MĚŘENÍ RELATIVNÍ VLHKOSTI

- pro měření relativní vlhkosti se používají metody měření obsahu vlhkosti v plynech

- Psychrometrické metody
- Měření rosného bodu
- Sorpční metody
- Rovnovážné elektrolytické metody
- Absorpce infračerveného záření
- Absorpce vysokofrekvenční energie
- Chromatografické metody

VLHKOST VZDUCHU - udává množství vodní páry, která je v suchém vzduchu daného množství

- pro vyjádření množství vodních par ve vzduchu se používá řada charakteristik: tlak vodní páry, absolutní vlhkost vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, rosný bod apod.

Absolutní vlhkost vzduchu

$$\phi = \frac{m}{V}[g/m^3]$$

m – hmotnost vodní páry v daném objemu

Relativní vlhkost vzduchu

$$\varphi = 100\frac{m}{M}[\%] = 100\frac{\phi}{\phi_n}$$

- m – hmotnost vodní páry ve vzduchu, M - hmotnost vodní páry, kterou by obsahoval stejný objem vzduchu aby byl nasycen

Psychrometrické metody

- nejčastěji aplikovaná metoda pro měření relativní vlhkosti
- vlhkost je měřena pomocí dvou teploměrů
- jeden z teploměrů je vlhčen – druhý měří teplotu vzduchu
- v důsledku poklesu relativní vlhkosti dochází k většímu vypařování vlhkosti na vlhčeném teploměru – zároveň dochází k nárůstu rozdílu teplot na obou teploměrech – psychometrická diference – v závislosti na její velikosti stanovíme tlak vodní páry – relativní vlhkost pomocí tabulek
- tabulky odvozeny na základě psychrometrické rovnice

$$m = kSD(p'_{Tw} - p')$$

- S - plocha kde dochází k vypařování, D – difúzní koeficient vodní páry ve vzduchu, p_{Tw} tlak nasycené vodní páry při teplotě vlhkého teploměru T_w, p – tlak vodní páry ve vzduchu, k – konstanta, m – množství vody vypařené za jednotkový čas z povrchu vlhkého teploměru

Psychrometrické metody II

- chyba měření psychrometry je závislá na teplotě vzduchu, relativní vlhkosti, tvaru a rozměru vlhčeného teploměru, intenzitě slunečního záření apod.
- při měření za nízkých teplot chyba měření RH narůstá – snížení vypařování a malý rozdíl teplot T a T_w
- hlavní výhodou psychrometrů je jejich nízká cena
- při teplotách nad 0°C mají dostatečnou přesnost
- nepotřebují speciální kalibraci a měření dostatečně rychle
- nedostatkem je pokles sensitivity při nízkých teplotách a nutnost konstantního toku vzduchu

Měření rosného bodu

- založeno na měření teploty povrchu vody při dynamické rovnováze mezi množstvím vypařené vody z povrchu a množstvím zkondenzované vodní páry z okolního vzduchu
- při dosažené rovnováhy bude mít vzduch stejnou teplotu jako povrch vody a tato vrstva vzduchu bude mít relativní vlhkost 100% - tlak vodní páry dosáhne pro specifickou teplotu svého maxima
- změříme-li tedy teplotu při dosažení rovnováhy – teplota rosného bodu – můžeme stanovit tlak vodní páry
- dle Clausius-Clapeyronovy rovnice odvodíme závislost relativní vlhkosti a teploty rosného bodu

$$p' = p_0 \cdot \exp\left[\frac{\Delta H}{R}\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)\right]$$

- ΔH je latentní teplo vypařování, p_0 tlak nasycené vodní páry při teplotě T_0, p' tlak nasycené vodní páry při teplotě T

Měření rosného bodu II

$$\varphi p'_T = p$$

-Φ – relativní vlhkost
- p'_T – tlak nasycené vodní páry při teplotě T

- nezbytná přesnost měření teploty je v teplotním rozsahu -20°C – 40°C při dosažení 1% absolutní přesnosti měření relativní vlhkosti 0.1°C
- pro měření teploty se používají termočlánky, odporové teploměry či termistory
- hlavní výhodou této metody měření relativní vlhkosti je <u>dostatečná přesnost při měření za nízkých teplot a při měření malých relativních vlhkostí</u>

Rovnovážné elektrolytické metody

- stanovení rovnováhy mezi hygroskopickou látkou a vodní párou
- pro každou iontovou sůl je známa teplota rovnováhy mezi tlakem vodní páry nad nasyceným roztokem a tlakem páry v okolním prostředí
- tato skutečnost je poté využita pro stanovení absolutního množství vody ve vzduchu
- pokud je nasycený roztok soli vystaven prostředí o nízké relativní vlhkosti – vypařování vody z roztoku
- při vysoké relativní vlhkosti naopak roztok vodu absorbuje – doprovázeno výraznou změnou elektrické vodivosti roztoku - jako iontová sůl se nejčastěji používá LiCl

Sorpční metody

- tyto metody využívají pro měření změny fyzikálních a chemických vlastností materiálů v důsledku změny obsahu absorbované vlhkosti
- na senzory jsou kladeny následující požadavky:

• odezva na sorpci či desorpci musí být dostatečně rychlá, s malou nebo žádnou hysterezí vlastností
• změna měřené veličiny musí být dostatečně veliká, přičemž je optimální je její lineární závislost na relativní vlhkosti
• kalibrační křivky musí být stálé v běžných podmínkách měření
• měření musí být realizovatelné v širokém rozmezí teplot – vliv teploty na naměřené hodnoty musí být zanedbatelný

Vlhkost absorbovaná materiály mění jejich objem, hmotnost, elektrický odpor, permitivitu apod. – sorpční metody je možné rozdělit na dilatační, odporové, kapacitní, rezonanční, polovodičové atd.

Sorpční metody II

Dilatační vlhkoměry – založeny na vlhkostní expanzi či smrštění v důsledku změny RH

Odporové vlhkoměry – stanovují množství absorbované vlhkosti na základě změny elektrického odporu materiálu – společně s měřením odporu je prováděno měření teploty (korekce)

- závislost odporu na relativní vlhkosti je exponenciální
- používají se senzory na bázi LiCl, SeO_2, BaF_2, ZnO a Cr_2O_3

Kapacitní vlhkoměry – v důsledku změny vlhkosti dochází ke změně impedance – dobrá sensitivita

- nejčastěji na bázi Al_2O_3

Sorpční metody III

Gravimetrické vlhkoměry – absorpce vlhkosti

- využití pro kalibraci vlhkoměrů – přímé určení hmotnosti vodní páry ve specifickém objemu plynu

Sorpční metody – jednoduchá konstrukce senzorů (levné), dobrá rozlišitelnost, rychlé měření, široký rozsah vlhkostí X hystereze, teplotní závislost sorpce a desorpce, kalibrační křivky jsou někdy nestabilní – stárnutí materiálu senzorů

Měření teploty

- teplota ovlivňuje materiálové parametry a vlastnosti – existuje celá řada fyzikálních principů, které se mohou pro měření teploty aplikovat
- nejčastěji se pro měření využívá objemové roztažnosti látek, elektrického odporu a generace elektrického napětí
- teploměry může klasifikovat podle způsobu jejich aplikace: kontaktní, bezkontaktní

Klasifikace podle fyzikálního principu:

- dilatační – teplotní expanze kapalin, plynů či pevných látek
- elektrické – měření el. odporu nebo využití termoelektrického jevu
- speciální – založeny na měření fyzikální veličiny, která má přímou vazbu ke změně teploty

Kontaktní dilatační teploměry

- historicky nejstarší a nejrozšířenější typ teploměrů
- mechanický způsob měření teploty – měření objemové expanze kapalin, tlaku plynů nebo lineární délkové změny pevných látek
- tyto teploměry jsou levné x obtížné získat data v digitální podobě

Kapalinové teploměry – prodloužení kapalinového sloupce v kapiláře – vlastnosti těchto teploměrů závisí na aplikované kapalině, poloměru kapiláry a použitém skle

Používají se následující kapaliny:

ethanol –130°C +50°C

rtuť -30°C +150°C

isopentan – 195°C + 35°C

pentan -130°C +35°C, galium -15°C +1500°C

jednoduché, levné, přesné x problém s digitalizací dat

Kapalinové tlakové teploměry

- změna objemu látky vlivem změny teploty je převedena na změnu tlaku
- nejčastěji se používá etanol -45°C +150°C
- rtuť -30°C +550°C
- xylol -40°C +440°C
- výhodou těchto typů teploměrů je široký rozsah teplot pro které mohou být aplikovány

Plynové teploměry – využívají dvou základních principů měření:
změna objemu plynu s teplotou při konstantním tlaku
změna tlaku plynu s teplotou při konstantním objemu

U plynových teploměrů pracujících s konstantním tlakem se pro výpočet teploty používá následující vztah

$$t = 100 \cdot \frac{V - V_0}{V_{100} - V_0}$$

V_0 je objem plynu při teplotě 0°C, V_{100} je objem plynu při teplotě 100°C, nejčastěji se používá helium, dusík, vodík

Při měření za konstantního objemu je měřen tlak plynu v závislosti na změně teploty – používá se rtuťový manometr

- teplota je poté dána následujícím vztahem:

$$t = 100 \cdot \frac{p - p_0}{p_{100} - p_0}$$

- p_0 je tlak plynu při teplotě 0°C, p_{100} je tlak plynu při teplotě 100°C

Bimetalové teploměry

- bimetalový pásek ze dvou kovů s rozdílným součinitelem tepelné roztažnosti
- mosaz a slitina chrom-nikl

Elektrické teploměry

-využití změny elektrických vlastností vlivem změny teploty

Termoelektrické teploměry – jako senzor se používají termočlánky

- využití termoelektrického jevu - dva rozdílné kovy se vodivě spojí a jejich volné konce jsou dány do prostředí o různé teplotě – vznik termoelektrického napětí, které je závislé na rozdílu teplot

$$U = \sum_{i=1}^{n} a_i (\Delta t)^i$$

- a_i jsou empirické konstanty určené experimentálně

Volba vhodného materiálu pro termočlánky:

závislost generovaného napětí na teplotě by měla být lineární, materiál musí odolávat chemickým a mechanickým efektům, hodnota generovaného napětí by měla být stálá – zejména v případě dlouhodobého měření

Označení	Materiál	Formální značení
T	Cu-CuNi	copper-constantan
J	Fe-CuNi	iron-constantan
E	NiCr-CuNi	chromel-constantan
K	NiCr-NiAl	chromel-alumel
S	Pt10%Rh-Pt	PtRh-Pt, Pt10Rh-Pt
R	Pt13%Rh-Pt	PtRh13-Pt
B	Pt30%Rh-Pt6%Rh	PtRh18
N	NiCrSi-NiSi	nicrosyl-nisil

Označení	Teplotní rozsah	
T	-270°C	+400°C
J	-210 °C	+1200°C
E	-270°C	+1000°C
K	-270 °C	+1370°C
S	-50°C	+1760°C
R	-50°C	+1760°C
B	0°C	+1820°C
N	-270°C	+1300°C

Odporové teploměry

- využívají nárůstu elektrického odporu kovů při nárůstu teploty
- pokles odporu polovodičů s nárůstem teploty
- závislost elektrického odporu materiálu na teplotě je popsána pomocí teplotního koeficientu odporu α

$$R = R_0(1 + \alpha \Delta t)$$

– v širším intervalu teplot není α konstantní, ale je funkce teploty $\alpha = \alpha(t)$ – kvadratická či kubická závislost

- nejvhodnějším materiálem je platina – vysoká hodnota teplotního koeficient odporu 0.385 – 0.391.10^{-2} K^{-1} – v čase se významně nemění, měření v rozsahu teplot -200°C +850°C, měřené odpory R_o = 100 Ω při teplotě 0°C, R_{100} = 138.5 Ω při teplotě 100°C

Termistory

- polovodičové odporové teploměry
- měření v teplotním intervalu -200°C +200°C
- podstatně citlivější než kovové materiály – problémem je, že závislost jejich el. odporu na teplotě je vysoce nelineární

$$R = A\exp(\frac{B}{T})$$

- základní materiály pro výrobu termistorů: NiO, Mn_20_3, Co_20_3

Pyrometry

- měřící rozsah kontaktních teploměrů je limitován stabilitou senzorů, jejich korozí a případným mechanickým poškozením
- horní teplotní hranice pro použití termočlánků je cca 1800°C
- pro měření vyšších teplot se používají pyrometry – fungují na principu měření energie vyzářené povrchem měřeného materiálu – jejich výhodou je, že nenarušují teplotní pole v měřeném vzorku
- dle Stefan-Boltzmannova zákona je celková intenzita radiace (W/m^2) vyzářená černým tělesem o teplotě T_0 popsána vztahem

$$I = \sigma T_0^{\,4}$$

kde σ = $5.67.10^{-8}$ W/m^2K^4 je koeficient záření černého tělesa

Běžná tělesa však vyzařují s menší intenzitou, která je definována následující rovnicí $I = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_0^{\,4}$, kde ε [0, 1] je emisivita

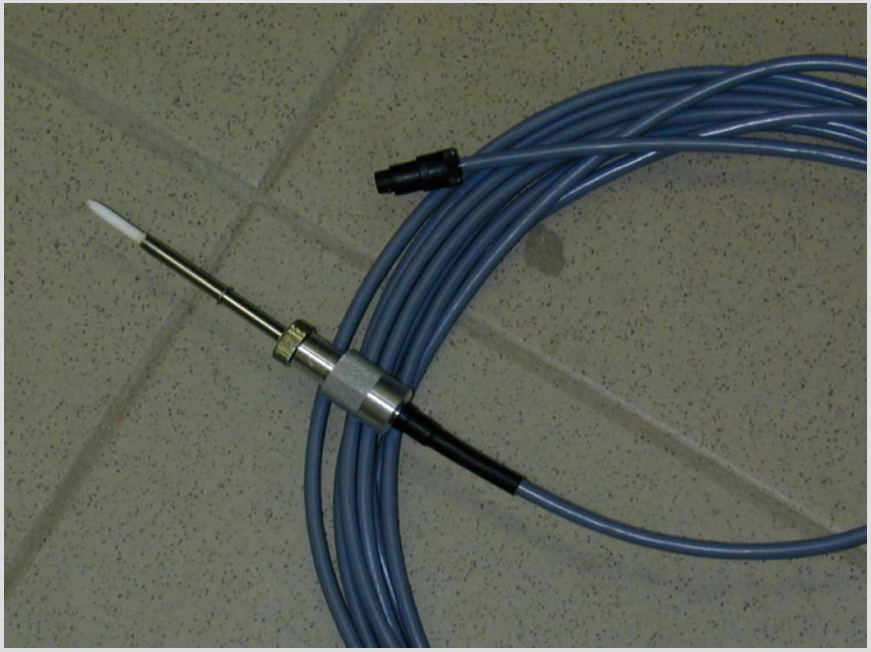
Pyrometry II

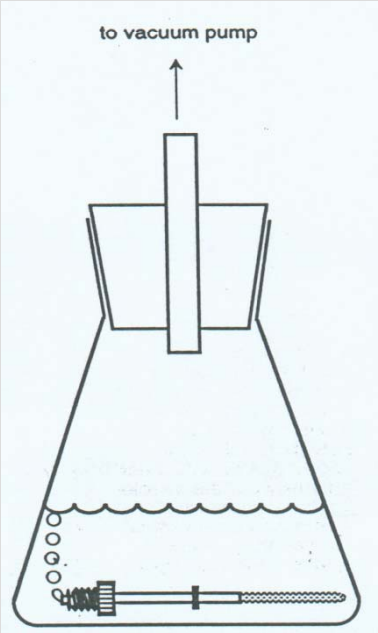
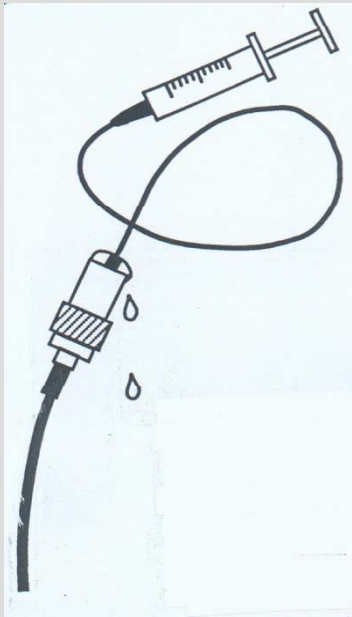
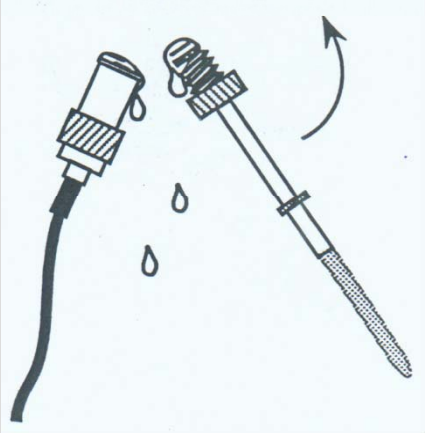
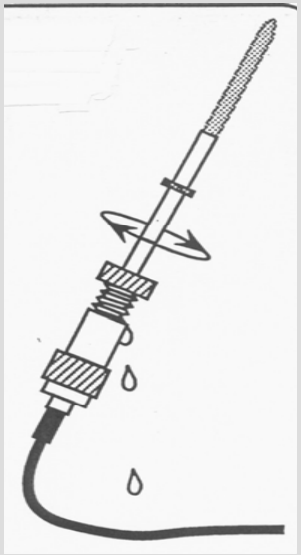
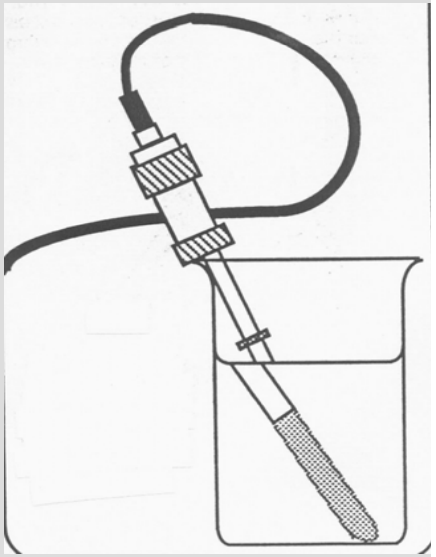
- emisivita závisí na materiálu, jeho povrchu a teplotě
- běžné radiační pyrometry jsou konstruovány pro teplotní interval
- 40°C +300°C, pro speciální aplikace se však vyrábějí také v rozsahu do 2000°C

Měření kapilárního tlaku

- nejčastěji se pro měření kapilárního tlaku uvnitř porézní struktury materiálů používají tensometry
- skládají se z porézní (nejčastěji keramické) hlavice spojené s manometrem
- využití psychrometrů pro měření kapilárních tlaků vyšších než 100 KPa

$$\phi = \frac{p_v}{p_{vs}} = \exp\left(-\frac{p_c}{\rho_l RT}\right)$$




to vacuum pump