umed reprezinta un amestec de aer uscat si vapori de apa. Aerul inconjurator, in care vaporii de apa sunt intotdeauna prezenti intr-o cantitate variabila, este de fapt aer umed. Ca agent termic, aerul umed este folosit in instalatiile de climatizare, in instalatiile industriale de uscare, in numeroase procese tehnologice.

Deoarece atat aerul uscat, cat si vaporii de apa se afla, pentru aplicatiile tehnice curente, departe de zona punctelor critice, ambele gaze se pot considera gaze ideale, astfel incat aerul umed se considera *un amestec de gaze ideale*.

Pentru un amestec de gaze ideale, se poate aplica legea lui Dalton:

$$p_a + p_v = B$$

unde s-a notat:

B - presiunea totala a aerului umed;

p_a - presiunea partiala a aerului uscat;

p_v - presiunea partiala a vaporilor de apa din aerul umed.

Aerul umed contine o cantitate de vapori variabila, care nu poate depasi insa o valoare maxima, care depinde de temperatura si presiunea amestecului. Aceasta valoare maxima se atinge odata cu valoarea maxima a presiunii partiale a vaporilor.

Presiunea partiala maxima a vaporilor intr-o stare avand o anumita temperatura este presiunea de saturatie corespunzatoare acelei temperaturi.

Principalele marimi caracteristice ale aerului umed sunt:

- **continutul de umiditate** x , denumit uneori si umiditate absoluta, care reprezinta cantitatea de vapori, in kg, continuta intr-un kg de aer uscat:

$$x = \frac{m_v}{m_a} \left[\frac{\text{kg vapori}}{\text{kg aer uscat}} \right]$$

De multe ori, datorita valorii reduse a continutului de umiditate, se prefera exprimarea in g vapori/kg aer uscat.

Tinand cont de ecuatiile de stare pentru aerul uscat, respectiv pentru vapori, considerate gaze ideale:

$$p_a V = m_a R_a T, \quad R_a \cong 287.04 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

$$p_v V = m_v R_v T, \quad R_v \cong 461.89 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

se obtine, prin impartire, expresia continutului de umiditate:

$$x = 0.622 \frac{p_v}{B - p_v}$$

- **umiditatea relativă** φ , care reprezintă cantitatea de vapori continuta într-un anumit volum de aer la o temperatura data și cantitatea maximă de vapori pe care o poate contine același volum de aer la aceeași temperatura:

$$\varphi = \frac{m_v}{m_s} = \frac{\rho_v}{\rho_s} \cong \frac{P_v}{P_s}$$

Se observa ca $\varphi = 0 \dots 1$. Se obișnuiește, din acest motiv, ca exprimarea umidității relative să se facă în procente ($\varphi = 0 \dots 100\%$).

- **entalpia specifică a aerului umed** h_{1+x}

Datorită caracterului extensiv al entalpiei, avem, în domeniul aerului umed nesaturat ($x < x_s$):

$$H = H_a + H_v = m_a h_a + m_v h_v$$

Raportând entalpia aerului umed la masa aerului uscat, avem entalpia specifică:

$$\frac{H}{m_a} = h_{1+x} = h_a + x h_v \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg aer uscat}} \right] \text{ sau } \left[\frac{\text{kJ}}{(1+x)\text{kg aer umed}} \right]$$

Termenul $(1+x)$ semnifică faptul că la 1 kg de aer uscat corespund x kg vapori, aerul umed rezultat din amestec având $(1+x)$ kg.

Alegând ca stare de referință starea normală fizică, (presiunea de 1 atm și temperatura de 0°C), entalpia aerului uscat și a vaporilor de apă se exprimă astfel:

$$h_a = c_p t$$

$$h_v = r_0 + c_{pv} t$$

Pentru domeniul de temperaturi cuprins între 0°C și 50°C putem considera:

$$h_{1+x} = 1.004t + x(2500 + 1.86t)$$

- **temperatura punctului de rouă** t_R , care reprezintă temperatura la care începe condensarea vaporilor de apă din aer, dacă acesta este răcit în condiții izobare, menținându-se umiditatea absolută constantă.

- **temperatura de saturație adiabatică** t_{sa} , care reprezintă temperatura la care începe condensarea vaporilor de apă din aer, dacă acesta este răcit în condiții izobare și adiabatică (adică, conform Principiului I al Termodinamicii, în condițiile în care $h = \text{const.}$).

- **presiunea parțială a vaporilor de apă**, p_v se poate exprima în funcție de x :

$$p_v = B \frac{x}{x + 0.622}$$

Se observa că presiunea maximă a vaporilor este presiunea vaporilor la starea de saturație:

$$p_s = B \frac{x_s}{x_s + 0.622}$$

Pentru determinarea parametrilor unui punct de stare se utilizeaza in general metodele:

Metoda sau dispozitivul	Principiul de baza	Felul indicatiei
Metoda absorbtiei	Fizic	Temperatura punctului de roua
Metoda condensarii izobare	Termodinamic	Temperatura punctului de roua
Higrometrul cu fir de par	Fizic	Umiditatea relativa
Psichrometrul	Termodinamic	Temperatura termometrului uscat Temperatura termometrului umed
Metoda inghetarii	Termodinamic	Umiditatea absoluta
Higrometrul cu rezistenta electrica	Fizico-electric	Umiditatea absoluta Umiditatea relativa
Higrometrul electrolitic	Electrochimic	Umiditatea absoluta
Higrometrul cu difuziune	Fizic	Umiditatea relativa
Metode utilizand neutroni rapizi	Fizic	Umiditatea absoluta

In tehnica se utilizeaza in special metoda psichrometrica, care prezinta avantajul simplitatii, in conditiile unei precizii suficiente.

Metoda psichrometrica se bazeaza pe procesul termodinamic de evaporare a apei prin preluarea din mediul inconjurator a cantitatii de caldura necesare procesului.

Daca se imbraca rezervorul (bulbul) unui termometru cu un material textil umezit in permanenta printr-un fitil introdus intr-un vas cu apa, iar rezervorul este plasat intr-un jet de aer, termometrul va indica o temperatura t_{wb} (wet bulb temperature), mai scazuta decat cea indicata de un termometru "uscat", t_{db} (dry bulb temperature).

Fluxul de caldura absorbit prin evaporare este dat de expresia:

$$\dot{Q}_1 = S \cdot c \cdot r_{wb} [(p_s)_{wb} - p_v] \frac{p_0}{B}, \quad [\text{W}]$$

unde:

S - suprafata bulbului termometrului "umed", $[\text{m}^2]$

c - coeficient de evaporare, $[\text{kg}/(\text{m}^2\text{s mbar})]$

r_{wb} - caldura latentă de vaporizare la temperatura t_{wb} , $[\text{J}/\text{kg}]$

$(p_s)_{wb}$ - presiunea de saturatie la temperatura t_{wb} , $[\text{mbar}]$

p_v - presiunea partiala a vaporilor de apa, $[\text{mbar}]$

p_0 - presiunea "normala", $p_0 = 1013.25 \text{ mbar}$

B - presiunea barometrica, $[\text{mbar}]$

Fluxul de caldura cedat de termometrul umed prin convecție:

$$\dot{Q}_2 = \alpha \cdot S \cdot (t_{db} - t_{wb}), \quad [\text{W}]$$

unde:

α - coeficientul de transfer de caldura prin convecție de la aerul umed la suprafața bulbului termometrului “umed”, $[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$

In regim staționar:

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2$$

Rezulta:

$$p_v = (p_s)_{wb} - H \cdot B \cdot (t_{db} - t_{wb})$$

unde s-a notat cu H - constanta psihhrometrica:

$$H = \frac{\alpha}{c r_w p_0}, \quad [\text{K}^{-1}]$$

Experimental s-a determinat expresia:

$$H = \left(86.45 + \frac{8.975}{w} \right) 10^{-5}, \quad [\text{K}^{-1}]$$

unde w este viteza aerului $[\text{m/s}]$.

Pentru psihrometrele normale cu ventilator și presiunile exprimate în mbar, constanta psihhrometrica are valoarea $H = 0.9101 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$, în intervalul de temperaturi $10^\circ\text{C} \dots 40^\circ\text{C}$.

Determinarea parametrilor punctului de stare

Cunoscând temperaturile t_{db} și t_{wb} , cu ajutorul tabelului și formulelor se vor determina $(p_s)_{db}$, $(p_s)_{wb}$, p_v , x , ϕ , h_{1+x} și se vor compara cu valorile obținute folosind diagrama $h - x$ și aproximația $t_{sa} \cong t_{wb}$.

Datele se vor centraliza în tabelul următor, indicându-se erorile absolute și relative (în procente).

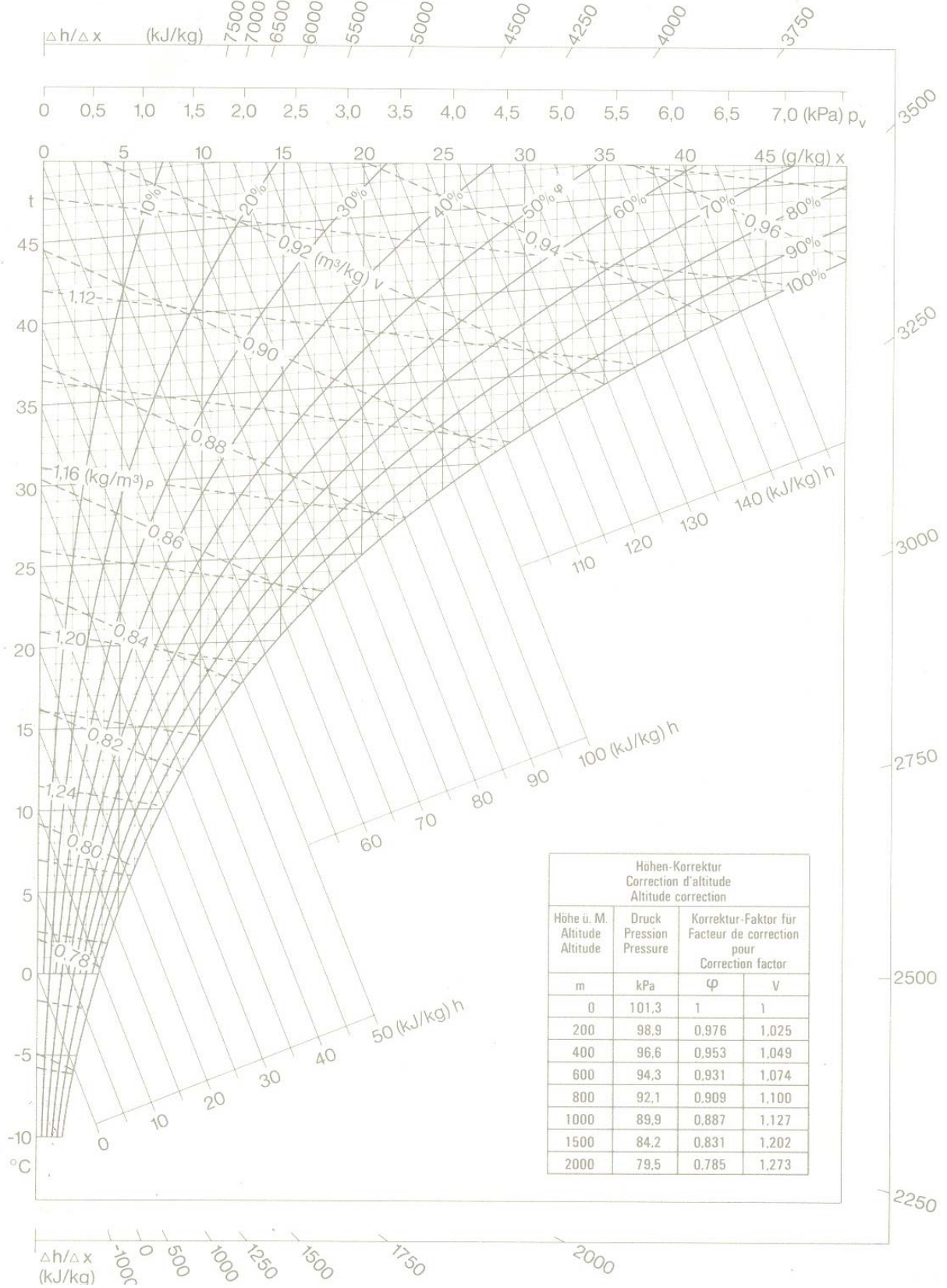
	$(p_s)_{db}$	$(p_s)_{wb}$	p_v	x	ϕ	h_{1+x}
	[mbar]	[mbar]	[mbar]	$\left[\frac{\text{g vapori}}{\text{kg aer usc.}} \right]$	[%]	$\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg aer usc.}} \right]$
Calcul						
Diagrama						
Erori absolute						
Erori relative (%)						



h-x Diagramm

(Druck / Pression / Pressure 101,3 kPa \approx 1013 m bar \approx 760 mm Hg)

- t = Temperatur / Température / Temperature
- x = Wassergehalt / Teneur en eau / Moisture content
- p_v = Wasserdampfdruck / Pression vapeur d'eau / Vapor pressure
- φ = Relative Feuchte / Humidité relative / Relative humidity
- h = Enthalpie / Enthalpie / Enthalpy
- v = m³/kg Trockene Luft / Air sec / Dry air
- ρ = kg/m³ / Feuchte Luft / Air humide / Moist air



Höhen-Korrektur Correction d'altitude Altitude correction			
Höhe ü. M. Altitude Altitude	Druck Pression Pressure	Korrektur-Faktor für Facteur de correction pour Correction factor	
m	kPa	φ	v
0	101,3	1	1
200	98,9	0,976	1,025
400	96,6	0,953	1,049
600	94,3	0,931	1,074
800	92,1	0,909	1,100
1000	89,9	0,887	1,127
1500	84,2	0,831	1,202
2000	79,5	0,785	1,273

Presiunea de saturatie a vaporilor de apa in functie de temperatura

t [°C]	p_s [mbar]	t [°C]	p_s [mbar]	t [°C]	p_s [mbar]
-20	1,029	20	23,37	60	199,7
-19	1,133	21	24,85	61	208,6
-18	1,246	22	26,42	62	218,4
-17	1,369	23	28,08	63	228,5
-16	1,503	24	29,82	64	239,1
-15	1,649	25	31,67	65	250,1
-14	1,808	26	33,60	66	261,5
-13	1,980	27	35,64	67	273,3
-12	2,169	28	37,78	68	285,6
-11	2,373	29	40,04	69	298,3
-10	2,595	30	42,41	70	311,6
-9	2,833	31	44,91	71	325,3
-8	3,095	32	47,53	72	339,6
-7	3,376	33	50,29	73	354,3
-6	3,681	34	53,18	74	369,6
-5	4,011	35	56,22	75	385,5
-4	4,368	36	59,40	76	401,9
-3	4,754	37	62,74	77	418,9
-2	5,172	38	66,24	78	436,5
-1	5,621	39	69,91	79	454,7
0	6,108	40	73,75	80	473,6
1	6,565	41	77,77	81	493,1
2	7,054	42	81,98	82	513,3
3	7,574	43	86,39	83	534,2
4	8,129	44	91,00	84	555,7
5	8,718	45	95,82	85	578,0
6	9,346	46	100,85	86	601,1
7	10,013	47	106,12	87	624,9
8	10,721	48	111,62	88	649,7
9	11,473	49	117,36	89	674,9
10	12,271	50	123,35	90	701,1
11	13,117	51	128,60	91	728,1
12	14,015	52	136,13	92	756,1
13	14,996	53	142,93	93	784,9
14	15,974	54	150,02	94	814,6
15	17,040	55	157,41	95	845,2
16	18,169	56	165,09	96	876,9
17	19,363	57	173,12	97	909,5
18	20,620	58	181,46	98	943,0
19	21,957	59	190,15	99	977,6