

# Klimatologie a hydrogeografie

## Lekce 3

### Teplota vzduchu, Voda v atmosféře, Tlak a proudění vzduchu

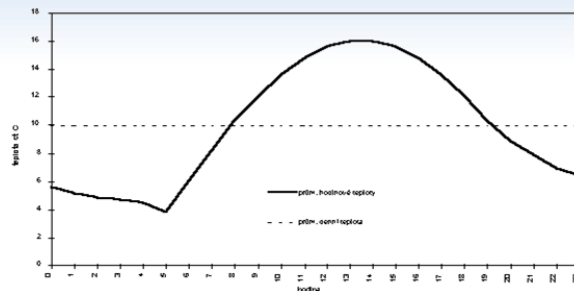


RNDr. Jiří Jakubínský, Ph.D. | 2. 3. 2018

## Teplota vzduchu

- **teplota**
  - střední kinetická energie molekul tělesa
  - teplotní stupnice Celsiova [°C], bod mrazu 0 °C, bod varu 100 °C
  - teplotní stupnice Fahrenheitova [°F], bod mrazu 32 °F, bod varu 212 °F
- **denní chod teploty vzduchu**
  - minimum teploty asi ½ hodiny po východu slunce
  - maximum mezi 13.–16. hod.

prům. denní teploty vzduchu  
dne 20. 4. v Lednici na Moravě,  
za období let 1961-1990, zdroj:  
Litschmann, Svoboda (1999)



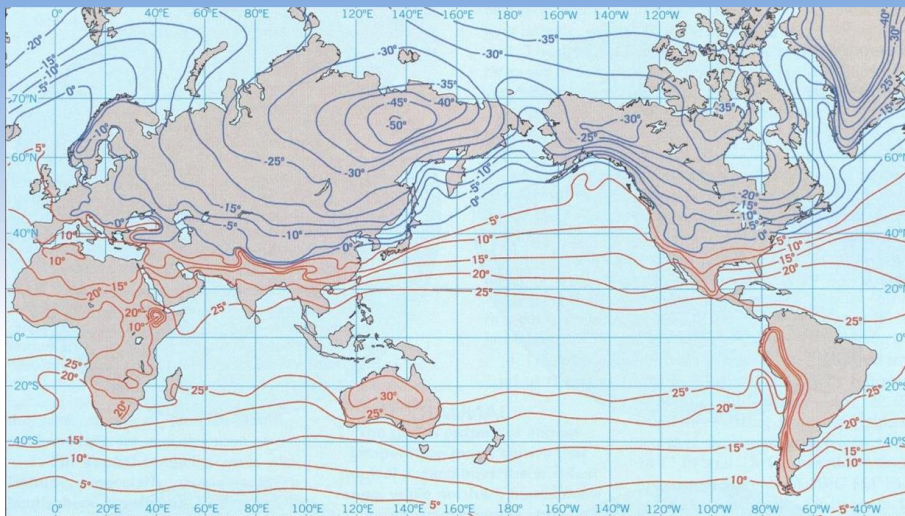
## Teplota vzduchu

- **geografické rozložení teploty vzduchu**
  - vliv energetické bilance systému AP – atmosféra
  - obecně pokles teploty od rovníku k pólům
  - **nejnižší teploty** v oblastech „**pólů zimy (chladu)**“
    - střední Sibiř, severní Kanada, Grónsko, centrum Antarktidy
    - sibiřský / grónský / antarktický pól zimy
    - kontinentalita klimatu, vysoké hodnoty albeda
    - absolutní minima teploty až  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Antarktida), resp.  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Sibiř – Ojmjakon)
    - stanice Vostok, 21. 7. 1983:  $-89,2\text{ }^{\circ}\text{C}$
  - **nejvyšší teploty vzduchu**
    - v letním období S polokoule na Sahaře, v Perském zálivu, J USA a Mexiku
    - v letním období J polokoule v centrální Austrálii a J Americe (Atacama)
    - maximální teploty okolo  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$
    - Údolí smrti, Kalifornie (USA), 10. 7. 1913:  $56,7\text{ }^{\circ}\text{C}$

## Teplota vzduchu

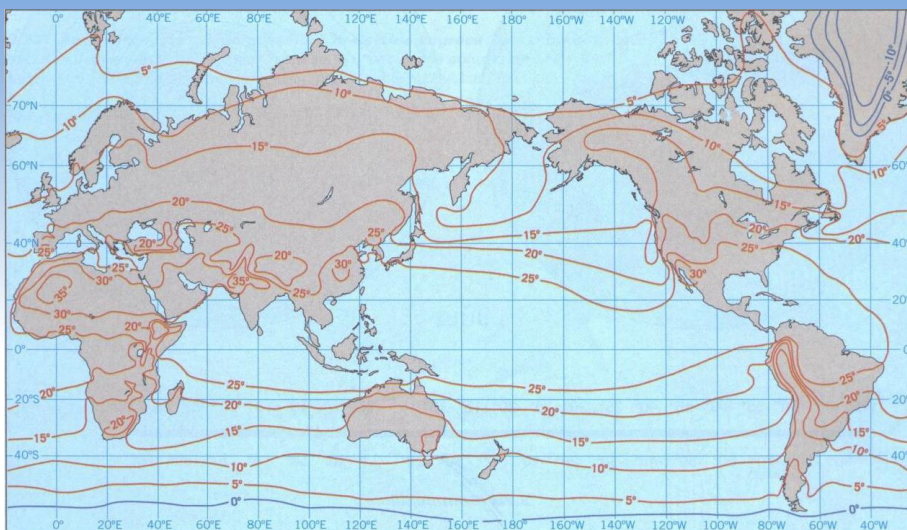
- nerovnoměrné zahřívání a ochlazování oceánů a pevniny vede ke **změně v průběhu izoterm během roku**
  - zimní období: oceány jsou na stejné z. š. teplejší než kontinenty
  - letní období: větší zahřívání kontinentů
- **vliv mořských proudů** na průběh izotermem
- **vliv atmosférické cirkulace vzduchu**
  - nejintenzivnější v lednu nad Asií a S Amerikou
  - nad západní části kontinentů proniká ve středních šířkách teplý oceánský vzduch
  - nad východními částmi se formují tlakové výše → silné ochlazování vlivem dlouhodobného vyzařování (viz poloha „pólů zimy“)
- **vliv nadmořské výšky**

## Teplota vzduchu



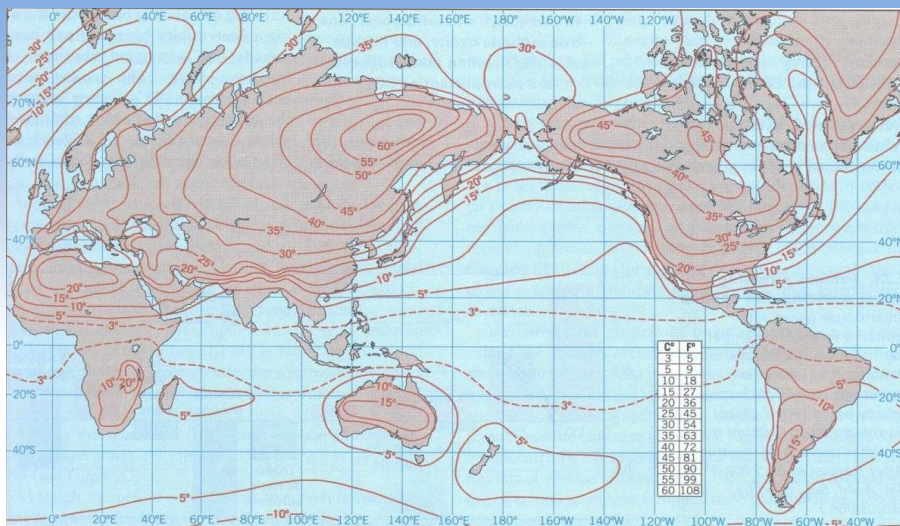
průměrné lednové teploty vzduchu (zdroj: Strahler 2006)

## Teplota vzduchu



průměrné červencové teploty vzduchu (zdroj: Strahler 2006)

## Teplota vzduchu

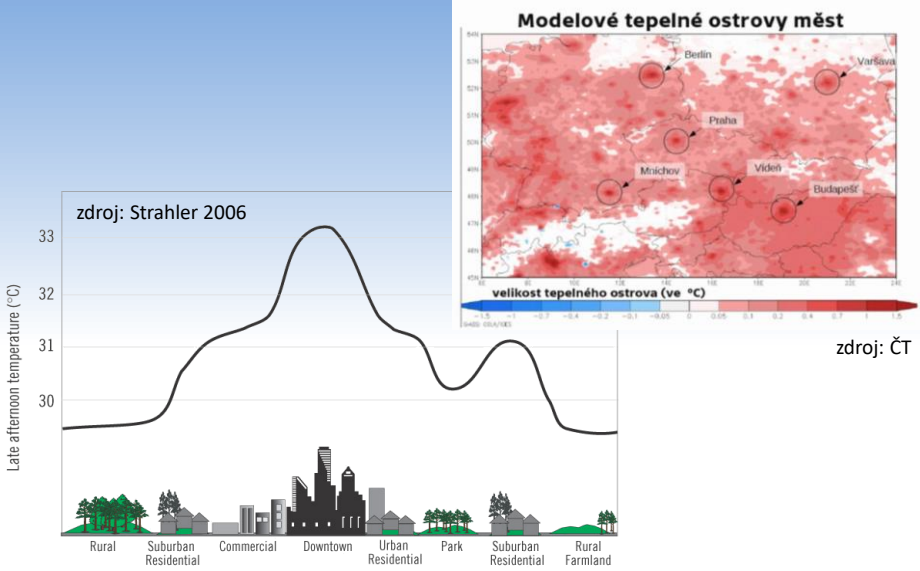


průměrné rozdíly teploty vzduchu mezi lednem a červencem (zdroj: Strahler 2006)

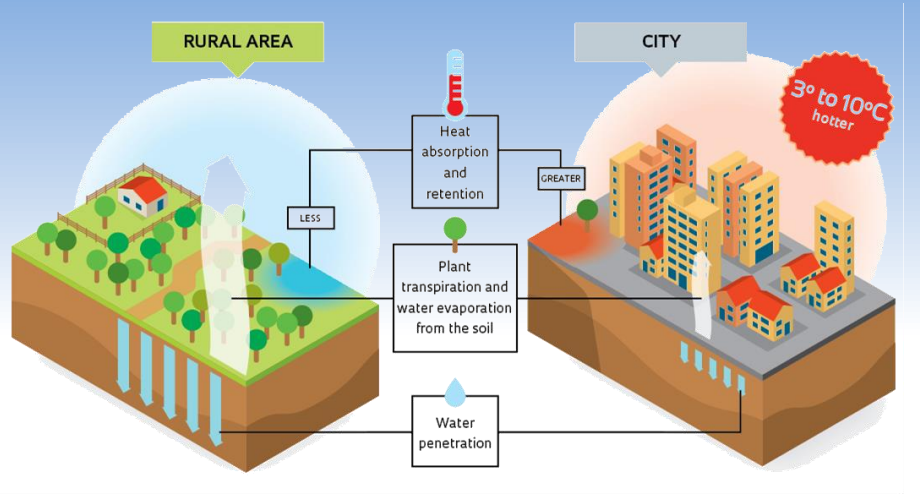
## Teplota vzduchu

- **kontrast teploty mezi městem a venkovskou krajinou**
  - **venkov**
    - na vegetačním pokryvu probíhá transpirace (výpar z povrchu rostlin) → odnímání tepla z povrchu
    - půdní povrch je vlhčí → ochlazování při výparu
  - **město**
    - srážková voda odváděna mimo zástavbu → sušší povrch
    - rychlejší a intenzivnější prohřívání povrchu insolací
    - stavební materiály pohlcují a uchovávají zářivou energii, v noci ji vyzařují
    - noční teploty jsou vyšší oproti venkovské krajině
    - častý odraz záření od vertikálních povrchů ve městě → větší akumulace energie
  - **tepelný ostrov města**
    - vyšší teplota ve městě oproti okolí
    - zejména v noci (dlouhovlnné vyzařování) a v zimě (úniky odpadního tepla, apod.)
    - pouštní oblasti – situace může být opačná (závlaha městské vegetace)

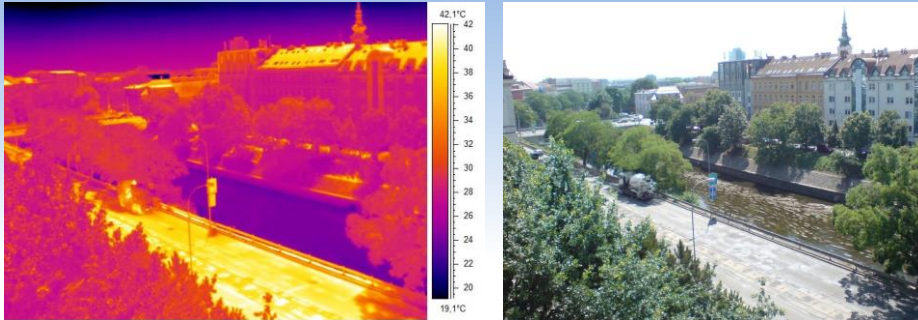
# Teplota vzduchu



# Teplota vzduchu



# Teplota vzduchu



zdroj: CVGZ AV ČR 2015

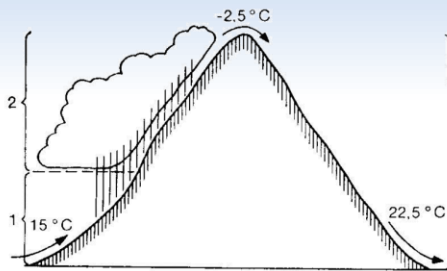
## Změna teploty vzduchu s výškou

- **vertikální teplotní gradient  $\Gamma$  ( $\approx 0,65$  °C na 100 m)**
- změna teploty vzduchu s výškou je **nelineární** (nejvýraznější v blízkosti AP)
- závislost na denní a roční době, nadmořské výšce a poloze místa
- planetární mezní vrstva (PMV):
  - turbulentní výměna tepla (pohyb horizontálním i vertikálním směrem),  
radiační bilance systému AP – atmosféra
- střední a vysoká troposféra:
  - latentní teplo vlivem kondenzace vodní páry ( $\rightarrow$  oblaka)
  - $\Gamma = 0,5$  °C / 100 m (**vlhkoadiabatický gradient**)
- pokles tlaku vzduchu  $\rightarrow$  nárůst objemu vystupujícího vzduchu  $\rightarrow$  spotřeba vnitřní energie  $\rightarrow$  pokles teploty
- v případě průběhu bez výměny energie s okolím = **adiabatický děj**
- změna teploty při vertikálním adiabatickém přemístování suchého vzduchu = **suchoadiabatický teplotní gradient  $\gamma$**  ( $\approx 1$  °C na 100 m)

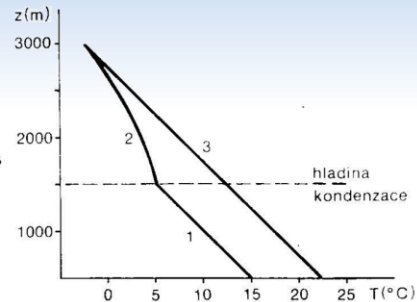
## Změna teploty vzduchu s výškou

- **pseudoadiabatický děj**

- kondenzace vodní páry a vypadávání srážek snižuje obsah vody ve vzduchu → vliv na změnu teploty podle sucho/vlhko/adiabatického gradientu
- **nevratný proces** při přetékání horských překážek
- **fén, chinook**



zdroj: Netopil a kol. 1984



## Změna teploty vzduchu s výškou

- **kontinentalita klimatu v horských oblastech**

- vliv expozice svahů vůči převládajícímu proudění
- změna teploty s výškou je menší na návětrných svazích
- vysoké denní amplitudy teploty vzduchu
- Vojejkovův zákon

- **inverze teploty**

- **přízemní inverze**

- **radiační**
- **advekční** (jarní / sněhové)

- **ve volné atmosféře**

- **radiační** (obvykle nad horní hranicí oblaků)
- **subsidenční** (inverze „sesedáním“) – sestupná proudění v oblastech vysokého tlaku vzduchu, suchoadiabatický nárůst teploty
- **pasátové** – subsidence vzduchu z vyšších vrstev atmosféry v oblasti pasátových větrů

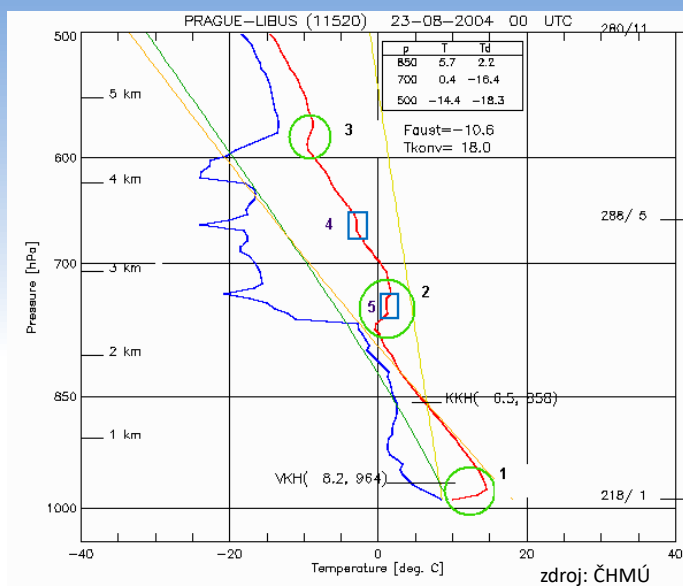
# Změna teploty vzduchu s výškou

radiační inverze



advекční inverze

# Změna teploty vzduchu s výškou

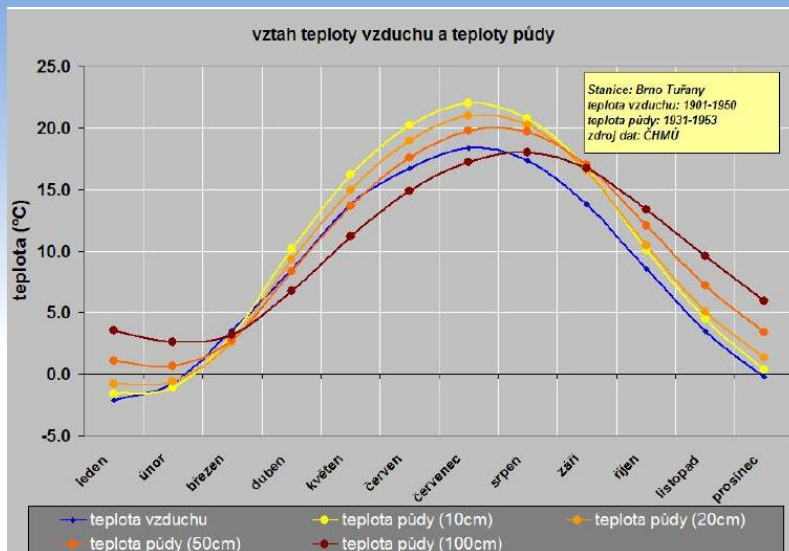




# Teplota půdy

- **teplota povrchu půdy a jejího podloží**
  - denní a roční periodičita energetické bilance AP → časové změny teploty AP a podloží
  - teplota AP při radiačním režimu počasí = max. kolem poledne, min. před východem slunce
  - zatažená obloha = nižší denní amplituda teploty AP
  - výrazný vliv vegetačního pokryvu a sněhové pokrývky
  - **Fourierovy zákony**
    - perioda výkyvů teploty půdy se s hloubkou nemění
    - teplotní amplituda se s aritmetickým růstem hloubky geometricky zmenšuje
    - čas minima a maxima teploty se s hloubkou zpožďuje
    - hloubky stálé denní a roční teploty jsou ve stejném poměru jako odmocniny period výkyvů  $1/\sqrt{365} \approx 1/19,1$

# Teplota půdy



## Voda v atmosféře

- výskyt vody **ve všech třech skupenstvích**
- transport vody do atmosféry převážně **výparem z AP**
  - **evaporace** (fyzikální proces)
  - **transpirace** (fyziologický proces)
  - celkový výpar: **evapotranspirace**
  - **výparnost**: měřená veličina za umělých podmínek
- výpar z AP **závisí na vlastnostech povrchu a vlastnostech atmosféry**
  - roste s obsahem vláhý v podloží AP
  - roste s teplotou AP, sytostním doplňkem vzduchu a rychlostí větru
- **denní a roční chod** (s maximy a minimy) zhruba **odpovídá chodu teplot AP** (za předpokladu dostatečného obsahu vláhý v podloží)
- přenos vodní páry do atmosféry probíhá turbulentním prouděním a molekulární difuzí

## Voda v atmosféře

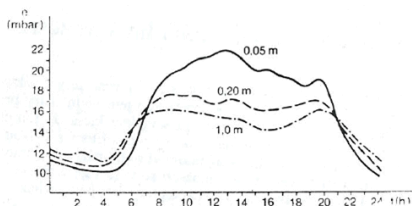
- **vlhkost vzduchu**
  - obsah vodní páry ve vzduchu, vyjádřený následujícími charakteristikami:
    - **napětí (tlak) vodní páry –  $e$  [mbar]**
      - dílčí tlak vodní páry ve směsi se suchým vzduchem
      - max. množství vodní páry = **nasycený vzduch**, jeho napětí páry = **napětí nasycení –  $E$**
    - **poměrná (relativní) vlhkost vzduchu –  $r$  [%]**
      - procentuálně vyjádřený poměr  $e$  a  $E$       $r = \left(\frac{e}{E}\right) \times 100$
    - **sytostní doplněk –  $d$  [mbar]      $d = E - e$** 
      - rozdíl mezi max. napětím a skutečným napětím vodní páry
      - vyjadřuje napětí vodní páry, které vzduchu chybí k dosažení stavu nasycení
    - **absolutní vlhkost vzduchu –  $a$  [kg.m<sup>-3</sup>]**
      - hmotnost vodní páry v jednotce objemu vzduchu
    - **specifická vlhkost vzduchu –  $s$  [bezrozměrná veličina]**
      - hmotnost vodní páry v jednotce hmotnosti vlhkého vzduchu

## Voda v atmosféře

- **rosný bod** –  $\tau$  [°C]
  - teplota, při které by vodní pára nacházející se ve vzduchu tento vzduch nasýtla
  - teplota, na kterou musí klesnout teplota nenasyceného vlhkého vzduchu o napětí páry  $e$ , aby se změnilo na napětí nasycení  $E$
  - při poklesu teploty pod  $\tau$  dochází ke kondenzaci vodní páry → vznik rosy / mlhy
  - při relativní vlhkosti nižší než 100 % je  $\tau$  vždy nižší než teplota vzduchu
- **poměr směsi** (směšovací poměr) –  $w$  [bezrozměrná veličina, v praxi  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]
  - hmotnost vodní páry připadající na jednotku hmotnosti suchého vzduchu

## Voda v atmosféře

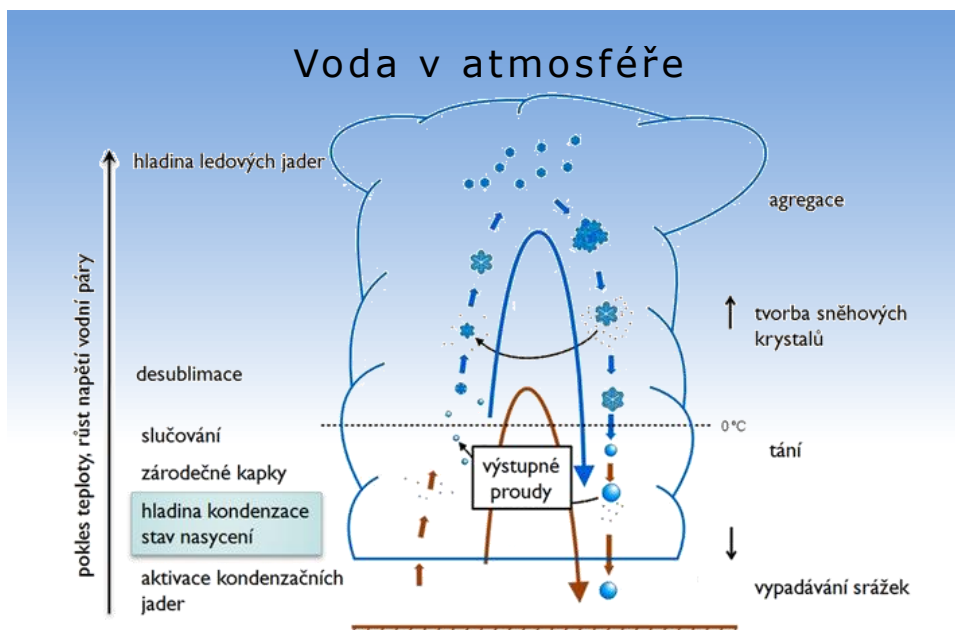
- **napětí vodní páry  $e$**  se vyznačuje:
  - **jednoduchým denním chodem** (typ mořský / zimní)
    - při malé intenzitě turbulence, těsně nad povrchem vody či extrémně vlhkým povrchem souše
    - průběh úzce souvisí s denním chodem teploty AP a výparu
    - max. okolo 13. hod. (vysoká intenzita výparu), min. okolo 4. hod. (nízký výpar)
  - **dvojitým denním chodem** (typ pevninský / letní)
    - větší nadmořské výšky nad AP
    - druhotné minimum v odpoledních hodinách (zvýšená turbulence a konvekce)
    - druhotné maximum večer (pokles intenzity turbulence)



zdroj: Netopil a kol. 1984

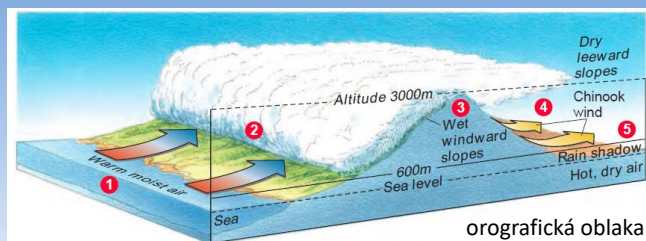
# Voda v atmosféře

- **kondenzace vodní páry v atmosféře**
  - úbytek obsahu vodní páry s nadmořskou výškou (vzdalování od zdroje)
  - vliv **kondenzace vodní páry**
  - výrazný pokles napětí páry s výškou (99 % obsahu vodní páry je v troposféře)
  - pokles teploty na **rosný bod** (stav nasycení) → kondenzace páry
  - s dalším výstupem se část páry sráží a na tzv. **kondenzačních jádrech** (krystaly soli, prachové částice) vznikají **mikroskopické (zárodečné) kapky** ( $r = 10^{-2} \mu\text{m}$ )
  - **hladina kondenzace**
  - **desublimace** (→ ledové krystalky)
  - kondenzace či desublimace vodní páry na povrchu kondenzačních jader → vznik **oblačných kapek** nebo **krystalů** ( $r = 1-10^2 \mu\text{m}$ )
  - malá rychlost pádu vlivem výstupných proudů vede k akumulaci oblačných kapek a vzniku **oblak**
  - **hladina ledových jader** (cca  $-12 \text{ }^\circ\text{C}$ ) – výšková úroveň nad níž jsou oblaka tvořena ledovými krystaly (přechodná vrstva)
  - při nadměrném růstu oblačných kapek (krystalů) → **vertikální srážky**

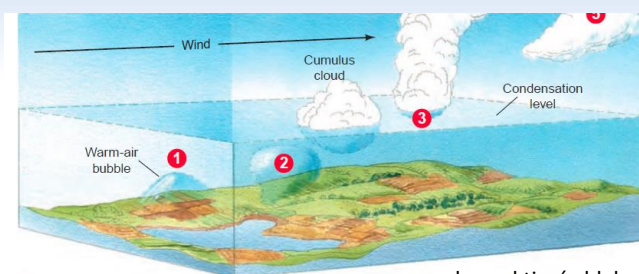


zdroj: Ruda 2014

## Voda v atmosféře



orografická oblaka



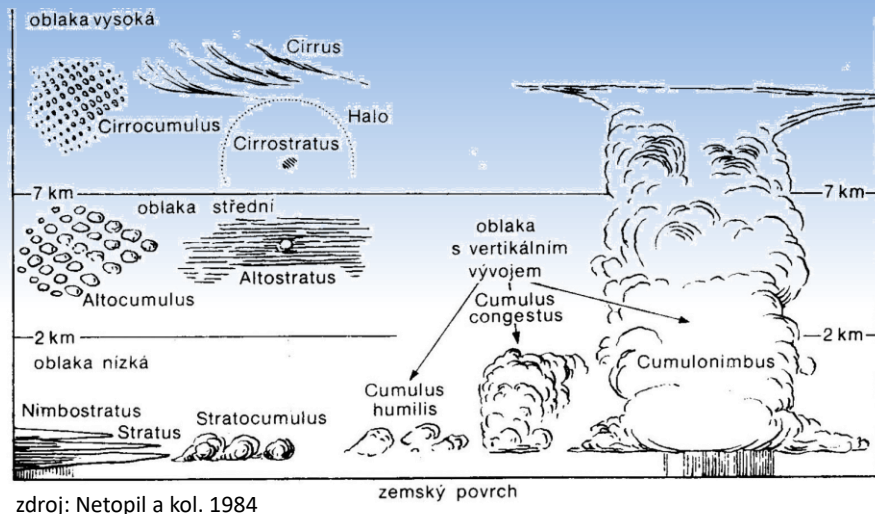
konvektivní oblaka

## Voda v atmosféře

- dělení oblak **podle složení**:
  - **vodní / smíšená / ledová**
- dělení oblak **podle tvaru**:
  - **řasa** – Cirrus (Ci)
  - **řasová kupa** – Cirrocumulus (Cc)
  - **řasová sloha** – Cirrostratus (Cs)
  - **vyvýšená kupa** – Altcummulus (Ac)
  - **vyvýšená sloha** – Altostratus (As)
  - **dešťová sloha** – Nimbostratus (Ns)
  - **slohová kupa** – Stratocumulus (Sc)
  - **sloha** – Stratus (St)
  - **kupa** – Cumulus (Cu)
  - **bouřkový oblak** – Cumulonimbus (Cb)

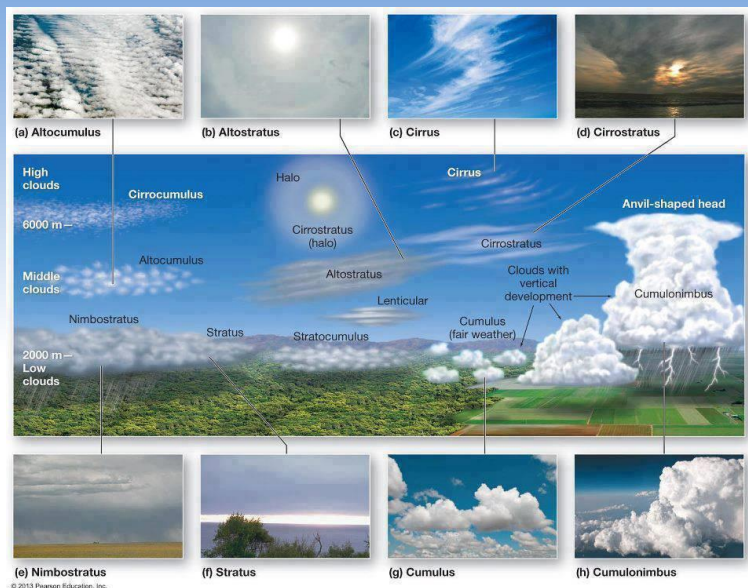


# Voda v atmosféře



zdroj: Netopil a kol. 1984

# Voda v atmosféře



## Voda v atmosféře

- dělení oblak **podle průměrné výšky základny**:
  - oblaka **vyšoká** (Ci, Cc, Cs) – základna od 5 do 13 km
  - oblaka **střední** (Ac, As) – 2 až 7 km
  - oblaka **nížká** (Ns, Sc, St) – od zemského povrchu do cca 2 km
  - oblaka **s vertikálním vývojem** (Cu, Cb) – 0,5 až 1,5 km, horní hranice může být až nad tropopauzou
- dělení oblak **podle příčin vzniku**:
  - oblaka z **konvekce** (Cu, Cb)
  - oblaka z **výstupných klouzavých proudů**
  - oblaka **vlnová** (Sc, Ac - teplotní inverze ve volné atm. – spodní hranice = rozhraní dvou vrstev atmosféry)
  - oblaka z **vyzařování** (St – důsledek dlouhovělného vyzařování a ochlazení atm. v noci, často souvislá vrstva pod základnou výškové inverze)
  - **zvláštní oblaka** (perleťová, stříbřitá, z požárů, sopečná, kondenzační pruhy)

## Voda v atmosféře

- **optické jevy v atmosféře (fotometeory)**
  - ohyb, lom a odraz světelných paprsků na kapkách vody či ledových krystalech
  - **věvec (koróna)**
    - vznik ohybem světla na částicích oblaků druhu Ac, Cc a Cs, kolem Slunce a Měsíce
    - světelný kruh (aureola) přiléhající zdroji světla (→ namodralé až načervenalé zbarvení)
  - **gloriola**
    - barevné kruhy kolem stínů předmětů na oblacích nebo mlze
  - **halové jevy**
    - vznikají lomem paprsků a odrazem světla při průniku tenkými vrstvami oblaků druhu Ci a Cs
    - světlé až mírně duhové kruhy o úhlovém poloměru 22° nebo 46° (malé a velké halo nebo tzv. vedlejší Slunce)
  - **duha**
    - rozklad světla při pronikání kapkami deště vlivem nestejného lomu paprsků o různé vlnové délce (duha základní a vedlejší)

## Voda v atmosféře



## Voda v atmosféře

- **mlhy**
  - produkty kondenzace vodní páry při zemském povrchu, s dohledností nižší než 1000 m
  - tvořeny vodními kapkami, přechlazenými kapkami, směsí kapek a ledových krystalů
  - četnost výskytu a hustota mlhy závisí na počtu kondenzačních jader
  - **mlhy radiační**
    - ochlazením vzduchu od AP vyzařováním
    - spjatý s radiačními inverzemi teploty
    - přízemní (vázané na noční inverze) a vysoké (inverze zimní)
  - **mlhy advekční**
    - přemísťováním relativně teplého vzduchu nad studený povrch
  - **mlhy z vypařování**
    - vypařováním relativně teplé vody do studeného vzduchu, ihned po výparu dochází ke kondenzaci (zejm. na podzim a v zimě)
    - nebo po dešti, kdy se vlhký vzduch střetává s frontální vzduchovou hmotou („frontální mlha“)



## Voda v atmosféře

- **kouřmo** – dohlednost vlivem mikroskopických vodních kapek omezena na 1–10 km (vs. **zákal!**)



radiační mlha



advekční mlha

## Voda v atmosféře



mlhy z vypařování



## Voda v atmosféře

- **atmosférické srážky**
  - dělení dle skupenství, tvaru a velikosti srážek:
    - **děšť** (vodní kapky,  $\varnothing$  min. 0,5 mm, max. do 2 mm)
    - **mrholení** (malé kapky vody,  $\varnothing$  pod 0,5 mm)
    - **sníh** (ledové krystalky hvězdicového tvaru, při  $t > -5^{\circ}\text{C}$  se krystaly shlukují do vloček)
    - **sněhové krupky** (bílá, neprůsvitná, kulovitá ledová zrna,  $\varnothing$  2–5 mm)
    - **sněhová zrna** (krupice, malá, bílá, neprůsvitná zrna,  $\varnothing$  pod 1 mm)
    - **zmrzlý déšť** (průhledná ledová zrna,  $\varnothing$  pod 5 mm)
    - **námrazové krupky** (sněhová zrna obalená vrstvou ledu,  $\varnothing$  kolem 5 mm)
    - **kroupy** (kuličky či kousky ledu,  $\varnothing$  5–50 mm, vznikají z námrazových kroup)
    - **sněhové jehličky** (jehlicovité, sloupkovité nebo destičkovité krystalky ledu)

## Voda v atmosféře

- **horizontální srážky**: produkty kondenzace vodní páry na relativně studeném zemském povrchu, na předmětech a vegetaci
  - **rosa** (vodní kapky různé velikosti)
  - **zmrzlá rosa**
  - **jíní (šedý mráz)** – ledové krystalky tvaru jehlic, šupin a vějířků bílé barvy, vznikající za podmínek jako rosa, ale pod  $0^{\circ}\text{C}$  desublimací vodní páry
  - **jinovatka (krystalická námraza)** – kypré ledové krystaly jehlicovitého tvaru na stromech, el. vedeních a návětrné straně předmětů při silném mrazu a mlze
  - **ovlhnutí** – povlak vodních kapek na svislých plochách na návětrné straně předmětů při proudění teplého a vlhkého vzduchu, který se od předmětů ochlazuje
  - **námraza** – trsy vláknitých, bílých, ledových krystalů na návětrné straně předmětů při podmínkách obdobných ovlhnutí, ale pod  $0^{\circ}\text{C}$
  - **ledovka** – sklovitá, ledová vrstva vznikající zmrznutím přechlazených vodních kapek na předmětech, jejichž teplota je nižší než  $0^{\circ}\text{C}$
  - **náledí, zmrazky** – ledová vrstva pokrývající zemský povrch, vzniká zmrznutím nepřechlazených vodních kapek na zemském povrchu o teplotě nižší než  $0^{\circ}\text{C}$

## Voda v atmosféře

sněhové krupky / zrna



zmrzly déšť



kroupy



rosa



zmrzlá rosa



jiní (šedý mráz)



## Voda v atmosféře



jinovatka (krystalická námraza)



námraza



leňovka



náledí

## Voda v atmosféře

- **denní chod srážek**
  - **typ pevninský**
    - dvě maxima a minima
    - hlavní maximum po poledni, vedlejší ráno ( $\approx$  denní chod oblačnosti)
  - **typ mořský (pobřežní)**
    - jedno maximum – ráno (labilita teplotního zvrstvení vzduchu – teplá přízemní vrstva, vyšší vrstvy ochlazovány vyzařováním  $\rightarrow$  konvekce)
    - jedno minimum – po poledni
  - rozdílný denní chod srážek v horách (vrcholové vs. úpatní polohy)
- **roční chod srážek**
  - **rovníkový typ**
    - dvě období dešťů (v době rovníkové rovnodennosti – max. insolace)
  - **tropický typ**
    - s rostoucí z. š. se přibližují 2 rovníková maxima – splynutí v jedno maximum (léto, cca 4 měsíce)
  - **typ tropických monzunů**
    - obdobný jako tropický typ, ale výraznější ohraničení období dešťů a sucha

## Voda v atmosféře

- **typ subtropický středomořský**
  - minimum srážek v létě, maximum na podzim a v zimě
- **typ mírných šířek pevninský**
  - srážkové maximum v létě (cyklonální činnost), minimum v zimě
- **typ mírných šířek mořský**
  - mírné maximum v zimě (cyklonální činnost), rovnoměrné rozložení srážek během roku
  - typicky na západních okrajích kontinentů
- **monzunový typ mírných šířek**
  - max. v létě, min. v zimě, výraznější amplituda ročního chodu srážek
  - východní Asie
- **polární typ**
  - max. v létě (vysoká vlhkost vzduchu), min. v zimě

## Voda v atmosféře

- **geografické rozložení srážek na Zemi**
  - **hlavní faktory:**
    - rozložení oblačnosti → všeobecná cirkulace atmosféry
    - vodní obsah oblaků
    - rozložení oceánů (zdroj vlhkosti)
    - tvar a rozložení pevnin
    - charakter reliéfu
      - orografické zesílení intenzity srážkových úhrnů
      - srážkový stín
      - růst srážkových úhrnů na svazích s výškou, do kritické úrovně (souvisí s hladinou kondenzace – níže na okraji kontinentů)
- **rovníkové oblasti**
  - vysoké srážkové úhrny (Ø 1000–2000 mm /rok)
  - až 3000 mm v tropické zóně konvergence na pevninách (intenzivní konvekce) a na východních okrajích kontinentů (vlhké mořské pasáty)
  - srážkově nejbohatší – povodí Amazonky, Guinejský záliv, Indonésie, ...

## Voda v atmosféře

- **monzunové oblasti**
  - oblast Indického oceánu → monzuny posunují výrazné srážkové úhrny do vyšších šířek (Přední a Zadní Indie, Madagaskar)
  - na návětrných svazích Himálaje prům. roční úhrny i přes 10 000 mm
  - Čerápundží (Indie): roční maximum 22 990 mm (rok 1861)
- **subtropické a suché tropické oblasti**
  - výrazný pokles srážkových úhrnů (oblasti vysokého tlaku vzduchu)
  - roční úhrny obvykle do 250 mm
- **oblasti mírných šířek**
  - vyšší srážkové úhrny (oblačné cyklonální systémy)
  - maxima na západních okrajích pevnin (500–1 000 mm), minima v centrálních a východních částech (300–500 mm)
  - výrazný vliv závětří / návětří horských pásem (Skandinávie, Alpy, Skalnaté hory)
- **polární oblasti**
  - nízké srážkové úhrny (max. 200–300 mm / rok)
  - malý vodní obsah oblaků (Arktida) a oblasti vysokého tlaku vzduchu (Antarktida)

## Tlak vzduchu

- **barometrický (atmosférický) tlak** – „tlak atmosféry na všechna tělesa v ovzduší a na zemský povrch bez zřetele na orientaci stěn těles, rovnající se hmotnosti vzduchového sloupce nacházejícího se nad nimi“ (Netopil a kol. 1984)
- **hektopascal (hPa), milibar (mbar), Torr**
- prům. hodnota tlaku vzduchu na hladině moře při teplotě 15 °C činí **1013,25 hPa**
- na tlaku vzduchu je přímo závislá jeho **hustota** a nepřímo také **teplota**
- **pokles tlaku i hustoty vzduchu s výškou** (v důsledku poklesu hmotnosti vzduchového sloupce působícího silou na jednotkovou plochu)
- pokles hustoty s výškou je pomalejší než pokles tlaku vzduchu (klesá i teplota)
- **vertikální tlakový (barický) gradient** – změna hodnoty tlaku vzduchu na 100 m
- **barický stupeň** – převrácená hodnota tlakového gradientu, výškový rozdíl odpovídající poklesu tlaku o 1 mbar (hPa)

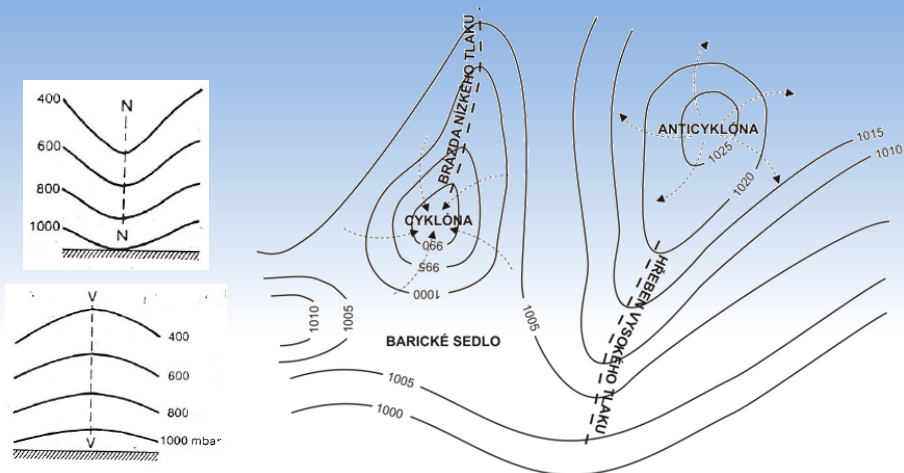
## Tlak vzduchu

- **tlakové (barické) pole**
  - rozložení tlaku vzduchu v atmosféře
  - proměnlivost v prostoru a čase
  - charakterizováno pomocí ploch o stejném tlaku vzduchu (**izobarické plochy**)
  - průsečíky izobarických ploch o různém tlaku s povrchem (hladinou moře) vyjadřujeme pomocí **izobar**
  - změna tlaku vzduchu v horizontálním směru vyjádřena **horizontálním tlakovým gradientem**
  - horizontální + vertikální tlakový gradient = **celkový tlakový gradient** (prostorový vektor směřující v každém bodě izobarické plochy po normále  $n$  k této ploše na stranu nižšího tlaku vzduchu)

# Tlak vzduchu

- **charakteristické tlakové útvary**
  - **oblast vysokého tlaku vzduchu (tlaková výše, anticyklóna)**
    - vymezena uzavřenými, koncentricky uspořádanými izobarami, s nejvyšším tlakem uprostřed
  - **oblast nízkého tlaku vzduchu (tlaková níže, cyklóna)**
    - vymezena uzavřenými, koncentricky uspořádanými izobarami, s nejnižším tlakem uprostřed
  - **hřeben vysokého tlaku vzduchu**
    - pásmo vyššího tlaku vybíhající z tlakové výše nebo oddělující dvě tlakové níže
    - nejvyšší tlak v ose hřebenu
  - **brázda nízkého tlaku vzduchu**
    - pásmo nižšího tlaku vybíhající z tlakové níže nebo oddělující dvě tlakové výše
    - nejnižší tlak v ose brázdy
  - **barické sedlo**
    - část barického pole mezi dvěma protilehlými tlakovými výsemi a nížemi, či mezi dvěma hřebeny a brázdami

# Tlak vzduchu



zdroj: Netopil a kol. 1984

zdroj: Ruda 2014

## Tlak vzduchu

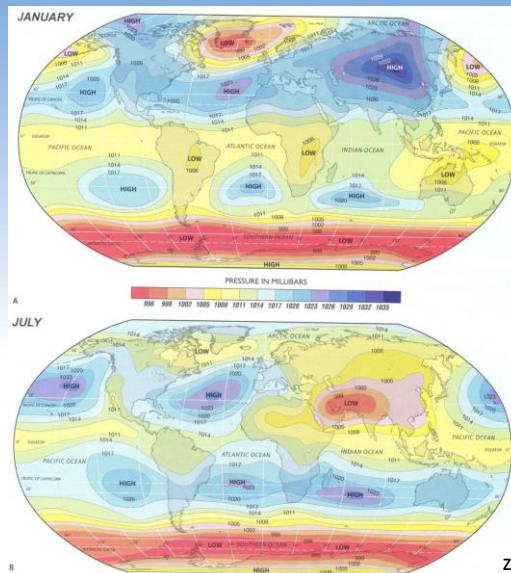
- **denní chod tlaku vzduchu**
  - výrazná amplituda (až 4 mbar) pouze v **rovníkových oblastech** (2 maxima – před polednem a půlnocí a 2 minima – brzy ráno a po poledni)
  - příčinou je zejm. nerovnoměrné zahřívání AP
  - zmenšování amplitudy směrem k vyšším z. š.
  - v mírných šířkách již denní amplituda neexistuje – je překryta neperiodickými změnami tlaku
- **roční chod tlaku vzduchu**
  - **pevninský typ** (max. v zimě, min. v létě – sezónní anticyklóny, resp. cyklóny)
  - **oceánský typ vysokých šířek** (max. počátkem léta, min. v zimě)
  - **oceánský typ mírných šířek (nemonzunový)** – 2 nevýrazná maxima v létě a v zimě a 2 nevýrazná minima na jaře a na podzim
  - **monzunový typ** (max. v zimě, min. v létě)

## Tlak vzduchu

- **geografické rozložení tlaku vzduchu** (přepočteného na hladinu moře)
  - oblasti s převládajícím výskytem tlakových výší a níží – **akční centra atmosféry**
  - v průběhu roku nebo jeho části zde převládá opakovaná tvorba a zánik stejných tlakových útvarů
  - centra stálá (permanentní) a sezónní
  - **leden:**
    - pás nízkého tlaku vzduchu podél rovníku (3 výrazné tlak. níže – nad J Amerikou, Afrikou a Austrálií)
    - tento pás je lemován subtropickými oblastmi vysokého tlaku (zejm. nad oceány) – stacionární tlak. výše – např. azorská, havajská
    - v mírných a subpolárních šířkách S polokoule se střídají stacionární níže (islandská, aleutská) se sezónními výšemi (asijská, kanadská)
    - na J polokouli se v mírných šířkách vyskytuje souvislý pás nízkého tlaku
    - v polárních oblastech – tlakové výše (výrazná zejm. nad Antarktidou)
  - **červenec:**
    - přesun rovníkového pásu nízkého tlaku na sever
    - v subtropických šířkách setrvávají tl. výše
    - mírné a subpolární šířky S polokoule = souvislý pás nízkého tlaku
    - nárůst tlaku k pólům



# Tlak vzduchu



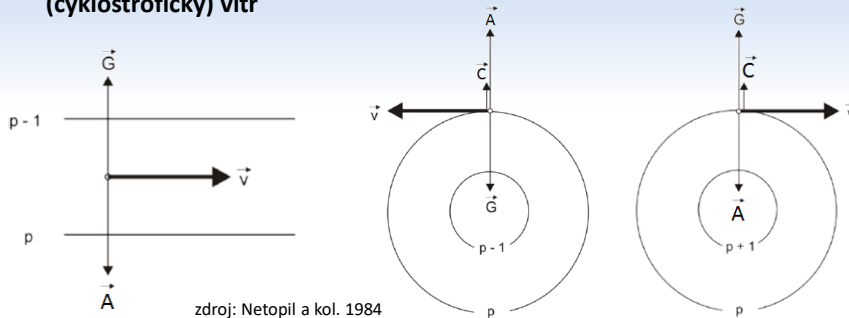
zdroj: de Blij 2004

# Proudění vzduchu

- nerovnoměrné rozložení tlaku vzduchu → tendence k **vyrovnávání rozdílů prouděním z oblasti vyššího tlaku do oblasti nižšího tlaku**
- proudění **laminární** a **turbulentní** (vírové)
- horizontální složka pohybu vzduchu = **vítr** (určený směrem a jeho rychlostí)
- **hlavní příčiny proudění:**
  - **síla horizontálního tlakového gradientu** –  $\vec{G}$
  - **Coriolisova síla** –  $\vec{A}$  (stáčení směru pohybujícího se objektu na S polokouli vpravo a na J polokouli vlevo)
  - **odstředivá síla** –  $\vec{C}$  (pohyb vzduchu po křivočaré trajektorii)
  - **síla tření** –  $\vec{R}$  (vliv zemského povrchu a vnitřního tření atmosféry)
- přemísťování objemu vzduchu o jednotkové hmotnosti v tlakovém poli lze vyjádřit **rovnicí pohybu:** 
$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{G} + \vec{A} + \vec{C} + \vec{R}$$

## Proudění vzduchu

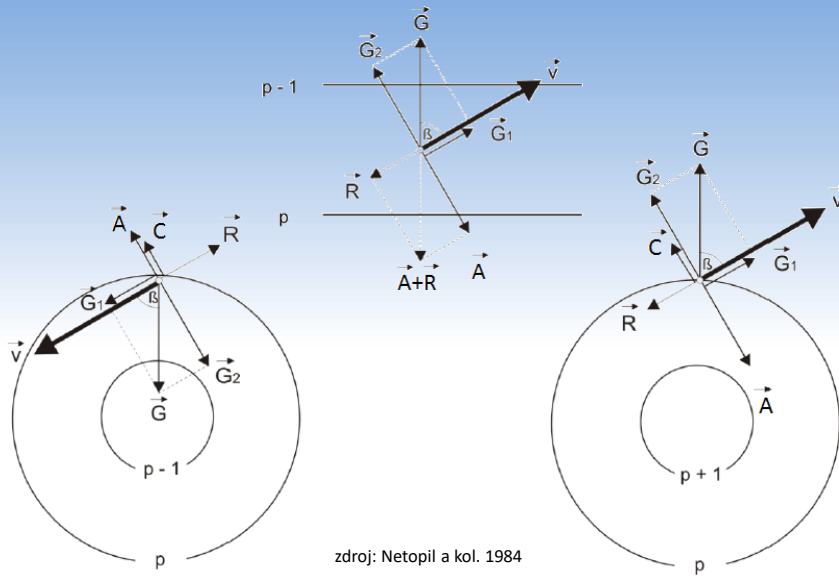
- proudění vzduchu probíhá ve směru **horizontálního tlakového gradientu** (kolmo na izobary)
  - vliv **Coriolisovy síly** ( $\vec{A}$ ) kolmé na směr pohybu vzduchu
- bez vlivu dalších sil dochází k **proudění ve směru přímkových izobar** – nízký tlak je na levé straně → **geostrofický vítr**
- v případě vlivu  $\vec{G}$ ,  $\vec{A}$  a  $\vec{C}$  - proudění při zakřivených izobarách → **gradientový (cyklostrofický) vítr**



## Proudění vzduchu

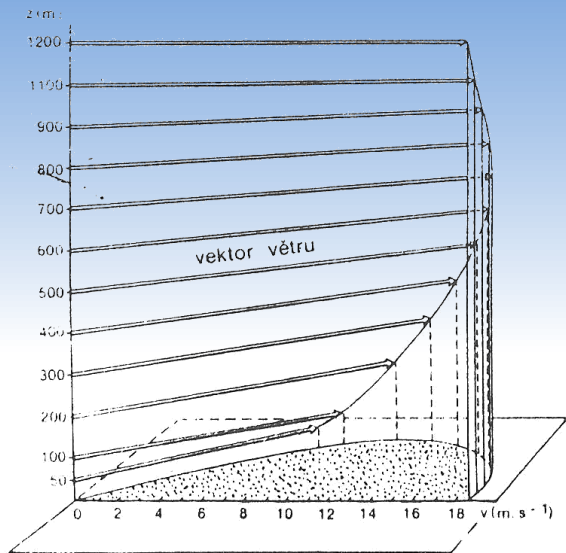
- proudění je reálně ovlivňováno **silou tření**  $\vec{R}$  → zpomalování větru a změna jeho směru
- s rostoucí výškou se **větry na S polokouli stáčí více doprava** a na J polokouli doleva (**Eckmannova spirála**)
- s rostoucí výškou **roste rychlost větru** (nižší vliv tření o zemský povrch)
- **přímkové izobary**
  - hodnota vektoru  $\vec{G}$  se musí rovnat součtu opačného působení vektorů  $\vec{A}$  a  $\vec{R}$
  - na S polokouli orientace Coriolisovy síly  $\vec{A}$  vpravo → vektor větru se stáčí vzhledem k vektoru  $\vec{G}$  **směrem k nižšímu tlaku o úhel  $\beta$**
  - úhel  $\beta$  lze zjistit rozkladem  $\vec{G}$  na  $\vec{G}_1$  a  $\vec{G}_2$  (nulový na rovníku, max. na pólech)
- **zakřivené izobary**
  - hodnota vektoru  $\vec{G}$  musí kromě  $\vec{A}$  a  $\vec{R}$  zohledňovat také vektor odstředivé síly  $\vec{C}$

# Proudění vzduchu



zdroj: Netopil a kol. 1984

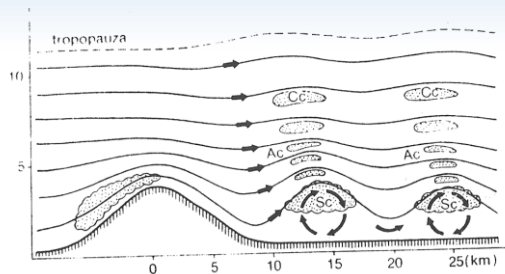
# Proudění vzduchu



zdroj: Netopil a kol. 1984

## Proudění vzduchu

- **vliv charakteru reliéfu na proudění vzduchu**
  - ohyb a **přiblížení proudnic vzduchu** (tj. čar vyjadřujících okamžitý stav pole proudění) **na návětrné straně překážky – konfluence proudnic**
  - vyšší hustota proudnic = **vyšší rychlost proudění**
  - na **závětrné straně překážky** se proudnice rozbíhají (**difluence proudnic**) a rychlost proudění se zpomaluje
  - vysoké překážky způsobují **zvlnění proudnic** (vznik vírových pohybů, vlnových oblak a turbulencí v horní troposféře)



zdroj:  
Netopil a kol. 1984

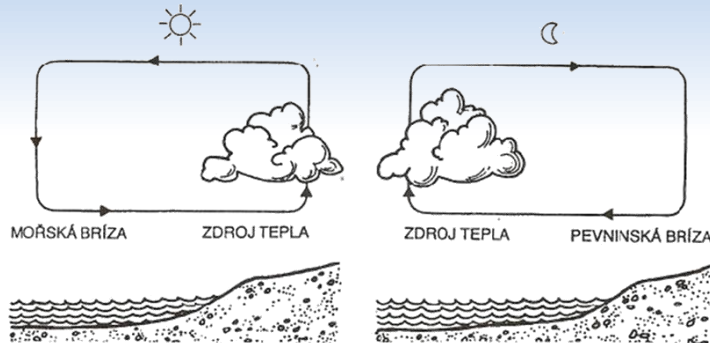
## Proudění vzduchu

- **místní cirkulační systémy a místní větry**
  - vznik vlivem rozdílných vlastností AP
  - **místní větry** = důsledek výrazného reliéfu, ovlivňujícího všeobecnou cirkulaci vzduchu (fén, bóra)
  - **cirkulační systémy** = důsledek rozdílů v energetické bilanci AP (vzniklých fyzikálními vlastnostmi povrchu nebo utvářením reliéfu – rozdíly v intenzitě ozáření)
  - změna orientace mezi dnem a nocí
  - **bóra**
    - hromadění a přetékání **studeného vzduchu** přes **horské překážky** podél pobřeží
    - velmi nízká původní teplota (při přetékání) → adiabatické ohřátí není dostatečné → **prudký pokles teploty u hladiny moře**
    - výskyt zejména na pobřeží Jaderského moře, Bajkalu, údolí Rhôny („mistral“)

## Proudění vzduchu

### – bríza (pobřežní vánek)

- teplotní rozdíly mezi povrchem vody a pevniny za jasného a klidného počasí
- insolace → zahřívání pevniny a vzdalování izobarických ploch nad pevninou → horizontální tlakový gradient orientovaný ve směru od moře na pevninu (mořský vánek / bríza)
- v noci orientace opačná



## Proudění vzduchu

### – horské a údolní větry

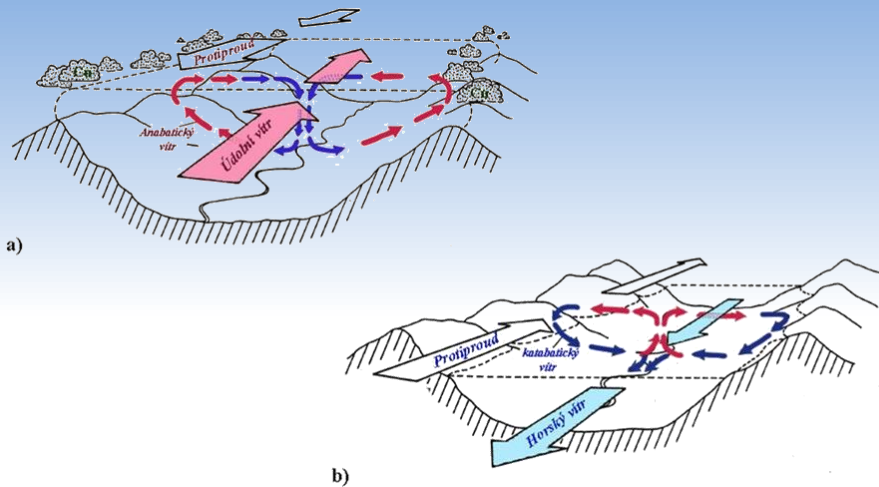
- podmíněné **anabatickým prouděním** (výstupné proudy vzduchu vzniklé zahříváním povrchu) na ozářených svazích
- v době insolace výstup vzduchu z údolí směrem po svazích – „**údolní vítr**“
- v noci ochlazování svahů efektivním vyzařováním – sestupné, **katabatické proudění** („**horský vítr**“)
- cirkulační buňka v rámci údolí
- systém **podélné a příčné cirkulace** vzduchu

### – ledovcový vítr

- nárazovité **katabatické proudění** vzduchu
- vzniká ochlazováním přízemní atmosféry od povrchu ledovců nebo firnovišť

[detailní přehled názvů místních větrů ve skriptech Ruda, A.: *Klimatologie a hydrogeografie pro učitele*]

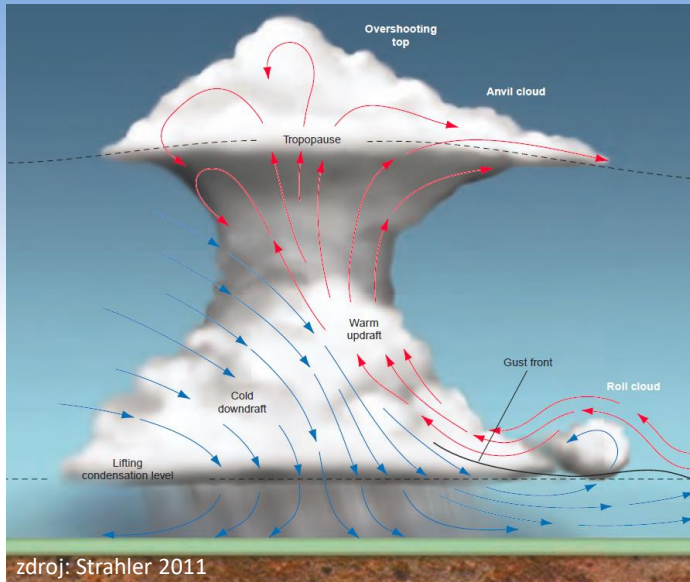
## Proudění vzduchu



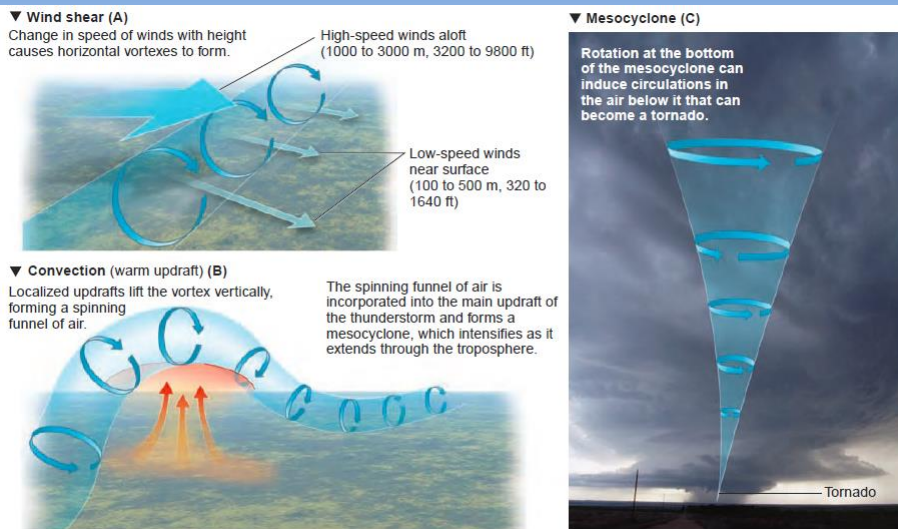
## Proudění vzduchu

- **vírová proudění maloprostorového měřítka**
  - vznik vlivem výrazné instability teplotního zvrstvení atmosféry
  - intenzivní výstupné a sestupné proudy v rámci konvektivní buňky
  - konvektivní bouře – jednobuněčné / multicely / supercely
  - **húlava**
    - vzniká na rozhraní vzestupných a sestupných proudů v přední a týlové části bouřkových oblaků
    - horizontální osa
    - krátkodobá zesílení větru, rychlost překračuje  $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
  - **prachové víry** (s vertikální osou, průměr jednotek metrů)
  - **víry vázané na bouřkové oblaky** (s vertikální osou)
    - nad mořem tzv. **smrště**, nad pevninou **tromby**, v S Americe a Karibiku **tornáda**
    - oblaka typu **Cb**, viditelný **vzdušný vír** vzniklý kondenzací vodní páry („chobot“)
    - uprostřed **nízký tlak vzduchu**
    - **Fujitova stupnice** intenzity tornád (F0 – F5)

## Proudění vzduchu



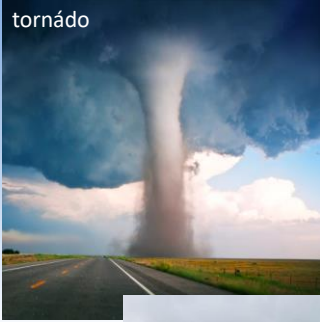
## Proudění vzduchu



zdroj: Strahler 2011

## Proudění vzduchu

tornádo



supercela



húlava

