

Klimatologie a hydrogeografie

Lekce 1

Meteorologie a klimatologie jako vědní obory, klimatotvorné faktory, kategorie klimatu, meteorologická měření a pozorování



RNDr. Jiří Jakubínský, Ph.D. | 2. 3. 2018

1

Meteorologie a klimatologie

- vědní disciplíny o zemské atmosféře, klimatických a povětrnostních dějích a jevech, které se v ní odehrávají
- společný objekt studia, ale samostatný vývoj
- pozorování **závislosti zemědělské produkce na počasí a podnebí**
- úvahy o souvislosti počasí s vesmírnými tělesy
- první pokusy o pravidelná meteorologická pozorování (Řecko, 5. st. př. n. l.)
- věž větrů v Athénách
- **Plátón** (427-347 př. n. l.): „**meteora**“ – věci a jevy mezi nebem a zemí
- **Aristoteles** (384-322 př. n. l.): dílo **Meteorologica** – souhrn tehdejších meteorologických poznatků, další vývoj oboru v souvislosti s astronomií a geofyzikou
- **české země**: první zpráva o počasí z r. 1092 (**Kosmas**)

2

Meteorologie a klimatologie

- **středověk** – rozvoj meteorologie často souvisí s cestami objevitelů
- konstrukce **prvních meteorologických přístrojů** v 17. století
- Accademia del Cimento (Firence, založena 1657)
- Societa meteorologica palatina (Mannheim, založena 1780) - základy pro formulaci prvních meteorolog. teorií
- **E. Halley** (1656-1742): **první meteorologická mapa** (mapa vzdušných proudů nad Atlantikem, Tichým a Indickým oc.)
- 18. a 19. století – **počátky souvislých meteorolog. pozorování a měření**, vznikají sítě meteorolog. stanic
- **H. W. Brandes** (1820): první mapa současného rozdělení tlaku vzduchu (**synoptická mapa**) – další rozvoj s vynálezem telegrafu (1850)
- **A. von Humboldt a H. W. Dove** (počátek 19. stol.): základy **klimatologie**
- vznikají první pracoviště zaměřená na meteorologii a klimatologii (např. Ústřední ústav pro meteorologii a zemský magnetismus, Vídeň, založen 1851)

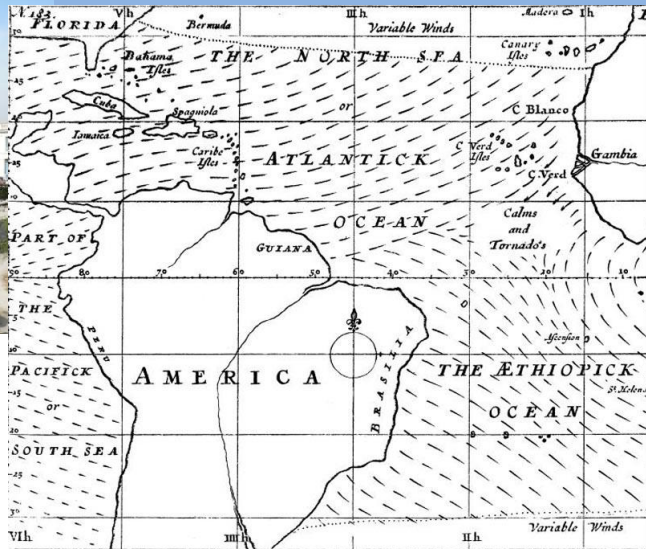
3

Meteorologie a klimatologie

- **české země**: nejstarší denní záznamy o počasí z let 1533-34
- souvislá meteorologická pozorování a měření od r. 1752 – **Praha, Klementinum** (A. Strnad)
- 2. pol. 19. stol. – s rozvojem poznatků z termodynamiky souvisí vznik **dynamické meteorologie**
- klimatologie se soustředila zejm. na výzkum geografických podmínek a regionálních odlišností – **W. Köppen**
- 20. století – intenzivní rozvoj meteorologie jako důsledek technologického pokroku (vznik **radiolokační a družicové meteorologie**, atd.)
- r. 1919 založen Státní ústav meteorologický v Praze (dnes **ČHMÚ**)
- potřeba mezinárodní spolupráce: vznik **Světové meteorolog. organizace (WMO)** při OSN v r. 1950 [v r. 2013 měla 191 členů]
- nový **problém 20. stol.**: **znečištění ovzduší** a nástroje jeho ochrany
- 21. století: projevy **klimatické změny**

4

Meteorologie a klimatologie



5

Meteorologie a klimatologie

- **meteorologie** („meteoros“ a „logos“)
 - věda o atmosféře, o její stavbě, vlastnostech a v ní probíhajících fyzikálních procesech
 - předpovídá a analyzuje počasí (tj. aktuální stav atmosféry, charakterizovaný souhrnem hodnot **meteorologických prvků** a **meteorologických jevů** v daném místě a čase)
 - **hlavními úkoly meteorologie** jsou zejm.: studium stavby a složení atmosféry, oběh tepla a vody v interakci se zemským povrchem, atmosférické pohyby, elektrické pole atmosféry, optické a akustické jevy v atmosféře Země
 - **dle zaměření meteorologii dělíme** na: **dynamickou**, **synoptickou**, **fyzikální**, **radiolokační** (radarovou) a **aplikovanou** (podle konkrétního využití v praxi – tj. biometeorologie, agrometeorologie, letecká a námořní meteorologie, atd.)
 - vyšší vrstvy atmosféry studuje **aerologie** a **aeronomie** (nad troposférou)

6

Meteorologie a klimatologie

- **meteorologické prvky:** sluneční záření, teplota vzduchu a půdy, tlak a vlhkost vzduchu, výpar, oblačnost a atmosférické srážky
- **meteorologické jevy:** tzv. **meteory** (úrazy pozorované v atmosféře nebo na zemském povrchu vyjma oblaků)
 - hydrometeory
 - litometeory
 - fotometeory
 - elektrometeory
- **povětrnost:** ráz počasí během několika dnů

7

Meteorologie a klimatologie

- **klimatologie**
 - **věda o klimatech Země, o podmínkách a příčinách jejich utváření, o působení klimatu na objekty činnosti člověka a člověka samotného a naopak**
 - **Hipparchos** (190-125 př. n.l.): závislost podnebí na sklonu dopadajícího slunečního záření („klinein“ – sklon)
 - předmětem klimatologie je studium **klimatu**
 - **úkolem klimatologie** je studovat obecné zákonitosti klimatických jevů, genezi klimatu, jeho změny a kolísání
 - dle míry vlivu aktivního povrchu na klimatotvorné procesy lze klimatologii dělit na: **klimatologii přízemní atmosféry, mezní vrstvy atmosféry a aeroklimatologii** (klíma volné atmosféry)
 - **obecná vs. aplikovaná klimatologie** (bio/agroklimatologie, technická či dopravní klimatologie, atd.)

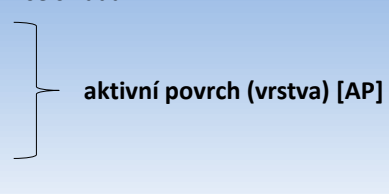
8

Klimatotvorné faktory

- **klima** (podnebí): **souhrn a postupné střídání všech stavů atmosféry** (podmínek počasí) **možných v daném místě**
- klima je **relativně časově stálé** - trvalá fyzickogeografická charakteristika místa
- klima je důsledkem **klimatotvorných procesů** – tj. fyzikálních procesů v atmosféře a aktivní vrstvě půdy
- procesy jsou důsledkem působení **klimatotvorných faktorů**
- **klimatotvorné faktory:**
 - **astronomické** (tvar Země, sklon zemské osy, změny sluneční aktivity, složení atmosféry, uchylující síla zemské rotace)
 - **geografické** (zeměpisná šířka, rozdělení kontinentů a oceánů, orografické poměry, vzdálenost od moří a oceánů, vegetační kryt, atd.)
 - **cirkulační** (planetární a místní cirkulace atmosféry)
 - **antropogenní** (změny vlastností atmosféry a zemského povrchu vlivem člověka)

9

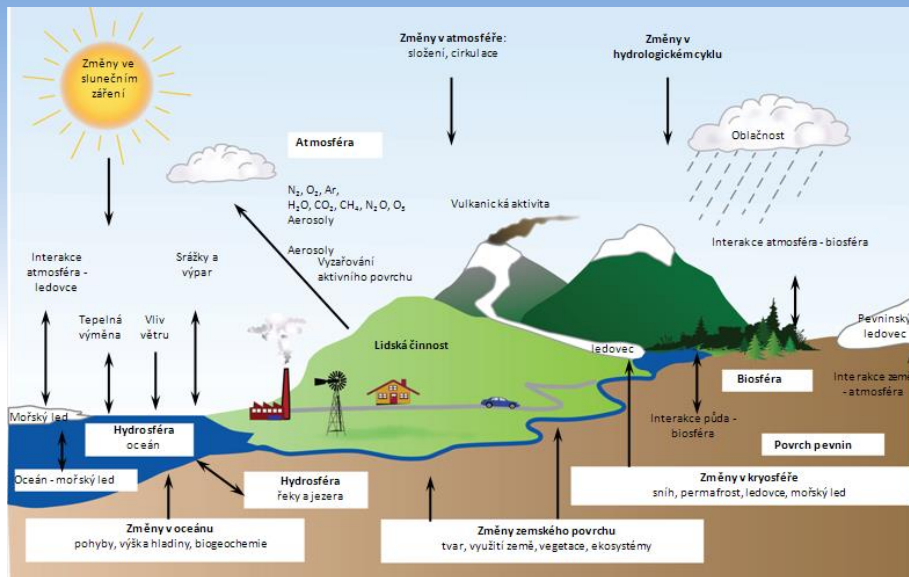
Klimatický systém Země

- **klimatický systém** – fyzickogeografická sféra Země
- úplný klimatický systém se skládá z ...
 - atmosféry
 - hydrosféry
 - kryosféry
 - povrchu pevniny
 - biosféry

aktivní povrch (vrstva) [AP]
- „**aktivní vrstva** je část zemského povrchu na níž probíhá transformace zářivé energie na tepelnou a opačně a z níž se uskutečňuje transport tepelné energie do atmosféry a podloží turbulentní výměnou nebo molekulárním vedením“ (Netopil a kol. 1984)
- **okamžitý stav úplného klimatického systému** lze tedy označit jako **počasí**

10

Úplný klimatický systém Země



11

Klimatický systém Země

- klimatický systém je prostorově a časově **velmi proměnlivý**
- **prostorová proměnlivost** klimatu může nabývat různého měřítka:
 - **topická až chorická** (příčinou může být např. vykácení lesa či zástavba)
 - **regionální** (způsobena cirkulačně podmíněnými změnami v rozložení meteorologických prvků)
 - **globální** (vázána na celou Zemi nebo její část)
- **časovou proměnlivost** klimatu lze rozlišit na:
 - **sezónní** (změny způsobené revolucí Země – změny počasí během roku)
 - **meziroční** (neperiodický ráz – střídání vlhkých a suchých let)
 - **sekulární** (dlouhodobé změny charakteru kolísání klimatu)

12

Kategorie klimatu

- značná **prostorová proměnlivost klimatického systému** umožňuje klima klasifikovat do následujících kategorií:
 - **mikroklima**
 - režim meteorologických dějů vznikající **vlivem stejnorodého AP**
 - vertikální rozměr podmíněn **charakterem AP** a jevy na vyšších úrovních (obvykle desítky metrů)
 - horizontální rozměr v řádech **stovek metrů**
 - mikroklima **nemusí vůbec vznikat**
 - „**kryptoklima**“ jako specifický typ mikroklimatu
 - **místní klima**
 - režim vznikající **vlivem morfologie, převládajícího složení a struktury biotické i abiotické složky AP a vlivem mikroklimat**
 - vertikální rozměr je dán výškou **přízemní vrstvy atmosféry** (80–100 m) a **lokální cirkulací** (podmíněnou reliéfem a „místním přehřátím“ – např. pole, zpevněný povrch)
 - horizontální rozměr obvykle **jednotky km** (režim meteorolog. dějů může být ovlivněn makrometeorologickými procesy)
 - **topoklima** – místní klima formované vlivem reliéfu

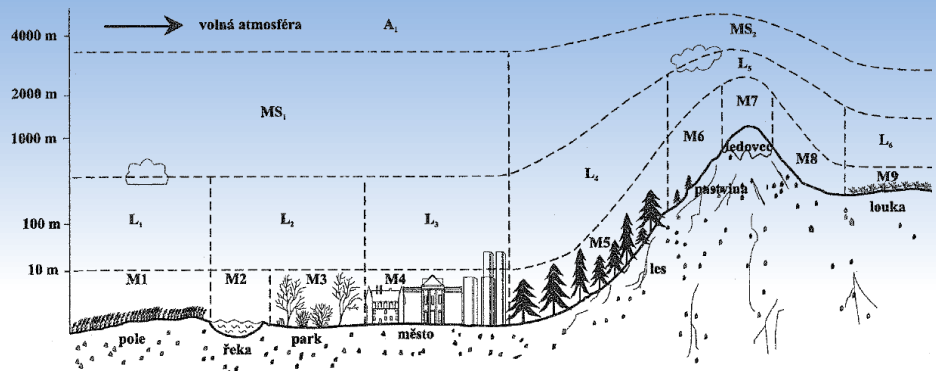
13

Kategorie klimatu

- **mezoklima**
 - režim vznikající **vlivem charakteru AP o větších rozměrech** („makrochora“), **výsledky antropogenní činnosti** (větší sídla, apod.), **vlivem makroklimat i místních klimat**
 - vertikálně omezeno **horní hranicí planetární mezní vrstvy atmosféry** (1–1,5 km)
 - vlivem **advекce** se mezoklima nemusí utvářet vůbec nebo může dosahovat až do výšky 3 km)
- **makroklima**
 - režim vznikající **vlivem interakcí mezi atmosférou a AP**, podmíněných jejich energetickou bilancí a planetární cirkulací
 - vertikálně omezeno **horní hranicí nižších klimatických kategorií a polohou tropopauzy** (9–17 km)

14

Kategorie klimatu



Zdroj: Vysoudil, 2006

15

Kategorie klimatu



16

Meteorologická měření a pozorování

- probíhají na **meteorologických a klimatologických stanicích** a pomocí **radiolokačních a družicových měření**
- **Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ)** – celkem 802 stanic (06/2011)
- **přízemní meteorologická měření a pozorování** jsou realizována:
 - **meteorologickými stanicemi** (ČHMÚ: plně profesionální, část pod správou AČR)
 - synoptické a letecké meteorologické stanice
 - agrometeorologické a fenologické stanice (ČHMÚ: Doksany)
 - **klimatologickými stanicemi** (ČHMÚ: obvykle dobrovolnické, částečně automatizované)
 - **srážkoměrnými stanicemi** (ČHMÚ: dobrovolnické, částečně automatizované)
 - **stanicemi se speciálním zaměřením** (pozorování a měření záření, dlouhodobý úhrn srážek, počet blesků, apod. – ČHMÚ: solární a ozónová laboratoř Hradec Králové)

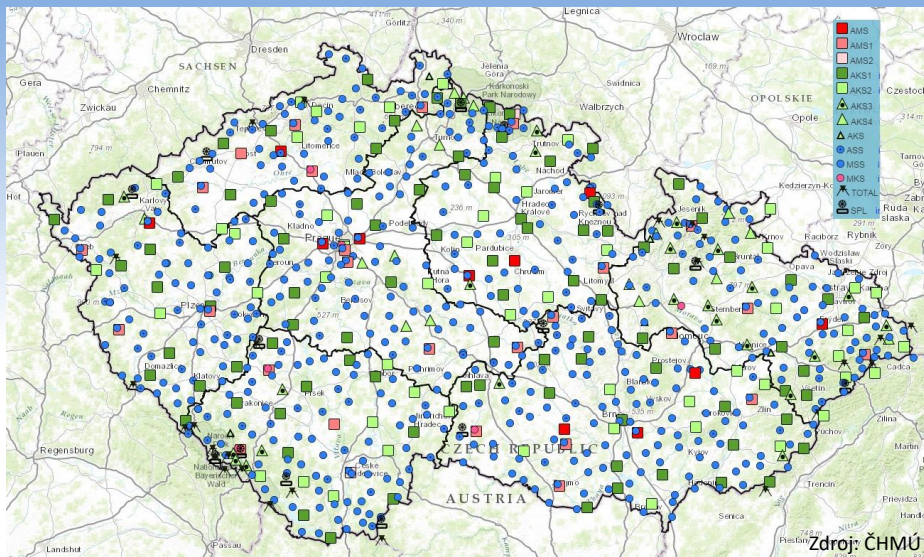
17

Meteorologická měření a pozorování

- **termíny měření a pozorování:**
 - **meteorologie**
 - hlavní synoptické termíny 00, 06, 12 a 18 h. UTC (tj. SEČ -1h, SELČ -2h)
 - vedlejší termíny 03, 09, 15 a 21 h. UTC
 - **klimatologie**
 - 7, 14 a 21 h. místního středního času
- profesionální stanice **standardně měří** teplotu, vlhkost a tlak vzduchu, směr a rychlost větru, úhrn srážek, výšku sněhové pokrývky, dobu trvání slunečního svitu, přízemní minimální teplotu (v 5 cm) a příkon fotonového dávkového ekvivalentu
- dále se **pozoruje** vodorovná dohlednost, pokrytí oblohy oblačností, charakteristiky oblačnosti, stav a průběh počasí, nebezpečné a zvláštní atmosférické jevy a náhlé změny počasí
- **nadstandardně se měří** výpar vody z vodní hladiny, teplota půdy, intenzita slunečního záření a čistota ovzduší

18

Meteorologická měření a pozorování



19

Meteorologická měření a pozorování

- **aerologická měření**
 - provádí **vertikální sondáž atmosféry** pomocí **radiosond** unášených balóny
 - informace o tlaku, teplotě a vlhkosti vzduchu, rychlosti a směru větru v daných výškových hladinách (zhruba do výšky 35 km)
 - ČHMÚ: **Praha-Libuš** a **Prostějov**
 - termíny: 00, 06, 12 a 18 h. UTC
- **radiolokační měření**
 - princip odrazivosti elektromagnetického záření od oblačnosti a atmosférických srážek
 - **radiolokační odraz** zachycen pomocí **meteorologického radaru**
 - analýzou odrazu lze zjistit informace o vzdálenosti a směru pozorovaných objektů od místa pozorování
 - ČHMÚ: radiolokační stanice **Brdy-Praha** a **Skalka** (Drahanská vrchovina)

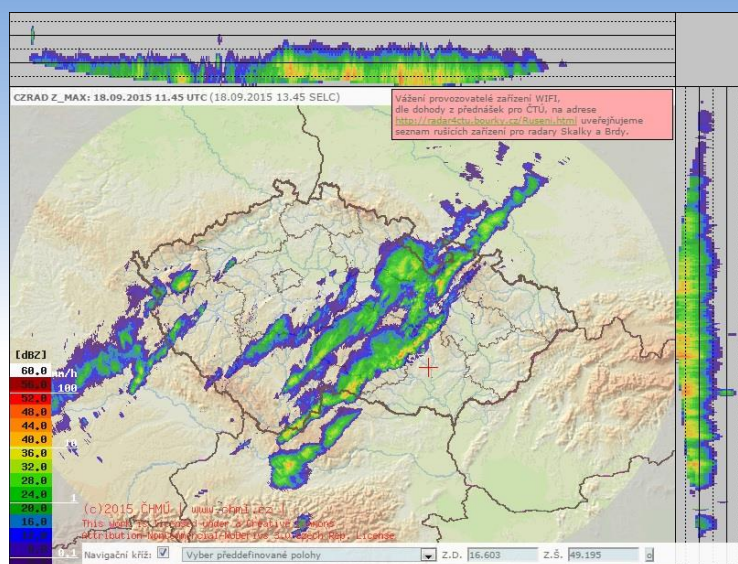
20

Meteorologická měření a pozorování



21

Meteorologická měření a pozorování



22

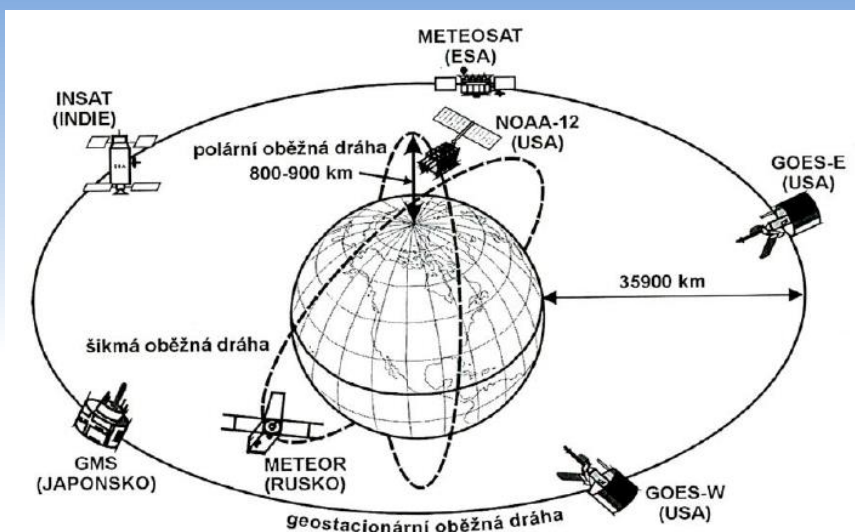
Meteorologická měření a pozorování

- **družicová měření a pozorování**

- operativní informace o stavu atmosféry nad velkými částmi Země
- **světový meteorologický kosmický systém** (→ DPZ)
 - kosmický subsystém (soubor družic pro pozorování povrchu Země a atmosféry)
 - pozemní subsystém (infrastruktura k příjmu a zpracování dat z družic)
- družice se pohybují po třech **orbitálních drahách** specifických výškou nad povrchem Země a svou polohou
 - **geostacionární (rovníková) dráha** (cca 35 900 km, např. METEOSAT, ENVISAT, GOES, GOMS)
 - **šikmá dráha** (300–600 km, METEOR)
 - **subpolární dráha** (800–900 km, např. LANDSAT, SPOT, TERRA, NOAA,)
- družice s šikmou a subpolární dráhou letu jsou nověji označovány jako „LEO“ (Low Earth Orbit), přelet nad jedním územím obvykle 2 × denně
- družice s geostacionární dráhou („**GEO**“ – Geostationary Earth Orbit) „visí“ nad určitým územím (oblast snímání cca 80° s. š. – 80° j. š.)

23

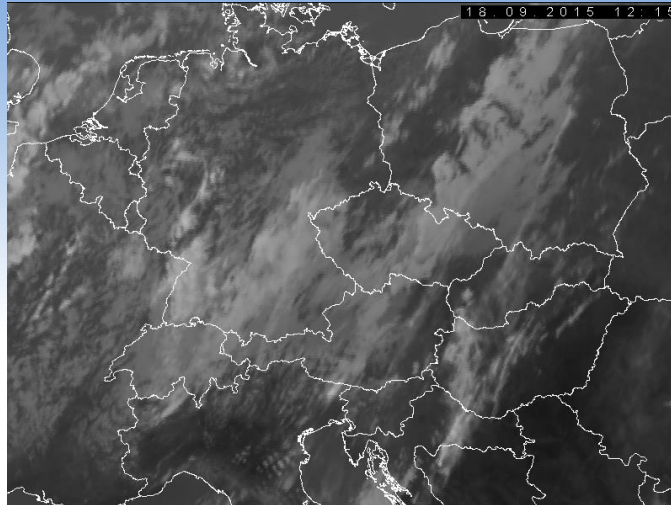
Meteorologická měření a pozorování



Zdroj: Vysoudil, 2006

24

Meteorologická měření a pozorování



Snímek oblačnosti z družice MSG (Meteosat 2. generace), Meteosat-8, resp. Meteosat-9 v pásmu tepelného záření (IR), zdroj: ČHMÚ, EUMETSAT

25

Meteorologická měření a pozorování

- význam družicového měření a pozorování **pro potřeby meteorologie:**
 - monitoring aktuálního počasí a jeho předpověď
 - parametry oblačnosti
 - rychlost a směr větru na lokální i globální úrovni
 - studium tropických cyklon a možnost predikce jejich vzniku
- **pro potřeby klimatologie:**
 - energetické toky v rámci úplného klimatického systému Země
 - teplota povrchu oceánu
 - globální rozložení teploty vzduchu a AP
 - globální rozložení a charakter vodních par / oblačnosti
 - proudění větru a cirkulace vzduchu na globální úrovni

26

Meteorologická měření a pozorování

- většina meteorologických prvků v současnosti měřena **automatickými přístroji**
- řada stanic je však stále vybavena **tradičními přístroji**, umístěnými na **meteorologickém měrném pozemku**



27

Meteorologická měření a pozorování

- **meteorologická budka**

- bílá barva
- dřevěné dvojité žaluzie a drátěné dno
- dvojitá stříška
- výška nad povrchem 180 cm
- dvířka orientována k severu
- obsah budky:
 - 2 staniční teploměry (suchý a vlhký)
 - vlasový vlhkoměr (hygrometr)
 - extrémní teploměry (Sixův t., min. a max.)
 - termograf
 - hygrogaf

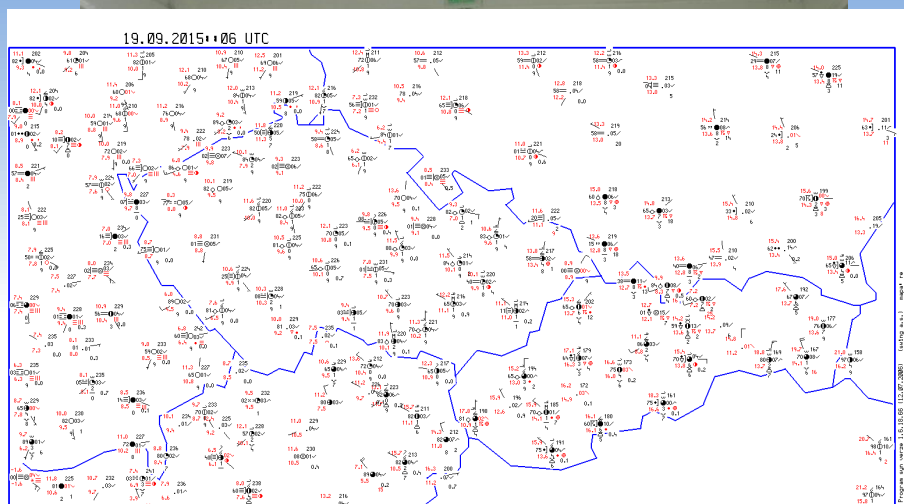


} kontinuální záznam meteorolog. prvků

- výsledky kontinuálních měření předávány na centrální pracoviště prostřednictvím **zprávy SYNOP** (1× hod.)
- náhlé změny počasí (překročení stanovených mezí) na stanici předávány ihned ve formě **zprávy BOUŘE**

28

Meteorologická měření a pozorování



29

Meteorologická měření a pozorování

- **intenzita slunečního záření**
 - **pyranometry (solarimetry)** - měření charakteristik elektromagnetického záření
 - registrují globální, rozptýlené i odražené záření o vlnové délce 0,3–3,0 μm
 - množství záření dopadajícího na jednotku plochy
 - ČHMÚ: měření pouze na vybraných stanicích
 - denní chod průměrných hodinových úhrnů globálního záření



30

Meteorologická měření a pozorování

- **délka trvání slunečního svitu**
 - heliograf (Campbell-Stokes)
 - koule z žíhaného optického skla
 - záznamový pásek pro vypálení stopy
 - 3 typy záznamových pásků
 - nutné nastavit podle z. š. stanice
 - **izohélie**: čára spojující místa se stejnou délkou slunečního svitu



31

Meteorologická měření a pozorování

- **měření teploty vzduchu**
 - suchá, vlhká, maximální, minimální a přízemní (5 cm) teplota vzduchu
 - standardně ve 2 m nad AP, s přesností na 0,1 °C
 - přístroje:
 - skleněný kapalinový teploměr
 - deformační bimetalový teploměr
 - elektrický teploměr (odporový a termoelektrický)
 - **průměrná denní teplota [°C]**

$$t_d = \frac{t_7 + t_{14} + 2 \cdot t_{21}}{4}$$

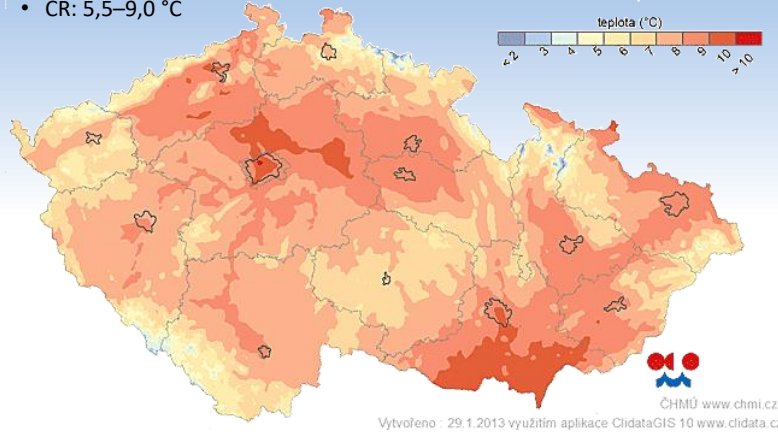
- **počty „charakteristických dnů“**
 - arktický den ($t_{\max} \leq -10$ °C), ledový den ($t_{\max} \leq -0,1$ °C), mrazový den ($t_{\min} \leq -0,1$ °C), letní den ($t_{\max} \geq 25$ °C), tropický den ($t_{\max} \geq 30$ °C), tropická noc ($t_{\min} \geq 20$ °C)



32

Meteorologická měření a pozorování

- **teplotní suma**
 - součet průměrných denních teplot
- **průměrná roční teplota [°C]**
 - ČR: 5,5–9,0 °C



33

Meteorologická měření a pozorování

- **měření teploty půdy**
 - rtuťové či elektrické teploměry
 - standardní hloubky měření 5, 10, 20, 50 a 100 cm
 - lomené půdní teploměry (hloubky do 20 cm)
 - hloubkové půdní teploměry



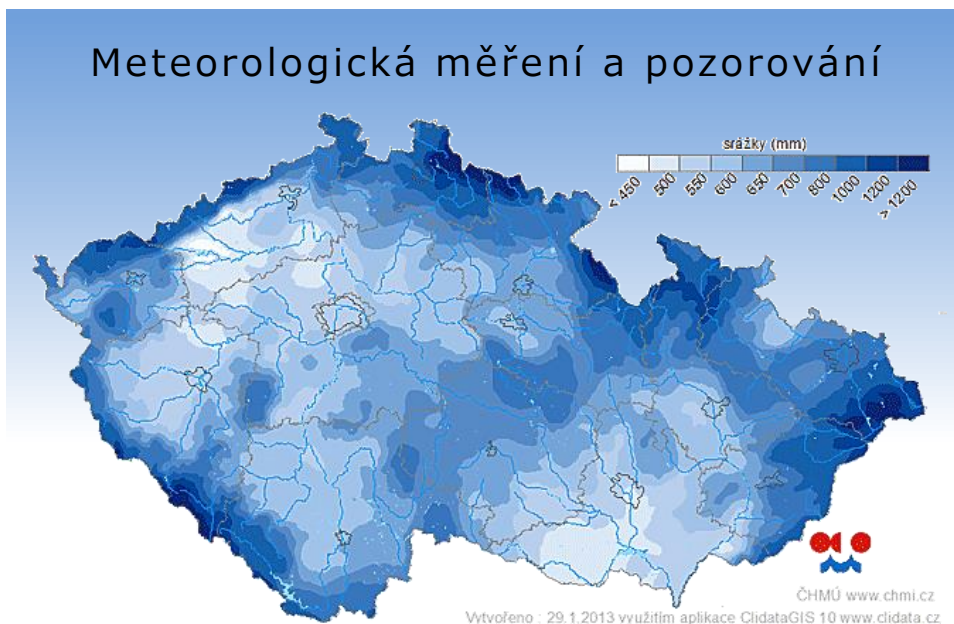
34

Meteorologická měření a pozorování

- **měření srážek**
 - **srážkoměr**
 - **ombrograf** pro kontinuální záznam srážkových úhrnů
 - **totalizátor** pro měření srážkových úhrnů v nepřístupných oblastech
 - odečet vždy v 7 hod. ráno
 - v zimě se měří také **celková výška sněhu** (sněhoměrnou latí [cm]), **výška nového sněhu** (sněhoměrným prkénkem [cm]) a **vodní hodnota sněhu** (váhovým sněhometrem [mm], 1× týdně)
 - běžné charakteristiky: měsíční srážkový úhrn, průměrný dlouhodobý měsíční úhrn, nejvyšší denní úhrn, počet dní se srážkami, se sněžením, kroupami, apod.

35

Meteorologická měření a pozorování



36

Meteorologická měření a pozorování



37

Meteorologická měření a pozorování



38

Meteorologická měření a pozorování

- **měření vlhkosti vzduchu**

- **psychrometr** (psychrometrická metoda založena na měření rozdílu teplot suchého a vlhkého teploměru – psychrometrický rozdíl), Augustův psychrometr
- **hygrometr** (vlasový vlhkoměr – měří změnu délky vlasu se změnou vlhkosti)

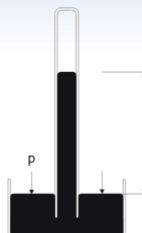


39

Meteorologická měření a pozorování

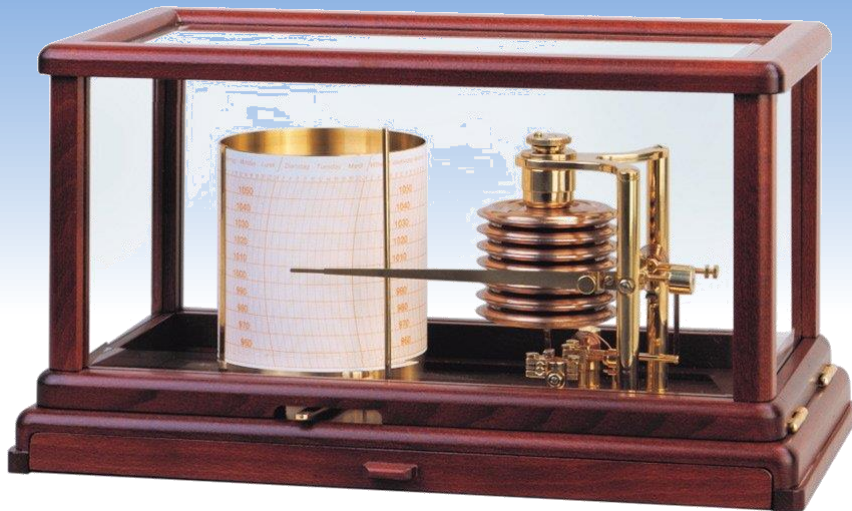
- **měření tlaku vzduchu**

- **rtuťový tlakoměr** (E. Toricelli, 17. stol., jednotka tlaku torr [mm]), **aneroid**, **barograf**
 - výška Hg sloupce ve skleněné trubici, nahoře uzavřené, dole ponořené do nádoby s Hg
 - odečtený tlak je třeba redukovat na teplotu 0 °C (tepelná roztažnost), nadmořskou výšku a tíhové zrychlení
 - normální tlak vzduchu $p_n = 1013,25 \text{ hPa}$ (= 760 torr)
 - význam měření tlaku pro předpovědi počasí



40

Meteorologická měření a pozorování



41

Meteorologická měření a pozorování

- měření přízemního větru [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
 - měření ve výšce 7-10 m nad terénem
 - **větrná směrovka**
 - **anemometr** (Robinsonův miskový kříž)
 - Beaufortova stupnice (13 stupňů)



42

Meteorologická měření a pozorování

- **měření a pozorování oblačnosti**
 - pozorování stupně zakrytí oblohy oblačností
 - měření výšky základny oblačné vrstvy (optický či laserový **ceilometr**)
 - **nefometr** pro měření pokrytí oblohy oblačností



Laserový ceilometr CT25K.

43

Meteorologická měření a pozorování

- **měření výparu**
 - množství vody [mm], které se odpaří z volné vodní hladiny za 24 h.
 - **evaporimetr (výparoměr)** – odměrná nádoba zapuštěná do země



44

Meteorologická měření a pozorování

- **měření ozonu v atmosféře**
 - **Dobsonova jednotka (DU)** – mohutnost ozonové vrstvy
 - **1 DU** = 0,01 mm silná vrstva ozónu shromážděného ze sloupce ozónu nad daným místem u zemského povrchu za standardních podmínek (teplota 0 °C a tlak 1 atm)
 - 1 DU = 0,01 mm vrstvy čistého ozónu za standardních podmínek
 - **Dobsonův spektrometr** měří intenzitu slunečního UV záření o 4 vlnových délkách (2 jsou absorbovány ozonem a 2 nikoliv)
 - ČR: aerologický ozonosondažní systém (Praha-Libuš) + fotometrické měření koncentrace ozonu (observatoř Hradec Králové)



45