

# 11. CHEMICKÉ SENZORY

## 11.1. Měření vlhkosti vzduchu

### Úkol měření

Změřte relativní vlhkost vzduchu v laboratoři psychrometrem a přístrojem s kapacitní polymerní sondou Humistar. Z tabulek a výpočtem určete rosný bod, absolutní vlhkost a parciální tlak vodní páry. Kolik gramů vodní páry může maximálně pohltit vzduch při naměřené teplotě?

Ověřte přesnost kapacitní sondy měřením nad nasycenými roztoky solí.

#### Otázky:

Kolik gramů vody bychom museli v laboratoři odpařit, abychom zvýšili relativní vlhkost na komfortních 70 %? Jak by se změnila relativní a absolutní vlhkost, kdybychom zvýšili nebo snížili teplotu o 2 °C?

### Postup měření

#### 1. Měření psychrometrem

Navlhčenou punčošku mokrého teploměru nechte asi 5 minut ustálit. Natáhněte pero ventilátoru (nejvýše 4 otáčky), po vyvětrání odečtěte teploty a pomocí tabulek (tab. 11.3) zjistěte relativní vlhkost. Vypočítejte absolutní vlhkost a rosný bod.

#### 2. Relativní vlhkost a teplotu vzduchu v laboratoři změňte rovněž přístrojem Humistar

Přesnost přístroje ověřte měřením vlhkosti vzduchu nad nasycenými vodními roztoky solí. Po ustálení (trvá cca 20 minut) by podle Roultova zákona mělo být při 20 °C dosaženo následujících hodnot relativní vlhkosti:

LiCl	11,1 %
MgCl <sub>2</sub>	33,1 %
NaCl	75,6 %

Vzorek LiCl, u kterého ustálení trvá nejdéle, měřte jako poslední.

Ustálené hodnoty parciálního tlaku vodní páry a absolutní vlhkosti nasyceného vlhkého vzduchu pro teploty v rozsahu -80 až +60 °C jsou v tab. 11.2.

#### *Poznámka:*

Kombinovaný vlhkoměr/teploměr Humistar HTM 998 pracuje s polymerním kapacitním senzorem vlhkosti.

Základní kapacita senzoru je 350 pF, citlivost 1,5 pF/% RH, teplotní závislost menší než 0,02 % RH/K.

Teplota se měří čidlem Ni 1000.

Seznamte se s příloženým návodem.

## Teoretický úvod

Měřiče vlhkosti se používají k měření vlhkosti vzduchu a neagresivních plynů v nejrůznějších oborech.

### Základní vztahy a definice

Vlhký plyn obsahuje suchý plyn a vodní páru.

#### Absolutní vlhkost plynu (absolute humidity)

$\Phi'$  [kg/m<sup>3</sup>] - hmotnost vodní páry obsažené v objemové jednotce plynu

Absolutní vlhkost daného objemu plynu se nemění se změnou teploty. Při stlačení daného plynu se zmenší jeho objem, čímž se změní absolutní vlhkost.

#### Absolutní vlhkost nasyceného plynu

$\Phi''$  [kg/m<sup>3</sup>] - maximální množství vodní páry, které vlhký plyn může obsahovat; plyn se v tomto stavu nazývá **sytý** a teplota, při níž je plyn vodní parou nasycen, je tzv. **rosný bod (DP, Dew point)**

#### Relativní vlhkost plynu (RH, relative humidity)

$\varphi$  [%] - je dána poměrem absolutní vlhkosti plynu  $\Phi'$  k vlhkosti maximální  $\Phi''$ , jaká by za daného tlaku a teploty směsi vznikla při stavu nasycení:

$$\varphi = \frac{\Phi'}{\Phi''} \cdot 100 \quad [\% ; \text{kg/m}^3, \text{kg/m}^3] \quad (11.1)$$

Relativní vlhkost daného plynu se mění, změníme-li jeho teplotu (při ohřátí vzduchu o 20 °C se jeho kapacita absorbovat vodní páru zvýší velmi přibližně na dvojnásobek, tj. relativní vlhkost klesne zhruba na polovinu). I přes tuto nevýhodu se tato jednotka nejvíce používá, protože je to dobrý indikátor pohody prostředí (podobně jako teplota).

Vlhký vzduch (kromě oblasti blízké nasycení) se s dostatečnou přesností chová jako ideální plyn, pro jehož obě složky (tj. suchý vzduch a vodní páru) platí vztah

$$pV = nRT$$

kde  $R$  je univerzální plynová konstanta,  $R = 8,314 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$ ;

$n$  je počet molů,  $n = m/m_m$ , kde  $m_m$  je molární hmotnost.

Po úpravě pro parciální tlak každého plynu platí

$$p = \frac{m}{m_m \cdot V} \cdot RT = \frac{\Phi'}{m_m} RT$$

Tab. 1.1 Molární hmotnosti plynů

molekula	molární hmotnost
H	1,008 g
O	15,999 g
H <sub>2</sub> O	18,015 g
suchý vzduch	28,965 g (průměrná hodnota)

Celkový absolutní tlak směsi je podle Daltonova zákona

$$p = p_v + p_p, \quad (11.2)$$

kde  $p_v$  je parciální tlak suchého vzduchu,  
 $p_p$  je parciální tlak vodní páry.

Z těchto vztahů je patrné, že relativní vlhkost lze též vyjádřit poměrem parciálního tlaku vodní páry  $p'$  a parciálního tlaku syté vodní páry  $p''$  a že platí:

$$\varphi = \frac{p'}{p''} \cdot 100 \quad (11.3)$$

Rosný bod a absolutní vlhkost se nemění s teplotou. Za běžných atmosférických podmínek se s teplotou výrazně nemění ani parciální tlak vodní páry. Všechny tyto veličiny se ovšem mění s tlakem – např. při stlačování technických plynů dochází ke zvyšování rosného bodu a může tak dojít ke kondenzaci vody.

Závislost parciálního tlaku syté vodní páry na teplotě je daná stavovým diagramem (obr. 11.1), hodnoty lze nalézt v tabulce 11.2.

S pomocí této tabulky můžeme převádět jednotlivé veličiny: známe-li např. parciální tlak vodní páry a teplotu, určíme relativní vlhkost a rosný bod (viz dále).

Absolutní vlhkost pak určíme ze stavové rovnice:

$$\Phi' = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{V} = \frac{n m_m}{V} = \frac{p'}{RT} m_m$$

Pro zjednodušení jsou v tab. 11.2 vypočtené hodnoty absolutních vlhkostí také uvedeny.

*Příklady použití tabulky:*

- 1 m<sup>3</sup> vzduchu může při teplotě 25 °C absorbovat 23 g vody, při teplotě 45 °C přibližně 65 g vody, při teplotě 5 °C jen 7 g vody.
- Při relativní vlhkosti 50 % a teplotě 25 °C je parciální tlak vodní páry asi 0,5 · 3170 Pa, tedy  $p' \doteq 1600$  Pa. Rosný bod je teplota, při které je tato vlhkost maximální (nasyčená), tedy asi 14 °C. Absolutní vlhkost je přibližně 12,1 g/m<sup>3</sup>:

$$\Phi' = \Phi'' = \frac{p'}{RT} m_m = \frac{1600}{8,3 \cdot 286} \cdot 18 = 12,1$$

- Stlačíme-li izotermicky plyn na desetinu objemu, bude jeho tlak desetkrát vyšší. Pokud byla původní relativní vlhkost menší než 10 %, dojde k jejímu desetinásobnému zvýšení. Pokud byla původní relativní vlhkost rovná nebo vyšší než 10 %, bude po stlačení výsledná vlhkost 100 % a část vodní páry zkondenzuje.
- Při stlačení plynu dojde i k úměrnému zvýšení parciálního tlaku vodní páry v něm obsažené.

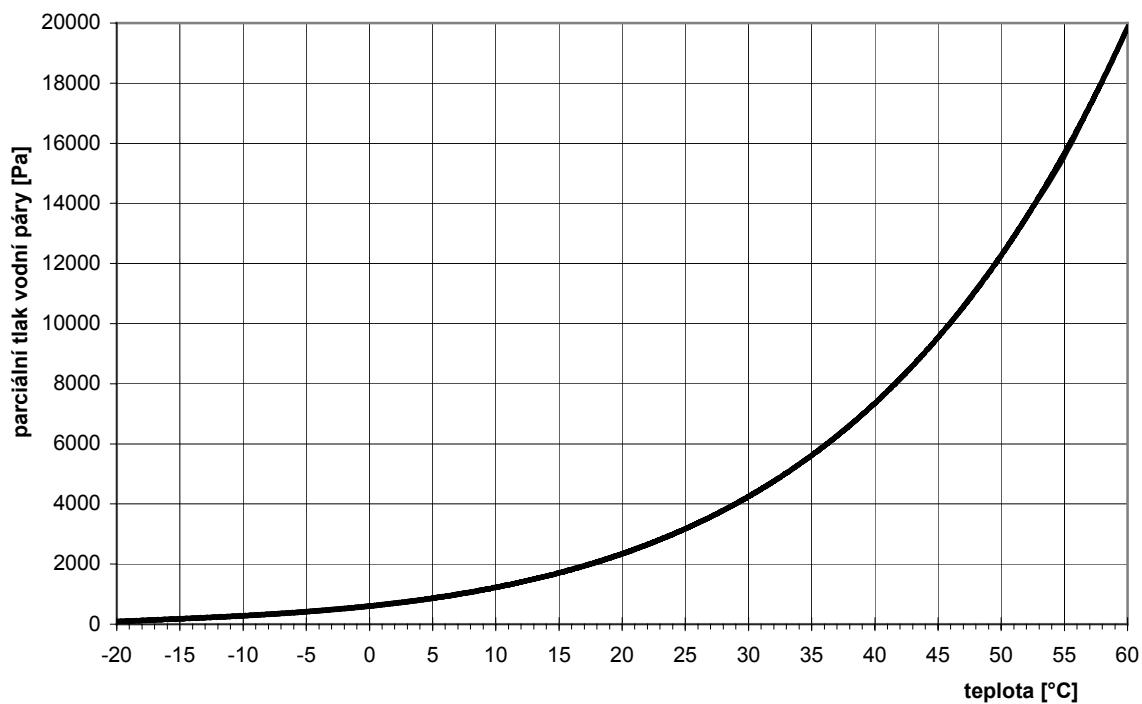
Vztah mezi relativní vlhkostí, teplotou a rosným bodem je pro normální tlak uveden v praktickém nomogramu na obr. 11.2.

Absolutní vlhkost kapalin (např. benzínu) se nejčastěji vyjadřuje hmotnostní koncentrací, např. jednotkou  $ppm_w$ :

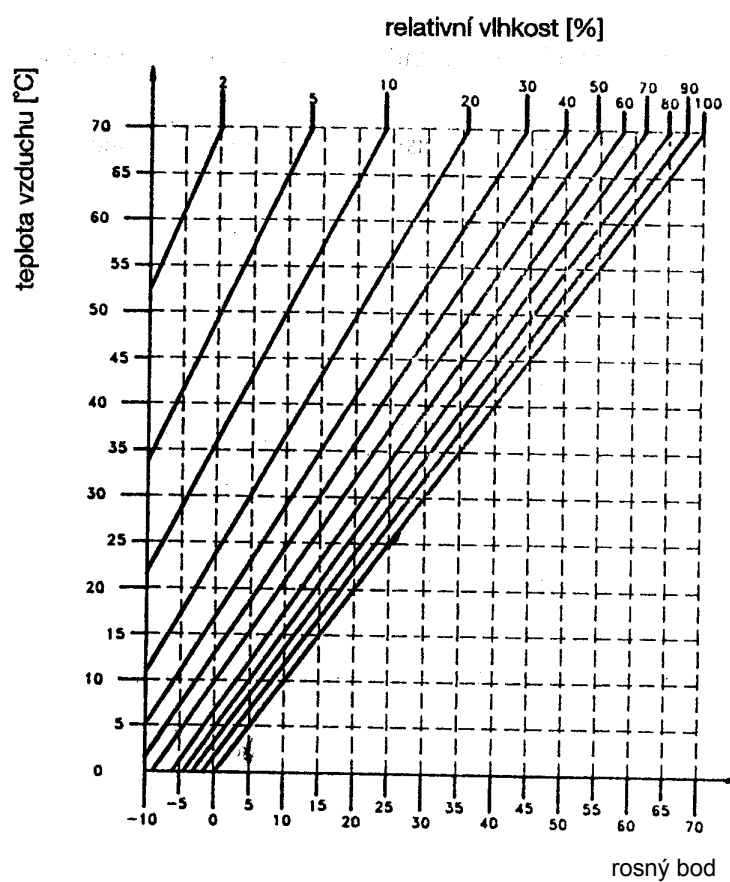
$$ppm_w = \frac{m_p}{m_v} \cdot 10^6$$

Tab. 11.2 Parciální tlak vodní páry a absolutní vlhkost nasyceného vlhkého vzduchu

$t$ [°C]	$p'$ [Pa]	$\Phi'$ [g/m <sup>3</sup> ]	$t$ [°C]	$p'$ [Pa]	$\Phi'$ [g/m <sup>3</sup> ]
-80	0.05	0.00056	15	1710	12.88
-70	0.25	0.00267	16	1810	13.59
-65	0.5	0.0052	17	1940	14.51
-50	3	0.0292	18	2060	15.36
-40	13	0.121	19	2200	16.34
-35	25	0.228	20	2330	17.25
-20	100	0.857	21	2490	18.37
-10	235	1.94	22	2650	19.49
0	610	4.85	23	2810	20.59
1	660	5.23	24	2980	21.77
2	710	5.60	25	3170	23.08
3	760	5.97	26	3360	24.38
4	810	6.34	27	3570	25.82
5	870	6.79	28	3780	27.24
6	930	7.23	29	4000	28.73
7	1000	7.75	30	4250	30.43
8	1070	8.26	35	5620	39.58
9	1150	8.85	40	7380	51.15
10	1230	9.43	45	9580	65.36
11	1310	10.01	50	12340	82.88
12	1400	10.66	55	15500	102.5
13	1500	11.38	60	19920	129.8
14	1600	12.09			



Obr. 11.1 Stavový diagram syté vodní páry



Obr. 11.2 Převodní nomogram jednotek vlhkosti

## Metody měření

### 1. Metoda psychrometrická

Základem psychrometru jsou dva teploměry - suchý a mokrý. Suchý teploměr měří teplotu vzduchu, mokrý teploměr měří teplotu  $t_m$ , protože je stále zvlhčován vodou vztlínající tkaninou, kterou je nádobka obalena. Vzduch proudí kolem mokrého teploměru, ochlazuje se a tím odvádí výparné teplo. Spotřebovanému teplu pak odpovídá snížená teplota mokrého teploměru  $t_m$ . Rozdíl  $t - t_m$  se nazývá **psychrometrický rozdíl**.

Pro psychrometrický rozdíl teplot platí vztah

$$t - t_m = \frac{p_m'' - p'}{A p}$$
$$p' = p_m'' - A p (t - t_m) \quad (11.4)$$

kde  $A$  [ $K^{-1}$ ] je psychrometrická konstanta. Tato konstanta je závislá na rychlosti proudící tekutiny, pokud je tato rychlost menší než 2 m/s. Při rychlostech větších než 2 m/s je tato konstanta pro vzduch rovna číslu

$$A = 6,56 \cdot 10^{-4} K^{-1}$$

Dále

$p_m''$  [Pa] je maximální parciální tlak syté vodní páry při teplotě mokrého teploměru  $t_m$ ,

$p''$  [Pa] je maximální parciální tlak syté vodní páry při teplotě suchého teploměru  $t$ ,

$p$  [Pa] je barometrický tlak (tlak směsi).

Přepočítání jednotek:  $1 \text{ torr} = 133,32 \text{ N m}^{-2}$   
 $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N m}^{-2}$   
 $1 \text{ kp/m}^2 = 9,8066 \text{ N m}^{-2}$   
 $1 \text{ kp/cm}^2 = 1 \text{ at} = 9,8066 \cdot 10^4 \text{ N m}^{-2} = 735,56 \text{ torr}$

Dosadíme-li z výrazu (11.4) do vztahu (11.1) pro relativní vlhkost, dostaneme:

$$\varphi = \frac{p'}{p''} \cdot 100 = \frac{p_m'' - A p (t - t_m)}{p''} \cdot 100 \quad (11.5)$$

Tento výraz pak zpracujeme graficky (nomogram), nebo tabelárně (psychrometrické tabulky).

**Psychrometry:**

- Assmannův (bez umělého větrání)
- aspirační (s umělým větráním 2 m/s)
- elektrický - snímání teplot odporovými teploměry

# Kombinovaný měřič vlhkosti a teploty HTM 998 se sondou HTS 99

## Technický popis a návod k obsluze

Tento měřič je určen pro kontinuální měření teploty, vlhkosti a absolutní vlhkosti (rosného bodu) plynného prostředí a sypkých hmot (nepřímá metoda).

Měřicí sonda je k přístroji připojena kabelem zakončeným konektorem.

Měřič HTM 998 je kalibrován ve °C (teplota okolí a teplota rosného bodu) a v % relativní vlhkosti.

Přístroj je přenosný s bateriovým napájením. Výstupní údaj je zobrazován třímístným LCD displejem s pomocným znakem.

## Technické údaje

### Relativní vlhkost

Měřicí rozsah	0 až 100 % r.v.
Rozlišení	0,1 % r.v.
Přesnost	± 1 % r.v. ( 20 až 80 % r.v.) ± 2 % r.v. ( 0 až 20 % r.v. a 80 až 100 % r.v.)
Hystereze (cyklus 10 až 95 % r.v.)	max. ± 1 % r.v.
Měřicí systém	kapacitní polymerní snímač typu HC 500
Časová konstanta $\tau_{0,63}$	10 s (bez krytky, pro r.v. < 95 %)
Kalibrace třibodová	11 %, 33 %, 76 % r.v.

### Teplota

Měřicí rozsah	- 40 až + 100 °C
Rozlišení	0,1 °C
Přesnost	± 0,5 °C
Snímač	RTD (10 000 $\Omega$ Ni)
Časová konstanta snímače $\tau_{0,63}$ (vzduch 5 m/s)	10 s (bez krytky)
Kalibrace dvoubodová	0 °C, 100 °C

### Absolutní vlhkost

Měřicí rozsah	- 80 až + 100 °C r.b.
Rozlišení	0.1 °C r.b.

Přesnost  $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C r.b. (-10 až + 100 }^\circ\text{C r.b.)}$

### Ostatní údaje

Napájení	9 V baterie IEC 6LF 32
Doba provozu (s čerstvou baterií) min.	60 hodin
Provozní napětí baterie	min. 7 V
Provozní teplota sondy	- 40 až + 100 $^\circ\text{C}$
Provozní teplota měřiče	- 10 až + 60 $^\circ\text{C}$
Displej	3 digity LCD s pomocným znakem
Rozměry měřiče	152 x 83 x 30 mm
Rozměry sondy průměr	20 x 170 mm
Hmotnost	cca 300 g

### Popis měřiče

HTM 998 (Humidity and Temperature Meter) je mikroprocesorový měřicí přístroj s bateriovým napájením a měřicí sondou HTS 99.

Měřicí sonda obsahuje snímače vlhkosti a teploty. Je spojena s měřicím přístrojem krouceným kabelem zakončeným konektorem. Měřicí sonda tvoří s přístrojem ocejchovaný celek.

Sonda je záměnná s jiným přístrojem pouze po provedení recalibrace přístroje. Kalibrace je provedena ve třech hodnotách rel. vlhkosti (11 %, 33 % a 76 % r.v.) a ve dvou hodnotách teploty (0 a 100  $^\circ\text{C}$ ). Teplota rosného bodu je mikroprocesorem vypočítávána z naměřených údajů teploty a relativní vlhkosti pomocí uložené tabulky hygrometrických ekvivalentů.

### Popis funkce a návod k obsluze

Zapnutí přístroje provedeme posunutím vypínače na čelním panelu do polohy ON. Po krátkém otestování se objeví v levé části displeje znak „t“ a vedle něho 3-místný údaj teploty. Tlačítkem FUNC lze dále cyklicky přepínat funkci přístroje. V levé části displeje se objevuje symbol měřeného údaje a v pravé části měřený údaj :

t	XX.X	teplota (temperature)
h	XX.X	relativní vlhkost (humidity)
d	XX.X	rosný bod (dewpoint)

Tlačítkem HOLD je možné kdykoli zadržet naměřený údaj na displeji. Tuto možnost lze využít tehdy, když provádíme měření např. ve vzduchotechnickém kanálu nebo pokud je třeba zjistit trend měřené veličiny v závislosti na čase. Funkce HOLD je indikována šipkou v levé horní části displeje. Opětovným stisknutím tlačítka HOLD přístroj přejde do režimu kontinuálního měření.

Pokud v okolí sondy není dostatečné proudění vzduchu, vyžaduje měření teploty dlouhodobé ustálení. Měření vlhkosti i teploty značně ovlivňuje tepelná setrvačnost krytu ze sintrované bronzi. Zvláště při odečítání hodnoty rosného bodu je nutné brát v úvahu tepelnou setrvačnost. V tomto případě je výhodnější použít trubkovou (otevřenou) krytku snímače.

## Cejchování měřiče vlhkosti a teploty HTM 998

V případě, že snímač vlhkosti vlivem stárnutí nebo jiných vlivů (agresivní plyny) změní svou citlivost, lze přístroj HTM 998 snadným způsobem recalibrovat. Ke kalibraci vlhkosti však nutně potřebujeme prostředí se zaručenou relativní vlhkostí (r.v.). Ke kalibraci HTM 998 se používají tři typy nasycených roztoků solí o relativní vlhkosti 11 %, 33 % a 76 %. Jsou to tyto soli:

LiCl	11,1 % r.v. při 20 °C
MgCl <sub>2</sub>	33,1 % r.v. při 20 °C
NaCl	75,6 % r.v. při 20 °C

Kalibrace sondy HTS 99 se provádí v těsně uzavřeném prostoru nad hladinou nasyceného roztoku příslušné soli. Roztok musí obsahovat asi 50 % nerozpuštěné soli.

Hlavice sondy se snímači se umístí do kalibrační nádoby nad hladinu roztoku. Doba ustálení musí být alespoň 2 hodiny. Teplota roztoku a kalibrační nádoby se nesmí lišit od 20 °C o více než 1 °C.

Kalibraci teploty nemusí uživatel provádět, neboť ke stárnutí snímače Ni 10 000 nedochází a kalibrace je provedena při nastavení ve výrobě. Pokud by došlo k náhodnému přeprogramování údajů teploty přístroje, lze kalibrovat teplotu tímto způsobem: Snímač Ni 10 000 odpájíme a na jeho místo připájíme přesný rezistor s následujícími hodnotami odporu:

kalibrace t0	10 000 Ω ± 0,5 Ω
kalibrace t100	15 510 Ω ± 0,5 Ω

Po recalibraci připojíme znovu nepoškozený snímač Ni 10 000.

### Postup při cejchování:

Přístroje uvede do kalibračního módu vyučující. Na displeji se zobrazí PPP (mód programování). Tento údaj nám sděluje, že program přešel do režimu cejchování. V tomto režimu lze změnit cejchovní hodnoty, uložené v paměti mikroprocesoru. Z režimu PPP lze vystoupit vypnutím přístroje. Po stisknutí tlačítka FUNC se zobrazí údaj "t0". Tlačítkem FUNC můžeme cyklicky přepínat tyto cejchovní režimy:

t0	teplota	0 °C	-	neprovádět během výuky !!
t100	teplota	100 °C	-	neprovádět během výuky !!
h 11	rel.vlhkost	11 %		
h 33	rel.vlhkost	33 %		
h 76	rel.vlhkost	76 %		

Když je vybrána funkce a jsme si jisti, že prostředí sondy je ustálené nebo že je na místě snímače Ni 10 000 připojen cejchovní rezistor (pro "t0" a "t100"), je třeba 3-krát za sebou stisknout tlačítko HOLD. Po prvním stisknutí se zobrazí šipka vlevo nahoře na displeji a hodnota je zapamatována. Po druhém stisknutí se objeví opět údaj PPP. Po třetím stisknutí se údaj zapíše do pevné paměti. Trvalému zápisu lze ještě zabránit po prvním a druhém stisknutí tlačítka HOLD stisknutím tlačítka FUNC. V případě, že se nepodařilo údaj zapsat, objeví se údaj EEE (Error). Pak je možné zápis opakovat. Cejchovací režim lze opustit pouze vypnutím a opětným zapnutím přístroje.

Tabulka 11.3 Psychrometrická tabulka pro teploty od +18,00 do +24,00 °C

t [°C]	Rozdíl teplot $t_m - t$ [°C]																					
	0,0	0,2	0,4	1,0	1,4	2,0	2,4	3,0	3,4	4,0	4,4	5,0	5,4	6,0	6,4	7,0	7,4	8,0	8,4	9,0	9,4	10,0
+18,0	100	98	96	91	87	82	78	73	70	65	61	56	53	49	46	41	38	34	31	27	24	20
18,2	100	98	96	91	87	82	78	73	70	65	61	57	54	49	46	41	38	34	31	27	24	20
18,4	100	98	96	91	87	82	79	73	70	65	62	57	54	49	46	42	39	34	32	27	25	21
18,6	100	98	96	91	87	82	79	73	70	65	62	57	54	49	46	42	39	35	32	28	25	21
18,8	100	98	96	91	87	82	79	74	70	65	62	57	54	50	47	42	39	35	32	28	25	21
19,0	100	98	96	91	87	82	79	74	70	66	62	58	55	50	47	43	40	36	33	29	26	22
19,2	100	98	96	91	87	82	79	74	71	66	63	58	55	50	47	43	40	36	33	29	26	22
19,4	100	98	96	91	87	82	79	74	71	66	63	58	55	51	48	43	40	36	33	29	27	23
19,6	100	98	96	91	88	82	79	74	71	66	63	58	55	51	48	44	41	37	34	30	27	23
19,8	100	98	96	91	88	83	79	74	71	66	63	59	56	51	48	44	41	37	34	30	28	24
20,0	100	98	96	91	88	83	79	74	71	66	63	59	56	51	48	44	41	37	35	30	28	24
20,2	100	98	97	91	88	83	79	75	71	67	64	59	56	52	49	44	42	38	35	31	28	24
20,4	100	98	96	91	88	83	80	75	71	67	64	59	56	52	49	45	42	38	35	31	29	25
20,6	100	98	96	91	88	83	80	75	72	67	64	59	56	52	49	45	42	38	36	32	29	25
20,8	100	98	97	91	88	83	80	75	72	67	64	60	57	52	50	45	43	39	36	32	29	26
21,0	100	98	97	91	88	83	80	75	72	67	64	60	57	53	50	46	43	39	36	32	30	26
21,2	100	98	97	92	88	83	80	75	72	67	64	60	57	53	50	46	43	39	37	33	30	26
21,4	100	98	97	91	88	83	80	75	72	68	65	60	57	53	50	46	43	39	37	33	30	27
21,6	100	98	97	92	88	83	80	75	72	68	65	60	58	53	50	46	44	40	37	33	31	27
21,8	100	98	97	92	88	83	80	76	72	68	65	61	58	54	51	47	44	40	37	34	31	28
22,0	100	98	97	92	88	84	80	76	73	68	65	61	58	54	51	47	44	40	38	34	32	28
22,2	100	98	97	92	88	83	80	76	73	68	65	61	58	54	51	47	45	41	38	34	32	28
22,4	100	98	97	92	88	84	80	76	73	68	65	61	58	54	51	47	45	41	38	35	32	29
22,6	100	98	97	92	88	84	80	76	73	69	66	61	59	54	52	48	45	41	39	35	33	29
22,8	100	98	97	92	88	84	81	76	73	69	66	62	59	55	52	48	45	42	39	35	33	29
23,0	100	98	97	92	88	84	81	76	73	69	66	62	59	55	52	48	46	42	39	36	33	30
23,2	100	98	97	92	89	84	80	76	73	69	66	62	59	55	52	48	46	42	40	36	33	30
23,4	100	98	97	92	89	84	81	76	73	69	66	62	59	55	53	49	46	42	40	36	34	30
23,6	100	98	97	92	89	84	81	76	74	69	66	62	59	55	53	49	46	43	40	37	34	31
23,8	100	98	97	92	89	84	81	77	74	69	67	62	60	56	53	49	47	43	40	37	34	31
24,0	100	98	97	92	89	84	81	77	74	70	67	63	60	56	53	49	47	43	41	37	35	31
24,2	100	98	97	92	89	84	81	77	74	70	67	63	60	56	53	49	47	43	41	37	35	31
24,4	100	98	97	92	89	84	81	77	74	69	67	63	60	56	53	50	47	44	41	37	35	32
24,6	100	98	97	92	89	84	81	77	74	70	67	63	60	56	54	50	47	44	41	38	36	32
24,8	100	98	97	92	89	84	81	77	74	70	67	63	60	56	54	50	48	44	41	38	36	32
25,0	100	98	97	92	89	84	81	77	74	70	67	63	61	57	54	50	48	44	42	38	36	33

Tabulka 11.4 Ustálené relativní vlhkosti

Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%]				
	Chlorid lithný LiCl	Chlorid hořečnatý MgCl <sub>2</sub>	Dusičnan hořečnatý Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Chlorid sodný NaCl <sub>2</sub>	Chlorid draselný KCl
0	11,23 ± 0,54	33,66 ± 0,33	60,35 ± 0,55	75,51 ± 0,34	88,61 ± 0,53
5	11,26 ± 0,47	33,60 ± 0,28	58,86 ± 0,43	75,65 ± 0,27	87,67 ± 0,45
10	11,29 ± 0,41	33,47 ± 0,24	57,36 ± 0,33	75,67 ± 0,22	86,77 ± 0,39
15	11,30 ± 0,35	33,30 ± 0,21	55,87 ± 0,27	75,61 ± 0,18	85,92 ± 0,33
20	11,31 ± 0,31	33,07 ± 0,18	54,38 ± 0,23	75,47 ± 0,14	85,11 ± 0,29
25	11,30 ± 0,27	32,78 ± 0,16	52,89 ± 0,22	75,29 ± 0,12	84,34 ± 0,26
30	11,28 ± 0,24	32,44 ± 0,14	51,40 ± 0,24	75,09 ± 0,11	83,62 ± 0,25
35	11,25 ± 0,22	32,05 ± 0,13	49,91 ± 0,29	74,87 ± 0,12	82,95 ± 0,25
40	11,21 ± 0,21	31,60 ± 0,13	48,42 ± 0,37	74,68 ± 0,13	82,32 ± 0,25
45	11,16 ± 0,21	31,10 ± 0,13	46,93 ± 0,47	74,52 ± 0,16	81,74 ± 0,28
50	11,10 ± 0,22	30,54 ± 0,13	45,44 ± 0,60	74,43 ± 0,19	81,20 ± 0,31
55	11,03 ± 0,23	29,93 ± 0,16		74,41 ± 0,24	80,70 ± 0,35
60	10,95 ± 0,26	29,26 ± 0,18		74,50 ± 0,30	80,25 ± 0,41
65	10,86 ± 0,29	28,54 ± 0,21		74,71 ± 0,37	79,85 ± 0,48
70	10,75 ± 0,33	27,77 ± 0,25		75,06 ± 0,45	79,49 ± 0,57
75	10,64 ± 0,38	26,94 ± 0,29		75,58 ± 0,55	79,17 ± 0,66
80	10,51 ± 0,44	26,05 ± 0,34		76,29 ± 0,65	78,90 ± 0,77
85	10,38 ± 0,51	25,11 ± 0,39			78,68 ± 0,89
90	10,23 ± 0,59	24,12 ± 0,46			78,50 ± 1,0
95	10,07 ± 0,67	23,07 ± 0,52			
100	9,90 ± 0,77	21,97 ± 0,60			

*Poznámka:* Tabulky relativních vlhkostí v uzavřeném prostoru nad hladinou nasycených roztoků solí vznikly kompilací dat naměřených různými badateli za použití různých metod měření vlhkosti.

## 11.2. Měření koncentrace těkavých par ve vzduchu

### Úkol měření

Stanovte převodní charakteristiku plynového senzoru jako závislost změny výstupního napětí na koncentraci etanolu ( $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ ) a koncentraci N-heptanu  $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_5\text{-CH}_3$  ve vzduchu.

## Postup měření

- 1.a) Dokonale odvětrejte těkavé páry z prostoru zvonu. Zapněte žhavení senzoru a ventilátor na promíchávání vzduchu. Nechte senzor dostatečně ustálit (cca 3 min, výstupní napětí se pohybuje v rozmezí 5 až 10 V).
- b) Vynulujte voltmetr (přepnutím do režimu diferenčního měření REL) - počáteční stav měření, natáhněte do injekční stříkačky 10 ml koncentrovaných par nad hladinou 100%-ního etanolu z infúzní lahve. Obsah stříkačky vstříkněte do skleněného zvonu. Po ustálení (cca 1 min) zaznamenejte údaj voltmetru .
- c) Nastříknutí etalonových par dvakrát opakujte bez nulování voltmetru a zaznamenejte pro jednotlivé koncentrace příslušné změny výstupního napětí čidla.
- d) Určete skutečné koncentrace  $C_s$  pro tato tři měření. Z tabulek určete parciální tlak  $p'$  etanolových par nad hladinou v infúzní lahvi (nutno znát teplotu vzduchu v laboratoři) a stanovte objemovou koncentraci nasycených par v láhvi

$$C_n = \frac{p'}{101,325 \text{ kPa}}$$

100%-ní etanol je hygroskopický - časem dochází k samovolnému rozředování a tím k poklesu koncentrace par nad kapalinou. Obsah láhve je proto nutno čas od času měnit.

- e) Ze známých objemů injektovaných koncentrovaných par  $V_{\text{nast}}$  stanovte koncentraci etanolových par ve zvonu. Objem  $V_{\text{zvonu}} = 3,7$  litru. Platí

$$C_n V_{\text{nast}} = C_s V_{\text{zvonu}}$$

kde  $V_{\text{nast}}$  je objem koncentrovaných par.

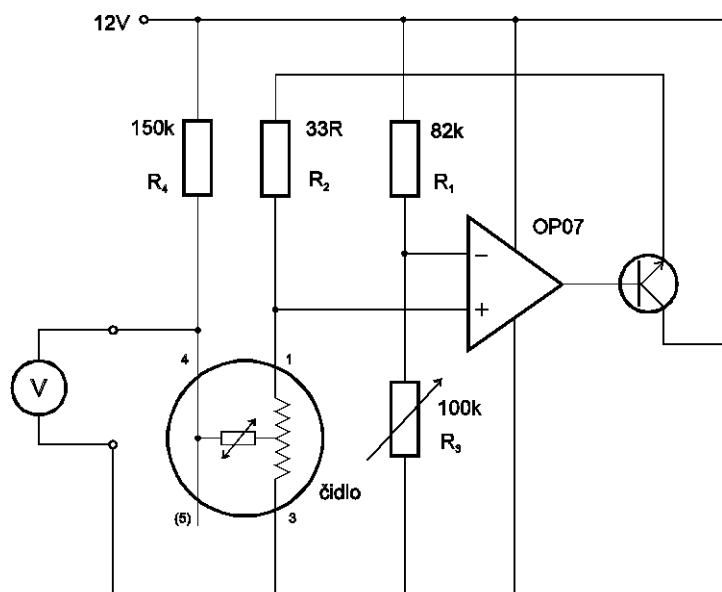
2. Po odvětrání zvonu opakujte měření pro n-heptan. Měření proved'te pro šest koncentrací ve skleněném zvonu (0,005; 0,01; 0,02; 0,04; 0,08; 0,12) %.

Spočtete objemy koncentrovaných par odpovídající těmto koncentracím tak, aby mezi jednotlivými odměry nebylo nutno zvon odvětrávat. Hodnoty napětí odčítejte po ustálení cca. 1min.

**Poznámka:** Není vhodné brát infúzní láhve do rukou, mění se tím teplota a zároveň i koncentrace. Z jedné láhve lze během cvičení odebrat max. 100 ml par, při více odběrech dochází ke změně koncentrace par nad hladinou.

Senzor pracuje na principu změny elektrické vodivosti aktivní vrstvy kysličníků kovů. Zapojení senzoru je na obr. 11.3. Ke správné funkci je třeba senzor vyhřívát topným rezistorem (svorky 1, 3), konstantní hodnotu teploty udržuje zpětnovazební obvod složený z operačního zesilovače a výkonového tranzistoru. Teplota senzoru se určuje ze změny odporu vyhřívavého rezistoru.

Měronosnou veličinou je elektrický odpor mezi svorkami 4 a 3. Změny odporu vyhřívacího rezistoru jsou zanedbatelné vzhledem k vysoké impedanci aktivní vrstvy a nezpůsobují proto chybu měření.



Obr. 11.3 Zapojení senzoru

3. Seznamte se s měřicím přístrojem CA 2000.

**Digital Alcohol Detector CA 2000** je určen k rychlému zjištění koncentrace alkoholu v krvi dechovou zkouškou. Měření je založeno na skutečnosti, že koncentrace alkoholu ve vydechaném vzduchu je úměrná množství požitého alkoholu. Přístroj dokáže kvantitativně určit koncentraci alkoholu v krvi v rozsahu od 0,3 do 1,4 ‰.

Princip přístroje je založen na změně vodivosti polovodičového čidla. Měření je neselektivní, to znamená, že přístroj reaguje i na jiné těkavé látky ve vydechaném vzduchu. To se týká především osob trpících žaludečními vředy nebo diabetiků se špatně kompenzovanou cukrovkou (aceton v dechu). Z těchto důvodů nenahrazuje měření právně uznávanými prostředky (např. z odebrané krve).

Přístroj indikuje množství vdechovaného vzduchu. Tím je zajištěna kontrola, že měřená osoba skutečně a v dostatečném množství vydechuje vzduch do přístroje. Měření má význam až cca 20 min. po konzumaci – tato doba je potřebná k odvětrání zbytkového alkoholu z úst a naopak k absorbování alkoholu do krve.

Přístroj je nutno v pravidelných intervalech kalibrovat v závislosti na požadované přesnosti měření.

### Technické údaje

Rozsah měření	0,01 až 1,4 ‰
Přesnost měření	± 0,1 ‰ při měřené hodnotě 1 ‰
Provozní teplota	+ 10 až + 40 °C
Doba odběru vzorku dechu	5 až 8 s

## Návod k použití

1. PWR On
2. Čekajte na ohřátí senzoru na provozní teplotu – svítí zelený nápis READY + ozve se pípnutí.
3. Foukejte, dokud neuslyšíte další pípnutí.
4. Naměřená hodnota se za blikání červené i zelené diody zobrazuje 15 s.
5. Před dalším měřením vyčkejte 2 min.

Tab. 11.5 Parciální tlak par ethanolu a n-Heptanu v uzavřeném prostoru nad hladinou 100 % čisté kapaliny  
n-Heptan: normální bod varu: 98,40 °C  
ethanol: normální bod varu: 78,26 °C

Teplota	Parciální tlak [kPa]		Teplota	Parciální tlak [kPa]	
[°C]	Ethanol	n-Heptan	[°C]	Ethanol	n-Heptan
0,0	1,57	1,52	36,0	14,52	10,33
5,0	2,23	2,06	37,0	15,31	10,81
10,0	3,12	2,76	38,0	16,14	11,31
15,0	4,30	3,64	39,0	17,01	11,82
19,0	5,51	4,50	40,0	17,91	12,36
20,0	5,86	4,74	41,0	18,86	12,92
21,0	6,22	4,99	42,0	19,85	13,49
22,0	6,60	5,26	43,0	20,88	14,09
23,0	7,00	5,53	44,0	21,96	14,71
24,0	7,43	5,82	45,0	23,09	15,35
25,0	7,87	6,11	46,0	24,27	16,02
26,0	8,34	6,43	47,0	25,49	16,70
27,0	8,84	6,75	48,0	26,77	17,42
28,0	9,35	7,09	49,0	28,10	18,15
29,0	9,90	7,44	50,0	29,49	18,91
30,0	10,47	7,80	55,0	37,35	23,12
31,0	11,06	8,19	60,0	46,91	28,07
32,0	11,69	8,58	65,0	58,46	33,83
33,0	12,35	8,99	70,0	72,32	40,52
34,0	13,04	9,42	75,0	88,84	48,23
35,0	13,76	9,87	80,0	108,41	57,07