

Klimatologie a hydrogeografie

Lekce 3

Teplota vzduchu,
Voda v atmosféře,
Tlak a proudění vzduchu

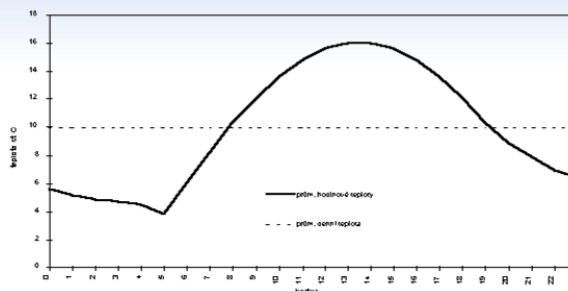


RNDr. Jiří Jakubínský, Ph.D. | 16. 10. 2017

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)



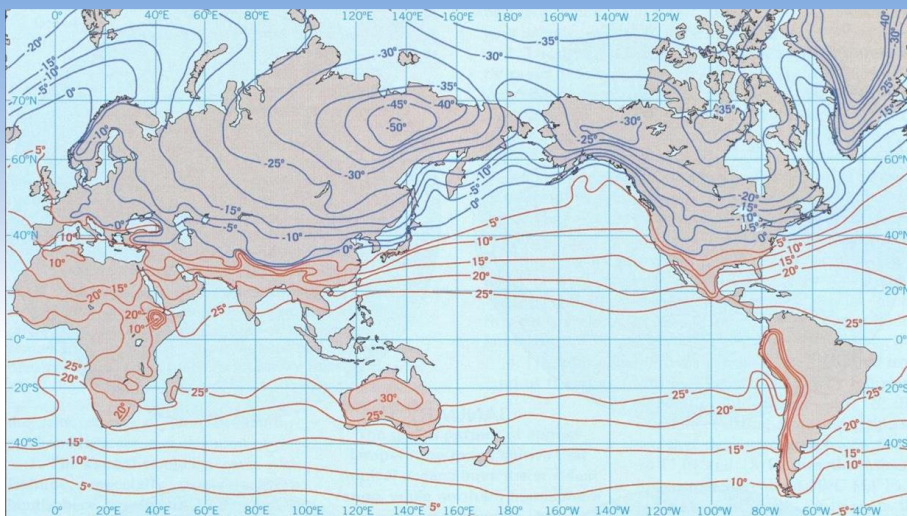
Teplota vzduchu

- **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

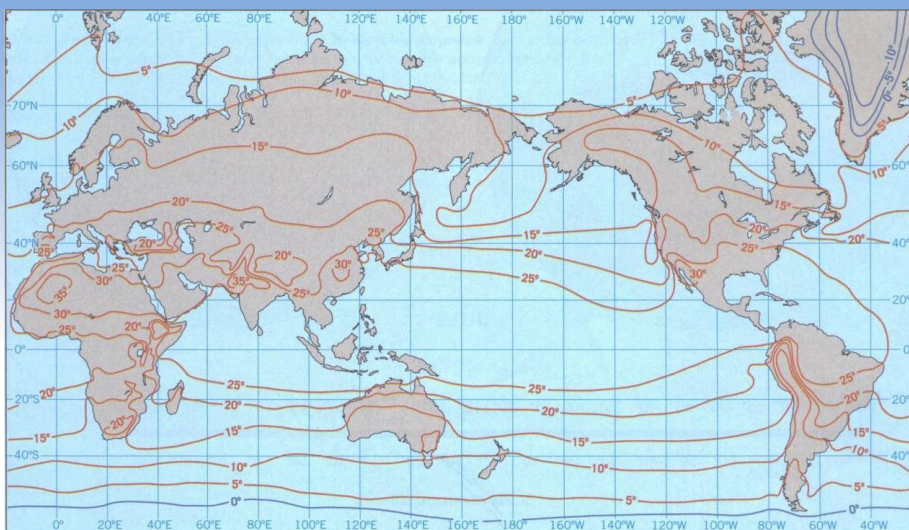
- nerovnoměrné zahřívání a ochlazování oceánů a pevniny vede ke **změně v průběhu izoterm během roku**
 - zimní období: oceány jsou na stejné z. š. teplejší než kontinenty
 - letní období: větší zahřívání kontinentů
- **vliv mořských proudů** na průběh izoterm
- **vliv atmosférické cirkulace vzduchu**
 - 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 dlouhodobého vyzařování (viz poloha „pólů zimy“)
- **vliv nadmořské výšky**

Teplota vzduchu



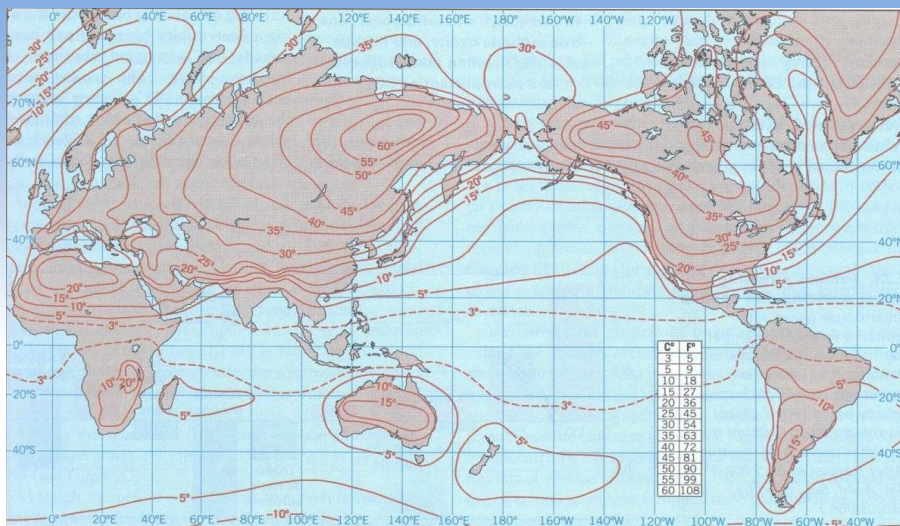
průměrné lednové teploty vzduchu (zdroj: Strahler 2006)

Teplota vzduchu



průměrné červencové teploty vzduchu (zdroj: Strahler 2006)

Teplota vzduchu

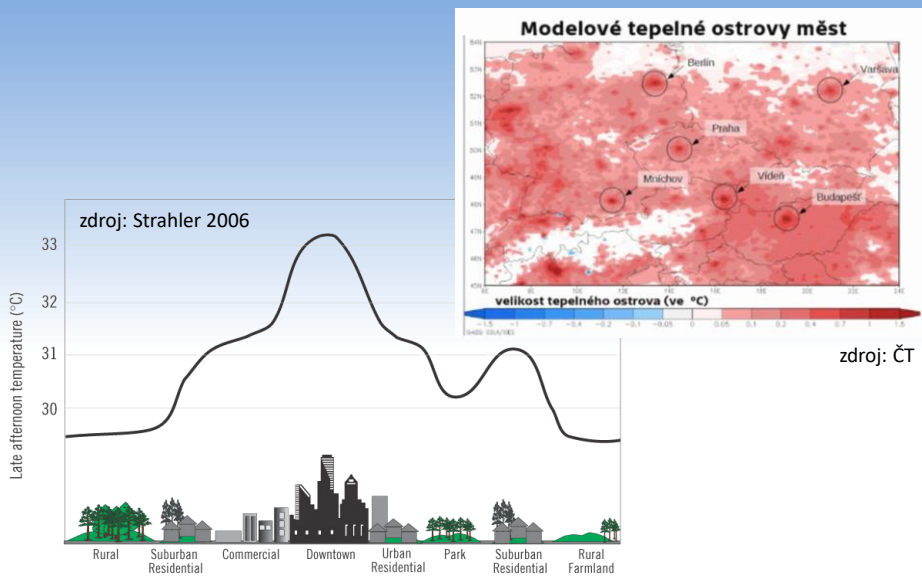


průměrné rozdíly teploty vzduchu mezi lednem a červencem (zdroj: Strahler 2006)

Teplota vzduchu

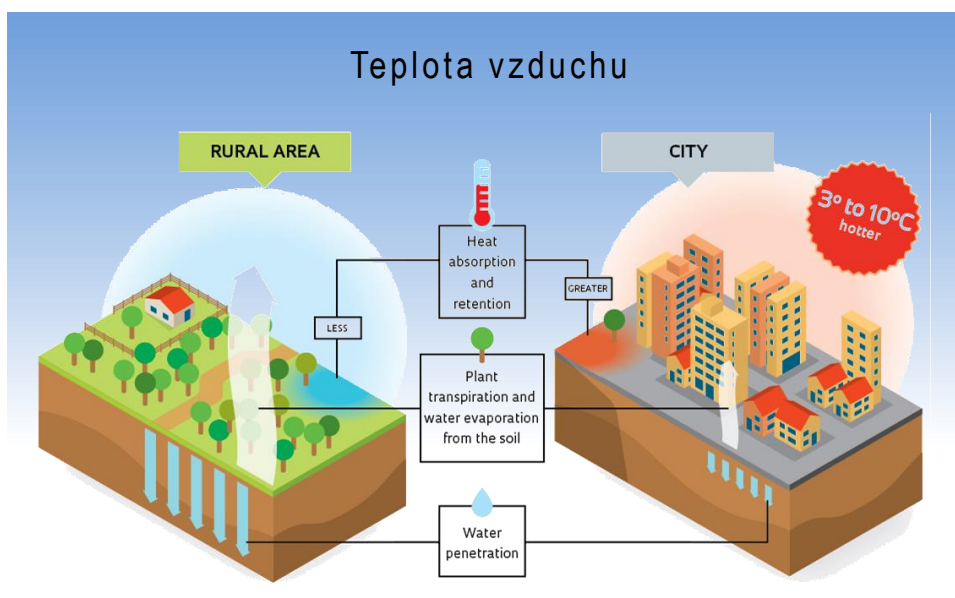
- **kontrast teploty mezi městem a venkovskou krajinou**
 - **venkov**
 - na vegetačním pokryvu probíhá transpirace (výpar z povrchu rostlin) → odnímání tepla z povrchu
 - půdní povrch je vlhčí → ochlazování při výparu
 - **město**
 - srážková voda odváděna mimo zástavbu → sušší povrch
 - rychlejší a 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

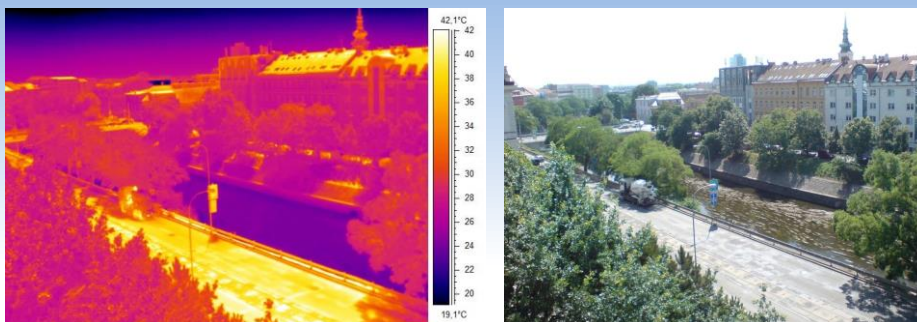


zdroj: ČT

Teplota vzduchu



Teplota vzduchu



zdroj: CVGZ AV ČR 2015

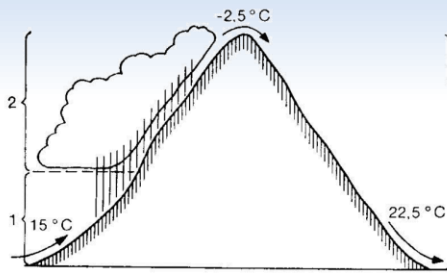
Změna teploty vzduchu s výškou

- **vertikální teplotní gradient Γ ($\approx 0,65$ °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 γ (≈ 1 °C na 100 m)**

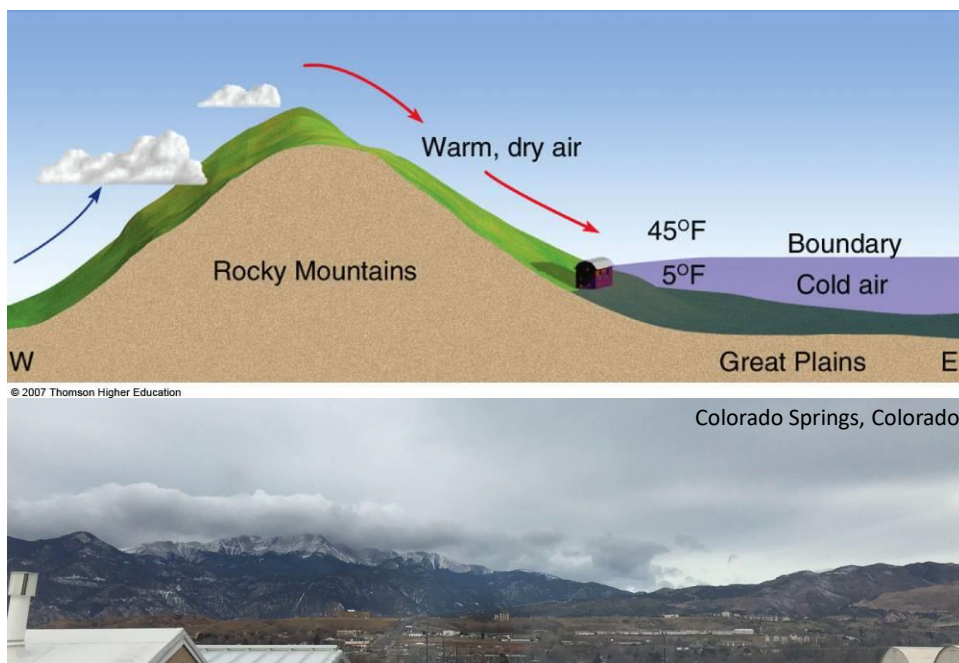
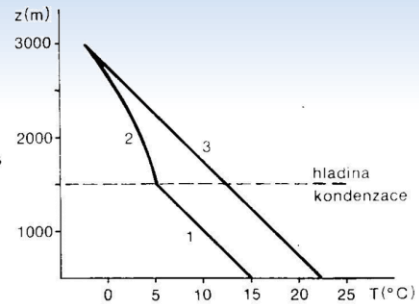
Změna teploty vzduchu s výškou

- **pseudoadiabatický děj**

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



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

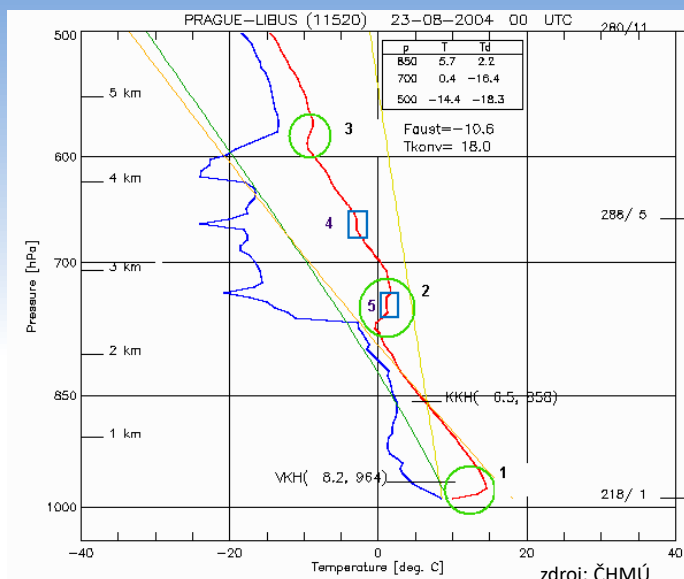
Změna teploty vzduchu s výškou

radiační inverze



advekční inverze

Změna teploty vzduchu s výškou



Klimatologie a hydrogeografie | J. Jakubínský | podzim 2017

17

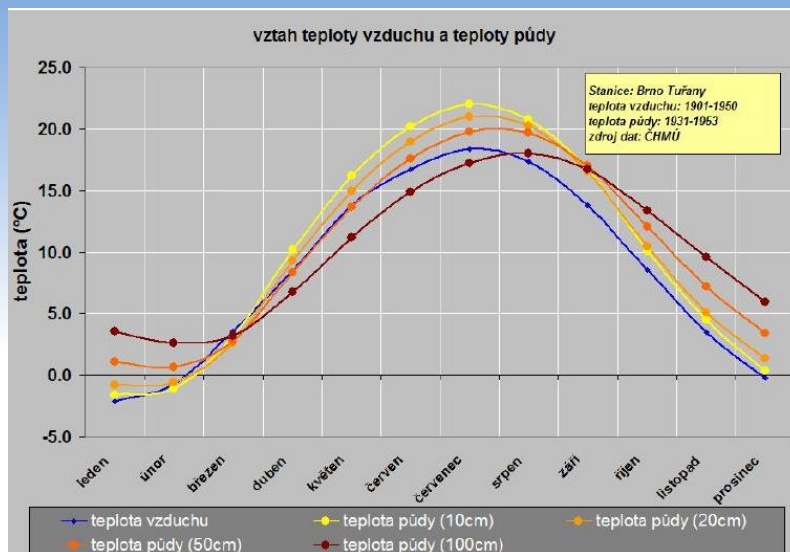
Teplota půdy

- **teplota povrchu půdy a jejího podloží**
 - denní a roční periodicitu 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 $1/\sqrt{365} \approx 1/19,1$

Klimatologie a hydrogeografie | J. Jakubínský | podzim 2017

18

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 vláh v podloží AP
 - roste s teplotou AP, sytostním doplnkem vzduchu a rychlostí větru
- **denní a roční chod** (s maximy a minimy) zhruba **odpovídá chodu teplot AP** (za předpokladu dostatečného obsahu vláh v podloží)
- přenos vodní páry do atmosféry probíhá turbulentním prouděním a molekulární difúzí

Voda v atmosféře

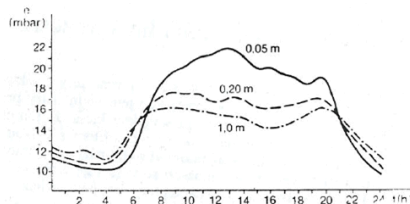
- **vlhkost vzduchu**
 - obsah vodní páry ve vzduchu, vyjádřený následujícími charakteristikami:
 - **napětí (tlak) vodní páry – e [mbar]**
 - dílčí tlak vodní páry ve směsi se suchým vzduchem
 - max. množství vodní páry = **nasycený vzduch**, jeho napětí páry = **napětí nasycení – E**
 - **poměrná (relativní) vlhkost vzduchu – r [%]**
 - procentuálně vyjádřený poměr e a E $r = \left(\frac{e}{E}\right) \times 100$
 - **sytoční 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⁻³]**
 - 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 – τ [°C]**
 - teplota, při které by vodní pára nacházející se ve vzduchu tento vzduch nasytila
 - teplota, na kterou musí klesnout teplota nenasyceného vlhkého vzduchu o napětí páry e , aby se změnilo na napětí nasycení E
 - při poklesu teploty pod τ dochází ke kondenzaci vodní páry → vznik rosy / mlhy
 - při relativní vlhkosti nižší než 100 % je τ vždy nižší než teplota vzduchu
- **poměr směsi (směšovací poměr) – w [bezrozměrná veličina, v praxi g.kg⁻¹]**
 - hmotnost vodní páry připadající na jednotku hmotnosti suchého vzduchu

Voda v atmosféře

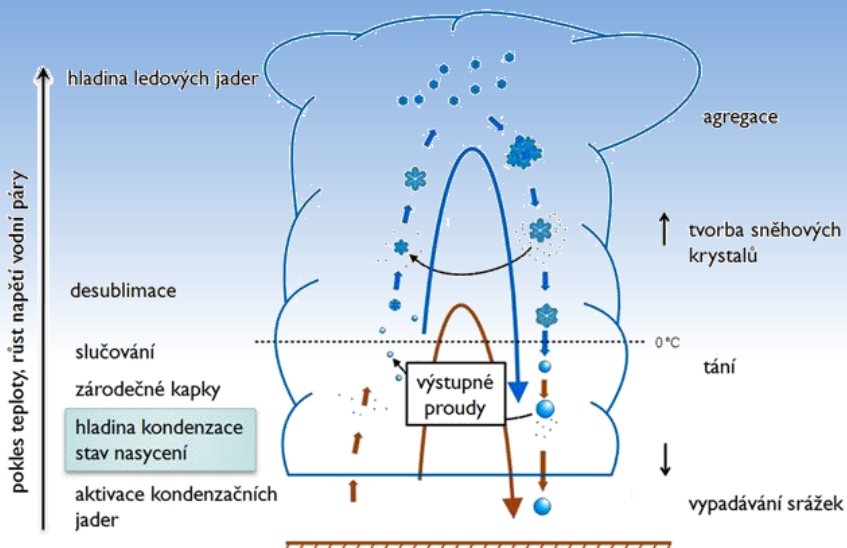
- **napětí vodní páry e** se vyznačuje:
 - **jednoduchým denním chodem** (typ mořský / zimní)
 - při malé intenzitě turbulence, těsně nad povrchem vody či extrémně vlhkým povrchem souše
 - průběh úzce souvisí s denním chodem teploty AP a výparu
 - max. okolo 13. hod. (vysoká intenzita výparu), min. okolo 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)



Voda v atmosféře

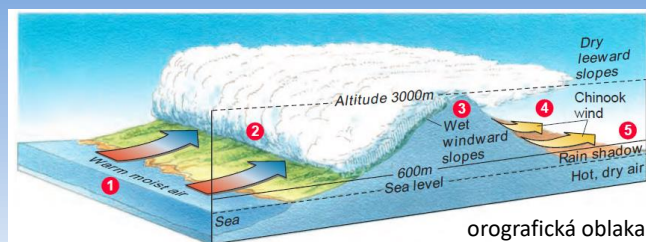
- **kondenzace vodní páry v atmosféře**
 - úbytek obsahu vodní páry s nadmořskou výškou (vzdalování od zdroje)
 - vliv **kondenzace vodní páry**
 - výrazný pokles napětí páry s výškou (99 % obsahu vodní páry je v troposféře)
 - pokles teploty na **rosný bod** (stav nasycení) → kondenzace páry
 - s dalším 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**

Voda v atmosféře

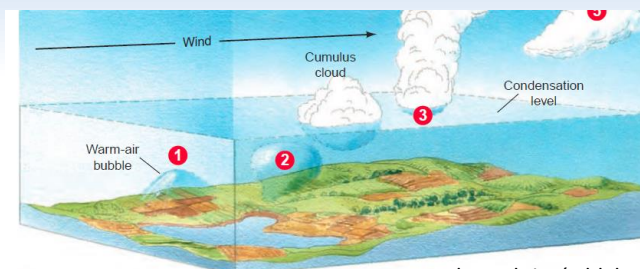


zdroj: Ruda 2014

Voda v atmosféře



orografická oblaka



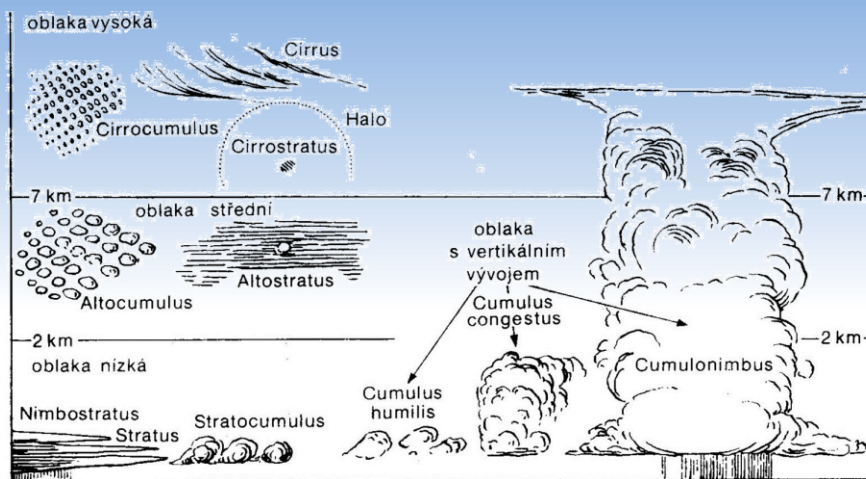
konvektivní oblaka

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** – Altopumulus (Ac)
 - **vyvýšená sloha** – Altostratus (As)
 - **dešťová sloha** – Nimbostratus (Ns)
 - **slohová kupa** – Stratocumulus (Sc)
 - **sloha** – Stratus (St)
 - **kupa** – Cumulus (Cu)
 - **bouřkový oblak** – Cumulonimbus (Cb)



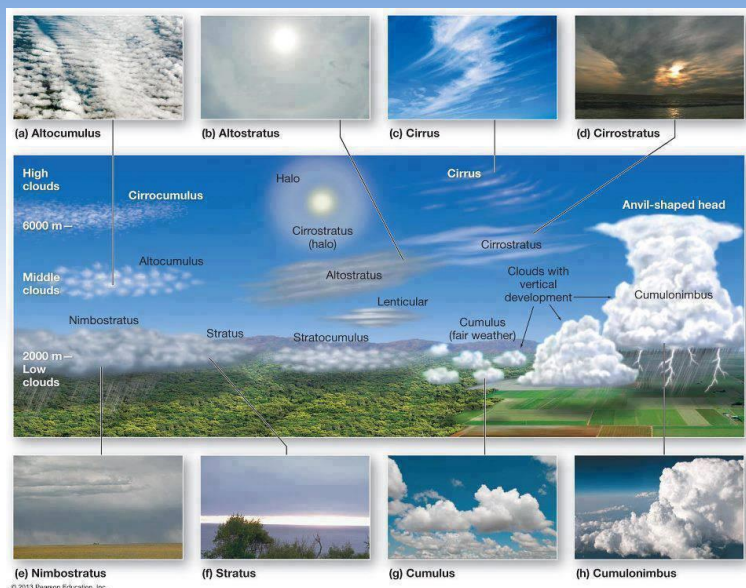
Voda v atmosféře



zdroj: Netopil a kol. 1984

zemský povrch

Voda v atmosféře



Klimatologie a hydrogeografie | J. Jakubínský | podzim 2017

29

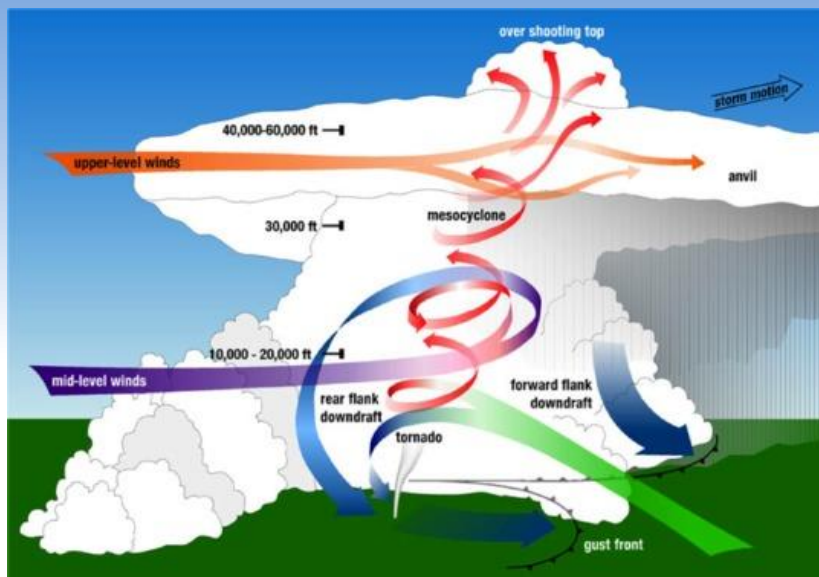
Voda v atmosféře

- 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 dlouhovělnného vyzařování a ochlazování atm. v noci, často souvislá vrstva pod základnou výškové inverze)
 - **zvláštní oblaka** (perleťová, stříbřitá, z požárů, sopečná, kondenzační pruhy)

Klimatologie a hydrogeografie | J. Jakubínský | podzim 2017

30

Voda v atmosféře



Voda v atmosféře



„Morning Glories“ nad severním Queenslandem (Austrálie), u města Burketown

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 načervenale 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)

Klimatologie a hydrogeografie | J. Jakubínský | podzim 2017

33

Voda v atmosféře



Klimatologie a hydrogeografie | J. Jakubínský | podzim 2017

34

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 radiální**
 - ochlazením vzduchu od AP vyzařováním
 - spjatý s radiálními 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!**)



radiální mlha



advekční mlha

Voda v atmosféře



mlhy z vypařování



Voda v atmosféře

- **atmosférické srážky**

- dělení dle skupenství, tvaru a velikosti srážek:

- **déšť** (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 krupek)
- **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 °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 °C
 - **ledovka** – sklovitá, ledová vrstva vznikající zmrznutím přechlazených vodních kapek na předmětech, jejichž teplota je nižší než 0 °C
 - **náledí, zmrazky** – ledová vrstva pokrývající zemský povrch, vzniká mrznutím nepřechlazených vodních kapek na zemském povrchu o teplotě nižší než 0 °C

Voda v atmosféře



Voda v atmosféře



Voda v atmosféře

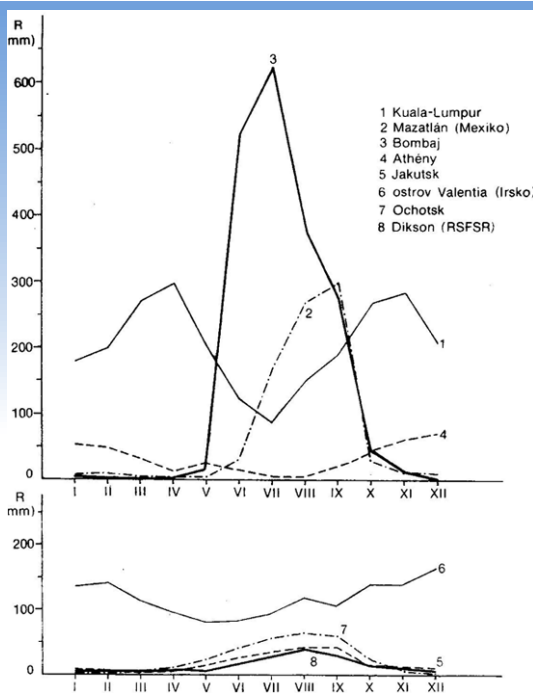
- **denní chod srážek**
 - **typ pevninský**
 - dvě maxima a minima
 - hlavní maximum po poledni, vedlejší ráno (\approx denní chod oblačnosti)
 - **typ mořský (pobřežní)**
 - jedno maximum – ráno (labilita teplotního zvrstvení vzduchu – teplá přízemní vrstva, vyšší vrstvy ochlazovány vyzářováním \rightarrow 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 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

Klimatologie a hydrogeografie | J. Jakubínský | podzim 2017

43



- rovníkový typ
- tropický typ
- typ tropických monzunů
- subtropický středomořský typ
- pevninský typ mírných šířek
- mořský typ mírných šířek
- monzunový typ mírných šířek
- polární typ

44

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)

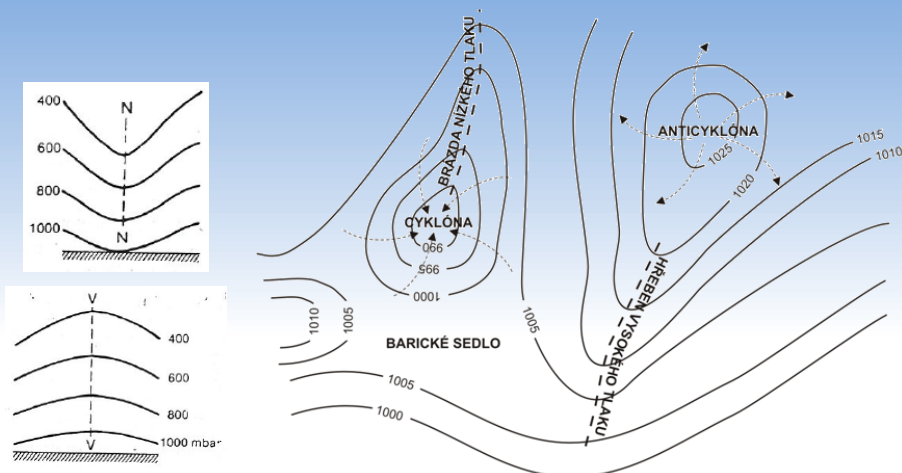
Tlak vzduchu

- **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

Klimatologie a hydrogeografie | J. Jakubínský | podzim 2017

49

Tlak vzduchu



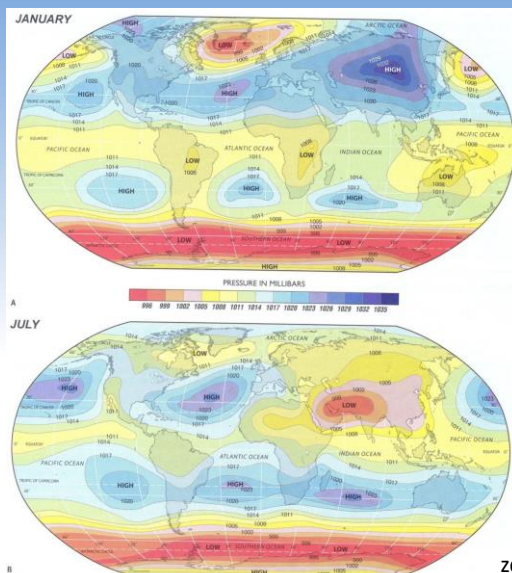
Tlak vzduchu

- **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



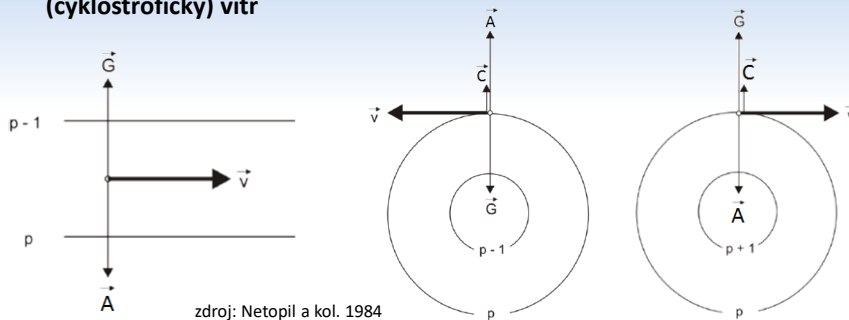
zdroj: de Blij 2004

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**



Klimatologie a hydrogeografie | J. Jakubínský | podzim 2017

55

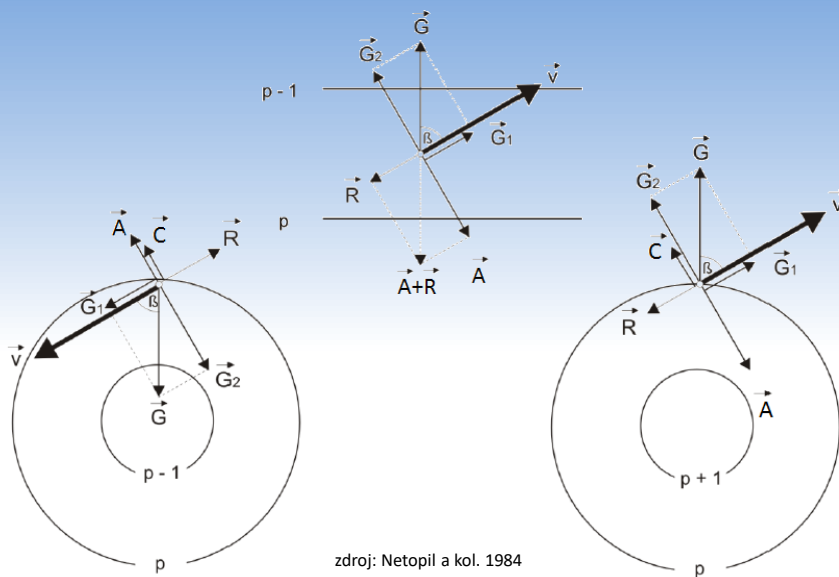
Proudění vzduchu

- 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 β**
 - úhel β 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}

Klimatologie a hydrogeografie | J. Jakubínský | podzim 2017

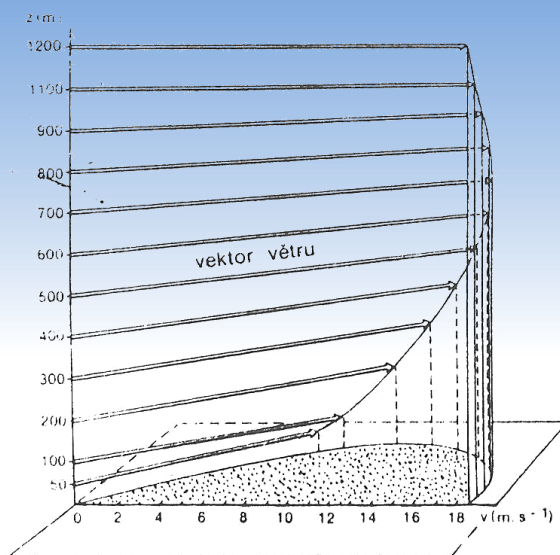
56

Proudění vzduchu



zdroj: Netopil a kol. 1984

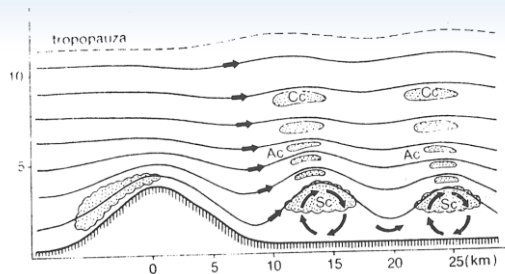
Proudění vzduchu



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 (**diffúze 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

Klimatologie a hydrogeografie | J. Jakubínský | podzim 2017

59

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 přetékaní **studeného vzduchu** přes **horské překážky** podél pobřeží
 - velmi nízká původní teplota (při přetékaní) → adiabatické ohřátí není dostatečné → **prudký pokles teploty u hladiny moře**
 - výskyt zejména na pobřeží Jaderského moře, Bajkalu, údolí Rhôny („mistral“)

Klimatologie a hydrogeografie | J. Jakubínský | podzim 2017

60

Proudění vzduchu



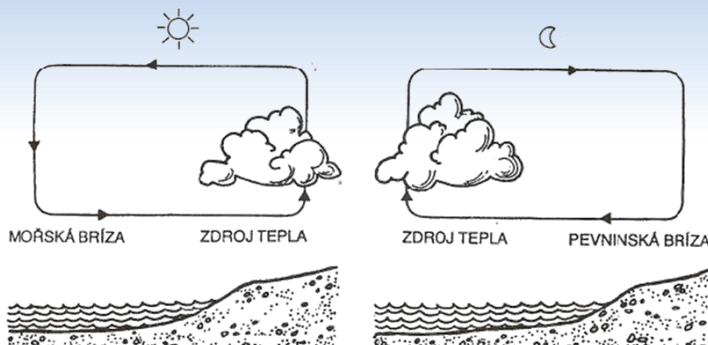
Proudění vzduchu



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



Klimatologie a hydrogeografie | J. Jakubínský | podzim 2017

63

Proudění vzduchu

– horské a údolní větry

- podmíněné **anabatickým prouděním** (výstupné proudy vzduchu vzniklé zahříváním povrchu) na osvětlených 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

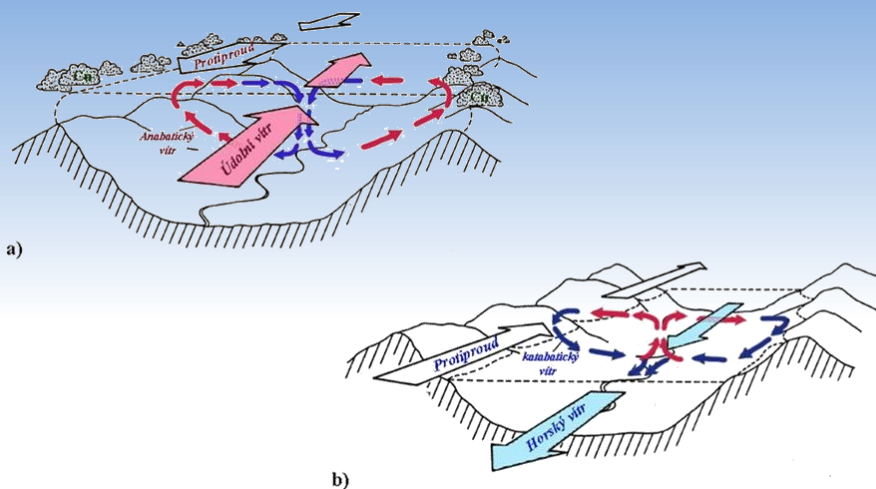
- nárazovité **katabatické proudění** vzduchu
- vzniká ochlazováním přízemní atmosféry od povrchu ledovců nebo firnovišť

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

Klimatologie a hydrogeografie | J. Jakubínský | podzim 2017

64

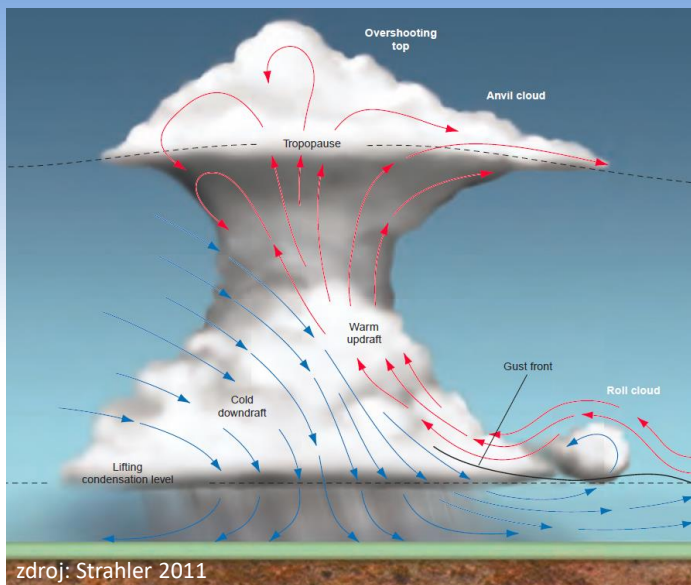
Proudění vzduchu



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)

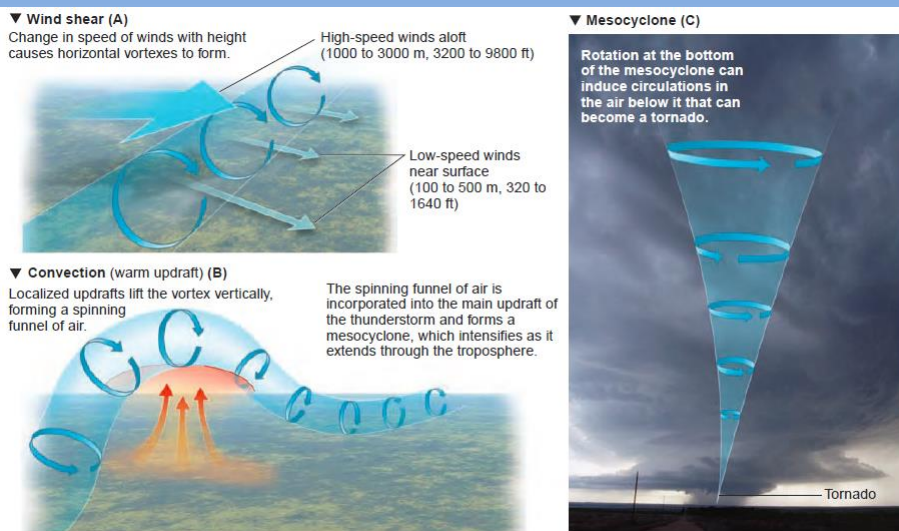
Proudění vzduchu



Klimatologie a hydrogeografie | J. Jakubínský | podzim 2017

67

Proudění vzduchu



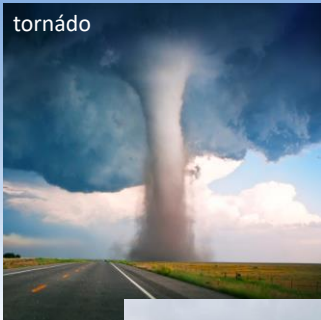
zdroj: Strahler 2011

Klimatologie a hydrogeografie | J. Jakubínský | podzim 2017

68

Proudění vzduchu

tornádo



supercela



húlava

Klimatologie a hydrogeografie | J. Jakubínský | podzim 2017

69

Proudění vzduchu

tromba – atmosférický vír s nehorizontální osou rotace (malé tromby v Česku označovány jako „rarášci“)



Klimatologie a hydrogeografie | J. Jakubínský | podzim 2017

70