

Meteorologické přístroje a pozorování

Z0076, podzim 2009
Mgr. Kamil Láska, Ph.D.

Struktura přednášky

1. Úvod
2. Teplota vzduchu
3. Teplota půdy
4. Vlhkost vzduchu
5. Sluneční záření
6. Tlak vzduchu
7. Přízemní vítr
8. Atmosférické srážky
9. Sněhová pokrývka
10. Výpar
11. Oblačnost a její pozorování
12. Dohlednost, pozorování mlhy
13. Atmosférické jevy
14. Stav počasí
15. Průběh počasí
16. Stav půdy
17. Klimatologické stanice
18. Automatické meteorologické stanice

Doporučená literatura:

Návod pro pozorovatele meteorologických stanic. Metodický předpis č. 13, 13a, 13b, ČHMÚ Praha

Brock, F. V., Richardson, S. J. (2001): Meteorological measurements systems. Oxford University Press, New York, 290 s.

Bednář, J. (1989): Pozoruhodné jevy v atmosféře. Academia, Praha, 240 s.

Fišák, J. (1994): Návod pro pozorovatele meteorologických stanic. Metodický předpis č.11, ČHMÚ Praha, 114 s.

Fröhlich, C., London J. (1986): Revised Instruction manual on radiation instruments and measurements. WCRP Publications, Ser. No 7, WMO/TD -No 149

Kocourek, F. (1972): Měřicí metody v meteorologii spodních vrstev ovzduší. ČHMÚ Praha

Slabá, N. (1972): Návod pro pozorovatele meteorologických stanic ČSSR. Sborník předpisů, sv. 7, HMÚ Praha, 222 s.

1. Úvod

Požadavky na měřící techniku:

- citlivost
- přesnost
- rozdílovací schopnost
- dynamický rozsah
- dlouhodobá stálost (bez driftu)
- malá poruchovost
- snadná obsluha = automatizace
- nízké pořizovací a provozní náklady

Zdroje chyb při měření:

- statické (systematické)
- dynamické
- drift (změna vlastnosti) senzoru
- expozice senzoru

2. Teplota vzduchu

Teplotní stupnice

1. Kelvinova (K) – termodynamická (absolutní) stupnice
2. Celsiova (°C)
3. Fahrenheitova (°F)
4. Reaumurova (°R)

Požadavky na teploměry:

- citlivost
- přesnost
- dynamický rozsah
- dlouhodobá stálost (bez driftu)
- malá poruchovost a snadná obsluha

Dělení teploměrů:

- A. Princip tepelné roztažnosti látek
- B. Elektrické teploměry

- 2A.1. Kapalinové skleněné teploměry
- 2A.2. Deformační – bimetalické teploměry
- 2B.1. Odporové snímače
- 2B.2. Termoelektrické snímače
- 2B.3. Polovodičové snímače
- 2B.4. Infrateploměry

A1. Kapalinové skleněné teploměry

- náplň rtuť, líh
- teploměry: staniční, maximální a minimální, přízemní, půdní
- čtení teploměrů s přesností na 0,1 °C
- chyba čtení paralaxou
- kalibrace, tabulka korekcí

Staniční teploměr

- teploměrná kapalina rtuť – velká tepelná vodivost, malá tepelná kapacita, nesmáčí sklo, malá tepelná roztažnost
- stupnice po 0,2; čtení s přesností 0,1 °C; měření: 7, 14, 21 hod SMČ
- denní průměr = $7 + 14 + 2 \cdot 21 / 4$

Maximální teploměr

- stupnice po 0,5 °C; čtení po 0,1 °C; definitivní čtení ve 21 hod; opět nastavení (setřepání); kontrolní čtení v 7 a 14 hod SMČ

Minimální teploměr

- kapalina – alkohol, apod.; index
- definitivní čtení ve 21 hod; opět nastavení; kontrolní čtení v 7 a 14 hod SMČ
- poruchy funkce

Přízemní teploměr

- minimální teploměr minimální teplota ve výšce 5 cm nad zemí
- vodorovná poloha
- definitivní čtení teploty v 7 hod SMČ, nastavování ve 21 hodin; přes den v budce

A2. Deformační – bimetalické teploměry

- bimetalický pásek – 2 kovové proužky o různé tepelné roztažnosti
- termograf s denní nebo týdenní otočkou = kontinuální záznam teploty

B1. Odporové snímače

- vztah mezi změnou teploty kovů a změnou jejich elektrického odporu (s teplotou odpor roste)
- závisí na odporu při výchozí teplotě, na změně teploty a teplotním součiniteli el. odporu
- vlastní čidlo: vodič stejnorodého chemického složení a stálých fyzikálních vlastností (např. odpor je 100 ohmů při teplotě 0 °C - Pt100, Ni100)
- přesné, malý dynamický rozsah

Termistory

- vyšší než u kovů, vždy záporný; termistorová perla, radiosondy, půdní teploměry
- přesné, velký dynamický rozsah

B2. Termoelektrické snímače (termočlánky)

- termoelektrický jev; elektromotorická síla; termoelektrická řada Cu-Co, Fe-Co, Ni-Fe,... (typ T, J, K,...)
- miniaturní, velmi přesné, velký dynamický rozsah, malé výstupní napětí

B3. Polovodičové snímače

- diody, tranzistory, integrované obvody vždy je využíváno teplotní závislosti napětí na přechodu polovodiče malý dynamický rozsah

B4. Infrateploměry

- princip termoelektrického snímače; bezkontaktní měření teploty povrchu
- přesné, malé výstupní napětí, nutnost kalibrace podle emisivity měřeného povrchu

3. Teplota půdy

- standardní hloubky: 5 cm, 10 cm, 20 cm, (30 cm), 50 cm, 100 cm
- umístění teploměru: přirozené půdní poměry; problém: srážková voda, podzemní voda, zastínění
- měření: 7, 14, 21 hod SMČ; denní průměr = $7 + 14 + 21 / 3$

3A. rtuťové teploměry

- a) lomené teploměry
 - umístění teploměrů, nevýhody
- b) hloubkové teploměry
 - umístění teploměrů, nevýhody

3B. odporové půdní teploměry

- čidlo chráněné pouzdrém
- umístění teploměru

4. Vlhkost vzduchu

- charakteristiky vlhkosti vzduchu

Metody měření vlhkosti vzduchu

- metoda psychrometrická (psychrometry ventilované, aspirační a neventilované)
- metoda hygroskopická
- měření teploty rosného bodu
- infra-analyzátory
- elektrické kapacitní vlhkoměry

4A. Metoda psychrometrická

princip: dvojice staničních teploměrů "suchý" a "vlhký" teploměr,....

psychrometrický vzorec:

$$e = E' - A \cdot dt \cdot p$$

e ... skutečné napětí vodní páry ve vzduchu, **E'** ... napětí nasycení při teplotě t' (vlhký teploměr), **A** ... psychrometrická konstanta, **dt** ... rozdíl teploty suchého a vlhkého teploměru = psychrometrický rozdíl $t - t'$, **p** ... barometrický tlak

Augustův psychrometr

- neventilovaný, v meteorologické budce
- měření: 7, 14, 21 hod SMČ (průměr $7 + 14 + 2 \cdot 21 / 4$)
- nádobka s destilovanou vodou pod teploměrem
- problém: skupenství vody (led, přechlazená voda); omezené použití
- psychrometrické tabulky
- malý dynamický rozsah, náročná obsluha, nepřesný pod 0 °C, další limitující faktory

Assmanův aspirační psychrometr

- umělá ventilace ($2 - 2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$); přenosný
- doba měření: léto min. 3 min, zima min. 5 min
- přesný, malý dynamický rozsah, náročná obsluha, další limitující faktory

4B. Metoda hygroskopická

-délková roztažnost látek vlhkem

Vlasový vlhkoměr (hygrometr)

-kontrolní přístroj k Augustovu psychrometru

-regenerace vlasů

-výhody: přímé čtení nezávislé na pohybu vzduchu

-nevýhody: nepřesné, setrvačnost, menší stálost a trvanlivost, nelineární prodlužování

Hygrograf

-umístěn v meteorologické budce

-čidlo: svazek lidských vlasů; zlatotepecká mázdra (lineární deformace), 3-4x citlivější

4D. Infra-analyzátor

-měření absolutní vlhkosti vzduchu --> odvození dalších charakteristik vlhkosti

-velmi přesné a citlivé, nulové setrvačnost, drahé

-výpočet latentního toku tepla (LE)

4E. Elektrické kapacitní vlhkoměry

-snímač = kapacitní čidlo (princip kondenzátoru; dielektrikum-nevodič)

-přesné, nulová setrvačnost, velká citlivost

5. Sluneční záření

-intenzita, kvalita (spektrální složení), trvání slunečního svitu

- solární konstanta $1367 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \pm 2\%$; kolísání se změnou dráhy oběhu Země kolem Slunce a sluneční aktivitou (11 letý cyklus, sluneční skvrny)

- chyby měření

Metody měření intenzity slunečního záření

5A. kalorimetrické

-tepelně izolované těleso pohlcuje záření, přeměnou na teplo se zahřívá a intenzita záření je úměrná vzestupu teploty (určení rozdílu dvou těles)

5B. fotometrické

využití fotochemických a fotoelektrických účinků

Přímé sluneční záření

i) absolutní měřicí přístroje ($0.2 - 4 \mu\text{m}$) -pyrheliometry

ii) relativní měřicí přístroje -aktinometry

Globální (celkové) sluneční záření

přímé a rozptýlené záření – pyranometry ($0.3 - 3.6 \mu\text{m}$)

-na podobného principu albedometry

Dlouhovlnné záření

-pyrgeometry ($4.5 - 42 \mu\text{m}$)

Bilance zářivé energie

- bilance toků záření krátkovlnného a dlouhovlnného včetně reflexe od zemského povrchu
- bilancometry – pyrrometry – net radiometry (0.3 – 42 μm)

Ultrafialové záření

- spektrofotometry, UV-radiometry

FAR (PAR) záření

- FAR senzory (400 – 700 nm)

Přímé sluneční záření

- absolutní měřicí přístroje (0.2 – 4 μm)
 - pyrheliometry (Angströmův pyrheliometr)
 - výstup přímo intenzita; většinou na kompenzačním principu (2 začerněné manganové proužky)
- relativní měřicí přístroje
 - aktinometry - změřená hodnota se musí násobit konstantou zjištěnou porovnáním s absolutními přístroji

Aktinometr Linke & Feussner

- princip: sluneční záření se transformuje v tepelnou energii přijímacího tělesa a dále v elektrickou energii prostřednictvím termobaterie (20 termočlánků)
- postup měření: nastavení zeměpisné šířky, opakování, výpočet nuly,...
- setrvačnost 8 s, vysoká citlivost, filtry pro měření v dílčích částech spektra

Globální sluneční záření

Pyranometry termočlánkové

- snímač: termobaterie z konstantanových a manganinových destiček

i) Systém Janiševskij

- černé a bílé pole (hvězdice, šachovnice,...) pod jednoduchým polokulovým poklopem ze skla

ii) Systém Moll (Moll-Gorczyński)

- černé čidlo, dvojitý polokulový poklop ze skla (eliminace vlivů vnějšího okolí)
- teplotní kompenzace - termobaterie jsou nezávislé na teplotě okolí

Pyranometry diodové

- fotoelektrický princip snímač: fotodiody, difuzér, filtry

Dlouhovlnné sluneční záření

Pyrgometry

- čidlo: silikonový vstupní filtr nepropustný pro krátkovlnné záření; absorpční povrchem pod kterým je termobaterie
- problém: vlastní emisivita čidla - efektivní vyzařování čidla (konstrukce, korekce...)
- s plochým čidlem (150°); s polokulovým čidlem (180°)

Bilance slunečního záření

- bilancometry – pyrradiometry – net radiometry (0.3 – 42 μm)
- 2 termobaterie zapojeny rozdílově; polokulový kryt z lupulenu
- současné nekryté bilancometry (teflon)

Celkové UV záření, UV-A, UV-B záření, biologické účinky UV záření

Spektrofotometry

- spektrofotometrický princip
- intenzita UV záření -> koncentrace O_3 -> aerosoly (optická vzduchová hmota)
- Brewerův spektrofotometr

UV radiometry

- fotoelektrický princip
- intenzita UV záření, aerosoly
- biologické účinky UV záření (UV-Biometer)

Trvání slunečního svitu

- doba, po kterou Slunce v průběhu dne svítí

Heliograf (slunoměr) Campbell-Stokes

- skleněná koule; 3 registrační pásky; stopa = délka (trvání) slunečního svitu
- výměna pásky; vyhodnocení záznamu;
- instalace přístroje; chyby a poruchy

Elektrický slunoměr (CSD 1, Kipp-Zonen)

- princip: měření intenzity přímého slunečního záření (pokud intenzita $> 120 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ potom slunce svítí)

6. Tlak vzduchu

Torricelliho pokus (1646)

Rtuťový staniční tlakoměr

- kovové válcovité pouzdro, závěs, nonius, teploměr
- umístění tlakoměru
- měření tlaku vzduchu: 7, 14, 21 hod SMČ (denní průměr $7 + 14 + 21 / 3$)
- postup měření

OPRAVY TLAKU VZDUCHU

- redukce přečtené hodnoty na teplotu 0°C
- stála oprava tlakoměru = tíhová oprava + přístrojová chyba
- převod tlaku v torrech (mm Hg) na hPa
- oprava na nadmořskou výšku
- závěrečný přepočít tlaku vzduchu na hladinu moře (tabulky, výpočet)

Aneroid

- Vidiho dózy - deformace dóz; malá přesnost, stárnutí materiálu
- oprava na teplotu vzduchu
- Paulinův aneroid -ukazuje změnu nadmořské výšky
- radiosondy

Barograf, mikrobarograf

- registrační přístroje - soustava Vidiho dóz nad sebou
- tlakové tendence během posledních 3 hodin

Hypsometr

7. Přízemní vítr

- proudění ve výšce 10 m nad zemí
- směr, rychlost a nárazovitost větru

7.A Směr větru

- v desítkách stupňů azimutu
- problém: fluktuace proudění
- klimatologie: 16 nebo 8 dílné větrné růžici
- proměnlivý vítr, nárazovitý vítr
- měření: 7, 14, 21 hod SMČ (první a druhé čtení)

Větrná směrovka, anemoindikátor, anemograf, anemorumbometr

Elektrická větrná směrovka

- vertikální osa – potenciometr – výstup odpor, napětí

7.B Rychlost větru

- ve standardní výšce 10 m nad zemí
- 7, 14, 21 hod SMČ - první a druhé čtení (denní průměr = $7 + 14 + 21 / 3$)

Metody měření:

- odhadem
- dynamické účinky tlaku větru
- zchlazovací účinky větru
- změna šíření akustického signálu

7.B1 odhadem

- Beaufortova anemometrická stupnice (13 stupňů, 0 -12)

7.B2 dynamické účinky tlaku větru

- i) miskové anemometry
- Robinsonův kříž (trojramenný)
- nízká prahová citlivost

Ruční součtový anemometr

-měření průměrné rychlosti větru zpravidla za 100 s

Ruční indukční anemometr

-měření okamžité rychlosti větru
-indukce proudu na AC generátoru

Elektrický (optický) anemometr

-otáčení kotouče se šterbinou kolmo na světelný paprsek = impulsy = frekvence

Anemoindikátor ČHMÚ

-okamžitá rychlost větru
-směr větru

Univerzální anemograf (sdružený)

-směr větru, průměrná hod. rychlost, okamžitou rychlost větru
-větrná směrovka, celková dráha větru -Robinsonův kříž, Prandtlůva trubice

ii) Prandtlůva trubice

-okamžitá rychlost větru rovna rozdílu statického a dynamického tlaku vzduchu
-nízká prahová citlivost

iii) vrtulové anemometry

-registrují rychlost i směr větru
-vyšší prahová citlivost

7.B3 zchlazovací účinky větru

-velikost ochlazení drátu, který je ohříván, závisí na rychlosti a hustotě vzduchu
-hot-wire / hot-film anemometry

7.B4 změna šíření akustického signálu

-závislost rychlosti šíření akustického signálu na rychlosti větru a teplotě vzduchu

Ultrazvukové (akustické) anemometry

-3D-měření složek větru a virtuální teploty vzduchu
-velmi přesné, velmi nízká prahová citlivost

8. Atmosférické srážky

-bodové měření
-významné podhodnocené/nadhodnocení měření
-množství, intenzita, trvání a druh srážek

8.A Doba trvání a druh srážek

-trvání = 7:45 – 12:03
-druh srážek: padající, usazené, kapalné a tuhé

Detektor výskytu srážek

-druhu srážek, doba trvání a intenzita srážek

-základem kapacitní čidlo (vodivá mřížka) = výstupní elektrické napětí

8.B Množství srážek

-v mm; výška akumulované vody (srážek) na plochu (1 m²) bez odtoku a výparu

-výšce srážky 1 mm odpovídá = 1 litr na 1 m² vodorovné plochy

Srážkoměr

-srážkoměrná soustava: 2 stejně velké válcové nádoby, nálevka, konvice, skleněná odměrka

-záchytná plocha: 500 cm² (Metra), 200 cm² (Hellman, Německo)

-měření v 7 hod, hodnota k předešlému dni

-zimní úprava srážkoměru; postup měření

Totalizátor

-horské oblasti, kumulace srážek za delší období

Chyby při měření srážek

-náhodné

-systematické (déšť 5 -15 %, sníh 20 -50 %)

$$R = R_m + \Delta R$$

R_m ... naměřené srážky, ΔR ... systematická chyba

a) aerodynamický efekt srážkoměru

b) smáčení srážkoměru (2 -10 %)

c) výpar srážkové vody (0 -4 %) ze srážkoměru

d) rozstřík srážkové vody (1 -2 %)

e) dodatečná akumulace

Odstranění chyb - větrná ochrana:

Nipherova, Tret'jakovova, pohyblivá (Alter single)

8.C Intenzita srážek

-odhadem, přístroji

-v mm/min nebo mm/hod

Člunkový srážkoměr

-překlápějící nádobka (0,1 mm nebo 0,25 mm), elektrické kontakty (spínač), počet překlopení – intenzita, srážkové úhrny

Ombrograf (váhový, plovákový)

-registrace srážek během bezmrazového období

-záznam = ombrogram

-celoroční provoz = ohřev

-záchytná plocha 250 cm²

-nálevka, plováková komora, sifón, registrační válec a pero, hodinový stroj

Optické srážkoměry

-nejpřesnější metoda měření intenzity srážek

-infračervený nebo laserový paprsek

9. Sněhová pokrývka

- vrstva sněhu nebo ledu, která přímo nebo nepřímo vznikla v důsledku tuhých srážek
- ledovka na zemi NE

Začátek a konec souvislé a nesouvislé sněhové pokrývky

- definice
- poprašek (definice)

Celková výška sněhu

- měření v 7 hodin
- sněhoměrná tyč (na 1 cm)
- přenosná sněhoměrná lať

Výška nového sněhu

- v období od termínu 7 předešlého dne do termínu 07 dne měření (zapisuje se k předcházejícímu dni)
- sněhoměrná deska, speciální pravítko, sněhoměrná lať
- problém: ovlivnění větrem, dodatečná akumulace, apod.

Vodní hodnota sněhu

- v pondělí v 7 hodin
- množství vody v mm vodního sloupce obsažené ve sněhové pokrývce

a) metoda váhová

- váhový sněhoměr

b) metoda objemová

- dolní část srážkoměrné nádoby, odměrný válec

10. Výpar

- závisí na fyzikálních vlastnostech daného povrchu, podloží a na atmosférických vlivech
- zjednodušené podmínky = výparnost (evaporace) za 24 hodin
- v 7 h ráno, na 0,1 mm

10.A Měření výparu z volné vodní hladiny

10.B Půdní výparoměry -lyzimetrie

Měření výparu z volné vodní hladiny

Class A (americký)

- kruhový bazén, dřevěný rošt, plocha 20000 cm²
- měří se teplota vody, rychlost větru v úrovni hladiny, srážky
- měřicí šroub se stupnicí

GGI 3000 (standard WMO)

- výparoměr (plocha 3000 cm²)
- srážkoměr (3000 cm²)
- odměrná nádoba – výška vodní hladiny
- postup měření; opakování 3x
- v 7 hodin

11. Oblačnost a její pozorování

- pozorování: 7, 14, 21 hod (subjektivní)

Druh oblaků (tvar, odrůda)

- tabulka klasifikace oblaků – Mezinárodní atlas oblaků

Množství

- stupeň pokrytí oblohy oblaky
- odhadem; automatická kamera pro snímkování oblohy

synoptická a letecká meteorologie 0 - 8/8 (mezinárodní symboly)

klimatologie 0 - 10/10

Hustota

- 0 -slunce prosvítá; předměty vrhají stíny
- 1 -jen obrysy slunce, předměty nevrhají stín
- 2 -slunce přes oblaka neprosvítá

Výška základny oblaků

- u letecké meteorologické služby (součást minima leteckého provozu)

A. vizuálně (odhad)

B. akustický radar = SODAR

C. přístroj IVO (indikátor výšky oblačnosti)

D. ceilometry

- silný světelný zdroj; vysílač a přijímač; 2 varianty (pevný nebo rotující světelný paprsek)

12. Dohlednost, pozorování mlhy

- dohlednost snižují: vodní částice (ledové krystaly), prachové částice
- tabulka dohlednosti (hodnocení intenzity: mlha, kouřmo, zákal)

Vizuálně

- největší vzdálenost na kterou lze rozpoznat určitý objekt (den, noc), plánek okolí stanice
- pozorování 7, 14, 21 hod

Přístroji

- zeslabení (rozptylu) světelných paprsků při průchodu atmosférou na určitou vzdálenost
- podél přistávací dráhy

13. Atmosférické jevy

Atmosférický jev = METEOR = úkaz pozorovaný v atmosféře nebo na zemském povrchu
METEOR nejsou oblaka a tělesa kosmického původu

Rozdělení podle složení, původu a podmínek výskytu:

Hydrometeory

-nebezpečné atmosférické jevy: tromba (smršť), tornádo

Litometeory

Fotometeory

Eletrometeory

-viditelný nebo slyšitelný projev atmosférické elektřiny

-bouřka: vzdálenost od stanice, časový interval, intenzita (0, 1, 2), směr tahu, blesk, hřmění

Jiné jevy

14. Stav počasí

-výskyt základních atmosférických jevů v termínu pozorování

-termíny pozorování: 7, 14, 21 hod

-při výskytu více jevů --> nejvyšší kód

15. Průběh počasí

-výskyt atmosférických jevů od 00.00 do 23.59 hodin SEČ i SELČ

-mezinárodní značky (symboly)

Zaznamenává se:

-vlastní atmosférický jev

-vzdálenost místa výskytu jevu od místa pozorování (v místě, do 5km, nad 5km)

-intenzita jevu (00, 0, 1-3)

-časové údaje o době začátku a konci jevu

16. Stav půdy

-konsistenční vlastnosti povrchové vrstvy půdy (nikoliv porostu)

-stav půdy (index 0 - 9) na pozemku stanice a v nejbližším okolí

-termíny: 7, 14, 21 hod

17. Klimatologické stanice

-výběr vhodného místa

-měrný pozemek (velikost, faktory ovlivňující výběr, vzhled)

-vliv na homogenitu časových řad

Zdroje nehomogenit:

-přerušování pozorování = chybějící údaje

-přemístění stanice

-změna polohy přístrojů

-změny v okolí stanice

-změna pozorovatele

-metodika pozorování

Meteorologická budka

-vzhled, konstrukce, umístění, vybavení meteorologickými přístroji

Radiační stínítka pro senzory

-tepelné účinky slunečního záření

-přirozená a umělá ventilace (různá konstrukce)

18. Automatické meteorologické stanice (AMS)

-důvody konstrukce AMS

-dělení AMS (synoptické, klimatologické, speciální)

Základní funkční jednotky:

1) série snímačů

2) měřicí ústředna (dataloger)

-dekodér, operační paměť, hlavní paměť (firmware), hodiny, komunikační (sériový) port

3) energetický zdroj (baterie, akumulátor, solární panel, apod.)

Campbell Scientific, Anglie

- automatická meteorologická stanice, snímače, datalogery CR10, CR1000, CR5000

Vaisala, Finsko

MAWS101, 201

-automatická meteorologická stanice pro základní klimatologické měření

MILOS 520

-automatická meteorologická stanice pro synoptické účely (ČHMÚ)