

Technická měření v bezpečnostním inženýrství

Čís. úlohy: 4	Název úlohy: Měření teploty, měření vlhkosti vzduchu
----------------------	---

Úkol měření

- a) Změřte teplotu topné desky IR teploměrem, porovnejte hodnotu s teplotou odporového teploměru, stanovte nejistotu měření. Naměřené hodnoty zpracujte graficky.
- b) Porovnejte měření teploty skleněným teploměrem, termočlánkem a odporovým teploměrem. Stanovte teplotní charakteristiku vybraných teplotních senzorů, závislost zpracujte graficky.
- c) Stanovte časovou konstantu tří termočlákových snímačů a dvou snímačů NTC.
- d) Změřte relativní vlhkost vzduchu pomocí Assmannova aspiračního psychrometru, dále pomocí odporového a kapacitního vlhkoměru, výsledky vzájemně porovnejte. Uveďte, co je relativní vlhkost vzduchu.

Obecná část

Teplota je stavová veličina, která charakterizuje stav termodynamické rovnováhy. Jednotkou termodynamické teploty T je kelvin (K), což je 273,16 díl teplotního rozdílu mezi absolutní nulou a teplotou trojného bodu vody. Speciální diferenční termodynamickou teplotou je Celsiova teplota t udávaná ve stupních Celsiových ($^{\circ}\text{C}$), která je vzhledem k termodynamické teplotě posunuta podle vztahu

$$t = T - 273,15$$

V současné době se používá mezinárodní teplotní stupnice 1990 (ITS-90), která je definována v rozmezí teplot od 0,65 (K) do nejvyšších teplot v praxi měřitelných v podmínkách Planckova zákona při monochromatické radiaci.

Při měření teploty t měříme obecně jinou veličinu, která je na teplotě závislá podle vztahu $W = f(t)$, který jsme schopni vyčíslit.

Při měření teploty se využívá různých fyzikálních principů, například teplotní roztažnosti látek, změny elektrického odporu vodičů a polovodičů, vznik elektrického (termoelektrického) napětí apod. Teploměry dělíme do dvou základních skupin – dotykové (kontaktní) a bezdotykové (bezkontaktní).

V dotykových elektronických teploměrech je často jako senzoru teploty použit termočlánek (typu K, J, ...), teplotně závislý odpor (typu NTC nebo PTC) či platinový odporový senzor (Pt100 nebo Pt1000). Tyto senzory převádějí teplotu na elektrický signál. Charakteristika teplotních senzorů obecně není lineární, proto pro získání údaje o teplotě je nutné provést přepočítání změřené hodnoty (odporu, termoelektrického napětí, ...) na teplotu.

Měřená hodnota veličiny se obvykle neustále mění s časem. Při návrhu měřicího kanálu je velmi důležité znát parametry snímače související s časovou změnou vstupní veličiny – jedná se zejména o časovou konstantu snímače.

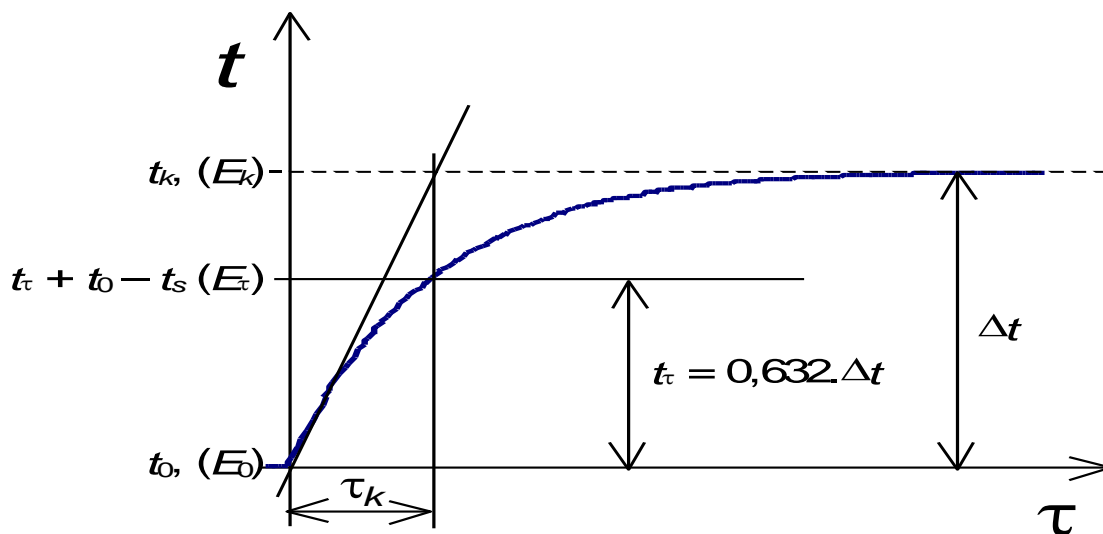
Dynamické vlastnosti snímačů se určují v přechodovém stavu, kdy se jejich výstupní signál ještě neustálil po skokové změně teploty prostředí. Diferenciální rovnice má tvar:

$$a_1 \cdot \dot{y} + a_0 \cdot y = x$$

resp.

$$\tau_k \dot{y} + y = k \cdot x$$

Ustálení teploty snímače probíhá dle přechodové charakteristiky 1. řádu, princip stanovení časové konstanty pak lze vidět na obrázku 1.



Obrázek 1 Princip stanovení časové konstanty

Časová konstanta u systému prvního řádu tedy odpovídá času, který je potřebný k dosažení přibližně 63 % ustálené hodnoty přechodného děje.

Vzduch obsahuje vždy ve svých dolních vrstvách vodní páry. Vodní pára se dostává do atmosféry vypařováním vody, rychlost vypařování závisí na teplotě. Čím je teplota vyšší, tím více molekul vody ji opustí. Podle množství vodních par určujeme *vlhkost vzduchu*. Vlhkost vzduchu se mění stejně jako teplota v průběhu dne i roku. Obsah vodní páry ve vzduchu je omezený. Vzduch se vodní parou nasytí a další vlhkost již nepřijímá. Konkrétní hodnota vlhkosti závisí především na teplotě a s rostoucí teplotou roste. Absolutní vlhkost vzduchu Φ udává hmotnost vodních par v 1 m³ vzduchu.

$$\Phi = \frac{m}{v} \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}]$$

Relativní vlhkost vzduchu je možné určit z poměru tlaku vodní páry ve vzduchu za daných podmínek a tlaku syté vodní páry při teplotě suchého teploměru t , tedy

$$RH = 100 \cdot \frac{p}{p_w(t)}$$

Tlak vodní páry ve vzduchu za daných podmínek je možné určit ze vztahu

$$p = p_w(t_w) - A \cdot p_T \cdot (t - t_w)$$

kde

RH relativní vlhkost vzduchu

$p_w(t_w)$ tlak syté vodní páry při teplotě vlhkého teploměru t_w

$p_w(t)$ tlak syté vodní páry při teplotě suchého teploměru t

t teplota suchého teploměru (°C)

t_w teplota vlhkého teploměru (°C)

p_T celkový atmosférický tlak v daném místě

A psychrometrický koeficient (K⁻¹) – pokud není zadán, použijte $6,9 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$

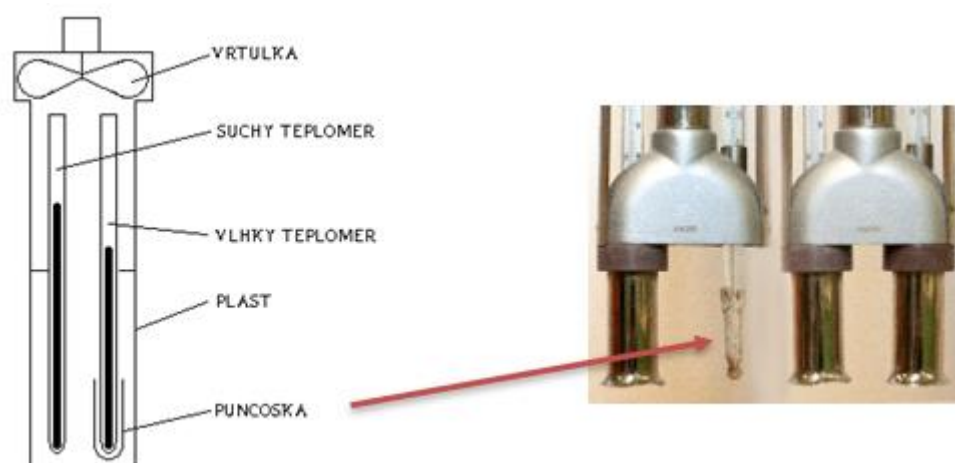
Hodnoty $p_w(t_w)$, p_T , p , p_T musí být vyjádřeny ve stejných jednotkách.

Pro výpočet $p_w(t)$ resp. $p_w(t_w)$ existuje řada vztahů, které vytvořil např. Goff Gratch, Bolton, Flatau, Clausius Clapeyron. Pro výpočet tlaku syté vodní páry při teplotách 0 °C až 80 °C s chybou menší než 1 ‰ lze použít vztahu

$$\ln p_w = 23,58 - \frac{4044,2}{235,6 + t}$$

Na základě uvedených výpočtů byly vytvořeny i psychrometrické tabulky, které usnadňují určení relativní vlhkosti vzduchu na základě změřené teploty suchého a vlhkého teploměru.

Popis Assmannova aspiračního psychrometru je zřejmý z levého obrázku 2 a vpravo na obrázku 2 je detail punčošky, kterou je třeba navlhčit.



Obrázek 2 Vlevo: Schéma a popis psychrometru; Vpravo: Detail punčošky

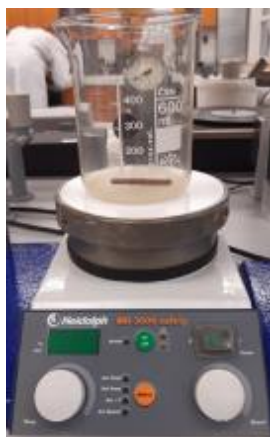
Použité přístroje

Ad a) Měření teploty topné desky IR teploměrem

IR teploměr, Pt100 odporový teploměr TESTO 720, kalibrační topná deska OMEGA BB-2A, ocelové pravítko

Ad b) Měření závislosti odporu termistoru na teplotě

Skleněný teploměr, NTC a PTC termistor, teploměr TESTO 935 s termočlánkem K o \varnothing 3 mm a 6 mm, 2 ks digitální multimetr METEX M3860D, laboratorní stojan s držáky, laboratorní magnetická míchačka s vyhříváním Heidolph MR3004 Safety (viz Obrázek 3), kádinka.



Obrázek 3 – Magnetická míchačka s vyhříváním Heidolph MR3004 Safety

Ad c) Stanovení časové konstanty snímačů

Laboratorní stojan, laboratorní magnetická míchačka s vyhříváním Heidolph MR3004 Safety, kádinka, tři termočlánky K v jímkách s různým průměrem, snímač NTC v jínce a snímač NTC volně přístupný bez jímký – všechny tyto snímače s konektory ALMEMO, datalogger ALMEMO 2590.

Ad d) Stanovení relativní vlhkosti

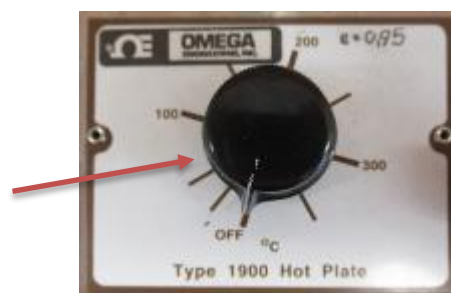
datalogger ALMEMO 2590, vlhkostní a teplotní sonda ALMEMO FHAD462 obsahující CMOS senzor vlhkosti a Pt100 senzor teploty, měřič vlhkosti a teploty GMH 3350 se sondou TFS0100E obsahující kapacitní polymerový senzor vlhkosti a Pt100 odporový senzor teploty, Assmannův aspirační psychrometr, laboratorní stojan s držáky

Postup práce**Ad a) Měření teploty topné desky IR teploměrem**

1. Změřte teplotu kalibrační topné desky BB-2A (viz obrázek 4) IR teploměrem. Zapněte topnou desku a na termostatu nastavte výchozí polohu v 1/3 vzdálenosti mezi druhou a třetí ryskou (ta je označena 100 °C) od polohy OFF, jak je naznačeno na obrázku 5; nebo podle pokynu vyučujícího.



Obrázek 4 Kalibrační topná deska



Obrázek 5 1/3 vzdálenosti mezi druhou a třetí ryskou

POZOR! Topná deska má vysokou povrchovou teplotu a může způsobit popáleniny, vznícení hořlavých předmětů a poškození předmětů sálavým teplem, a to i po vypnutí (až do vychladnutí). Ve vzdálenosti do 10 cm od topné desky se nesmí nacházet žádné předměty. Nedotýkejte se topné desky, a to ani po jejím vypnutí. Neponechávejte horkou topnou desku bez dozoru. Po vypnutí posuňte topnou desku tak, aby nedošlo k náhodnému kontaktu s horkým povrchem.

Topná deska je opatřena speciálním nátěrem s emisivitou 0,95. Nedotýkejte se topné desky, aby nedošlo k poškození nátěru.

2. Po ustálení teploty topné desky naměřené Pt100 odporovým teploměrem zaznamenejte tuto teplotu.
3. proved'te změření teploty desky IR teploměrem (viz obrázek 6). Měření proved'te při nastavení odpovídající emisivity na IR teploměru na hodnotu 0,95. Vzdálenost IR teploměru od topné desky volte tak, aby IR teploměr měřil nejmenší plochu (viz obrázek na boční stěně IR teploměru – obrázek 6). V této vzdálenosti splynou oba body laserového zaměřovače do jednoho bodu, vzdálenost změřte a zaznamenejte. Měření 10krát opakujte.



Obrázek 6 IR teploměr; boční strana s obrázkem



Obrázek 7 2/3 vzdálenosti a 3/3 vzdálenosti

- Postup podle bodu 2. ještě **dvakrát opakujte** při nastavení regulátoru teploty topné desky vždy o 1/3 vzdálenosti mezi druhou a třetí ryskou směrem k vyšší teplotě, viz obrázek 7.
- Vypočítejte průměrnou hodnotu, nejistotu měření a výsledek uveďte ve správném tvaru:

$$t = (\bar{t} \mp u_t) \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Naměřené hodnoty znázorněte graficky.

Ad b) Měření závislosti odporu termistoru na teplotě

- V lázni proměřte teplotní závislost odporových teplotních senzorů – změřte závislost odporu termistoru na teplotě $R_T = f(t)$.
- Do kádinky s vodní lázní opatrně ponořte najednou skleněný teploměr, odporové senzory teploty typu NTC a PTC a termočláanky typu K (vše je uchyceno v laboratorním stojanu s držáky). Senzory ponořte tak, aby se nedotýkaly červeného kolíku, který leží na dně kádinky s vodní lázní (kolík se při zahřívání magnetické míchačky točí).
- Požadovanou **teplotu topné desky** magnetické míchačky nastavte dle návodu k magnetické míchačce na **120 °C**.
- Lázeň nechejte za stálého míchání (cca **120 otáček/min**) zahřívát po dobu **45 minut**. **Každých 5 minut** odečtěte teplotu lázně na skleněném teploměru a změřte odpor odporových senzorů teploty typu NTC a PTC a teplotu lázně měřenou termočláanky typu K s různým průměrem pouzdra.
- Po ukončení měření vyjměte teplotní senzory z vodní lázně a vypněte přístroje.
- Naměřené hodnoty vynesete do grafu** tak, že vytvoříte:
 - závislost teploty termočláanků na teplotě změřené skleněným teploměrem;
 - závislost hodnot odporových senzorů na teplotě skleněného teploměru.

Ad c) Stanovení časové konstanty snímačů

- Nyní proveďte měření pro stanovení časové konstanty tří termočláankových snímačů a dvou snímačů NTC.
- Na magnetické míchačce s topnou deskou nastavte **teplotu topné desky na 70 °C** a **vyčkejte cca 5 minut** na ustálení teploty v lázni.
- Snímače** určené pro stanovení jejich časové konstanty **připojte na datalogger ALMEMO** – konektor s termočláanky (zelené vodiče) na vstup M0 a konektor s NTC snímači na vstup M1, jak je ukázáno na Obrázku 8. Vstupy M2 a M3 ponechte nezapojené. **Zapněte datalogger ALMEMO, ZAPNĚTE ZÁZNAM HODNOT** pomocí tlačítka F1 (v levém horním rohu mělo by svítit „REC“, jak je patrné z Obrázku 9).



Obrázek 8 Připojení konektorů k dataloggeru ALMEMO

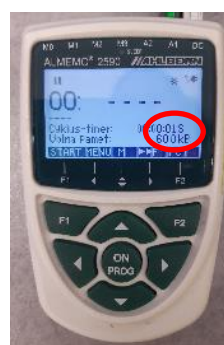


Obrázek 9 Zapnutí nahrávání dat na dataloggeru ALMEMO

- Snímače rychle vložte do lázně používané v předchozí úloze b) tak, aby spodní konce jímek byly ponořeny přibližně do poloviny hloubky.
- Po ustálení teploty termočlánek v největší jínce (kanál 00 na dataloggeru ALMEMO), **nejméně však po 2 minutách, vypněte pomocí tlačítka F1 záznam dataloggeru a odpojte všechny konektory.**
- USB kabelem připojeným do vstupu A1 **propojte datalogger s PC** v laboratoři a podle příloženého návodu **stáhněte data** z dataloggeru ALMEMO, **uložte** je ve formátu EXCEL a překopírujte na svůj flashdisk nebo si pošlete na email.
- Po uložení naměřená data z dataloggeru ALMEMO vymažte (viz příložený návod ke stahování dat). Volné místo v paměti se obnoví na svou původní hodnotu 60 kB (viz obrázek 10 a 11).



Obrázek 10 Datalogger plný dat, paměť se s množstvím dat zmenšuje



Obrázek 11 Datalogger vyprázdněný, volná paměť 60 kB

- Sestrojte grafy nárůstu teploty v čase a stanovte časovou konstantu jednotlivých snímačů.** Výsledky okomentujte.

Ad d) Stanovení relativní vlhkosti

- Stanovte relativní vlhkost pomocí Assmanova aspiračního psychrometru.
- Přístroj připravte tak, že **navlhčíte punčošku** destilovanou vodou, našroubujete zpět kratku a **natáhněte hodinový strojek** pohánějící vrtulku (10 půlotáček natahovacím klíčem).
- Přístroj zavěste** na stojánek, uvolněte vrtulku a **nechejte přístroj cca 3 minuty běžet.**
- Po uvedeném čase **odečtěte teploty na obou teploměrech** (vrtulka by měla být stále v chodu).
- Z odečtených teplot na suchém a vlhkém teploměru **určete jejich rozdíl** a podle příložených **tabulek stanovte relativní vlhkost** vzduchu na měřeném místě.

6. Po ukončení měření pomocí psychrometru **změřte relativní vlhkost** vzduchu při měření **pomocí kombinovaných sond** vlhkost-teplota ALMEMO a Greisinger.
7. Konektor snímače vložte do vstupu M0 dataloggeru ALMEMO, zapněte datalogger ALMEMO a tlačítkem s šipkou dolů na displeji přepněte měřenou veličinu na relativní vlhkost. Zapněte přístroj Greisinger.
8. Zaznamenejte hodnoty relativní vlhkosti z obou přístrojů a přístroje vypněte.
9. Naměřené hodnoty vlhkosti vzájemně porovnejte a pokuste se okomentovat případné rozdíly.
10. **Napište, co je relativní vlhkost vzduchu.**

Výsledky – tabulky naměřených hodnot