



# A nedves levegő

Méréstechnika

**Budulski László**  
PTE-MIK  
*[budulskil@mik.pte.hu](mailto:budulskil@mik.pte.hu)*



# Levegő alapadatai

---

**A levegő a földet körülvevő gázok keveréke.**

**(ideális gáznak tekintjük)**

**Levegő összetétele:**

- **Száraz rész** ( $O_2$ ,  $N_2$ , egyéb gázok)
- **Víz** (vízgőz, pára, eső, harmat, jég)

# Levegő alapadatai

---

## Fajhő (hőkapacitás):

Megadja, hogy mennyi hőenergiát kell közölni a közeggel, hogy a hőmérséklete egy Kelvinnel emelkedjen.

$$c_{\text{lev.}} = 1,0035 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right] \quad (101\,325 \text{ Pa nyomáson, } 0 \text{ °C-on})$$

## Sűrűség (száraz levegőé):

Egységnyi térfogatú közeg tömege.

$$\rho_{\text{lev.}} = 1,2928 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (101\,325 \text{ Pa nyomáson, } 0 \text{ °C-on})$$

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{T_0}{T} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (\text{adott hőmérsékletre átszámítva})$$

# Levegő sűrűsége

**Moláris tömeg:**

$$M = \frac{m \cdot R \cdot T}{p \cdot V} = \frac{\rho \cdot R \cdot T}{p} \quad \left[ \frac{kg}{mol} \right]$$

**Sűrűség:**

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{M \cdot p}{R \cdot T} \quad \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

**Abszolút hőmérséklet:**

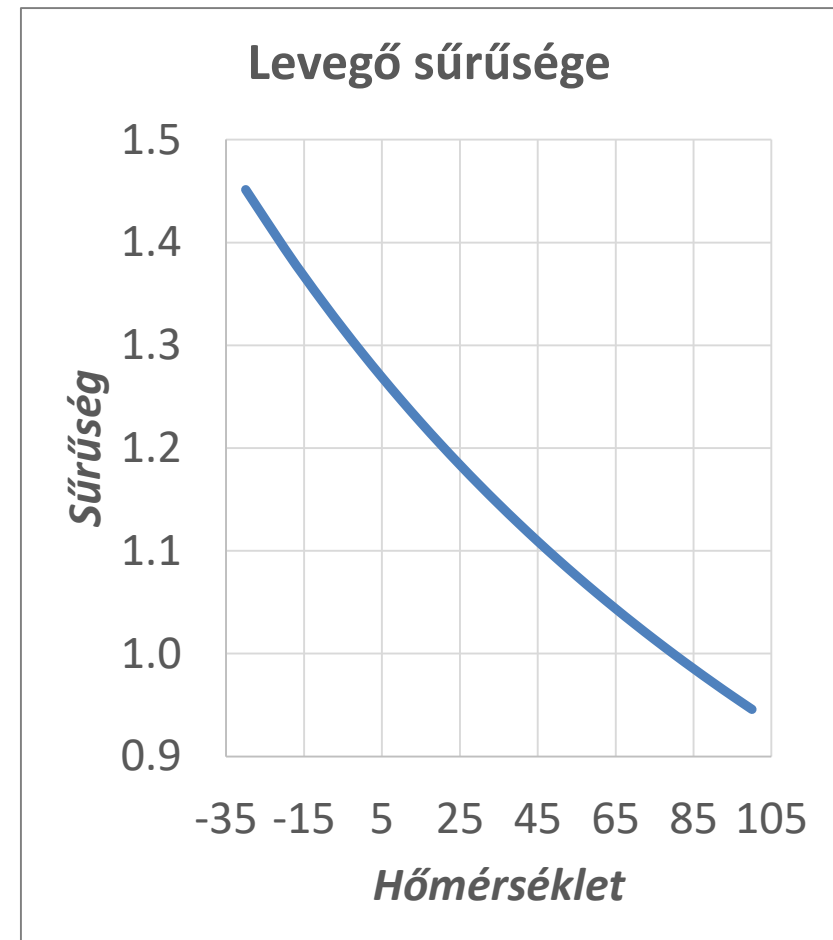
$$T = 273,15 + t \text{ (}^\circ\text{C)} \quad [\text{K}]$$

**Levegő moláris tömege:**

$$M_{\text{lev.}} = 28,9657 \cong 29 \quad [\text{g/mol}]$$

**Légköri nyomás tengerszinten:**

$$p_{\text{légköri}} = 101325 \quad [\text{Pa}]$$





# Levegő sűrűsége

---

## Avogadro-szám:

$$N_A = 6,02214129 \cdot 10^{23} \quad [1/mol]$$

## Boltzmann-állandó:

$$k_B = 1,380648813 \cdot 10^{-23} \quad [J/K]$$

## Egyetemes (univerzális) gázállandó

$$R = N_A \cdot k_B = 8,31446 \quad [J/(mol \cdot K)]$$

M	– moláris tömeg	[kg/mol]
$\rho$	– sűrűség	[kg/m <sup>3</sup> ]
m	– tömeg	[kg]
V	– térfogat	[m <sup>3</sup> ]
p	– nyomás	[Pa]
R	– egyetemes (univerzális) gázállandó	[J/(mol · K)]
T	– hőmérséklet	[K]
$N_A$	– Avogadro-szám	[1/mol]
$k_B$	– Boltzmann-állandó	[J/K]



# Levegő összetevői és moláris tömege

Levegő összetevői:					
Anyag		Térfogat- százalék [%]	Mól tört [ <i>mol/mol</i> ]	Mól tömeg (100%-ban) [ <i>g/mol</i> ]	Mól tömeg [ <i>g/mol</i> ]
Nitrogén	<b>N2</b>	78,0840000	0,7808400	28,0137100	<b>21,8742253</b>
Oxigén	<b>O2</b>	20,9460000	0,2094600	31,9988000	<b>6,7024686</b>
Argon	<b>Ar</b>	0,9340000	0,0093400	39,9481000	<b>0,3731153</b>
Szén-dioxid	<b>CO2</b>	0,0350000	0,0003500	44,0094000	<b>0,0154033</b>
Neon	<b>Ne</b>	0,0018180	0,0000182	20,1797600	<b>0,0003669</b>
Hélium	<b>He</b>	0,0005240	0,0000052	4,0026022	<b>0,0000210</b>
Kripton	<b>Kr</b>	0,0001140	0,0000011	83,7982000	<b>0,0000955</b>
Metán	<b>CH4</b>	0,0001745	0,0000017	16,0425000	<b>0,0000280</b>
Hidrogén	<b>H2</b>	0,0000550	0,0000006	2,0159500	<b>0,0000011</b>
				<b>Levegő moláris tömege:</b>	<b>28,9657250</b>

# Levegő alapadatai

---

## Abszolút nedvességtartalom:

1 kg tömegű levegőben mennyi vízgőz van. Az 1 kg a száraz levegő tömege, ezért a nedves levegő egységnyi tömege 1 kg-nál több.

$$x = r \cdot \frac{p_{\text{parciális}}}{p - p_{\text{parciális}}} \quad \left[ \frac{kg}{kg} \right]$$

Vízgőz keverési aránya:  $r = \frac{M_g}{M_l} = 0,622 [-]$

(Adott térfogatban lévő vízgőz és száraz levegő arányát adja meg.)

## Relatív nedvességtartalom:

A levegőben levő vízgőz parciális nyomása hogyan aránylik a telített levegőhöz képest.

$$\varphi = \frac{p_{\text{parciális}}}{p_{\text{telítési}}} \cdot 100 \quad [\%]$$

# Levegő alapadatai

---

## Parciális gőznyomás (résznyomás):

Az egyes alkotógázok résznyomásának az összegét jelenti.

$$p \quad [Pa]$$

## Entalpia (hőtartalom):

Egy zárt rendszer összes energiatartalmát jelenti.

Az a hő(energia) mennyiség, amellyel azt 0 °C-ról az adott hőmérsékletre tudjuk állandó nyomáson melegíteni.

(A 0 °C-nál alacsonyabb hőmérsékletű levegő entalpiája negatív)

$$h \quad \left[ \frac{J}{kg} \right]$$

**Egységnyi mennyiség, de nem 1 kg tömegre vonatkoztatva, mivel a nedves rész hőtartalma is hozzáadódik!**

**Hőtartalom 1 kg száraz levegőre vonatkoztatva.**



# Teljesítmény és energia

$$\dot{Q} = c \cdot \dot{m} \cdot \Delta t \quad [W] \quad - \text{hőáram (teljesítmény)}$$

$$Q = \dot{Q} \cdot \tau \quad [W \cdot s]; [J] \quad - \text{hőmennyiség (energia)}$$

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho \quad [kg/s] \quad - \text{tömegáram}$$

$$\dot{V} \quad [m^3/s] \quad - \text{térfogatáram} \quad \Leftarrow \quad \dot{V} \quad [m^3/h] / 3600$$

$$\rho \quad [kg/m^3] \quad - \text{sűrűség}$$

$$c \quad [J/kg \cdot K] \quad - \text{fajlagos hőkapacitás (régiben: fajhő)}$$

$$\tau \quad [s] \quad - \text{idő}$$

# Teljesítmény és energia

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta t \quad [W \cdot s]; [J] \quad - \text{hőtartalom (energia)}$$

$$m = V \cdot \rho \quad [kg] \quad - \text{tömeg (itt nem tömegáramról van szó!)}$$

$$V \quad [m^3] \quad - \text{térfogat}$$

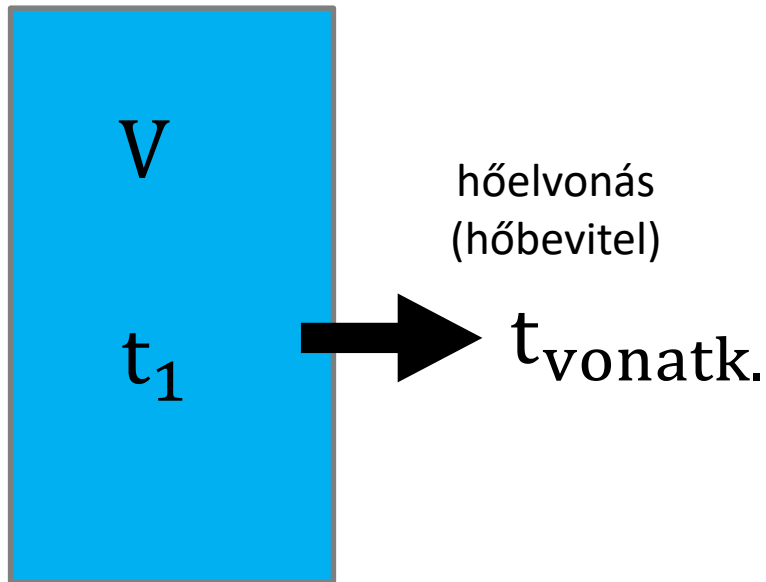
$$\rho \quad [kg/m^3] \quad - \text{sűrűség}$$

$$c \quad [J/kg \cdot K] \quad - \text{fajlagos hőkapacitás (régiben: fajhő)}$$

# Teljesítmény és energia

## Betárolt energia (energia tartalom):

*Az energia viszonylagos érték, mivel valamilyen energiaállapothoz képest viszonyítjuk!*



## Levegő esetén a viszonyítási alap:

**A szárazrésznek az entalpiája akkor nulla ( $h = 0 \text{ [J/kg]}$ ):**

ha a száraz levegő  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  hőmérsékletű (normál állapotú)

**Víz résznek az entalpiája akkor nulla ( $h = 0 \text{ [J/kg]}$ ):**

ha a víz  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  hőmérsékletű, és folyékony halmazállapotú

# Entalpia

Megállapogás:

- **A szárazrésznek az entalpiája akkor nulla ( $h = 0 \text{ [J/kg]}$ ):**  
ha a száraz levegő  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  hőmérsékletű (normál állapotú)
- **Víz résznek az entalpiája akkor nulla ( $h = 0 \text{ [J/kg]}$ ):**  
ha a víz  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  hőmérsékletű, és folyékony halmazállapotú

**Entalpia:**

$$h = \underbrace{c_{\text{lev.}} \cdot t_{\text{lev.}}}_{\text{Száraz rész hőtartalma}} + x \cdot \underbrace{(r_0 + c_{\text{pg}} \cdot t_{\text{lev.}})}_{\text{Nedves rész hőtartalma}}$$

Száraz rész  
hőtartalma

Nedves rész  
hőtartalma

$c_{\text{lev.}}$	– levegő fajhője	$[\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$
$t_{\text{lev.}}$	– levegő hőmérséklete	$[^\circ\text{C}]$
$x$	– absz. nedv. tart.	$[\text{kg}/\text{kg}]$
$r_0$	– víz párolgáshője	$[\text{kJ}/\text{kg}]$
$c_{\text{pg}}$	– vízgőz fajhője	$[\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$

# Entalpia

## Száraz rész hőtartalma:

$$h_{\text{száraz}} = m \cdot c_{\text{lev.}} \cdot (t_{\text{lev.}} - t_0) \quad (m = 1 \text{ egységnyi; } t_0 = 0 \text{ [}^\circ\text{C] megállapodásból)}$$

## Nedves rész hőtartalma:

- **Látens (rejtett) hő:**  $x \cdot r_0$

Anyag halmazállapot változásakor felszabaduló vagy elnyelődő hőenergia.

- szilárdból cseppfolyós = olvadáshő
- cseppfolyósból légnemű = párolgási hő

- **Vízgőz hőtartalma:**  $h_g = x \cdot c_{\text{pg}} \cdot (t_{\text{lev.}} - t_0)$

$c_{\text{lev.}}$	– levegő fajhője	$[kJ/(kg \cdot K)]$
$t_{\text{lev.}}$	– levegő hőmérséklete	$[^\circ\text{C}]$
$x$	– abszolút nedvességtartalom	$[kg/kg]$
$r_0$	– víz párolgáshője	$[kJ/kg]$
$c_{\text{pg}}$	– vízgőz fajhője	$[kJ/(kg \cdot K)]$
$m$	– (egységnyi) tömeg	$[kg]$
$t_0$	– 0 °C hőmérsékletű levegő	$[kg]$

# Entalpia

---

## Párolgáshő:

Egységnyi tömegű anyag állandó hőmérsékleten történő elpárologtatásához szükséges energia.

### Víz párolgási hője:

$$r_0 = 2488 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \quad (0 \text{ °C-on, folyadék-gőz állapotvált.})$$

### Víz olvadáshője:

$$s_0 = 333,7 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \quad (0 \text{ °C-on, szilárd-folyadék állapotvált.})$$

### Vízgőz fajhője:

$$c_{\text{pg}} = 1,86 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right] \quad (0 \text{ °C-on})$$

# Entalpia

Több esetre értelmezzük, mivel tútelített állapotba is kerülhet a levegő, amikor a többlet nedvességet a levegő nem képes már gőz formájában felvenni (vízcseppek, vagy jégkristályok vannak jelen).

**1. eset (alapeset):**  $\varphi < 1$

$$h = c_{lev.} \cdot t_{lev.} + x \cdot (r_0 + c_{pg} \cdot t_{lev.})$$

**2. eset:**  $\varphi > 1$  és  $t > 0$  °C

$$h = c_{lev.} \cdot t_{lev.} + x_{tel} \cdot (r_0 + c_{pg} \cdot t_{lev.}) + (x - x_{tel}) \cdot (c_{v\acute{I}z} \cdot t_{lev.})$$

**3. eset:**  $\varphi > 1$  és  $t < 0$  °C

$$h = c_{lev.} \cdot t_{lev.} + x_{tel} \cdot (r_0 + c_{pg} \cdot t_{lev.}) + (x - x_{tel}) \cdot (c_{j\acute{e}g} \cdot t_{lev.} - s_0)$$

# Nedves levegő

---

## Jellemzők:

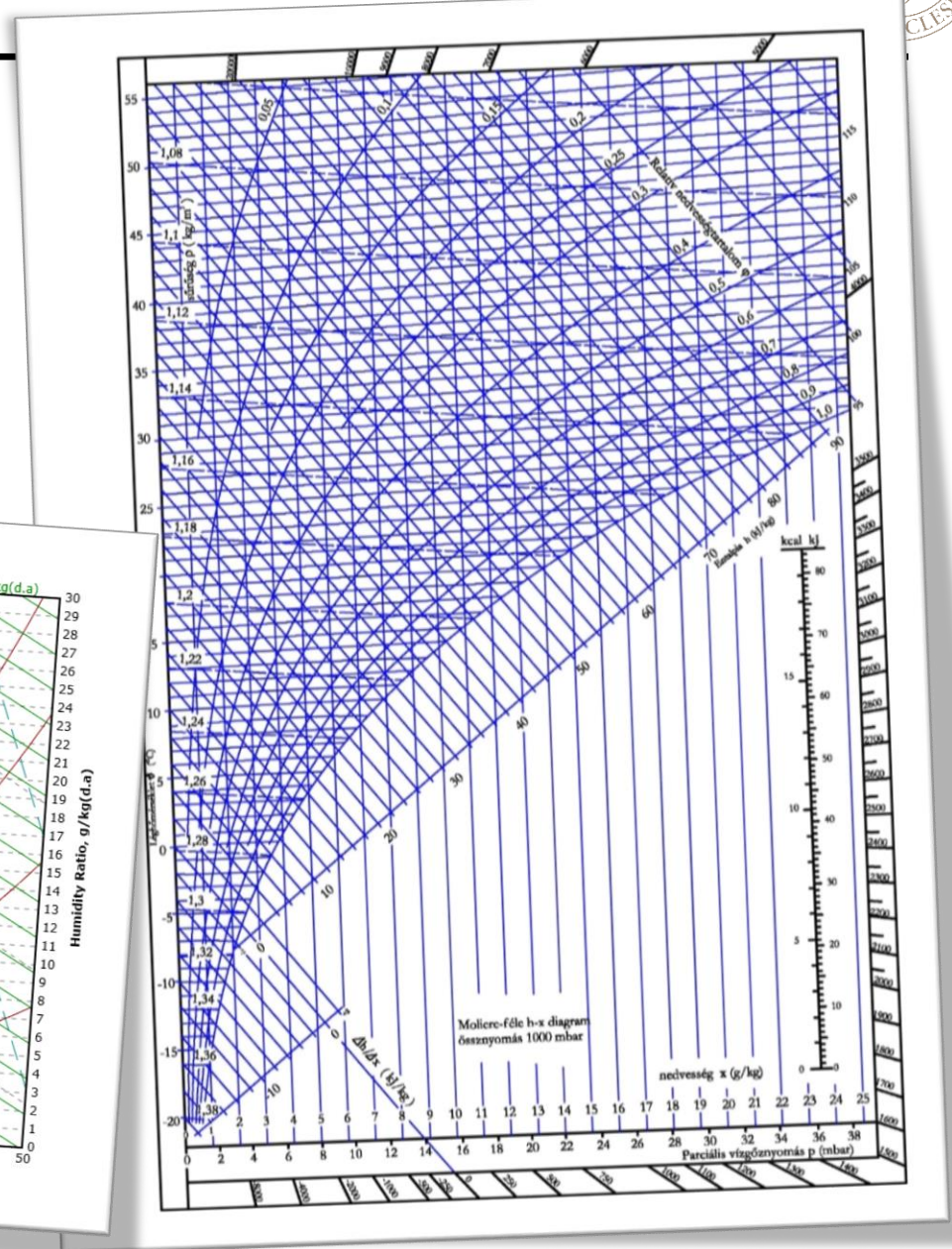
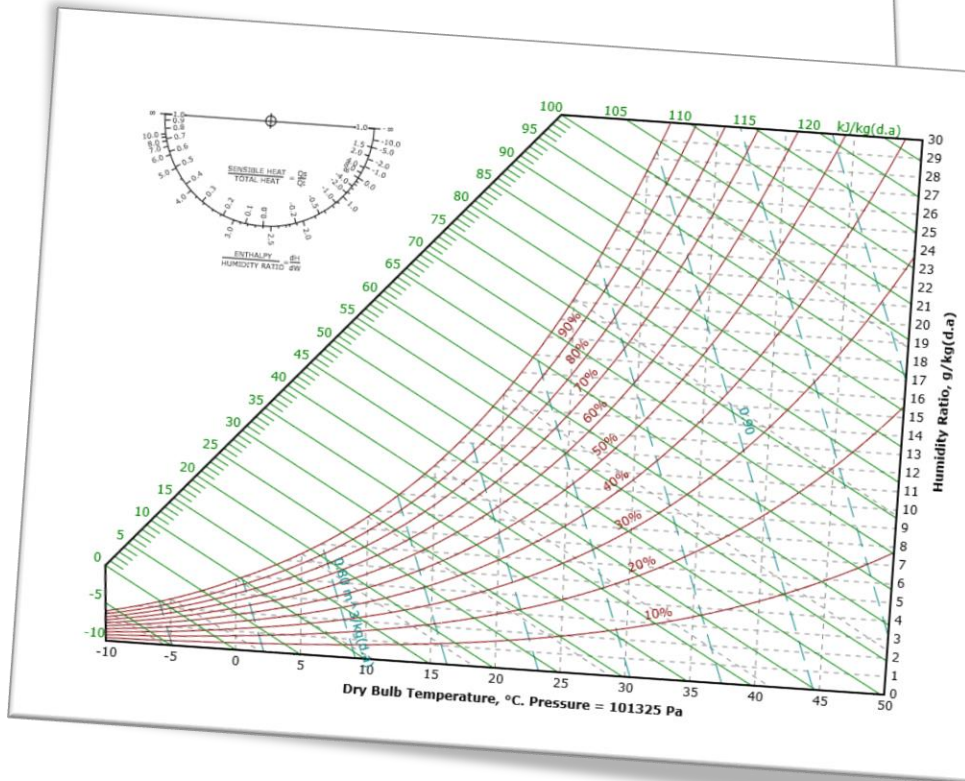
<b>t csoport:</b>	száraz hőmérséklet	$t_{lev.}$	$[^{\circ}C]$
	telítési vízgőznyomás	$p_{tel.}$	$[Pa]$
	telítési nedvességtartalom	$x_{tel.}$	$[kg/kg]$
<b>x csoport:</b>	abszolút nedvességtartalom	$x$	$[kg/kg]$
	parciális vízgőznyomás	$p_g$	$[Pa]$
	harmatponti hőmérséklet	$t_h$	$[^{\circ}C]$
<b>i csoport:</b>	entalpia	$h$	$[kJ/kg]$
	nedves hőmérséklet	$t_n$	$[^{\circ}C]$
<b><math>\varphi</math> csoport:</b>	relatív nedvességtartalom	$\varphi$	$[\%]$



# Nedves levegő

## Mollier h-x diagram:

A nedveslevegő  $h$ ,  $t$ ,  $x$ ,  $\varphi$  jellemzőinek a kapcsolatát ábrázolja.



# 01. Példa

---

**Adatok a légállapotra vonatkozóan:**

$$t_{\text{lev.}} = 24 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$\varphi = 50 \quad [\%]$$

**Kérdés:**

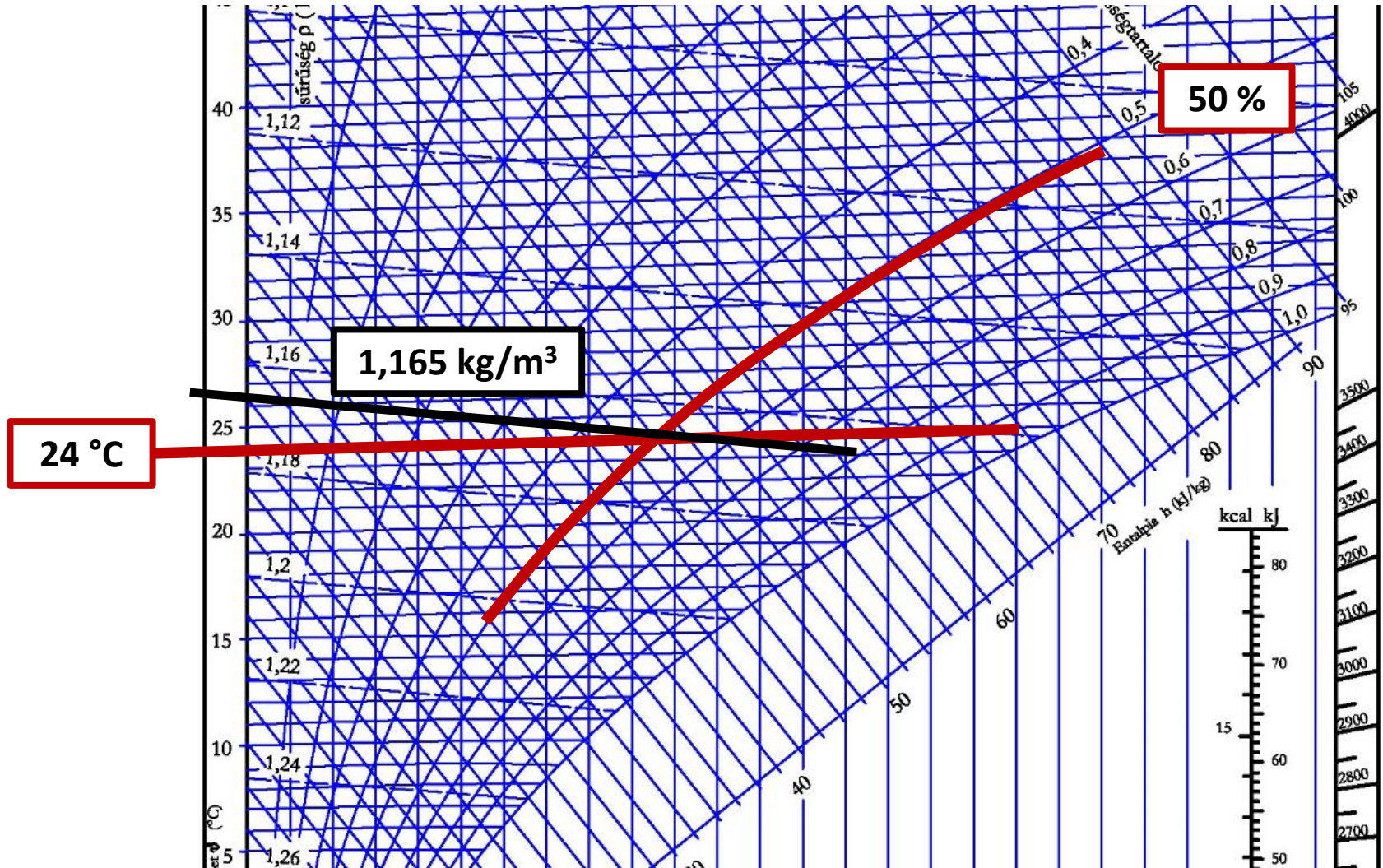
Milyen adatokat tudunk leolvasni a h-x diagramról?

Mennyi ezek értéke az adott légállapotra?



# 01. Példa

Sűrűség:  $\rho = 1.165 \quad [kg/m^3]$

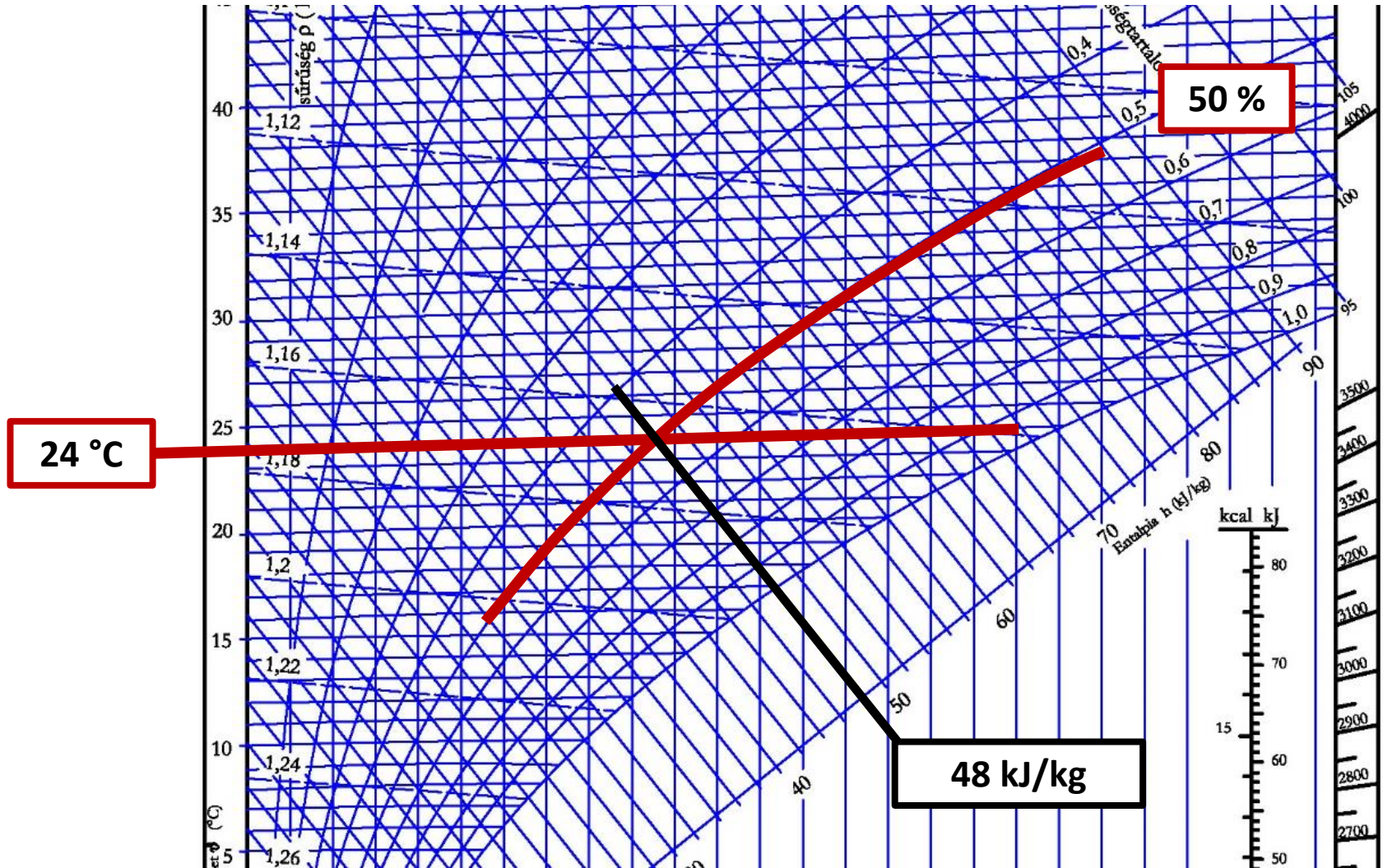




# 01. Példa

Entalpia:

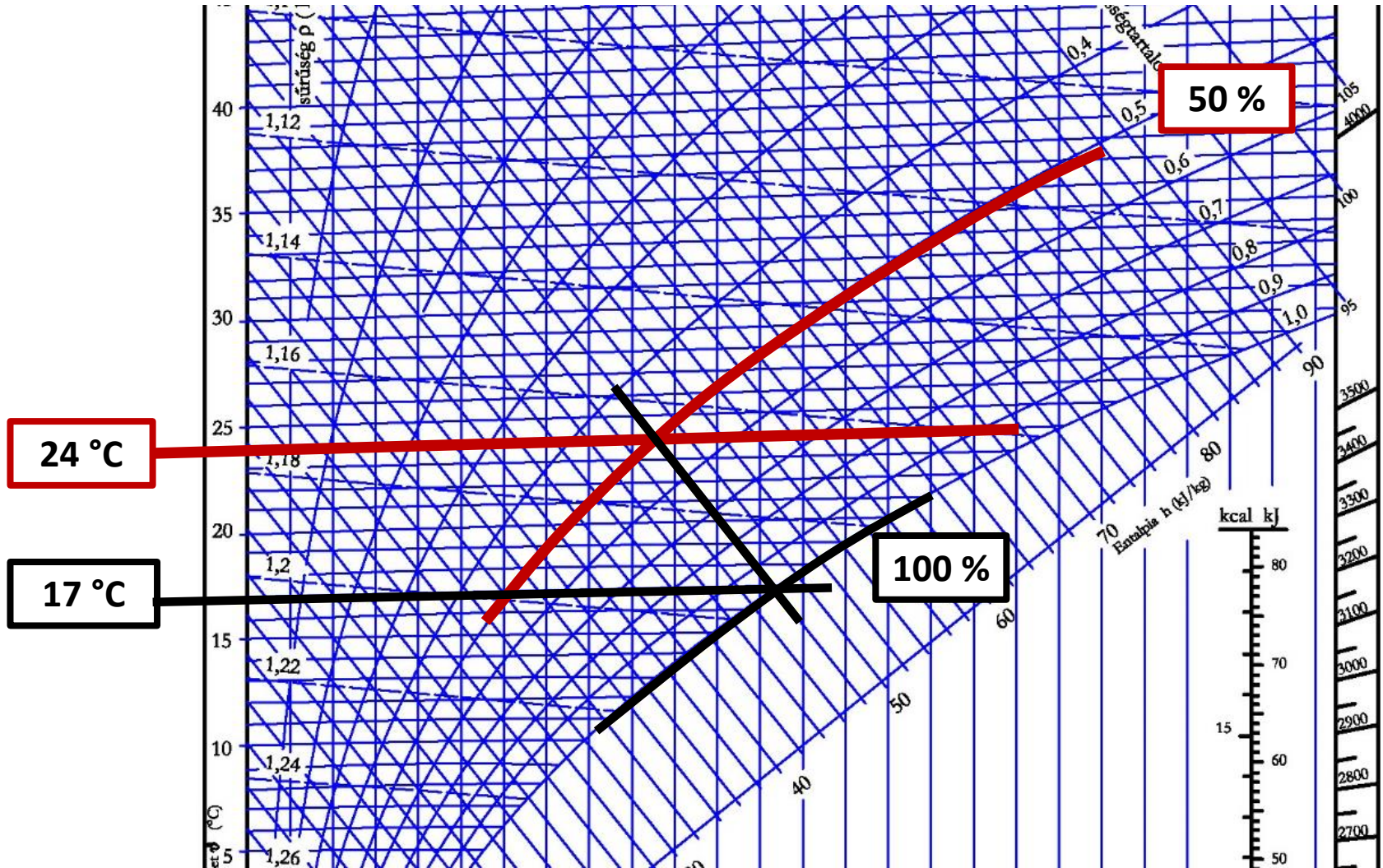
$$h = 48 \quad [kJ/kg]$$





# 01. Példa

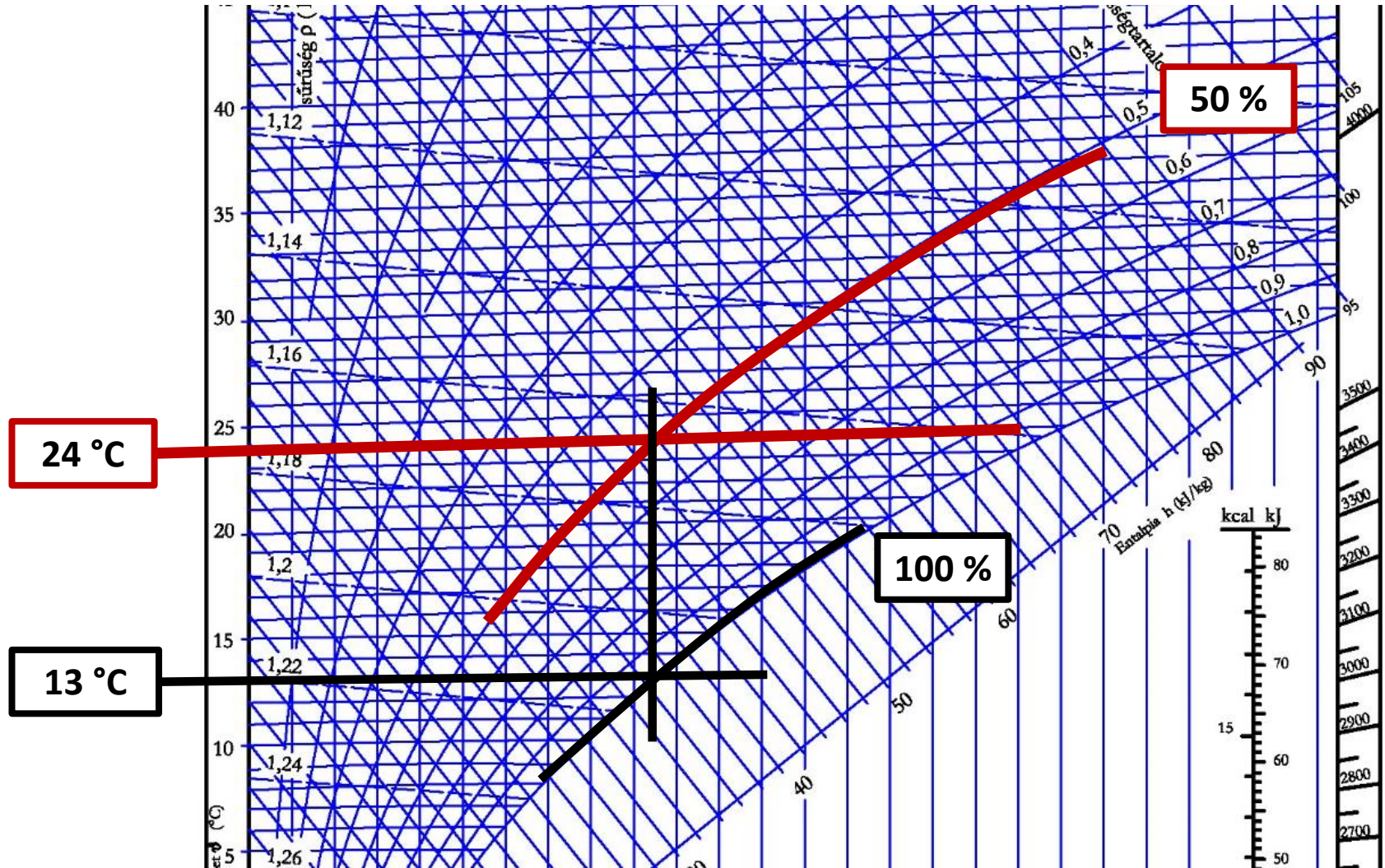
Nedves hőmérséklet:  $t_n = 17$  [°C]





# 01. Példa

Kondenzációs (harmatponti) hőmérséklet:  $t_k = 13$  [°C]

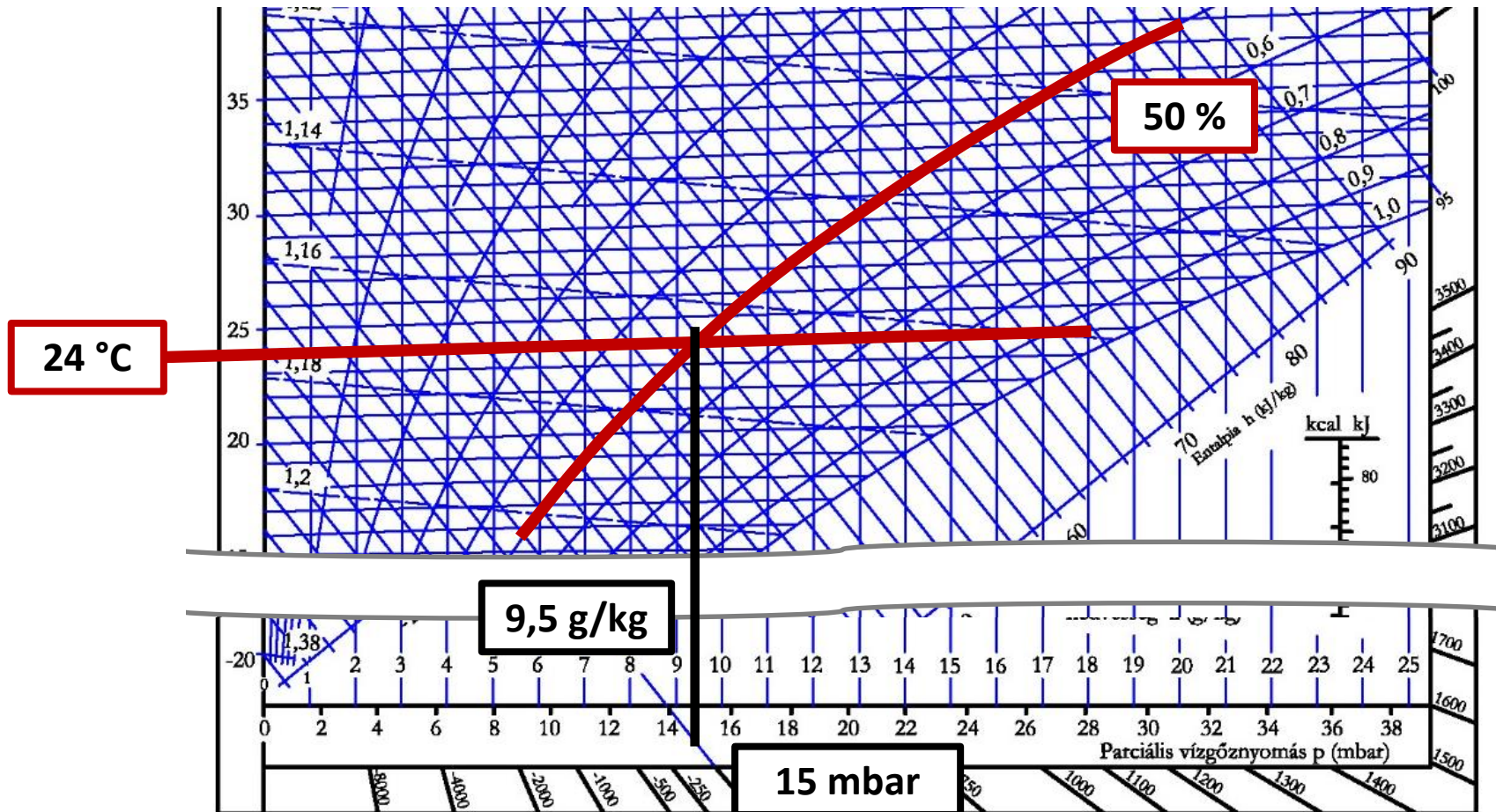




# 01. Példa

Abszolút nedvességtartalom:  $x = 9,5 \text{ [g/kg]}$

Parciális vízgőz nyomás:  $p = 15 \text{ [mbar]} = 1500 \text{ [Pa]}$





A nedves levegő

# MÉRŐESZKÖZÖK



# Higrométerek (nedvességmérő műszerek)

---

## Típusaik:

- Pszichrométerek
- Hajszálás légnedvességmérők
- Kondenzációs légnedvességmérők
- Abszorpciós légnedvességmérők
- Villamos (kontakt) elven működők



# Pszichrométerek

---

## **Termodinamikai módszeren alapulnak:**

A víz párolgása által okozott hűlés (rejtett hő) mértékéből következtethetünk a nedvességre.

A pszichrométer száraz- és nedves hőmérsékletet mér, illetve a különbségük (pszichrométeres hiány) alapján empirikus képletekkel meghatározható valamennyi mérőszám a légállapotra.

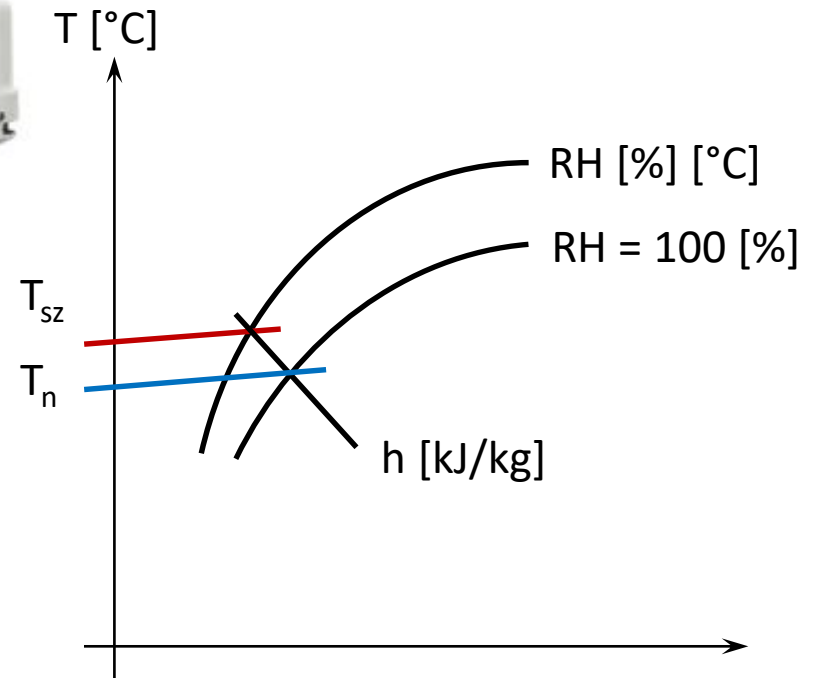
# Assmann-féle pszichrométer

## Nedves- és száraz léghőmérséklet mérése:

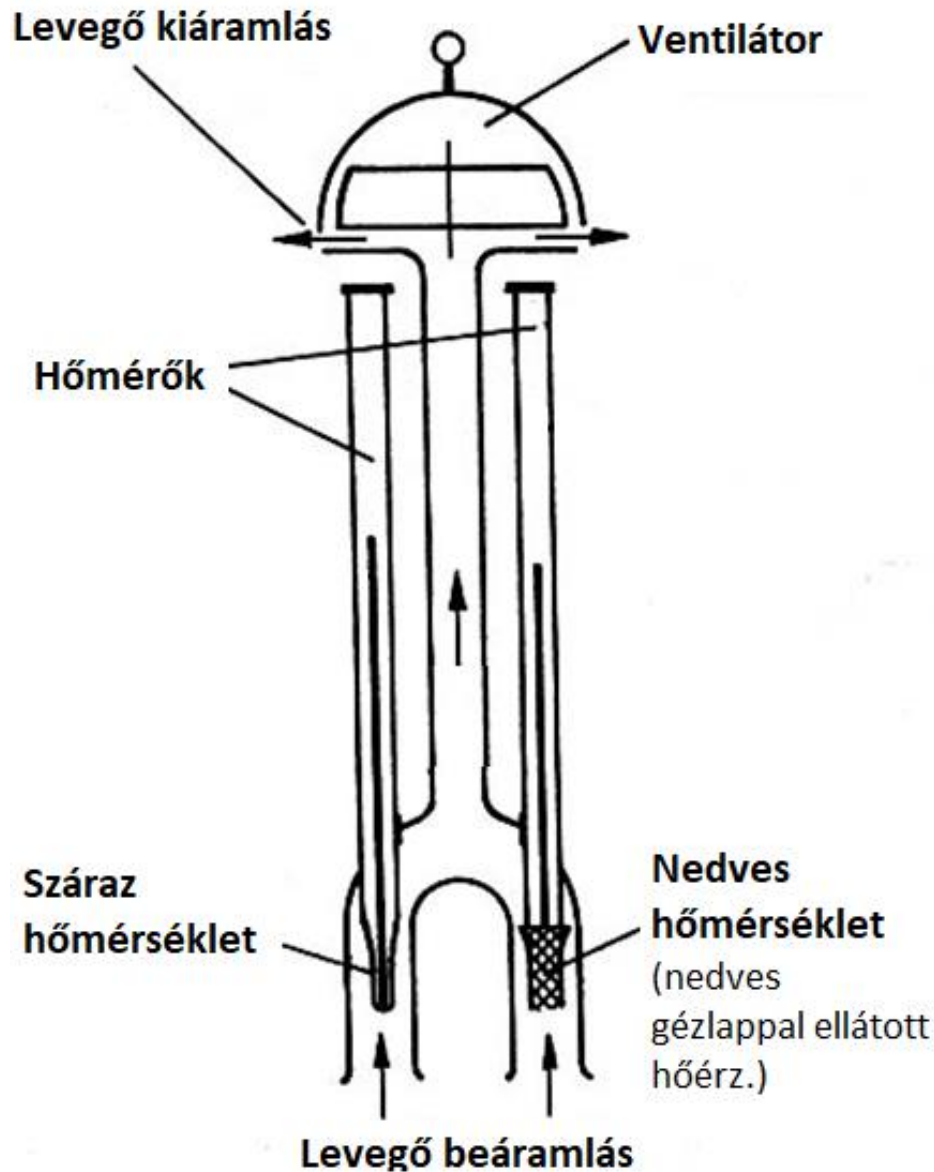
A relatív nedvességtartalom meghatározása a műszerhez tartozó táblázat segítségével vagy számítással vagy h-x diagram használatával meghatározható.

Relatív nedvességtartalom h-x diagram segítségével meghatározható, a száraz- és nedves léghőmérséklet ismeretében.

( $h$  = állandó mentén)



# Assmann-féle aspirációs pszichrométer



# August-féle szívófonalas pszichrométer



# Lengő pszichrométer

---



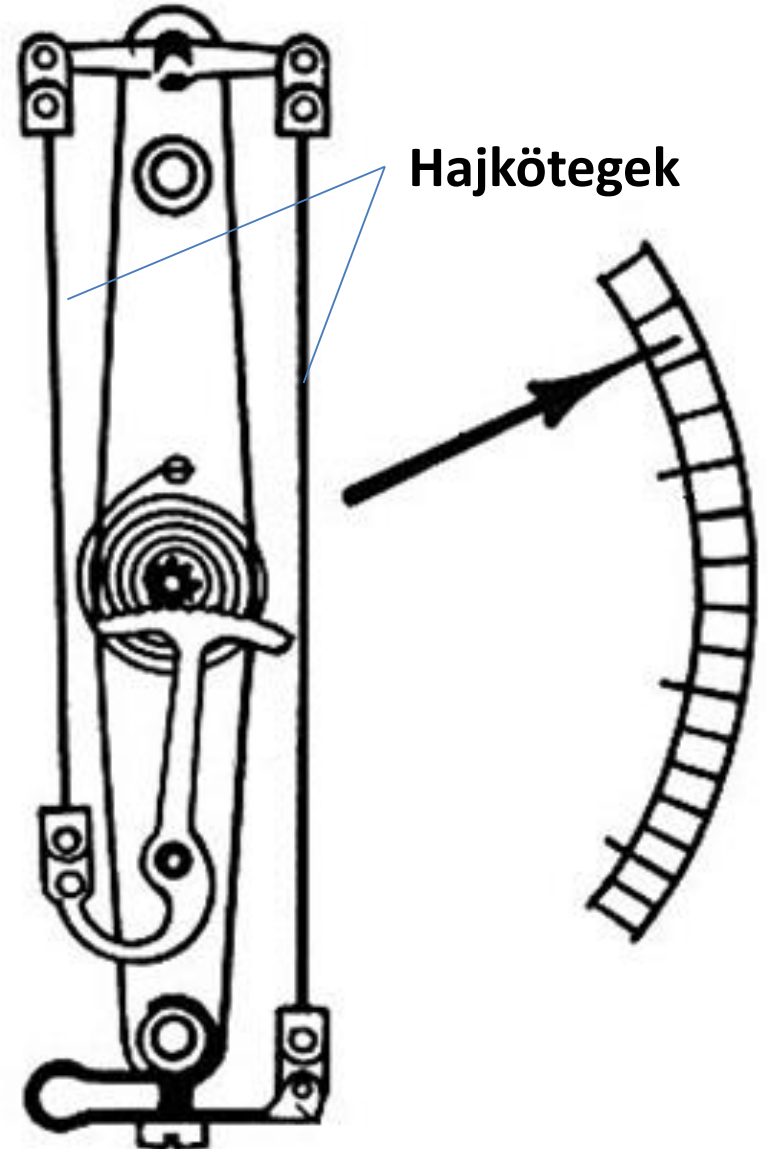
# Hajszálás higrométer

Az emberi haj,  
(különösen a szőke női hajsza)  
a relatív nedvesség változásával  
megváltoztatja a hosszát.

(Saussure 1740-1799)

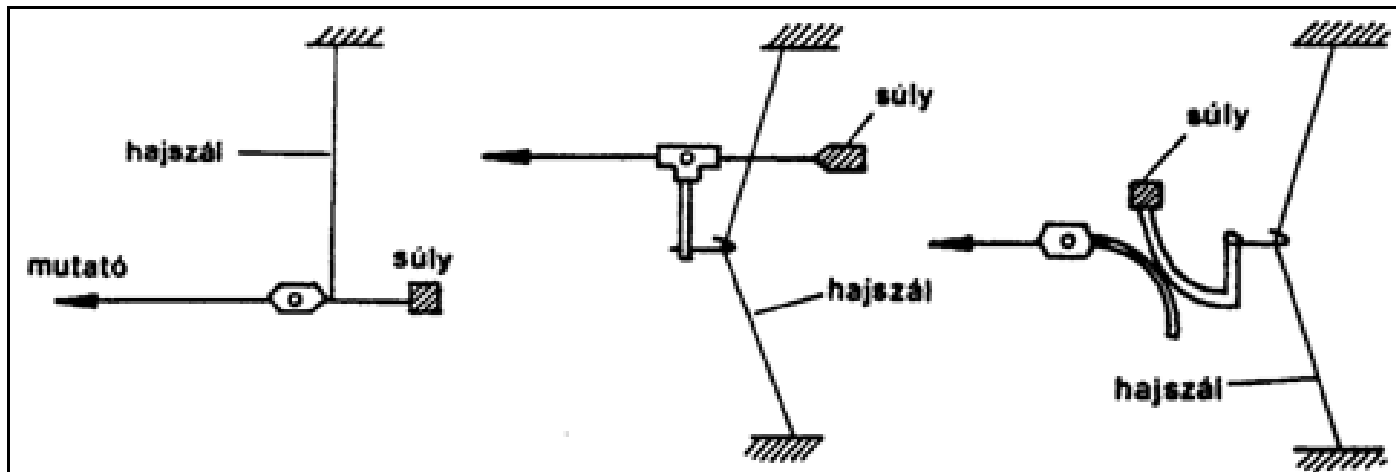
## Hátrányai:

- hőmérsékletváltozás esetén kiterjedésváltozásokat szenved
- a hajszálatat tisztán kell tartani
- idő kell a műszer beállításához





# Hajszálás higrométer





# Kondenzációs légnedvességmérők

---

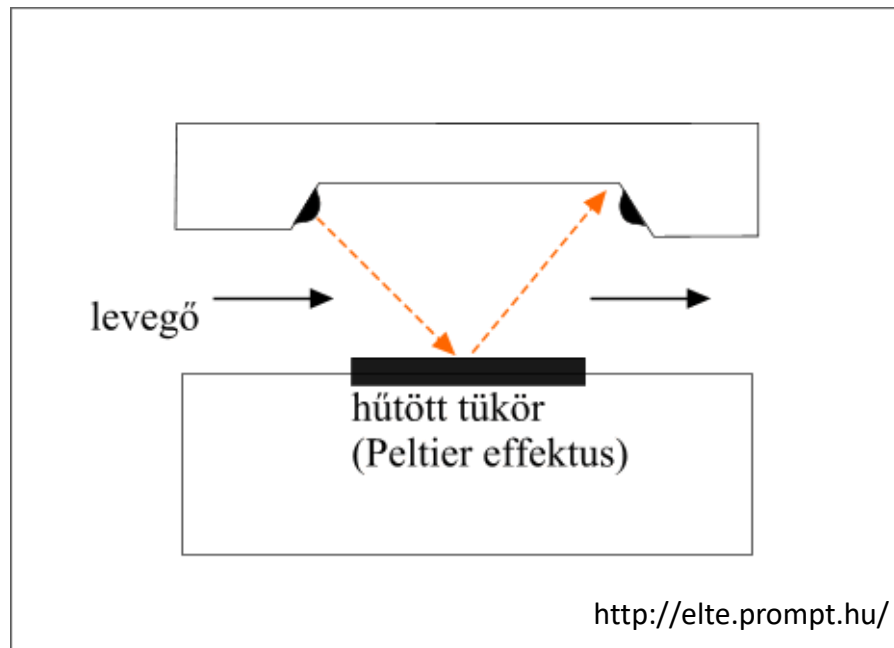
## A kondenzációs módszer alapuló mérés:

A vízgőz kondenzációját használjuk ki. Fotocellás harmatpont higrométerben mesterségesen előidézett telítettség elérése mellett mérjük azt a hőmérsékletet, amikor kondenzálódik a vízgőz az az harmatpont alakul ki.



# Automatikus fotocellás harmatpont higrométer

A nedves levegőt a harmatponti hőmérséklete alá hűtve, a benne levő nedvesség kondenzálódni kezd. A levegőt egy tükröző felület mellett vezetik el. A tükrőfelületét hűtik, amint a felület a harmatponti hőmérsékletnél alacsonyabb, bepárásodik, szórja fényt. A tükrőbe épített termoelem, ekkor a harmatponti hőmérsékletet méri. A hűtés gyakran a Peltier-elemmel történik.



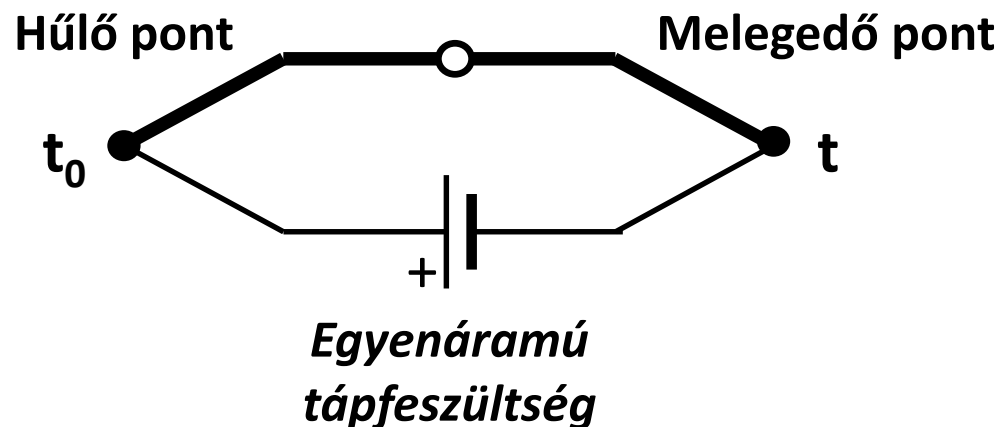
# Peltier-effektus

## PELTIER-EFFEKTUS (hőelektromos hatás)

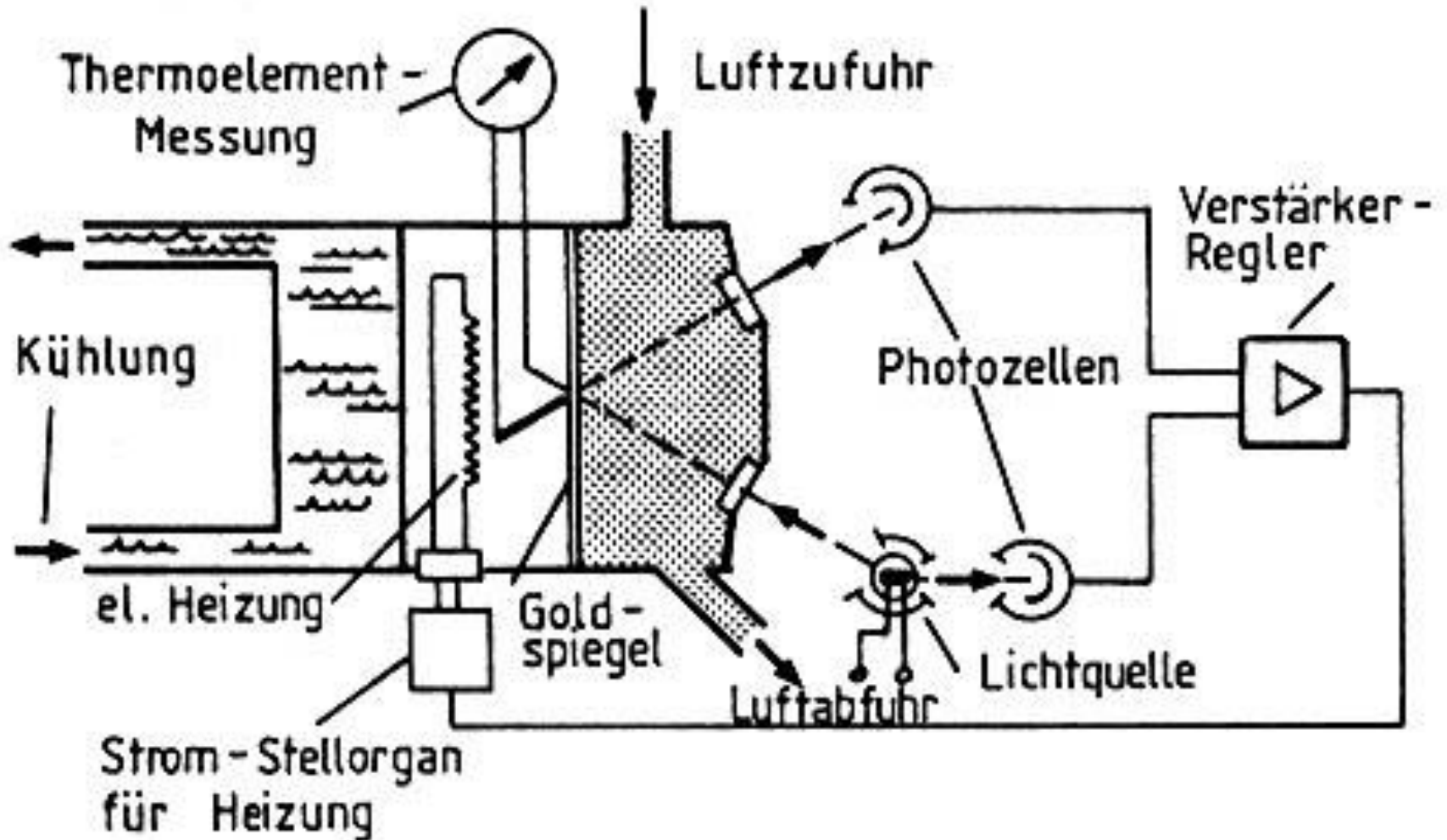
### (JEAN PELTIER – francia fizikus)

Fordítottan alkalmazott Seebeck-effektus.

Két különböző vezetőből álló elemen áramot vezetünk az érintkezési helyek felmelegsznek illetve lehűlnek, attól függően hogy az áram milyen irányba áramlik (polaritás váltás).



# Fotocellás harmatpont higrométer



# Abszorpciós higrométer

---

## Gravimetrikus módszeren vagyis tömegmérésen alapul:

Itt az anyagok higroszkopikusitását, vagyis azt tulajdonságát használják ki, hogy a nedvességet felveszik (abszorbeálják).

A nedves levegőt a higroszkópos tulajdonságú anyag mellett elvezetve, az nedvességet vesz fel, ennek következtében megnő a tömege.

A tömeg növekedésből számítható a relatív nedvességtartalom:

$$\textit{Relatív nedvesség} = \textit{Tömeg növekedés} / \textit{Levegő térfogat}$$

Abszorpciós anyagként kénsavat vagy klórkalcium sót használnak, amelyek jó nedvességfelvevő képességgel rendelkeznek.

# Abszorpciós higrométer

---

## Szárítós mérés, evaporiméter

Abszorpciós mérések fordítottja, amikor elpárologtatják a benne levő nedvességtartalmat.

A nedves anyagot szárítva, annak tömege a kipárolgott nedvesség tömegével csökken.

Elsősorban szilárd anyagok nedvességtartalmának mérésére használják. Pl.: gabona

# Digitális páratartalom mérők

## Hőmérséklet és relatív páratartalom mérés:

KIMO Kistock KH-250 AO mérés adatgyűjtő, külső érzékelőivel együtt

<b>KIMO Kistock KH-250 AO mérés adatgyűjtő és külső érzékelőknek specifikációja</b>			
<b>Belső érzékelők (műszer)</b>		<b>Külső csatlakozási lehetőség</b>	
páratartalom	5...95 % HR	CNT hőérzékelők	-40...+120 °C
hőmérséklet	-20...+70 °C	Távadók jeleinek fogadása	0...20 mA;
fényerősség	0...10000 lux		4...20 mA;
<b>Egéb tulajdonságok (műszer):</b>			
2 soros LCD kijelzővel rendelkezik (tetszőlegesen állítható)			
2 darab külső érzékelő csatlakoztatási lehetőség (Jack csatlakozóval)			
IP65 védetség (hűtőházi és ipari mérésekre is alkalmas)			
20 000 mérési pont gyűjtési belső memória			
2 konfigurálható riasztási érték			
USB porton keresztüli kommunikáció a PC-vel			
Mágneses rögzítési lehetőség			

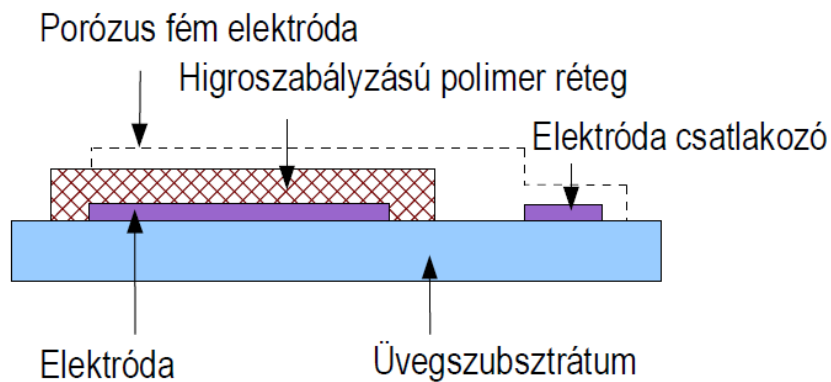


# Kapacitív elem, relatív páratartalom mérés

## Kapacitív elem:

A kapacitív polimer vagy kerámia réteg reagál a páratartalomra amely két fémréteg között található (kondenzátorként működik).

Erősen higroszkopikus tulajdonságú anyagot használva egy gyorsan reagáló érzékelőt kapunk, amelynek erősen változik a kapacitása a relatív páratartalom függvényében.



<http://www.kimo.hu/>

$$C(RH) = \frac{\epsilon_{RH} * \epsilon_0 * A}{d}$$

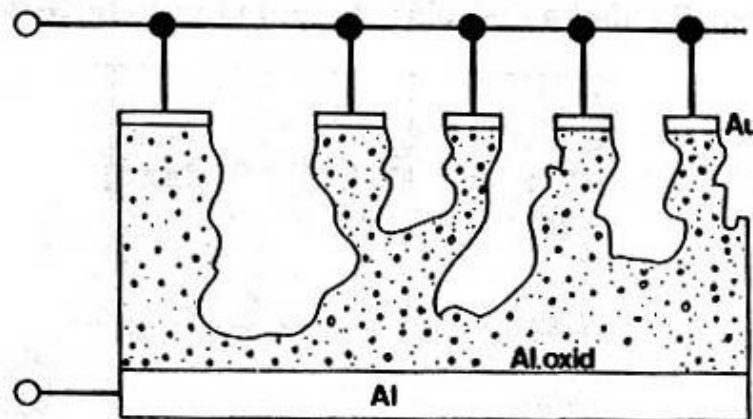
C	Relatív páratartalomérzékelő kapacitás
$\epsilon_{RH}$	Relatív dielektromos permittivitás, páratartalom függő
$\epsilon_0$	Érvénytelen permittivitás
A	Elektróda terület
d	Elektródák távolsága
RH	Relatív páratartalom



# Impedancia elvű relatív páratartalom mérés

## Impedancia (ellenállás változáson alapuló) elem:

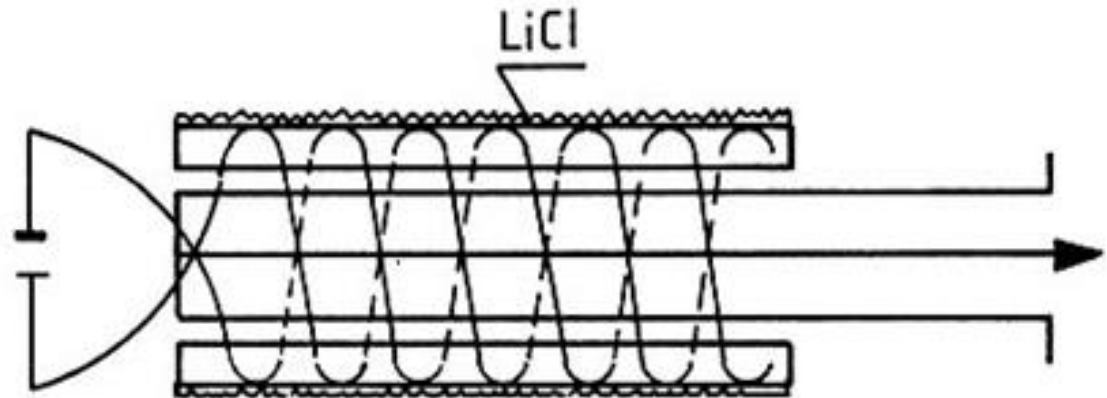
Egy alumínium lemezke ( $A = 4,3 \text{ mm}^2$ ) egyik oldalán speciális alumíniumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) film van felhordva, amelyre aranyfilmet gőzölögtetnek fel. Az aranyfilm a vízmolekulák számára átjárható. Az alumíniumoxidba ágyazódó víz mennyisége a levegő nedvességtartalmától függ. A víz megváltoztatja az érzékelő elektromos vezetőképességét, tehát ennek mérésével következtetni lehet a nedvességtartalomra.



# Direkt páratartalom mérés

## Direkt mérés elve:

Legismertebb érzékelő a LiCl (litium-klorid) érzékelő, az erősen higroszkopikus anyag a levegőből nedvességet vesz fel. Egy ellenállás-hőmérőre vékony LiCl (*litium-klorid*) réteget hordanak fel. A réteget nagyobb áramerősséggel táplálva az melegszik. Ahogy a LiCl réteg melegszik, úgy nő az ellenállása, csökken a fűtőteljesítmény. A levegő nedvességtartalmától függően adott hőmérsékleten alakul ki az egyensúly. Így a kialakuló hőmérséklet és relatív nedvességtartalom közt kapcsolat teremthető



# Sivatag a tenger mellett (Peru)



Fotó: Baumann Mihály



# Sivatag a tenger mellett (Peru)



Fotó: Baumann Mihály



# Sivatag a tenger mellett (Peru)



Fotó: Baumann Mihály



# Nazca-vonalak (Peru)



Fotó: Baumann Mihály



# Sivatagi minta (Peru)

---



Fotó: Baumann Mihály

# Satagi minta 2 (Peru)



Fotó: Baumann Mihály



# Összefoglalás



## Amit tudni illik!

**Levegő fajhője:**

$$c_{\text{lev.}} = 1,0035 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right] \quad (101\,325 \text{ Pa nyomáson, } 0 \text{ °C-on})$$

**Levegő sűrűsége:**

$$\rho_{\text{lev.}} = 1,2928 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (101\,325 \text{ Pa nyomáson, } 0 \text{ °C-on})$$

**Víz párolgási hője:**

$$r_0 = 2488 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \quad (0 \text{ °C-on, folyadék-gőz állapotvált.})$$

**Víz olvadáshője:**

$$s_0 = 333,7 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \quad (0 \text{ °C-on, szilárd-folyadék állapotvált.})$$

**Vízgőz fajhője:**

$$c_{\text{pg}} = 1,86 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right] \quad (0 \text{ °C-on})$$