

A levegő termodinamikája

A nedves levegő tulajdonságai

Összeállította dr. Zana János, 2004 (módosítva 2014)

Richard Mollier



Richard Mollier

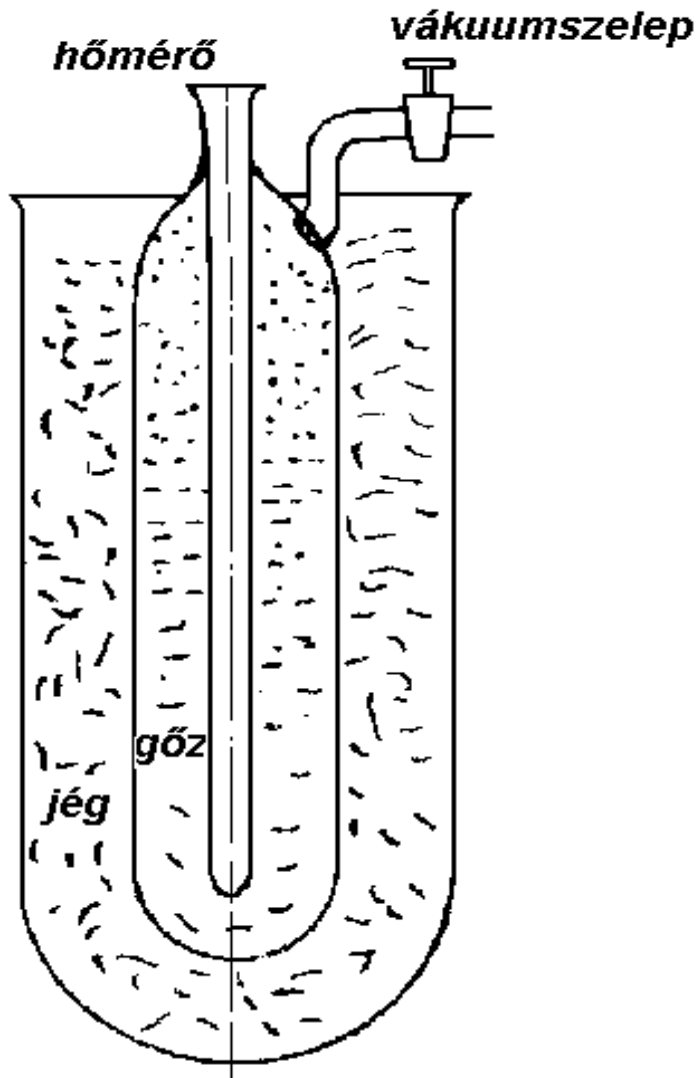
- 1863 november 30 Trieszt, Ausztria
- 1892 habilitáció, Technische Hochschule München: termodinamikai diagramok
- 1896 Universität Göttingen: Professor für angewandte Physik und Maschinenlehre
- 1904 VDI-Zeitschrift: "*Neuen Diagrammen zur Technischen Wärmelehre*„ (Verein Deutscher Ingenieure)
- 1923 Los Angeles, termodinamikai Kongresszus: minden hőtani diagramot Mollier diagramnak neveznek
- 1935 március 13, Drezda

Definíciók

- Le kelvin, unité de température thermodynamique, est la fraction $1/273,16$ de la température thermodynamique du point triple de l'eau. 13th CGPM (1967), Resolution 4.
- The kelvin, unit of thermodynamic temperature, is the fraction $1/273.16$ of the thermodynamic temperature of the triple point of water.
- A kelvin a víz hármaspontja termodinamikai hőmérsékletének $1/273,16$ -szorososa.

Definíciók

- the kelvin will **continue** to be the unit of thermodynamic temperature,
- but its magnitude will be set by fixing the numerical value of the
- Boltzmann constant to be equal to **exactly** $1.380\ 6 \times 10^{-23}$ when it is
- expressed in the SI unit $\text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{K}^{-1}$, which is equal to J K^{-1}



**Hármaspont meghatározó
készülék**

A készülék belső edényében igen alacsony nyomás uralkodik, kb. $611,7 \text{ Pa}$. Ebben az állapotban kívülről is jól látható, hogy a víz mindhárom halmazállapotban jelen van.

Definíciók

- La mole est la **quantité de matière** d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 0,012 kilogramme de carbone 12.
- The mole is the **amount of substance** of a system which contains as many elementary entities as there are atoms in 0.012 kilogram of carbon 12.
- A mól annak a rendszernek az **anyagmennyisége**, amely annyi elemi egységet tartalmaz, mint ahány atom van 0,012 kilogramm szén-12-ben.
 - Az elemi egységek fajtáját pontosan meg kell adni. Ez lehet atom, molekula, ion, elektron, egyéb részecske, vagy ezek meghatározott csoportja.

Definíciók

- the mole will **continue** to be the unit of amount of substance of a
- specified elementary entity, which may be an atom, molecule, ion, electron, any other particle or a specified group of such particles,
- but its magnitude will be set by **fixing** the numerical value of the Avogadro constant
- to be equal to exactly $6.022\ 14 \times 10^{23}$ when it is expressed in the SI unit mol⁻¹.

Összetételi arány

- tömeg, kg
- térfogat, m³
- anyagmennyiség, mol
- darabszám, 1 (Magyarországon: db)

Összetételi arány

- Értékes komponens: kémiai fogalom
- Másik, vagy többi komponens (a kémiában: oldószer)

A fizikában: elegy (szilárd, folyékony, vagy légnemű)

Összetételi arány: az értékes komponens mennyisége osztva a másik (a többi) komponens mennyiségével

Összetételi arány

A példákban:

O oxigén (értékes komponens)

N nitrogén (másik komponens)

Elegyük jó modellje a levegőnek, és tulajdonságaik hasonlóak az ideális gázokéhoz

Összetételi arány

tömegtört, mass fraction

$$w = \frac{m_O}{m_O + m_N}, 0 \leq w \leq 1 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

tömegarány, mass ratio

(a jele kivételesen x)

$$x = \frac{m_O}{m_N}, 0 \leq x \leq \infty \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

Összetételi arány

térfogattört, volume fraction

$$\varphi = \frac{V_O}{V_O + V_N}, 0 \leq \varphi \leq 1 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}$$

térfogatarány, volume ratio

$$\Phi = \frac{V_O}{V_N}, 0 \leq \Phi \leq \infty \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}$$

Összetételi arány

móltört, amount of substance fraction

$$y_m = \frac{n_O}{n_O + n_N}, 0 \leq y_m \leq 1 \frac{\text{mol}}{\text{mol}}$$

mólarány, amount of substance ratio

$$Y_O = \frac{n_O}{n_N}, 0 \leq Y \leq \infty \frac{\text{mol}}{\text{mol}}$$

Összetételi arány

darabszámok törtje

$$\frac{z_O}{z_O + z_N}, 0 \leq ? \leq 1 \frac{\text{db}}{\text{db}}$$

darabszámok aránya

$$\frac{z_O}{z_N}, 0 \leq ? \leq \infty \frac{\text{db}}{\text{db}}$$

Az Avogadro törvény értelmében azonos a móltörttel, illetve mólaránnyal

Összetételi arány

tömegkoncentráció, mass concentration

$$\rho_O = \frac{m_O}{V_O + V_N}, 0 \leq \rho_O \leq 1,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

tart az értékes komponens
sűrűségéhez (itt az oxigén)

$$\rho_O = \frac{m_O}{V_O}, \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

sűrűség, mass density

anyagmennyiség koncentráció, amount of substance concentration

$$C_O = \frac{n_O}{V_O + V_N}, 0 \leq C_O \text{ vagy } \frac{1}{V_m}, \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

(tart a moláris térfogat
reciprokához)

Összetételi arány

helyes	tilos
kg/kg	m %
g/kg	wt-%
mg/kg	ppm
m ³ /m ³	V %
dm ³ /m ³	V/V %
mol/m ³	
mol/dm ³	mol %

Összetételi arány

NIST 7 Rules and Style Conventions for Expressing Values of Quantities

Mass fraction, volume fraction, and amount-of-substance fraction of B may also be expressed as in the following examples:

$$w_B = 3 \text{ g/kg};$$

$$\varphi_B = 6.7 \text{ mL/L};$$

$$x_B = 185 \text{ }\mu\text{mol/mol}.$$

Such forms are highly recommended. (See also Sec. 7.10.3.)

Összetételi arány

mass fraction	tömegtört	w_o	0,2320	kg/kg
volume fraction	térfogattört	φ_o	0,2093	m ³ /m ³
amount-of-substance fraction	móltört	x_m	0,2117	mol/mol
mass concentration	tömegkoncentráció	ρ_o	0,30	kg/mol
amount-of-substance ratio	mólarány	r_o	0,2178	mol/mol

Összetételi arány

- John ***Dalton***
(1766 IX 5 Eaglesfield-1844 VII 27 Manchester)
- $V_O = V_N = V_i$

$$p = \sum_{i=1}^n p_i$$

Összetételi arány

- Émile Hilaire **Amagat** (1841-1915)
- Le statique des fluides ls liquéfaction des gaz et l'industrie du froid
- $p_o = p_N = p_i$

$$V = \sum_{i=1}^n V_i$$

Gázállandó

- Henri-Victor **Regnault**
(Aachen, Aix-la-Chapelle 1810 VII 21- Auteuil
1878 I 19)

Relation des expériences entreprises pour
déterminer les lois et les données physiques
au calcul des machines à feu

$$R_m = \frac{pV}{nT}, \frac{\text{J}}{\text{mol.K}}$$

Összetételi arány

- Egyesített gáztörvény

$$n_O = \frac{p_O V_O}{R_m T_O}$$

$$n_N = \frac{p_N V_N}{R_m T_N}$$

$$Y = \frac{n_O}{n_N} = \frac{\frac{p_O V_O}{R_m T_O}}{\frac{p_N V_N}{R_m T_N}}, \frac{\text{mol}}{\text{mol}}$$

Összetételi arány

$$Y = \frac{n_O}{n_N} = \frac{\frac{p_O V_O}{R_m T_O}}{\frac{p_N V_N}{R_m T_N}}, \frac{\text{mol}}{\text{mol}}$$

$$Y = \frac{p_O V_O}{p_N V_N}, \frac{\text{mol}}{\text{mol}}$$

$$Y = \frac{p_O}{p_N} (V_O = V_N), \frac{\text{mol}}{\text{mol}}$$

$$Y = \frac{V_O}{V_N} (p_O = p_N), \frac{\text{mol}}{\text{mol}}$$

Összetételi arány

Kiszámítjuk az oxigén parciális nyomását az össznyomásból és a mólarányából:

$$p_{\text{O}} = \frac{Y_{\text{O}}}{Y_{\text{O}} + 1} p_{\ddot{\text{o}}} = \frac{0,271}{0,271 + 1} 101325 \text{Pa} = 21604 \text{Pa}$$

Összetételi arány

Az oxigén tömege az egyesített gáztörvényből:

$$m_{\text{O}} = \frac{p_{\text{O}} V_{\text{O}} M_{\text{O}}}{R_{\text{m}} T_{\text{O}}}$$

Összetételi arány

A tömegarány kifejezhető a mólarányból a moláris tömegek hányadosával:

$$x = \frac{m_O}{m_N} = \frac{\frac{p_O V_O M_O}{R_m T_O}}{\frac{p_N V_N M_N}{R_m T_N}} = \frac{p_O V_O M_O}{p_N V_N M_N} = Y_O \frac{M_O}{M_N}$$

Összetételi arány

Példa az oxigén térfogattörtjére, ha az elegy valamennyi i komponensére adott a w tömegtört és a V térfogat:

$$\varphi_O = \frac{w_O V_O}{\sum_{i=1}^n w_i V_i}, \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}$$

Összetételi arány

A komponensek ρ_i tömegkoncentrációinak összege a keverék (elegy) sűrűsége:

$$\rho_{keverék} = \sum_{i=1}^n \rho_i, \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

A tömegkoncentráció mérőszáma mindig kisebb, mint a sűrűség

Összetételi arány

komponens	térfogat-tört	tömeg-tört	móltört	tömeg-koncentráció	parciális nyomás
i	φ	w	y_m	ρ	p
N ₂	0,7809	0,755	0,7788	0,9758	78915
O ₂	0,2093	0,232	0,2117	0,3	21450
Ar	0,0093	0,0128	0,0094	0,0166	953
CO ₂	0,00003	0,00046	0,00003	0,00006	3
Σ	1	1	1	1,2925	101325
				keverék sűrűség	össznyomás

A levegő komponensei

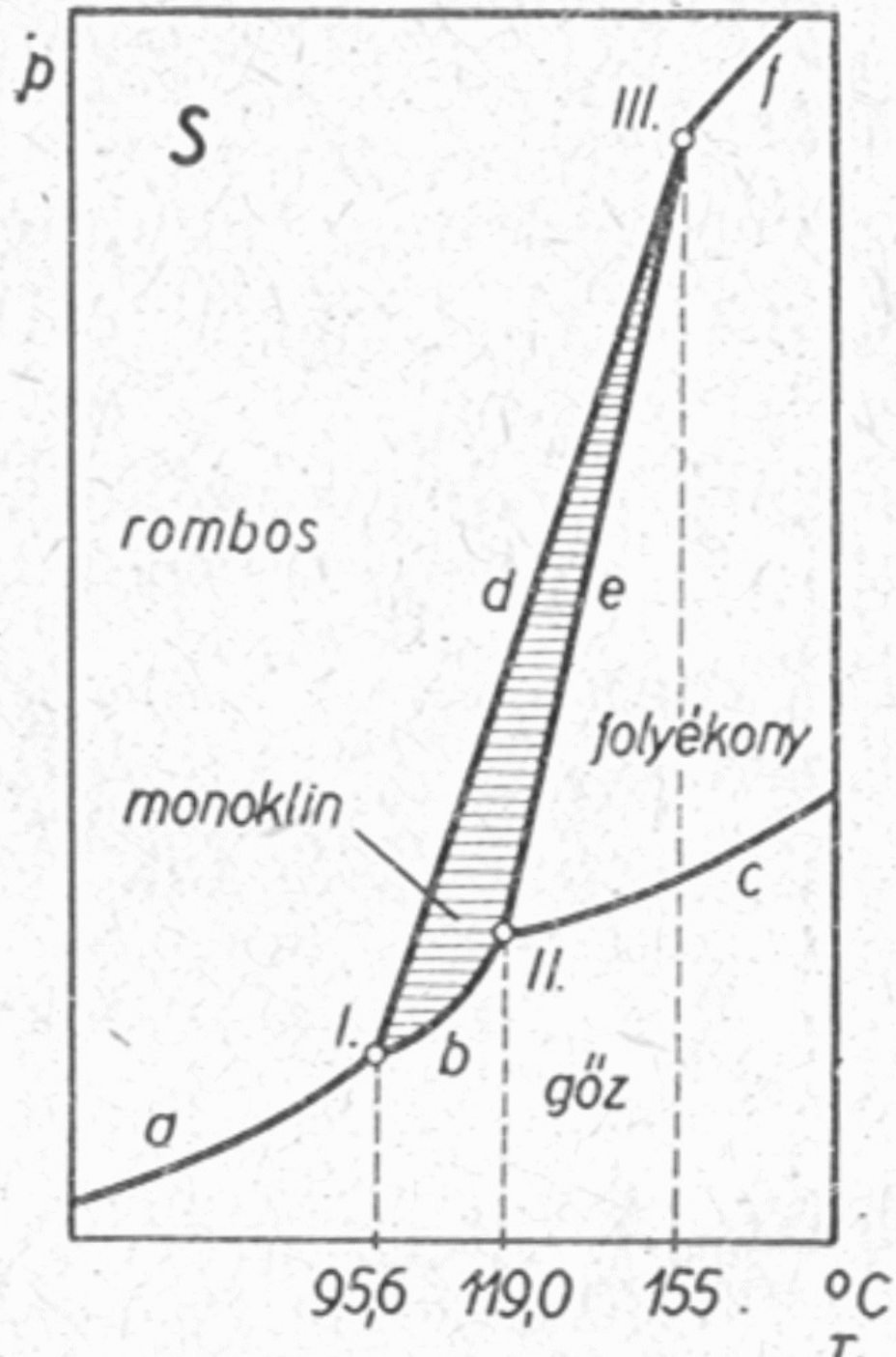
- Szeparálódik-e a levegőből bármelyik komponens?
- Valamennyi komponensre érvényesek-e a gáztörvények?
- Mit mutat a tapasztalat, és mit mutatnak a termodinamikai táblázatok?

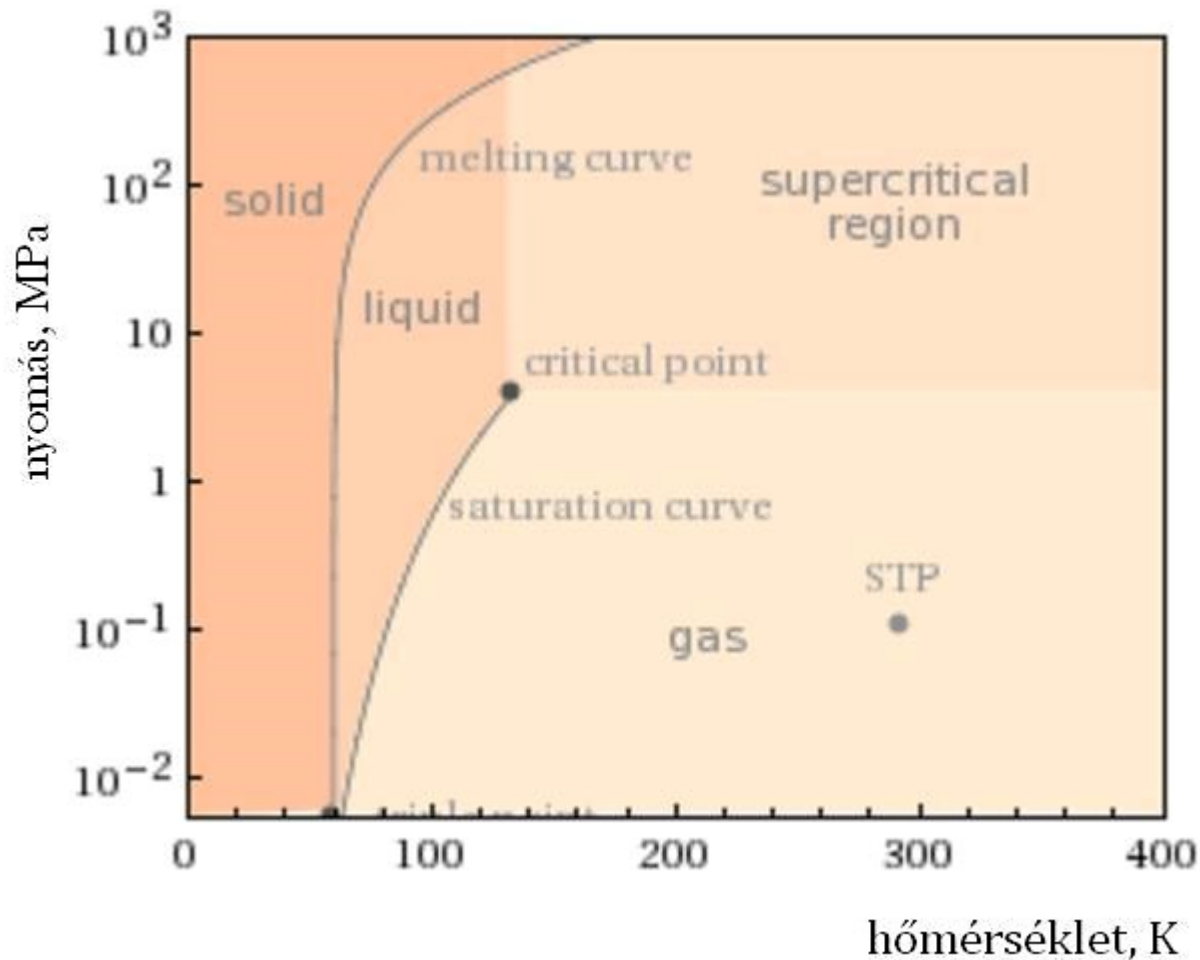
A levegő komponensei

komponens	kritikus állapotjelzők (°C, bar, dm ³ /kg)		
N ₂	-141,1	33,9	3,22
O ₂	-118,8	50,4	2,33
Ar	-122,4	48,64	1,92
CO ₂	+31,0	73,9	2,17
levegő	-140,7	37,69	3,26
víz	+374,2	221,23	3,067

Példa
fázisdiagramra: a
kénnek több
hármaspontja is
van, mi a II jelűt
értelmezzük
(szilárd,
folyékony,
légnemű)

A levegő



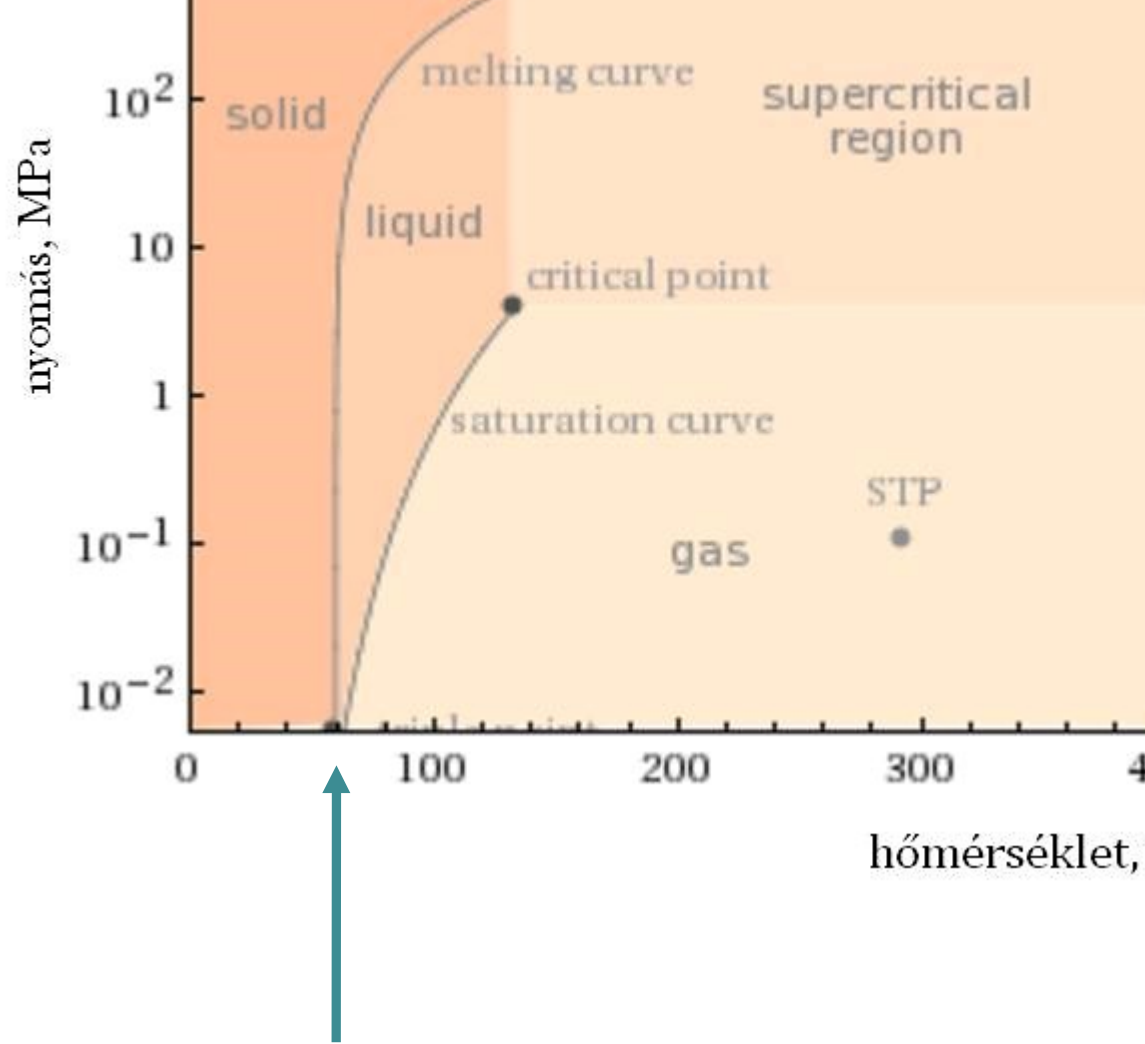


A levegő fázisdiagramja

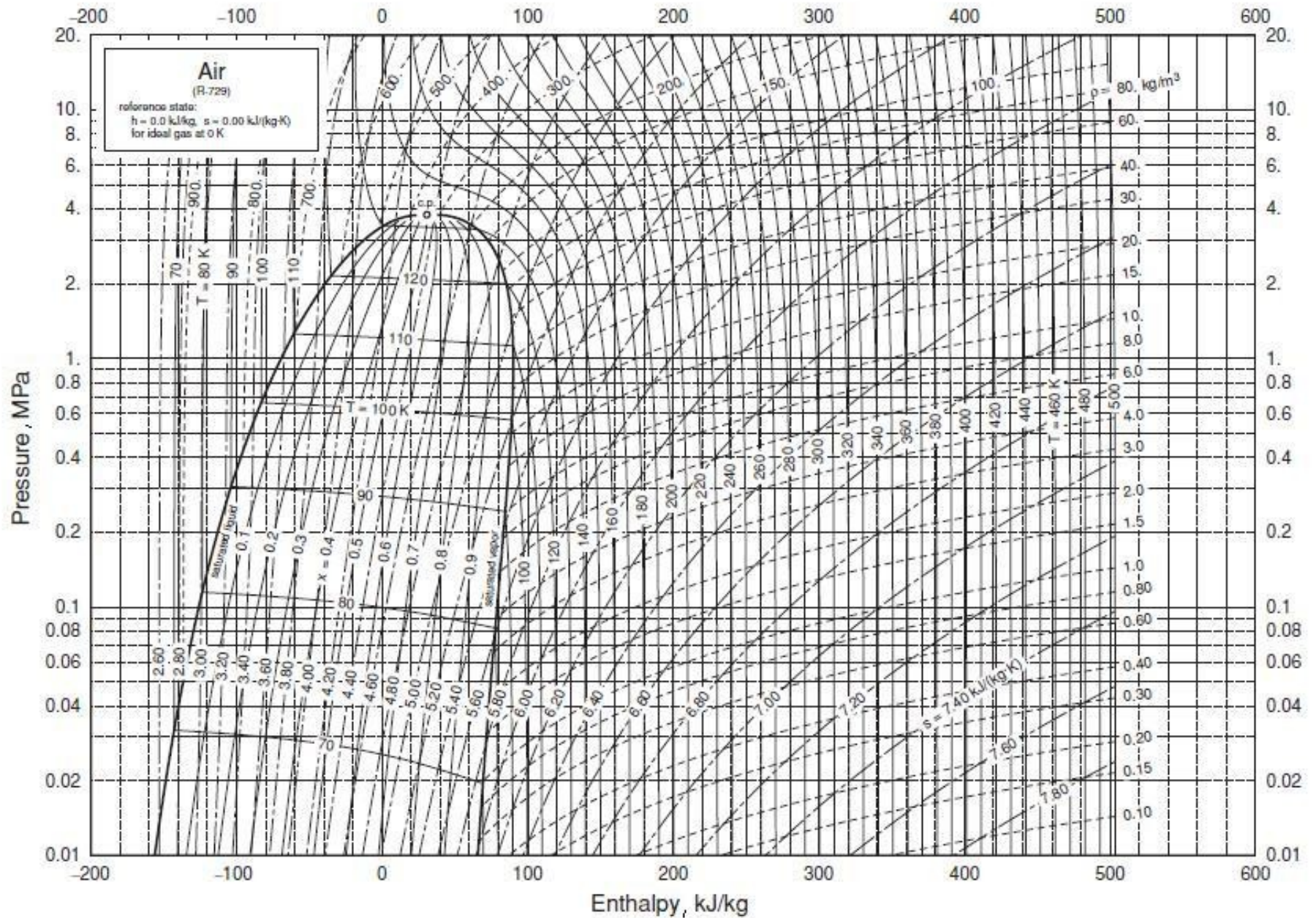
STP= szabványos nyomás és hőmérséklet

Fagyáspont
59 K
(O₂, N₂, Ar)

oxigén 54 K
nitrogén 63 K



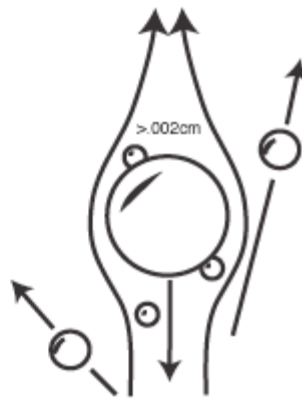
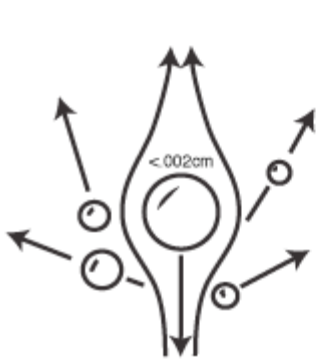
ez az oldatok fagyáspontcsökkenésének következménye:
a fagyáspont hőmérséklete alacsonyabb a komponensek fagyáspontjánál



A levegő termodinamikája

Cseppméret és telítettség

sugár	μm	10	1	0,1	0,02	0,01	0,001
Relatív nedves ségtartalom	%	100,01	100,11	101,15	105	112,1	314



Cseppek koagulációja és aprózódása

Erők egyensúlya:

- súlyerő \downarrow
- felhajtóerő \uparrow
- súrlódóerő (Stokes) \uparrow
- felületi feszültség

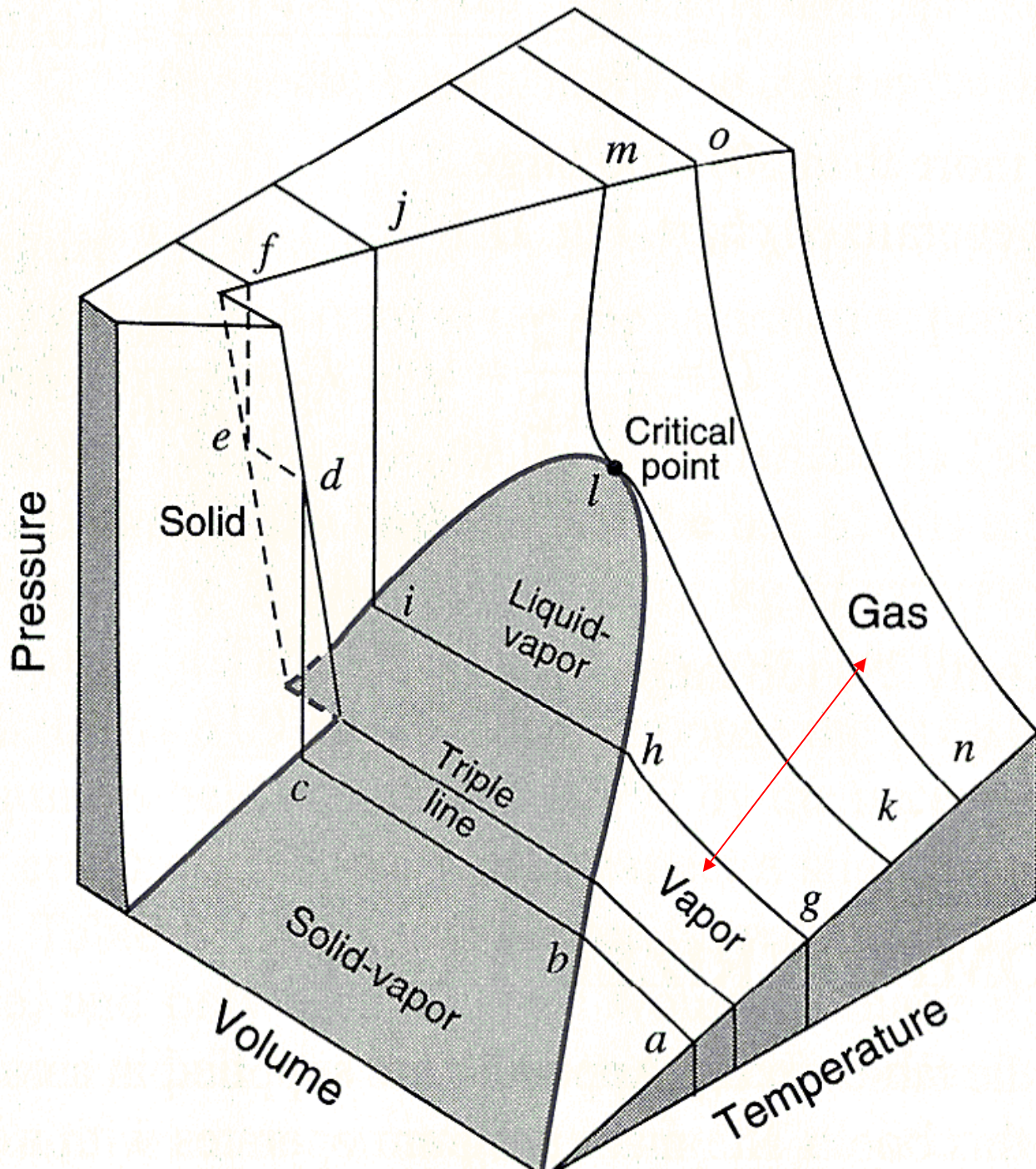
Cseppméret és ülepedési sebesség

p=900 hPa, t=5°C	átmérő, μm	sebesség, m/s	úthossz a párolgásig, m
felhő	1-100	0,00003-0,27	1
szitálás	200-500	0,72-2,06	150
esőcsepp	-5000	9	4200

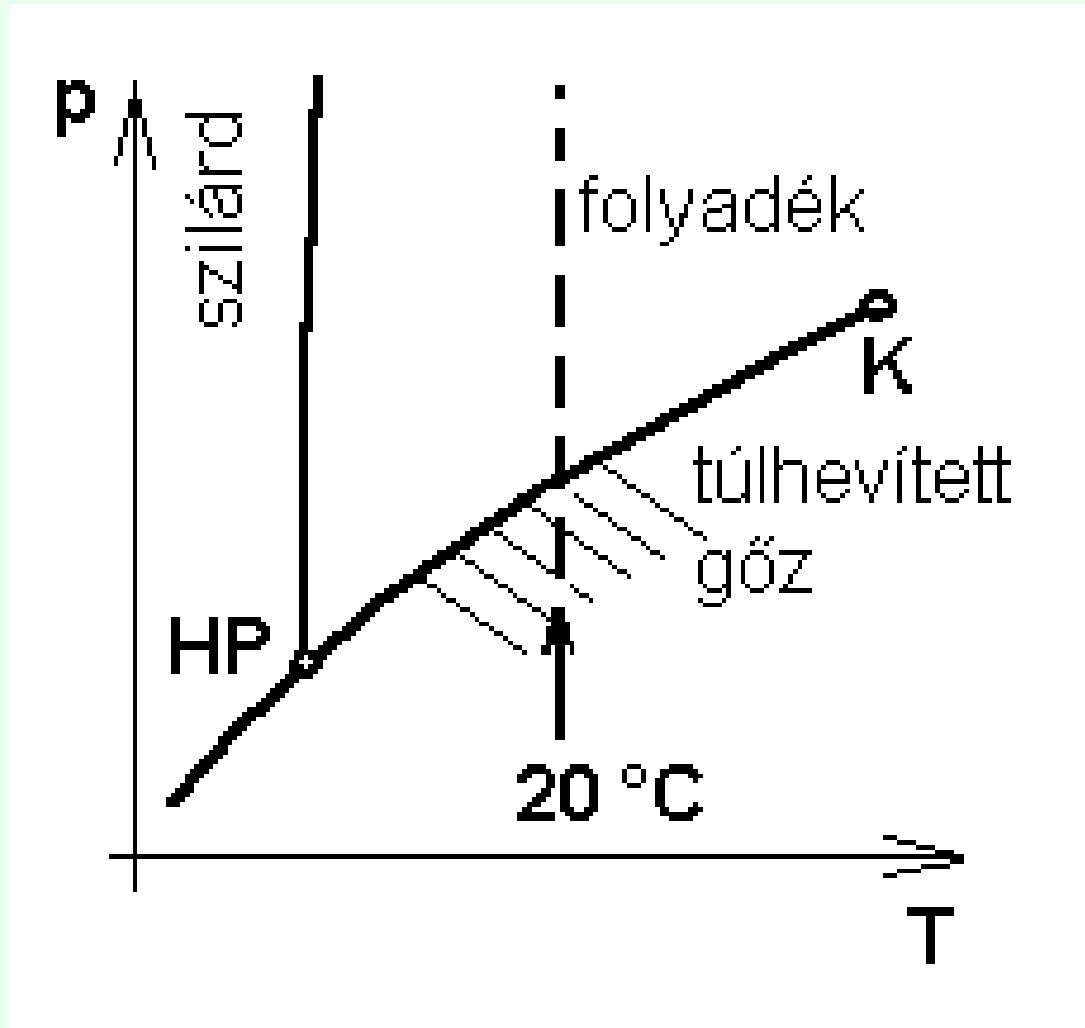
A levegő komponensei

A víz a levegőben lehet:

1. túlhevített gőz
2. telített gőz
3. nedves gőz (légnemű és cseppfolyós)
4. jég nedves gőze (légnemű és szilárd)
 3. köd, felhő
 4. zúzmarás köd



A levegő komponensei



A levegő entalpiája

- $H=U+pV$ (összes)
- $h=u+pv$ (fajlagos)

$$dh = du + pdv + vdp$$

Izobár körülmények között $dp=0$, ezért:

$$dh = du + pdv = dq$$

A levegő entalpiája

1. A száraz levegő felmelegítéséhez szükséges hőmennyiség
2. A vízgőz felmelegítéséhez szükséges hőmennyiség
3. A víz elpárologtatásához szükséges hőmennyiség

A levegő entalpiája

$$1. Q_1 = c_1 m_1 \Delta T$$

c a levegő, illetve a
vízgőz izobár

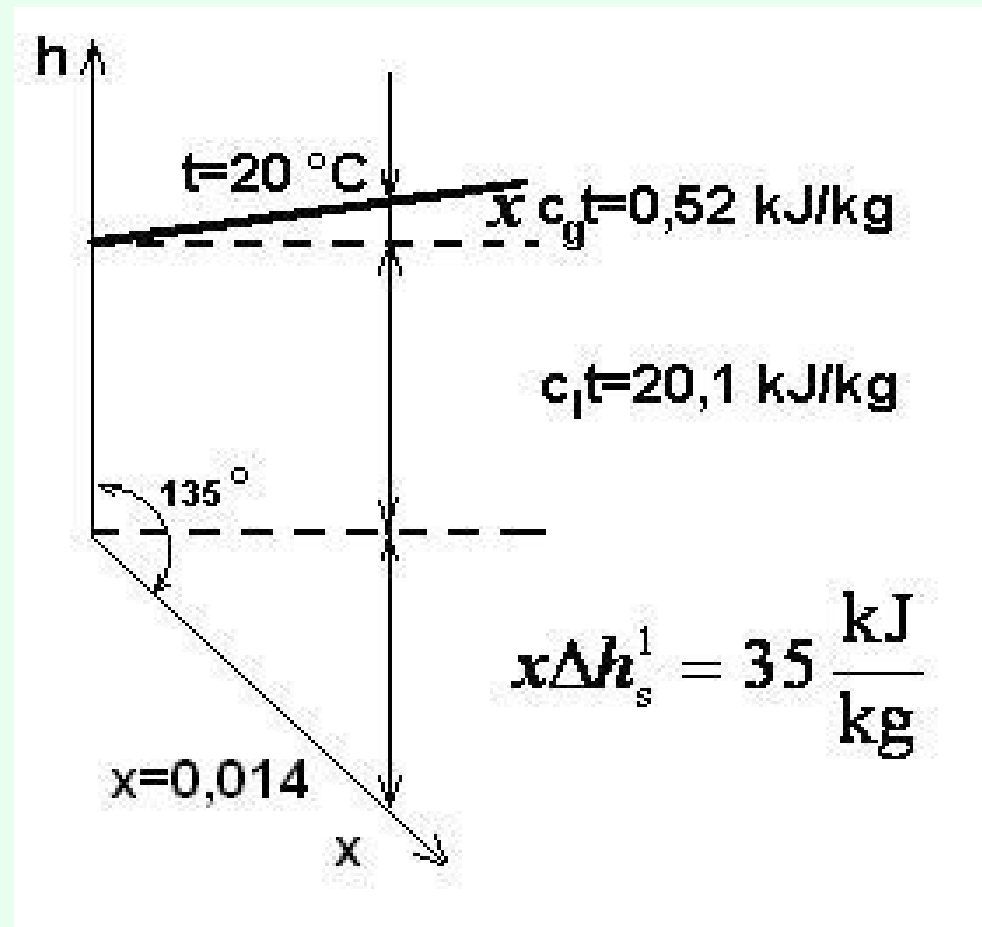
$$2. Q_g = c_g m_g \Delta T$$

fajlagos
hőkapacitása, r a
párolgáshő

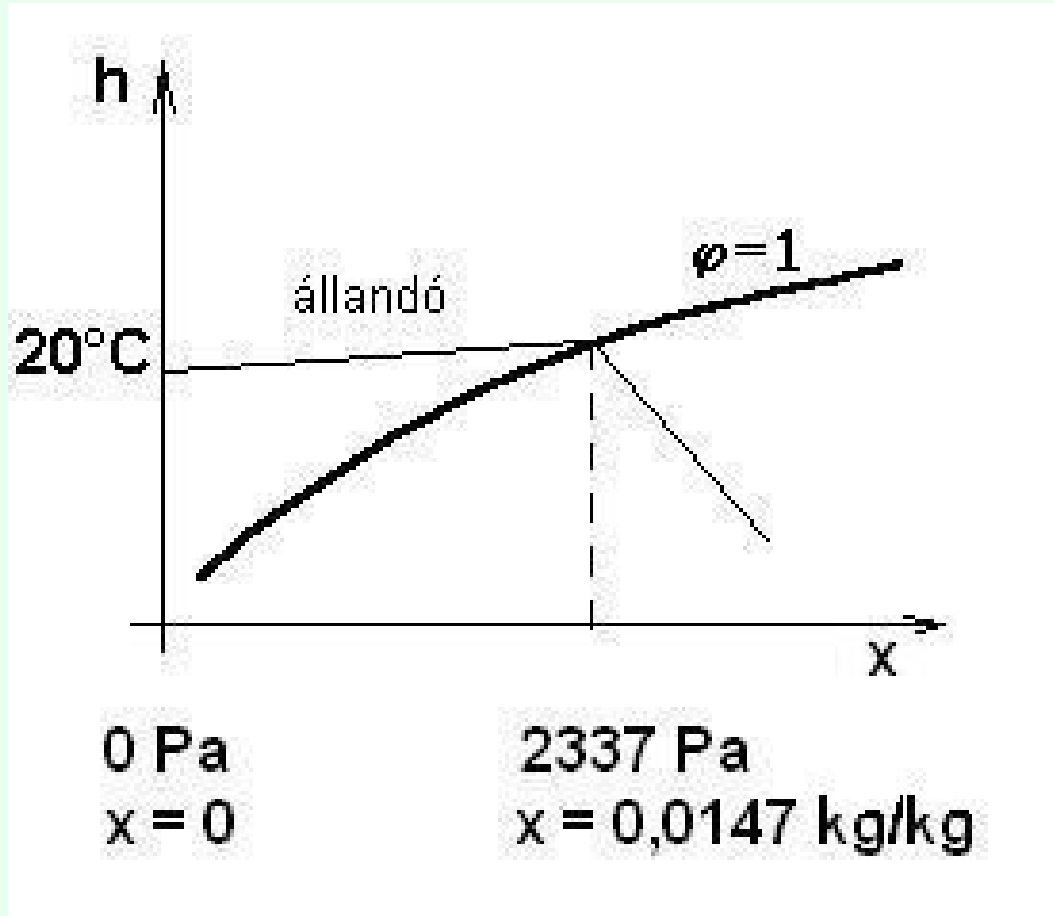
$$3. Q_r = m_g r$$

A levegő entalpiája

- Példa:
szobahőmérsékletű levegő
- Szenzibilis (érezhető) entalpia: a hőmérséklettel arányos rész



A diagram szerkezete



A diagram szerkezete

A tengelyek hajlásszöge 135 fok. A vízszintes vonal alá eső részt nem használják.

A nulla celziusz fok vonala vízszintes a telítési határ felett; a ködmezőben 135 fok hajlású

A telítési határ (saturation line) görbe. Felette a víz túlhevített gőz állapotban van; alatta köd.

A tömegarányt most abszolút nedvességtartalomnak nevezzük. Mértékegysége kg/kg; néha kg/m^3

A diagram szerkezete

$$1. Q_1 = c_1 m_1 \Delta T$$

$$2. Q_g = c_g m_g \Delta T$$

$$1. Q_1 = c_1 m_1 t_1$$

$$2. Q_g = c_g m_g t_g$$

A képletek egyszerűsödnek, ha a hőmérsékletet celziusz fokban adjuk meg. Ekkor a kezdőpont a nulla fokhoz kerül

A diagram szerkezete

$$3. Q_r = m_g r$$

r párolgáshő

s fagyáshő

r+s szublimációs hő

$$r=2500,38 \text{ kJ/kg}$$

ΔH_{lg}

g=gas

$$s=333,15 \text{ kJ/kg}$$

ΔH_{sl}

l=liquid

$$r+s= 2833 \text{ kJ/kg}$$

ΔH_{sg}

s=solid

A diagram szerkezete

$$3. Q_r = m_g r$$

Kezdőállapot: folyadék. Ezért szerepel a képletben a párolgáshő

- A szilárd vizet tartalmazó levegő entalpiája **csökken** a kezdőponthoz képest a fagyáshő miatt
- A légnemű vizet tartalmazó levegő entalpiája **növekszik** a kezdőponthoz képest a párolgáshő miatt

A levegő entalpiája

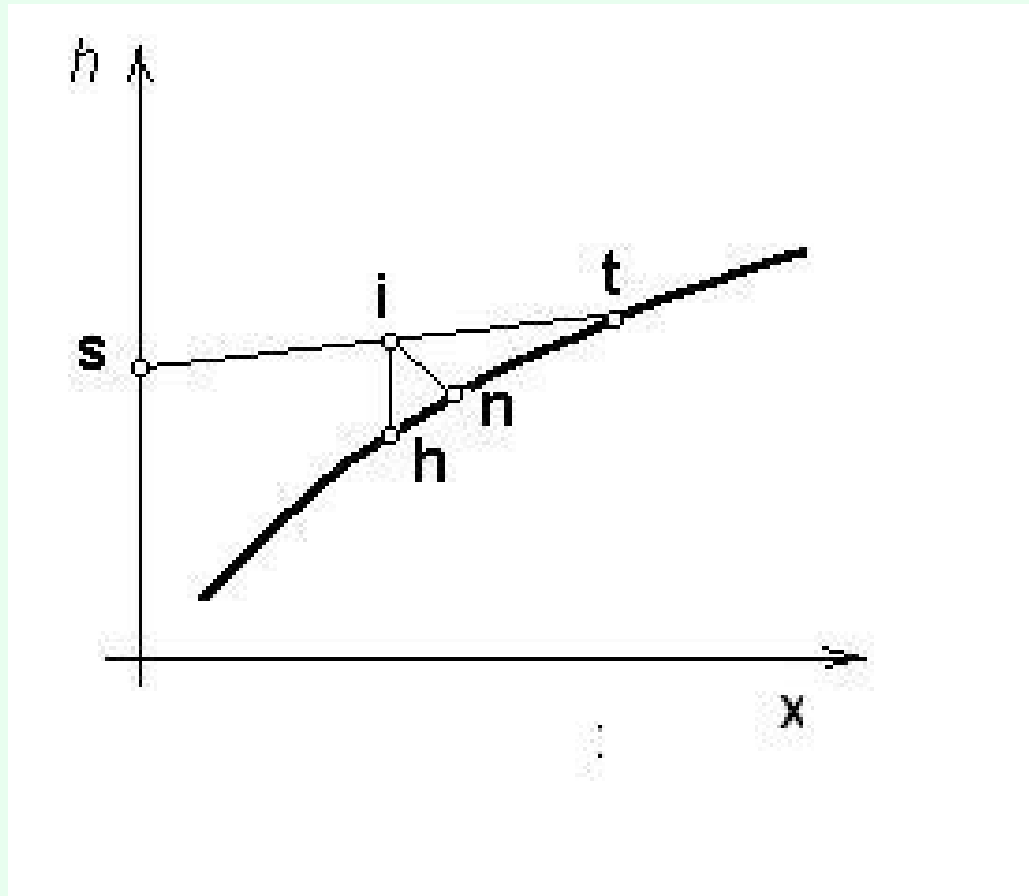
A fajlagos entalpia kiszámítása

$$\Delta H = c_1 m_1 t + c_g m_g t + m_g r$$

$$\Delta h = \frac{c_1 m_1 t}{m_1} + \frac{c_g m_g t}{m_1} + \frac{m_g r}{m_1}$$

$$\Delta h = c_1 t + x c_g t + x r = c_1 t + x (c_g t + r)$$

Relatív nedvességtartalom



s=száraz

t=telített

i=valóságos
légállapot
a két
határérték
között egy
izotermán

Relatív nedvességtartalom

$$\varphi = \frac{p_i}{p_t} = \frac{Y_i}{Y_t}$$

A relatív nedvességtartalom az aktuális és a telítési parciális nyomás hányadosa

A telítési határon túl nem értelmezhető; ekkor a levegő vízgőzzel telített, de ezen túl még cseppfolyós víz (nulla fok alatt jég) is van benne

Képletek

$$x_i = \frac{\varphi_i p_t}{p_{\ddot{o}} - \varphi_i p_t} \frac{M_g}{M_1}$$

$$x_t = \frac{p_t}{p_{\ddot{o}} - p_t} \frac{M_g}{M_1}$$

Képletek

$$p_i = \frac{x_i p_{\ddot{o}}}{\frac{M_g}{M_1} + x_i}$$

$$p_t = \frac{x_i p_{\ddot{o}}}{\frac{M_g}{M_1} \varphi_i + x_i \varphi_i}$$

Képletek

$$\varphi_i = \frac{x_i p_{\ddot{o}}}{\frac{M_g}{M_1} p_t + x_i p_t}$$

$$\varphi_t = \frac{x_i p_{\ddot{o}}}{\frac{M_g}{M_1} p_t + x_i p_t} = 1$$

Képletek

Antoine állapotegyenlet (víz)

NIST chemistry webbook

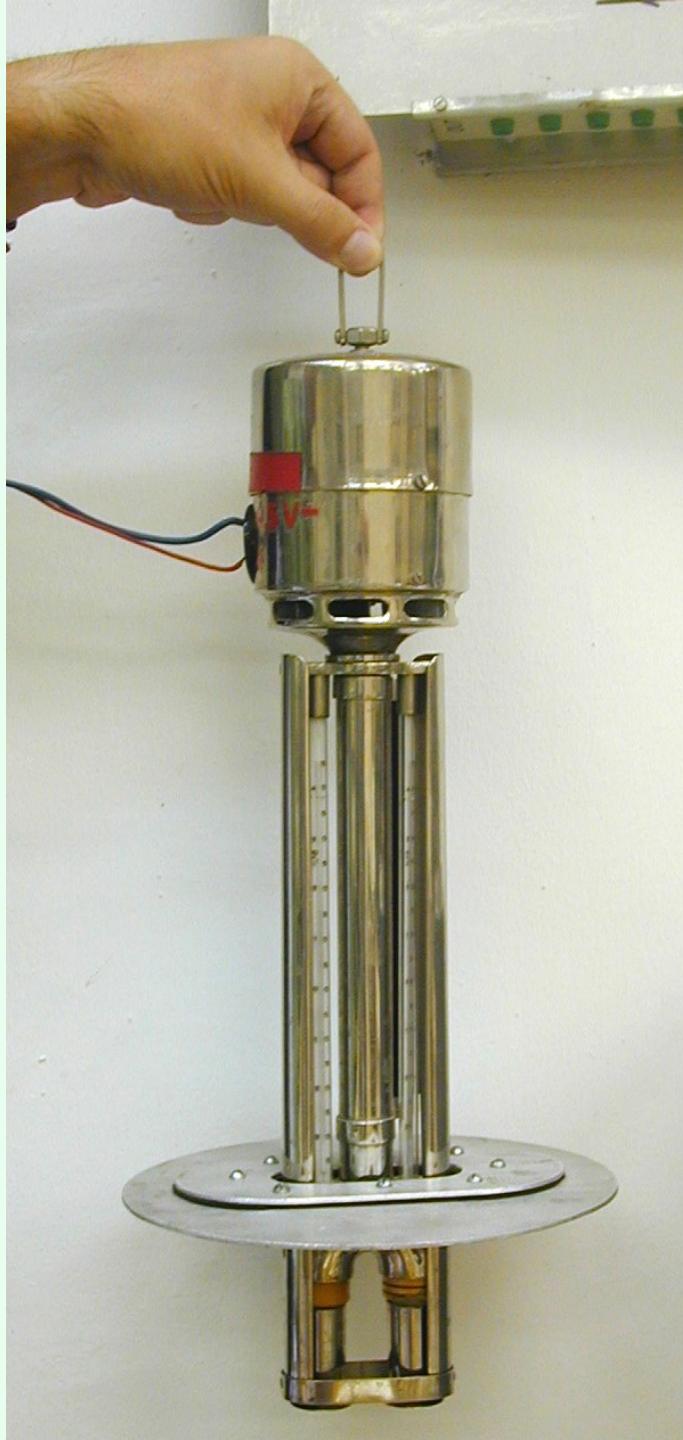
$$\log_{10} p_{bar} = 5,40221 - \frac{1838,675}{T_K - 31,737}$$

$$\ln p = A + \frac{B}{T + C} + DT + ET^2 + F \ln T$$

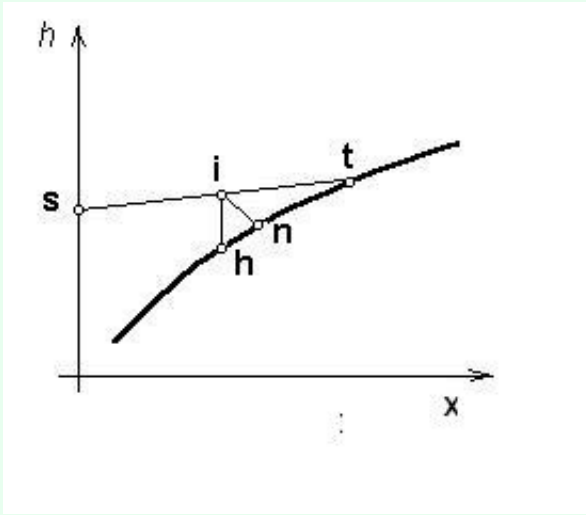
(B értéke negatív)

Clausius–Clapeyron-egyenlet:

$$\log_{10} p_{Pa} = -\frac{2311,711}{T_K} + 11,255$$



Pszichrométer



- Száraz hőmérő (dry bulb thermometer) az $s \dots t$ izoterma értékeit mutatja
- Nedves hőmérő (wet bulb thermometer) az n telítési állapotot mutatja
- Az $i \dots n$ vonal egy izentalpikus vonalra (adiabatára) esik

Pszichrométer

$$dh = du + pdv + vdp$$

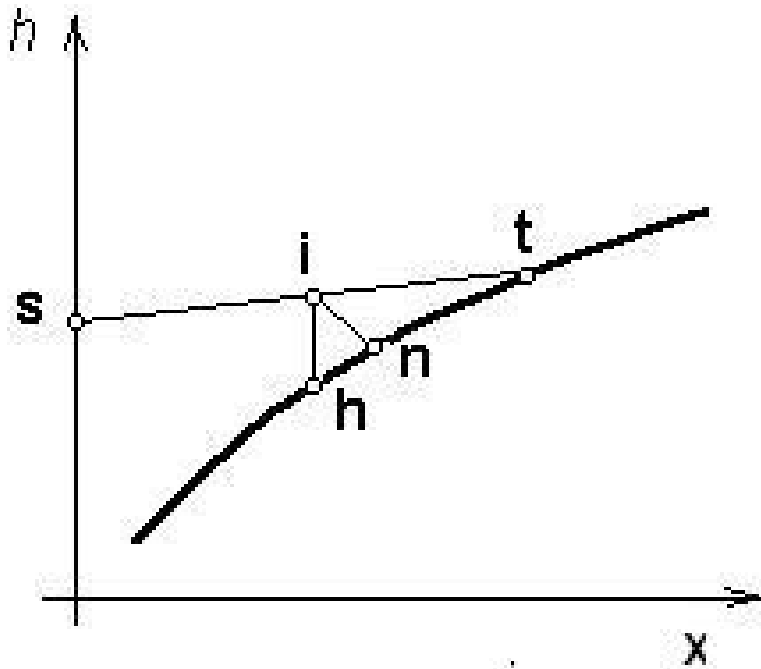
$$dh_{\text{izobár}} = du + pdv = dq$$

Izobár körülmények között a harmadik tag nulla, emiatt az entalpia és a hőközlés azonos. Ezért az adiabatikus és az izentalpikus állapotváltozás egybeesik

Pszichrométer

- Ipari méréseknél nem az entalpia-vonalak irányát, hanem a ködizotermák vonalának meghosszabbítását használják

Harmatpont



Az aktuális i légállapotból függőleges egyenes vonal vezet a h harmatpontig

Ködzóna

Elkülönült fázis fogalma

1. A köd vízcseppekből áll, amelyeknek saját határfelülete van. A cseppek belsejében gyakorlatilag csak folyékony víz van
2. Szélsőséges körülmények között a víz szeparálódik, elkülönül, és lerakódik a berendezési tárgyra (pocsolya, eső)

Ködzóna

komponens	tömegtört	tömegkoncentráció	térfogattört
i	w_i , kg/kg	ρ_i , kg/m ³	φ_i , m ³ /m ³
gőz	0,0089	0,01098	0,001434
víz	0,0019	0,0024	0,0000024
levegő	0,9891	1,2182	0,98565
összesen	1	1,2316	1

Állapotváltozások

Nem értelmezhetők a speciális állapotváltozások, mert

- Azokat egykomponensű termodinamikai rendszerre írták fel
- Az állapotjelzők vonalát követve rákényszerítenénk az elegyet, hogy az összetétele megváltozzék
- A speciális állapotváltozások igazi vonala csak a térben volna felrajzolható

Állapotváltozások

Az izotermákat növekvő összetételi arány szerint végigkövetve, közel vízszintesek, a telítési görbénél megtörnek, és 135 foknál nagyobb szögben haladnak (ha a hőmérséklet nulla felett van)

Állapotváltozások

Az izochor (állandó térfogatú) vonalakat növekvő összetételi arány mentén követve enyhén emelkedő vonalat követnek. A ködmezőben nem szokás értelmezni az izochor vonalakat. A víz térfogata **tízezerszer** kisebb folyadék állapotban, mint légnemű állapotban

Állapotváltozások

A diagram teljes területe izobár, ezért bármely irány rajta izobár (általában 100000 Pa nyomásra készítik).

Állapotváltozások

Az adiabatikus állapotváltozások itt azonosak az izentalpikus állapotváltozásokkal. Növekvő összetételi arány mentén folyamatosak, nem törnek meg, – természetesen, hiszen ennek értékéből számítják a diagramot

Hasonló okokból az izentrópikus vonalakat szükségtelen megrajzolni

Állapotváltozások

Az entrópia változása két pont között számítható:

$$\Delta S = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1}$$

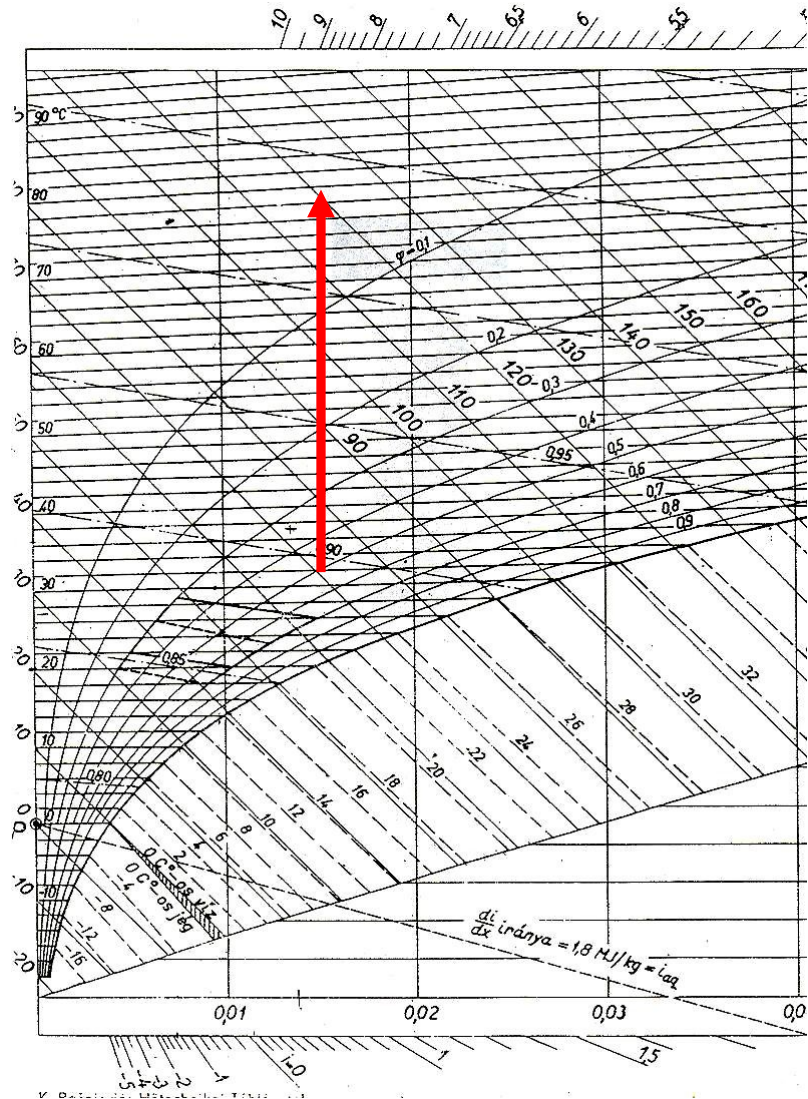
Állapotváltozások

A speciális állapotváltozásokhoz képest itt értelmezhető az összetételi arány: az abszolút nedvességtartalom. Ezek függőleges egyenes vonalak, hiszen ennek értékéből számítják a diagramot

A parciális nyomás értelmezése miatt ezek a vonalak ugyanígy függőleges egyenes vonalak

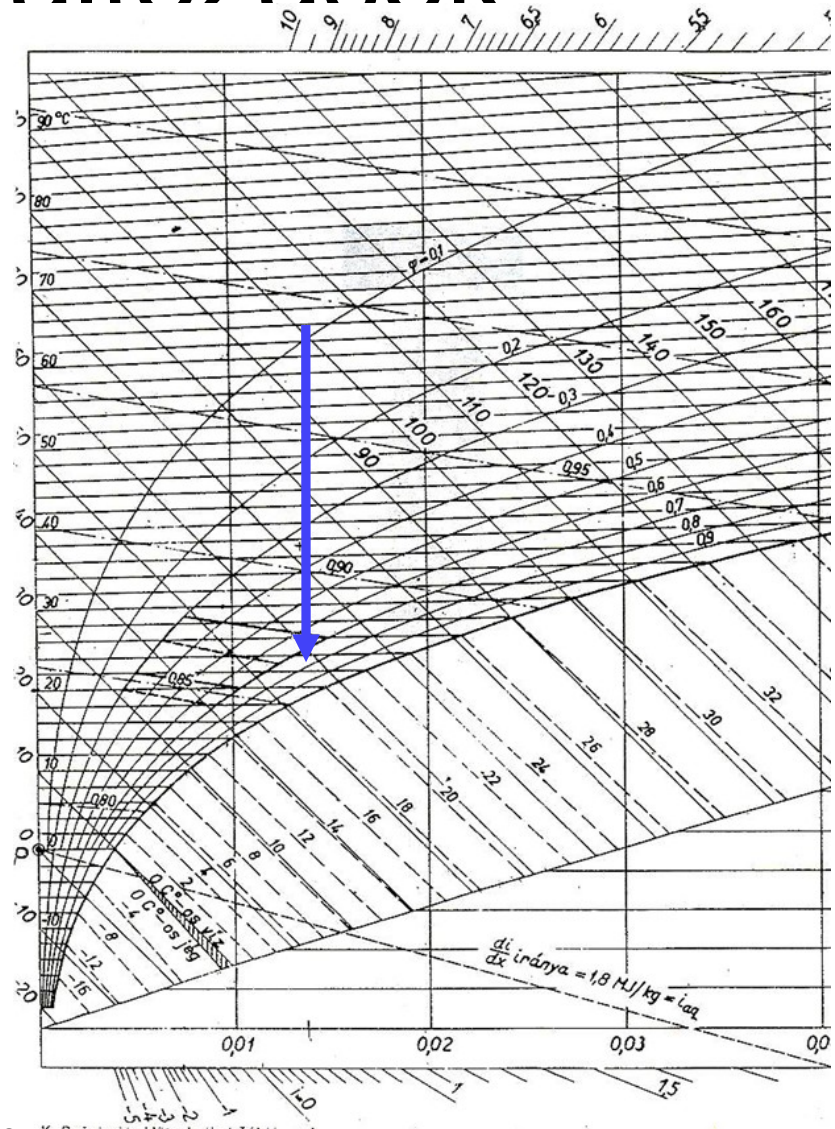
Állapotváltozások

Hőbevezetés **fűtés**
felületi
hőcserélőn:
függőleges egyenes
vonal. Az
állapotváltozás a
növekvő
entalpiaértékek felé,
fölfelé halad



Állapotváltozások

Hőelvonás **hűtés**
felületi
hőcserélőn:
függőleges egyenes
vonal. Az
állapotváltozás a
csökkenő
entalpiaértékek
felé, lefelé halad



Állapotváltozások

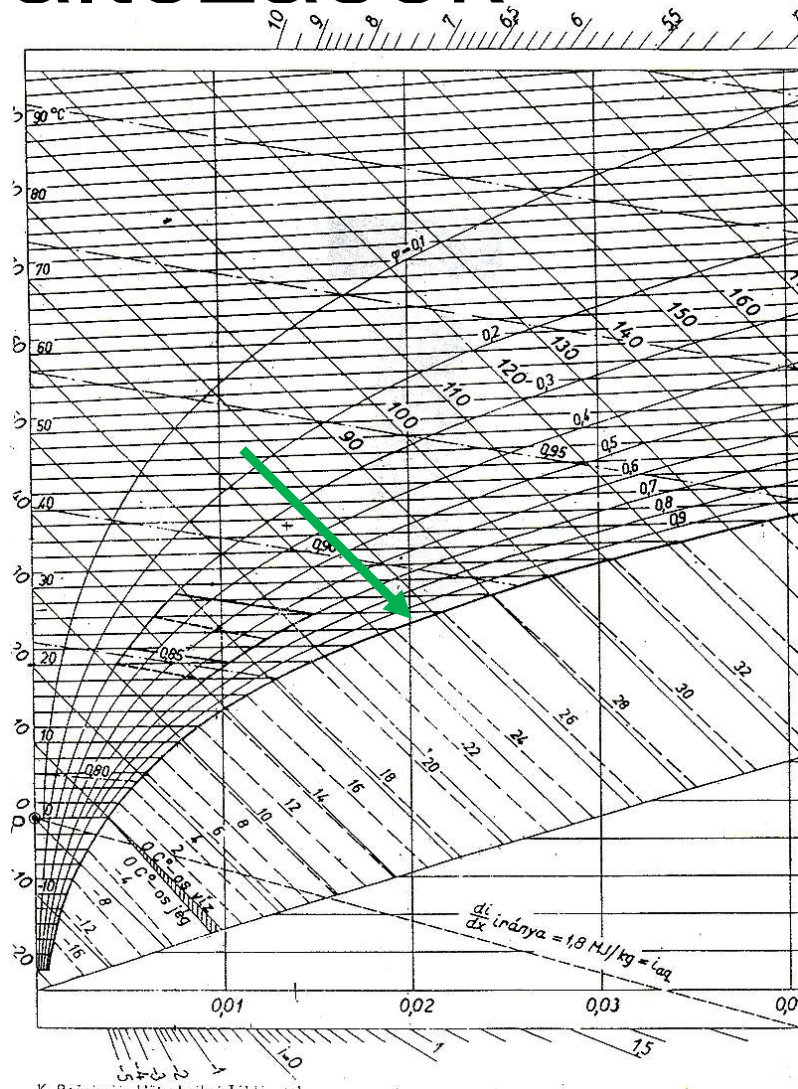
Víz beporlászta:

adiabatikus nedvesítés

Az állapotváltozás vonala követi valamelyik entalpia-vonalat jobbra lefelé, a növekvő abszolút nedvességtartalom értékek felé

Alkalmazás:

klímaberendezéseknél változó hőmérsékletű léghmosó, **szárítás**



Állapotváltozások

Víz beporlasztása, állandó hőmérsékletű léghmosó:

Alkalmazás: klímaberendezéseknél, ha hálózati vizet porlasztunk be. Az állapotváltozás vonala ilyenkor egy ködizoterma meghosszabbítását követi

Állapotváltozások

Gőz beporlasztása

Az állapotváltozás vonala a beporlasztott gőz entalpiája felé tart, hasonlatos az izotermák irányához

Alkalmazás: klímaberendezéseknél, technológiai berendezéseknél

Állapotváltozások

Keverés

A keverék entalpiája és abszolút nedvességtartalma a súlyozott számtani közép segítségével számítható, mert teljesül az energiamérleg is és az anyagmérleg is

Állapotváltozások

Keverés

A keverék hőmérséklete közelítő pontossággal számítható, ha a keverékpont nem kerül a ködzónába

A pontatlanságot a fajlagos hőkapacitás hőmérsékletfüggése okozza

Közelítő számítással végezhető ugyanez, ha mindkét kiindulási pont a ködzónába esik

Állapotváltozások

Keverés

A keverék hőmérséklete nem számítható a súlyozott közép módszerével, ha a keverés vonala átlépi a telítési görbét. Ekkor ugyanis már a párolgáshővel (kondenzációs hővel) is számolni kell

Állapotváltozások

Keverés

A keverék térfogata közelítőleg számítható azzal a feltétellel, ami a hőmérsékletre is érvényes.

A fajlagos térfogat a hőmérséklet függvénye

A kondenzálódott víz térfogata kb. tízezerszeresére csökken, ezért a ködmezőbe eső keverékpont nem számítható

Állapotváltozások

Keverés

A keverék parciális nyomása feltétel nélkül számítható, mert definíciószerűen arányos az összetételi aránnyal (az abszolút nedvességtartalommal)

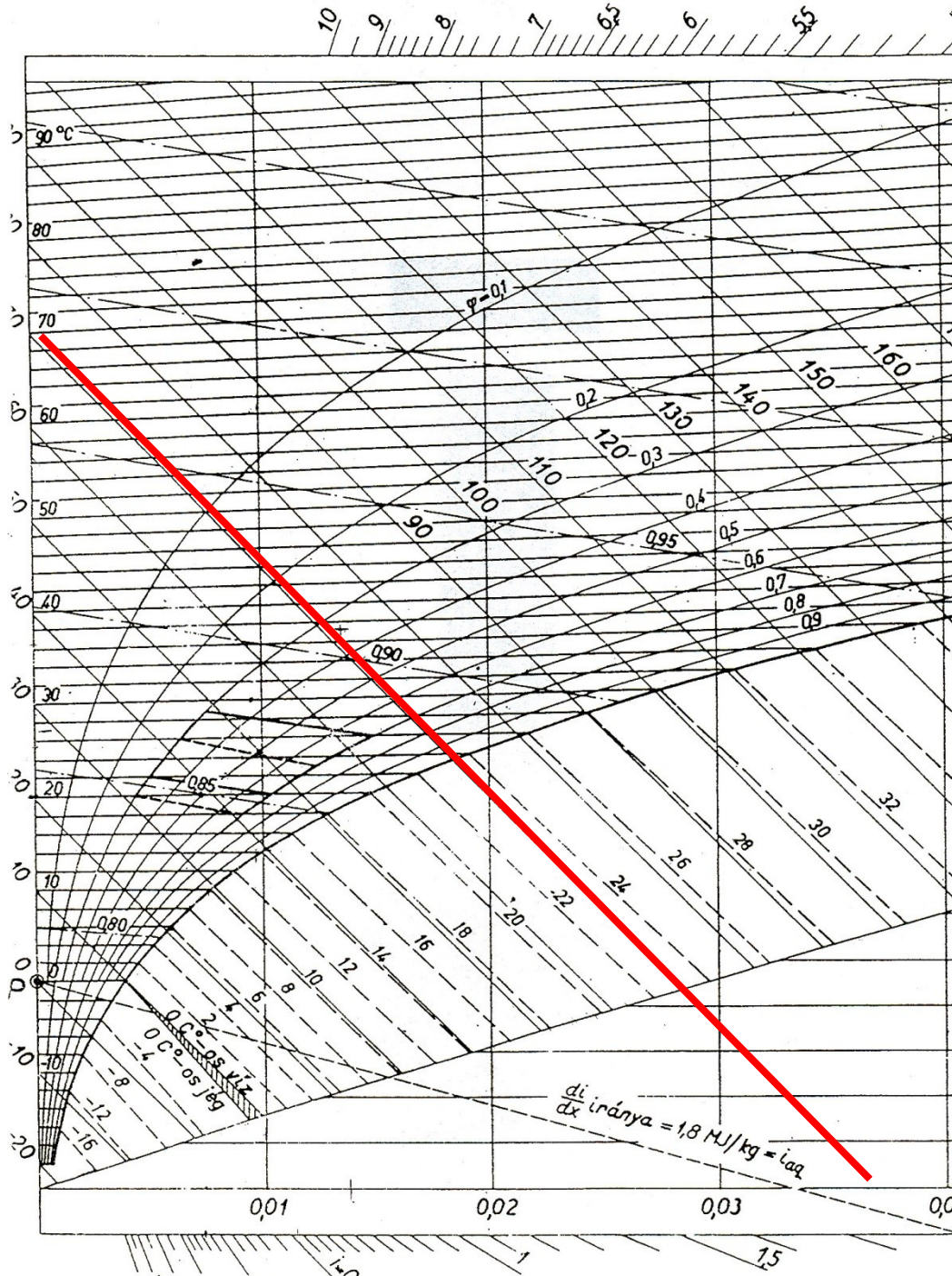
Állapotváltozások

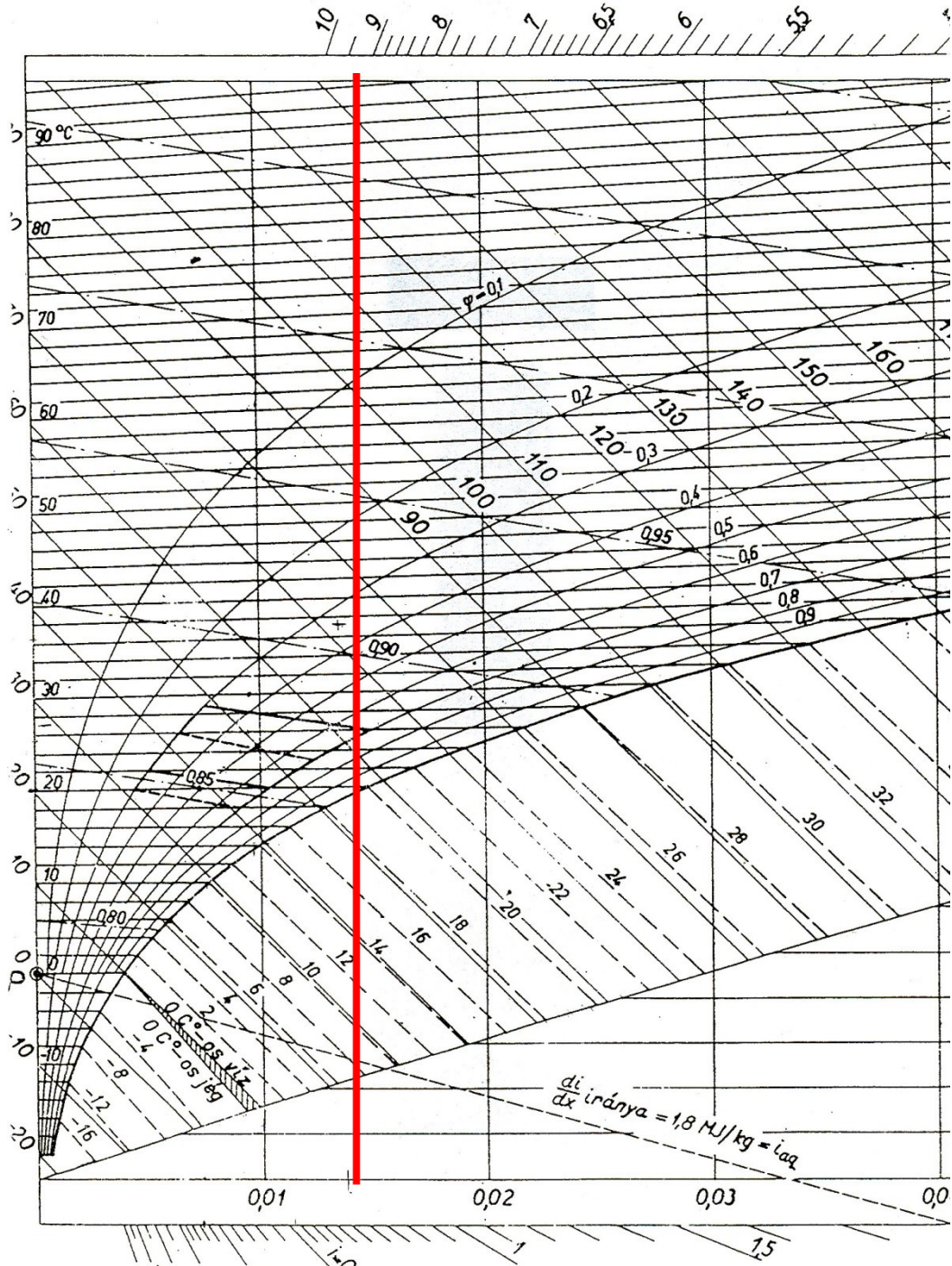
Keverés

A keverék relatív nedvességtartalma keverékszámítással nem számítható.

Az esetek legnagyobb többségében a keverékpont relatív nedvességtartalma nagyobb mindkét összekevert kiinduló elegy relatív nedvességtartalmánál

Fajlagos entalpia
(például: 70
kJ/kg)

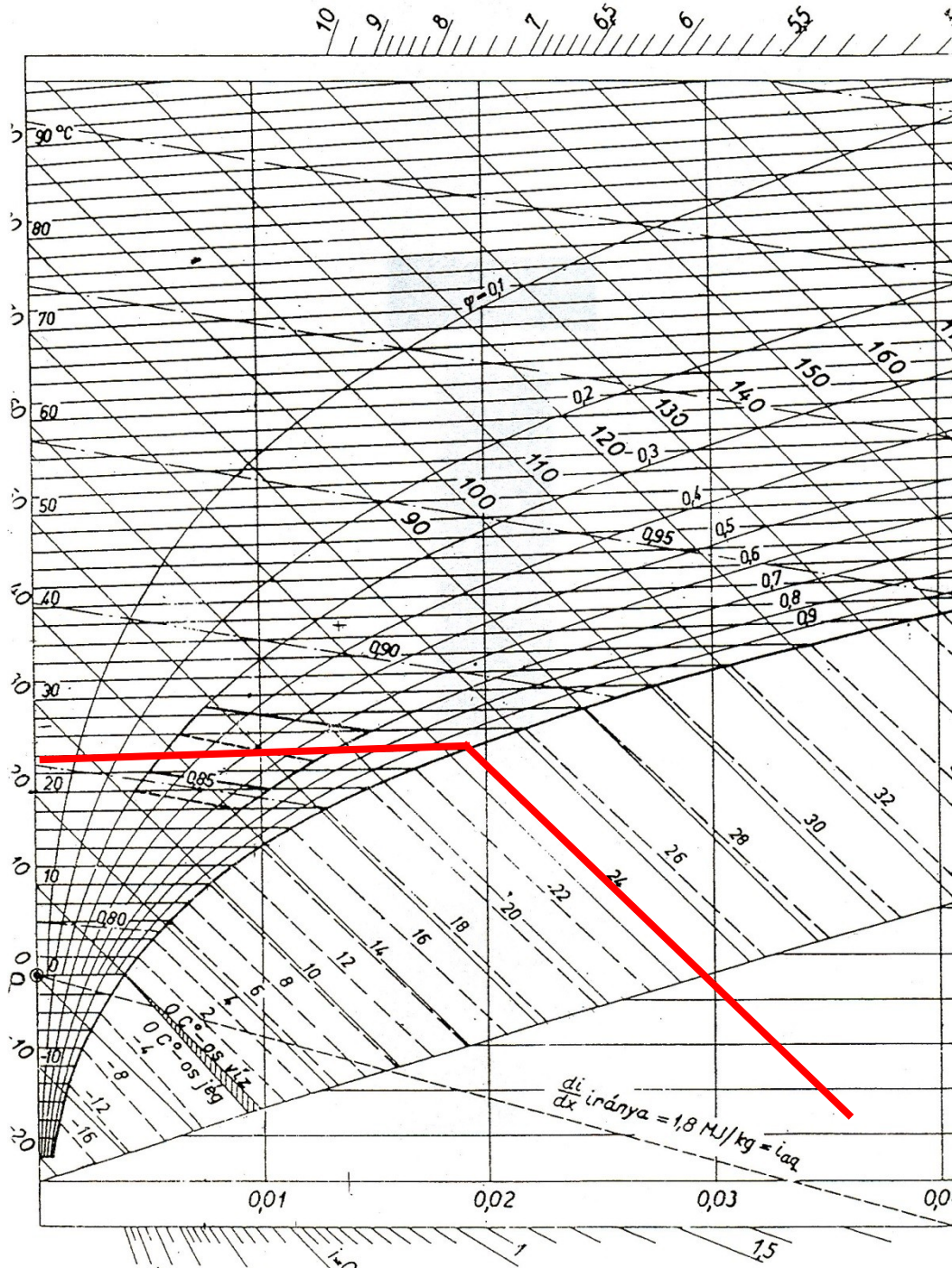




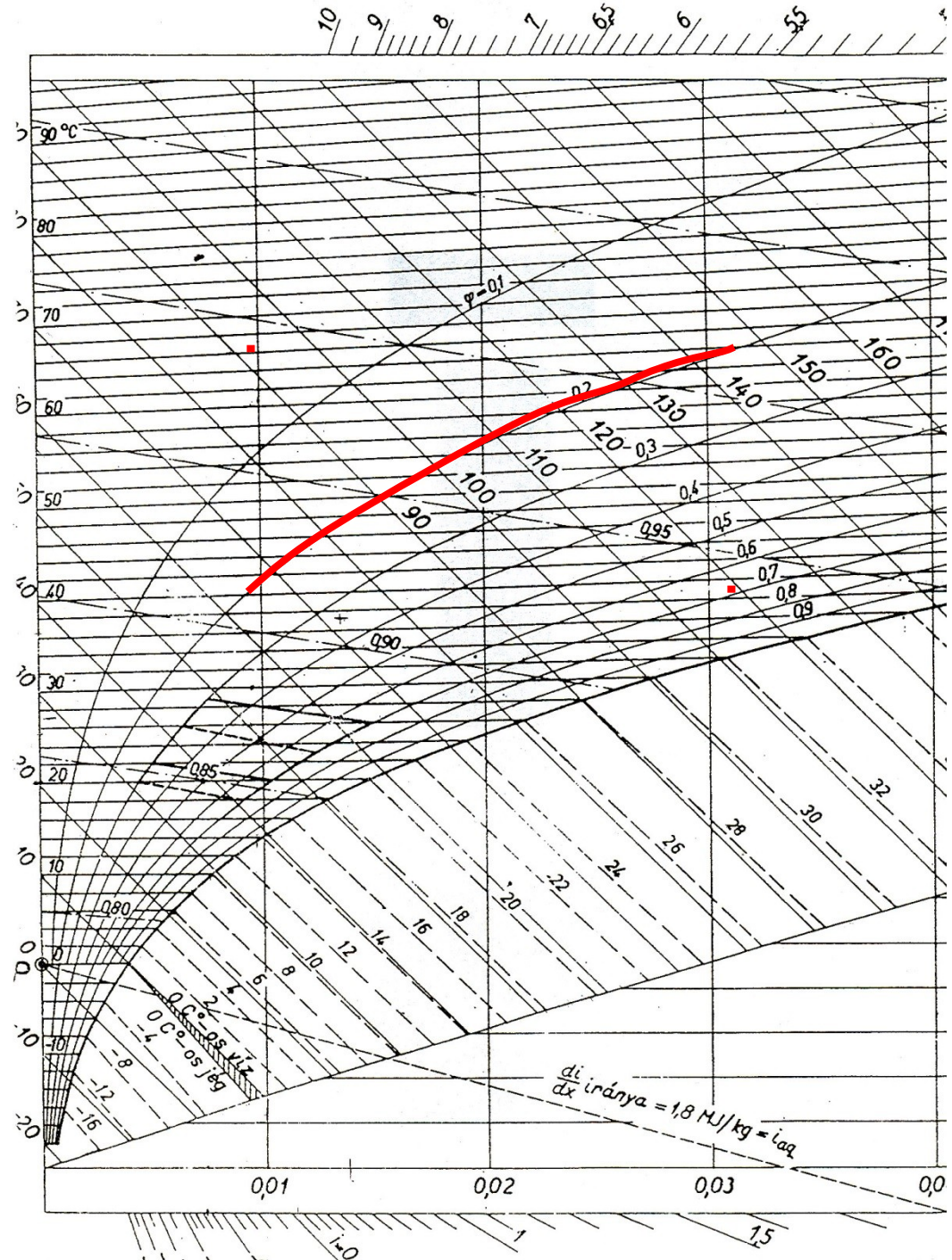
Abszolút nedvességtartalom, tömegarány (például: 0,014 kg/kg)

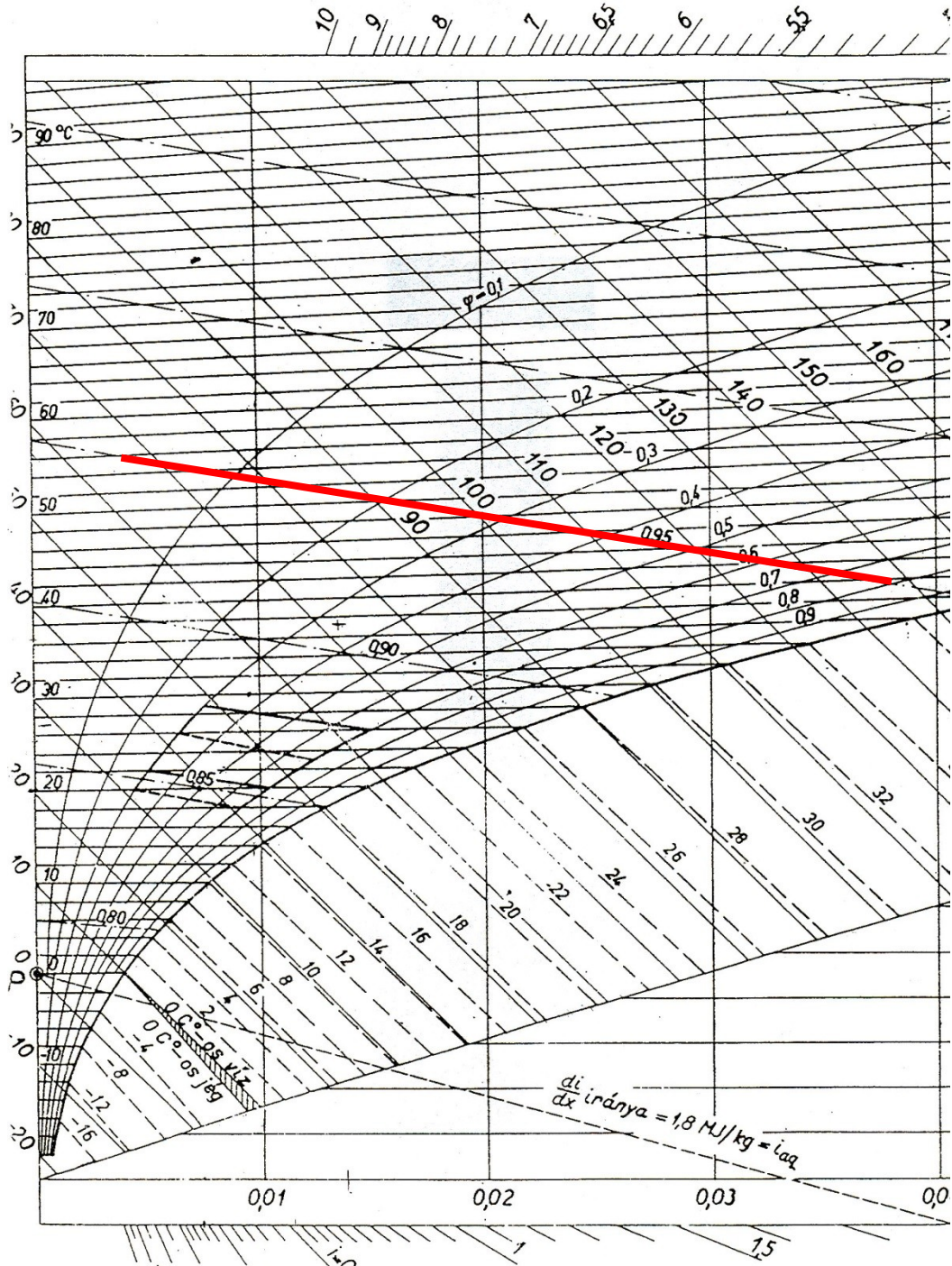
$$\frac{di}{dx} \text{ irányja} = 1,8 \text{ MJ/kg} = 1,8 \text{ kcal}$$

Hőmérséklet (például: 24 °C)

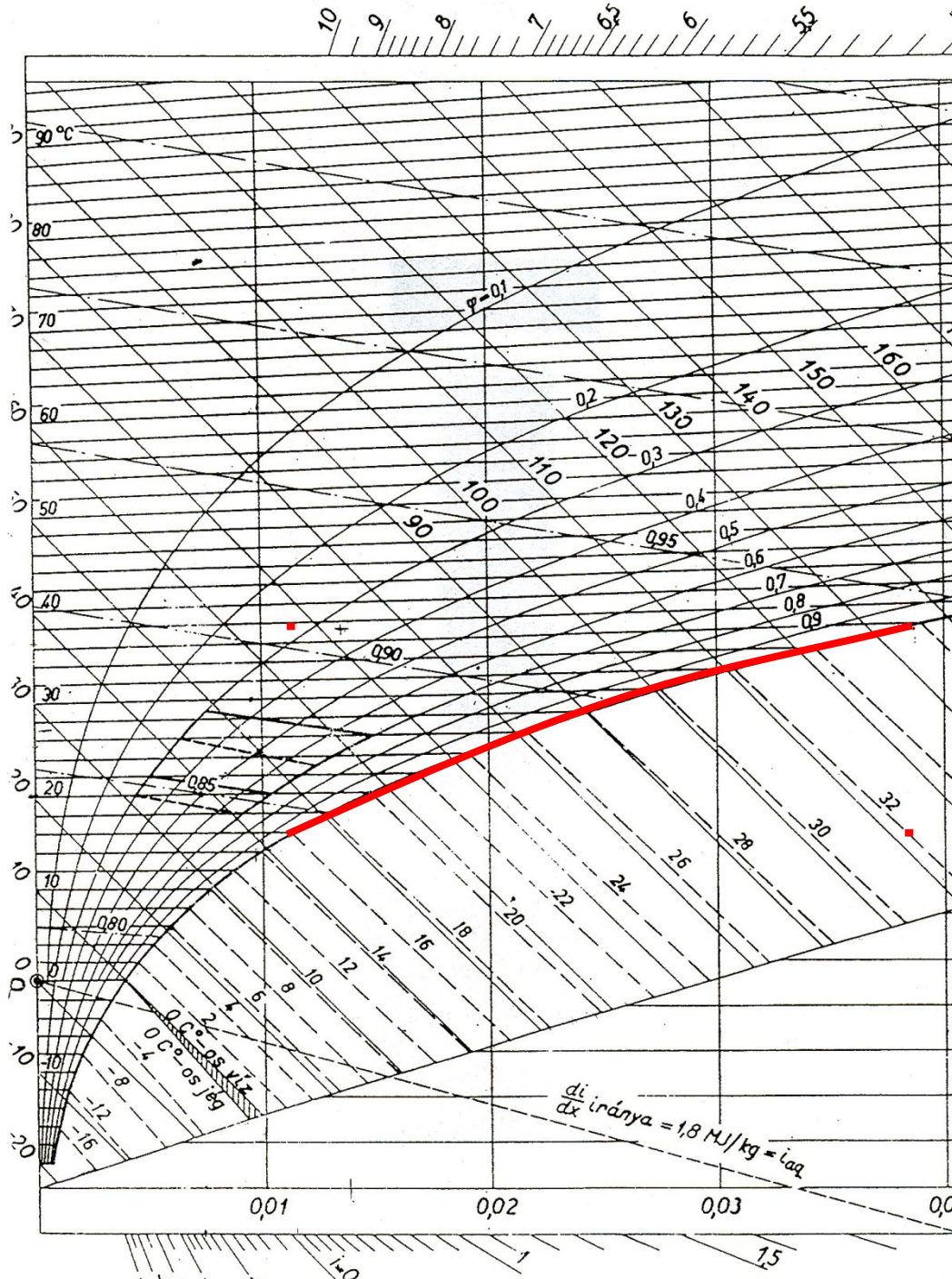


Relatív nedvességtartalom (például: 0,2)





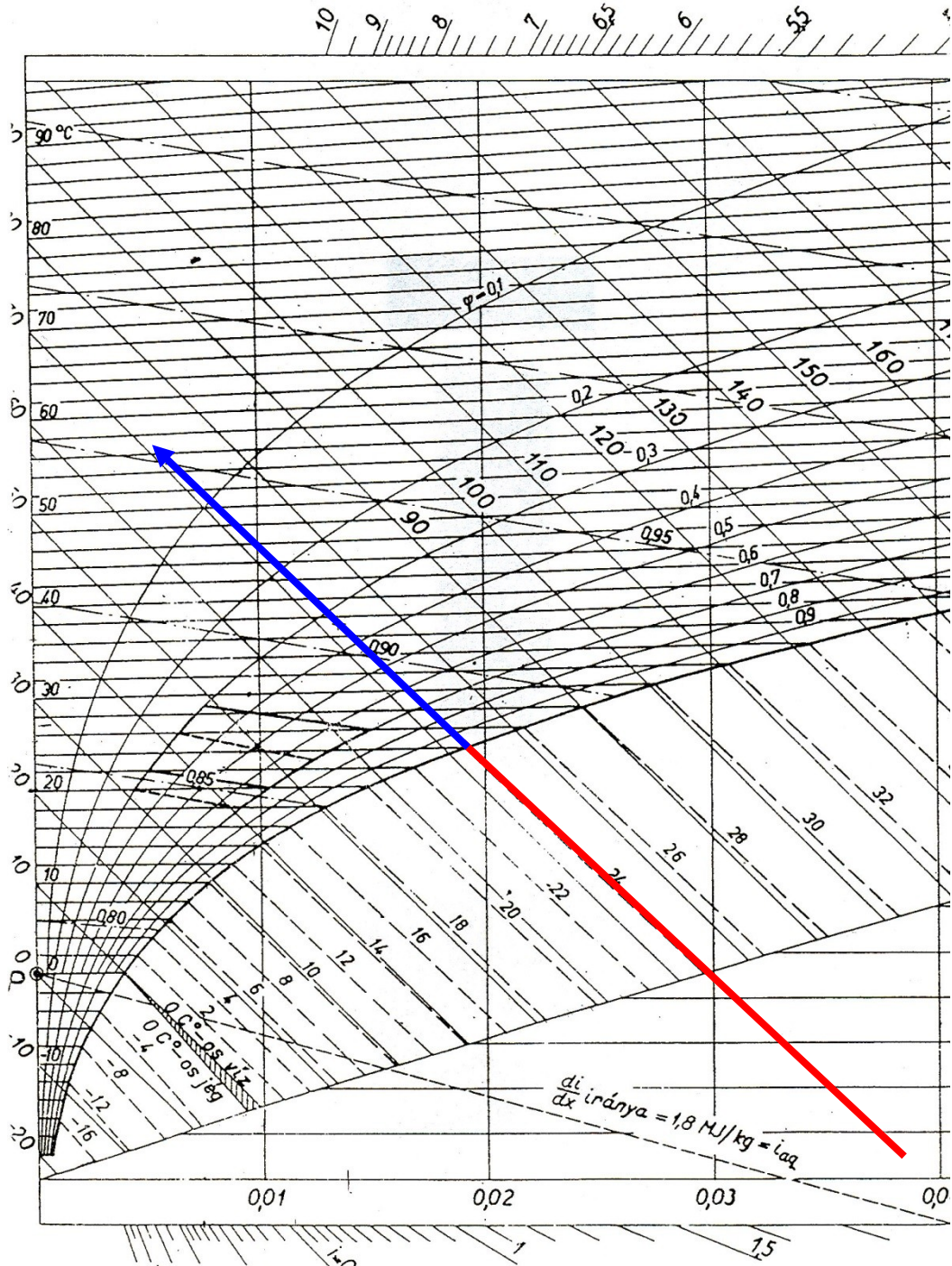
Fajlagos térfogat
(például: $0,95 \text{ m}^3/\text{kg}$)



Telítési határ

Felette: a víz
légnemű

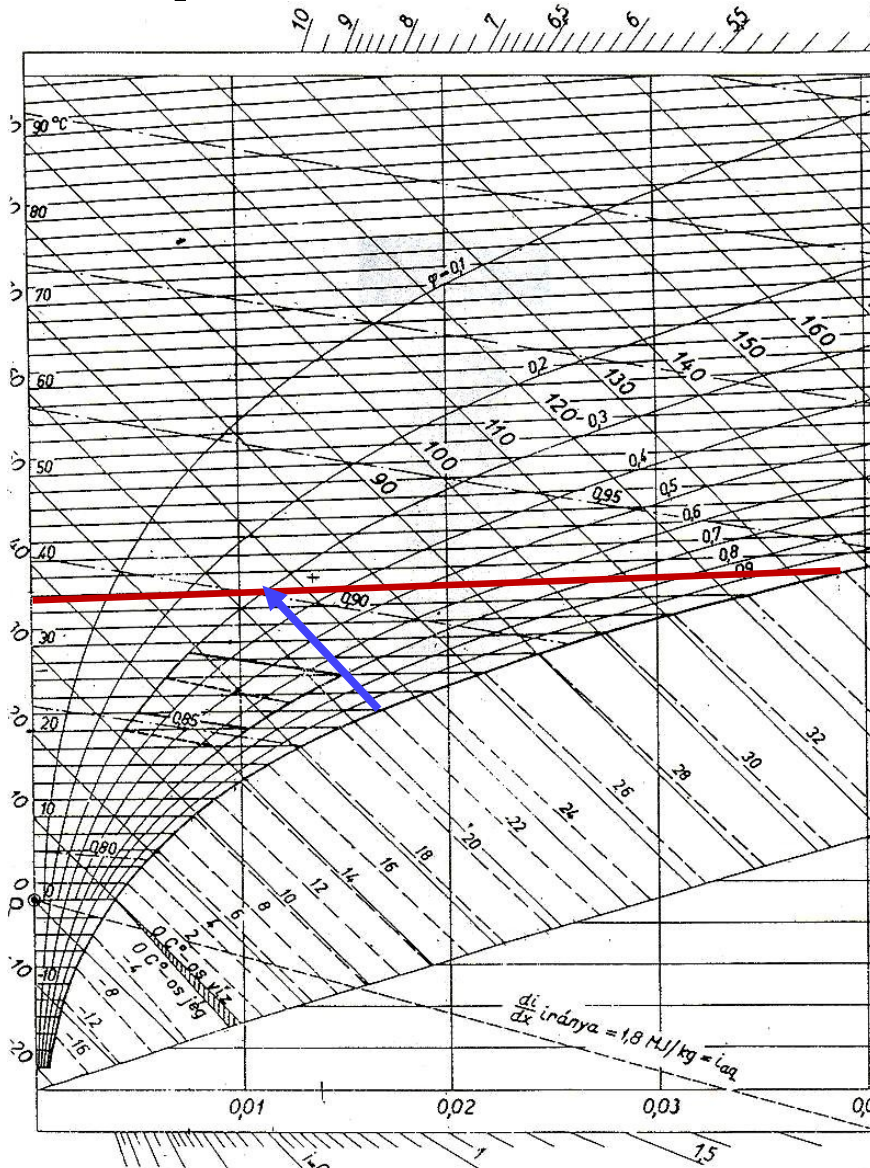
Alatta: ködzóna



Ködizoterma
meghosszabbítása

Ködizoterma (például: 24 °C)

A pszichrométer leolvasása



száraz hőmérséklet: 36 °C

nedves hőmérséklet: 22 °C

valódi légállapot: a piros és a kék
vonal metszéspontjánál

$x=0,012 \text{ kg/kg}$

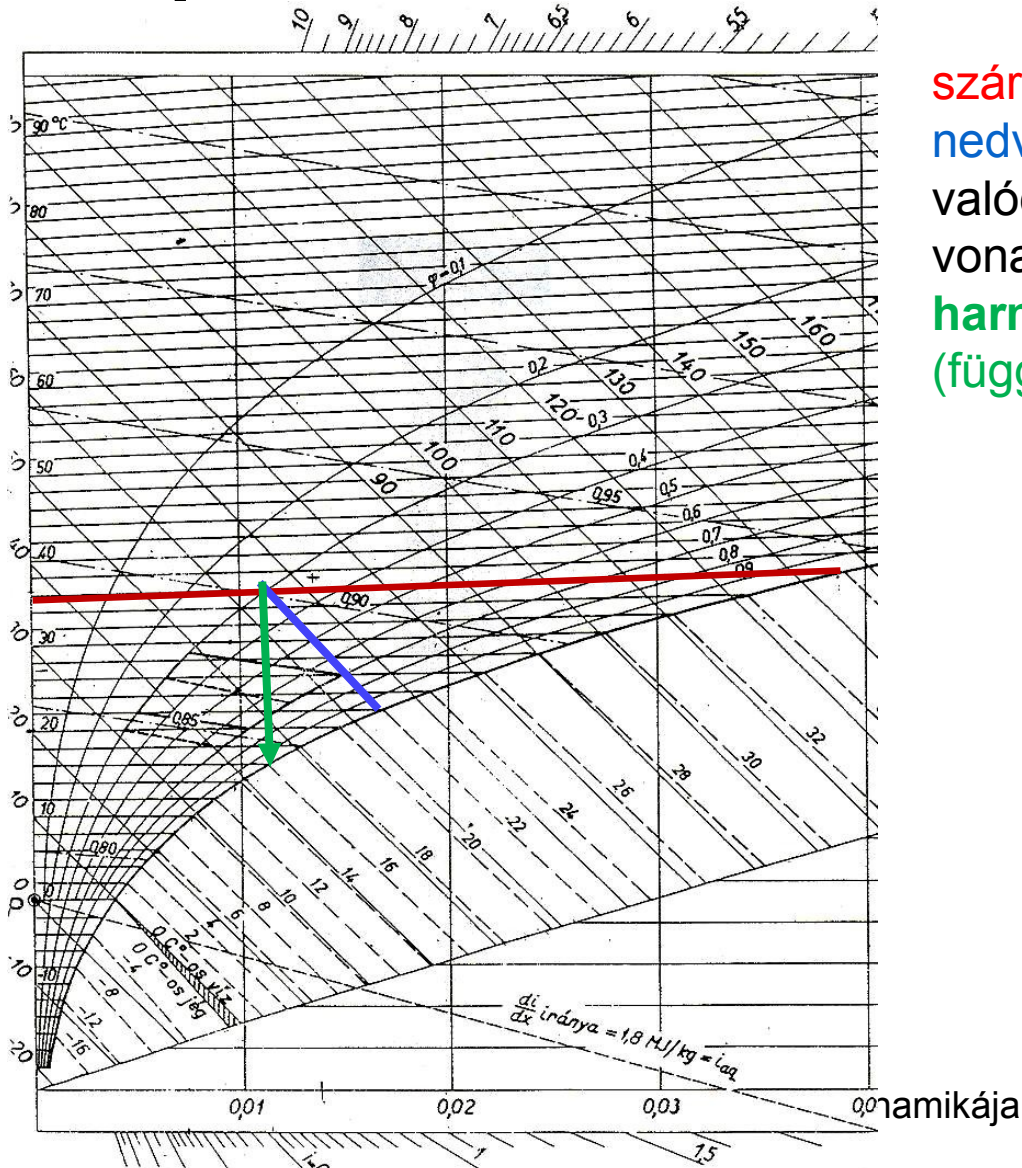
$h=66 \text{ kJ/kg}$

$v=0,9 \text{ m}^3/\text{kg}$

$\varphi=0,3$; vagyis 30 %

amikája

A pszichrométer leolvasása



száraz hőmérséklet: 36 °C

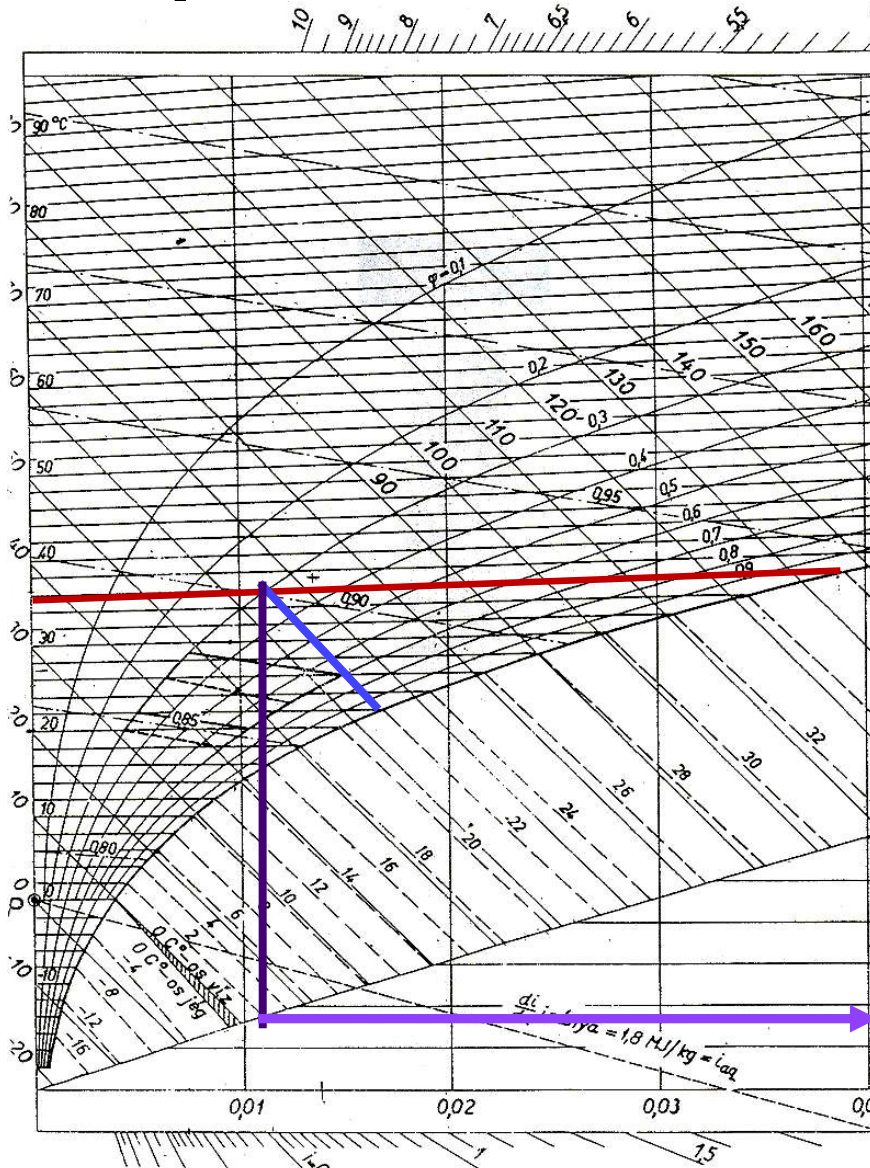
nedves hőmérséklet: 22 °C

valódi légállapot: a piros és a kék
vonal metszéspontjánál

harmatpont: 16 °C

(függőlegesen a telítési görbén)

A pszichrométer leolvasása



száraz hőmérséklet: 36 °C

nedves hőmérséklet: 22 °C

valódi légállapot: a piros és a kék vonal metszéspontjánál

harmatpont: 16 °C

parciális gőznyomás:

függőleges rendezőt húzunk a nomogram segédvonaláig, onnan pedig vízszintesen a feliratmezőig

az ábra nagyítása érdekében ez most nem látszik; a parciális gőznyomás segédvonalai 10 hPa-onként követik egymást, a feliratok 20 hPa-onként, tehát

$p = 18 \text{ hPa} = 1800 \text{ Pa}$