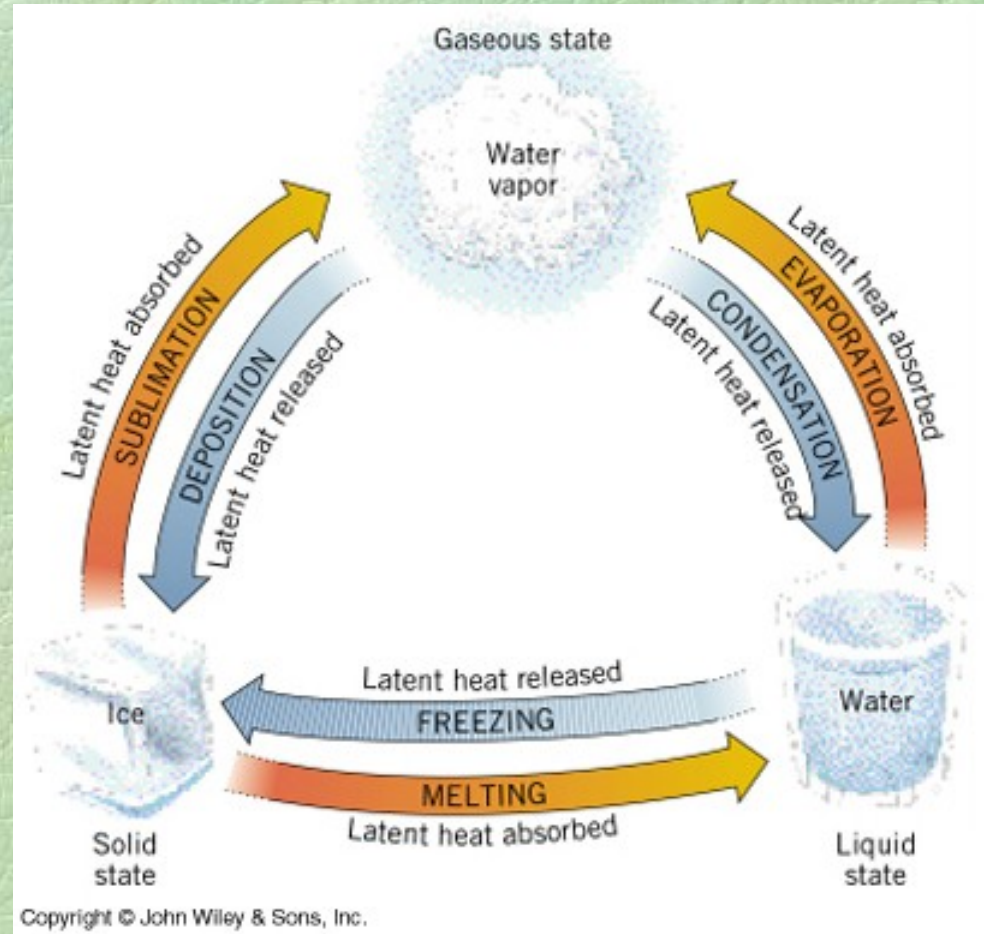


# 4. Atmosférická vlhkost a srážky

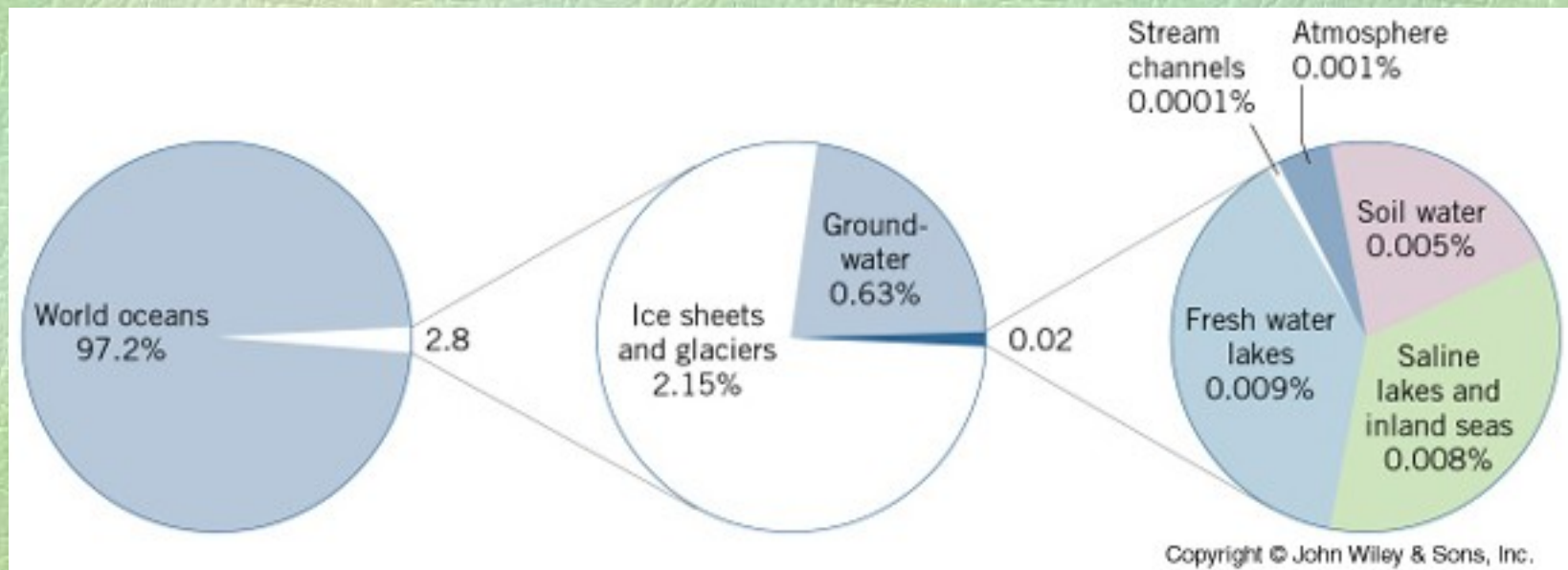
- voda existuje ve třech skupenstvích
  - pevném (led), kapalném (voda), plynném (vodní pára)
- při fázových změnách se spotřebovává nebo uvolňuje latentní teplo



## 4.1 Voda v globální perspektivě

- voda hraje klíčovou roli na Zemi z následujících příčin:
  - a) pokrývá 2/3 povrchu Země, funguje jako rezervoár tepla a jeho přerozdělování, stejně jako rezervoár různých složek (např. soli)
  - b) voda vypadávající na pevninách jako déšť nebo sníh vytváří při odtoku na povrchu různé tvary a formy reliéfu a přenáší živiny od jednoho místa k druhému
  - c) vodou (vodní párou) v atmosféře je přenášeno obrovské množství latentního tepla od jednoho místa k druhému

## 4.1.1 Hydrosféra a hydrologický cyklus

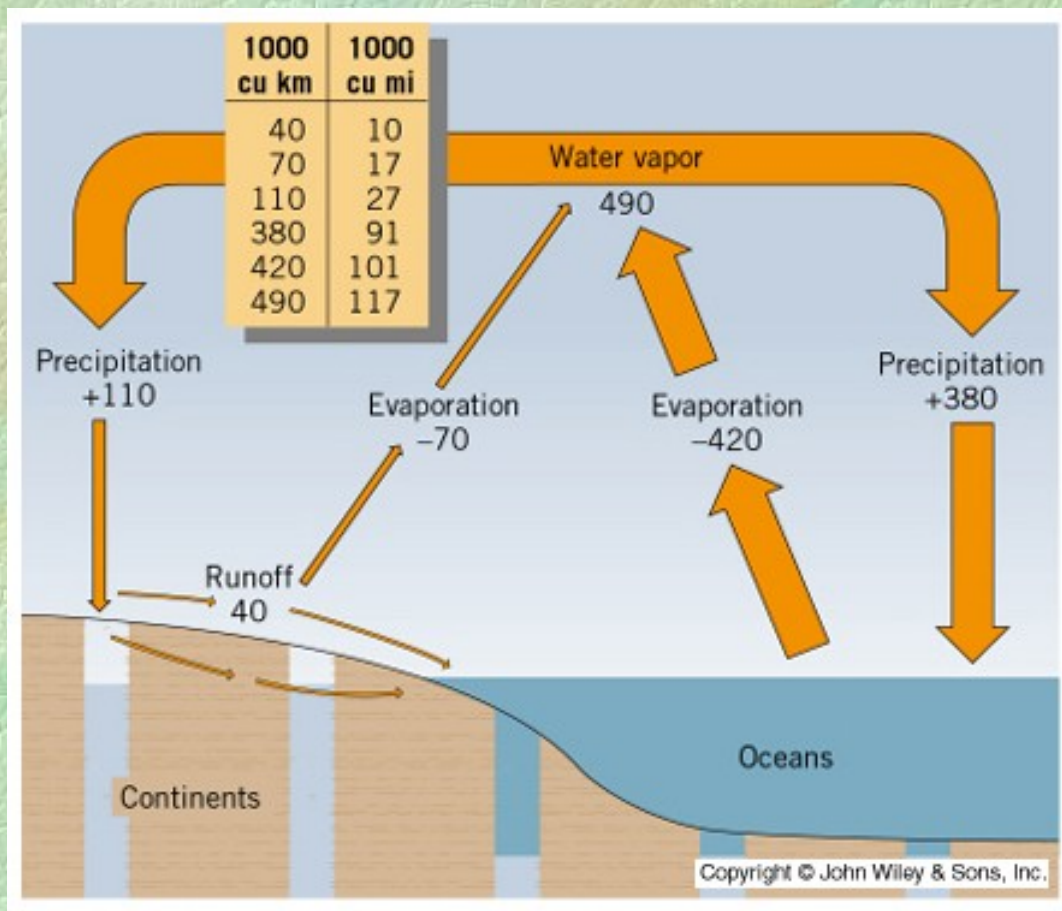


- 97,2 % tvoří slaná voda, 2,8 % sladká voda (mimo slaná jezera a vnitřní moře)
- hlavní část sladké vody je vázána v ledovcových štítech a horských ledovcích (2,15 %) a podpovrchové vodě, hlavně podzemní (0,63 %) – zbytek 0,02 %, takže sladká voda na pevnině tvoří jen velmi malou část z celkových zásob vody na Zemi
- zbytek 0,02 % se rozděluje na půdní vodu (v dosahu kořenů rostlin), povrchovou vodu (např. jezera, vodní toky, bažiny) a vodu v atmosféře

- **hydrologický cyklus** – popisuje globální výměnu vody mezi jednotlivými rezervoáry:
  - a) výpar z oceánů a pevnin (plus transpirace) do atmosféry v podobě vodní páry, z oceánů šestkrát větší
  - b) kondenzace nebo sublimace vodní páry v atmosféře, vyprádávající v podobě srážek (srážky nad oceány asi čtyřikrát větší než nad pevninou)
  - c) srážky vyprádlé na pevninu mohou
    - se vypařit a vrátit se do atmosféry jako vodní pára
    - se vsáknout do půdy (podzemní odtok)
    - odtékat z povrchu spojující se do potoků a řek, odtékajících zpět do oceánů nebo bezodtokých jezer

## 4.1.2 Globální vodní bilance

- popisuje toky vody mezi oceánem, atmosférou a pevninou
- předpokládáme, že objem oceánských vod a objem sladkých povrchových a podpovrchových vod je konstantní rok od roku



- oceán: srážky (do) + odtok (do) = výpar (z), tj.  $380 + 40 = 420$  tis.  $\text{km}^3$
- pevnina: srážky (na) = výpar (z) + odtok (z), tj.  $110 = 70 + 40$  tis.  $\text{km}^3$
- protože na pevnině výpar = srážky – odtok, lze odtok při bilancování vypustit a lze zapsat:

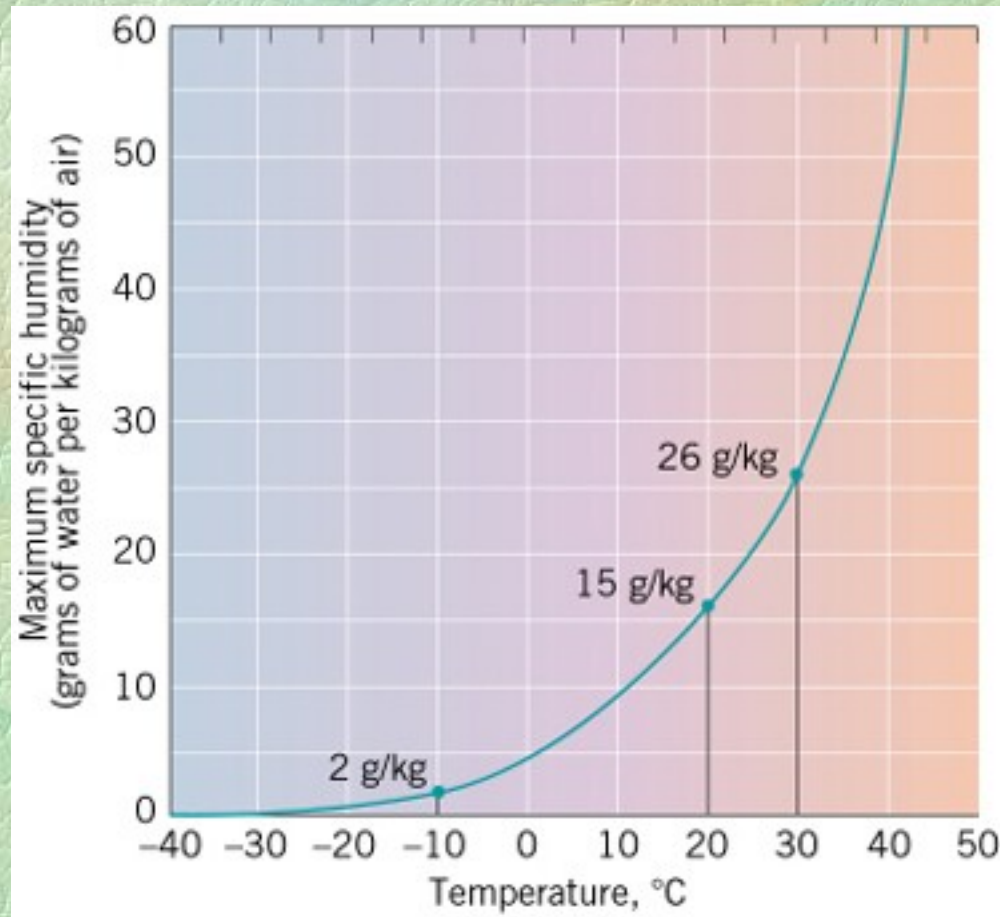
$$\begin{array}{ccccccc}
 \text{celkový výpar} & & & & \text{celkové srážky} & & \\
 70 & + & 420 & = & 110 & + & 380 \\
 \text{pevnina} & & \text{oceán} & & \text{pevnina} & & \text{oceán}
 \end{array}
 \quad (\text{vše v tis. km}^3)$$

## 4.2 Vlhkost vzduchu

- vlhkost vzduchu – obecně značí množství vodní páry ve vzduchu
- množství vodní páry ve vzduchu kolísá s místem a časem (téměř žádné v chladném a suchém arktickém vzduchu až do 4-5 % v teplém vlhkém vzduchu při rovníku)
- maximální množství vlhkosti, které se může udržet ve vzduchu, závisí na teplotě vzduchu – teplý vzduch může udržet víc vlhkosti (vodní páry) než studený

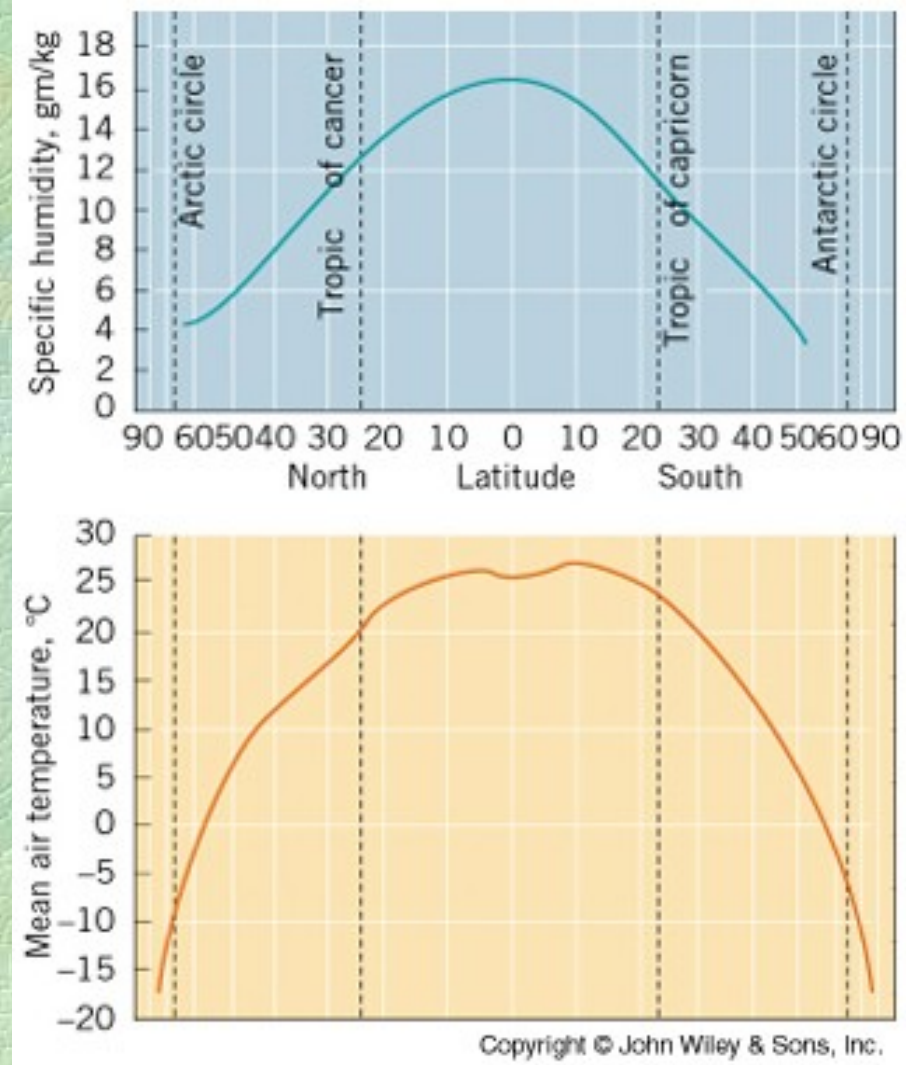
## 4.2.1 Specifická vlhkost vzduchu

- **specifická vlhkost vzduchu** ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) – hmotnost vodní páry v gramech obsažená v 1 kg vzduchu
- maximální specifická vlhkost v závislosti na teplotě:  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 2 g/kg,  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 26 g/kg



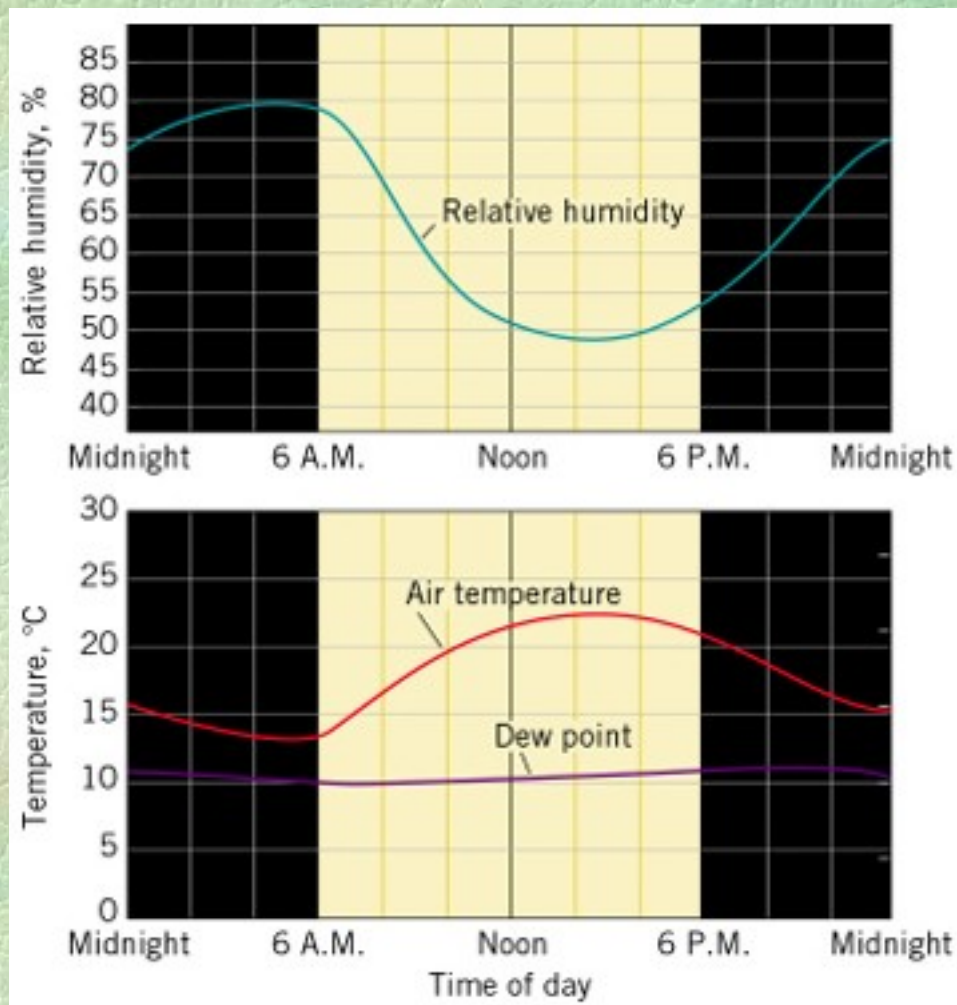


- specifická vlhkost je míra množství vody, které může vypadnout z atmosféry jako srážky, tj. z chladného vlhkého vzduchu vypadne méně srážek či sněhu než z teplého vlhkého vzduchu
- specifická vlhkost je nejvyšší na rovníku (insolace – výpar), k pólům rychle klesá
- **rosný bod** (°C) – teplota, při níž vzduch dosáhne stavu nasycení, tj. obsahuje maximální množství vodní páry – při dalším ochlazení kondenzace



## 4.2.2 Relativní vlhkost vzduchu

- **relativní vlhkost vzduchu (%)** – porovnává množství vodní páry ve vzduchu vzhledem k maximálně možnému množství vodní páry při dané teplotě
- při relativní vlhkosti 100 % je **vzduch nasycený** (obsahuje maximálně možné množství vodní páry) a má teplotu rosného bodu
- změna relativní vlhkosti se může dít změnou množství vodní páry v ovzduší nebo změnou teploty vzduchu – pokles teploty znamená vzestup relativní vlhkosti (tj. mění se kapacita vzduchu obsahovat vodní páru)



- v denním chodu maximum v ranních hodinách, minimum v odpoledních
- **psychrometrem** se měří tzv. **psychrometrický rozdíl** mezi teplotou vlhkého a suchého teploměru; výparem se ochlazuje vlhký teploměr tím více, čím sušší je okolní vzduch (odnímá se mu latentní teplo)

## 4.3 Adiabatické procesy

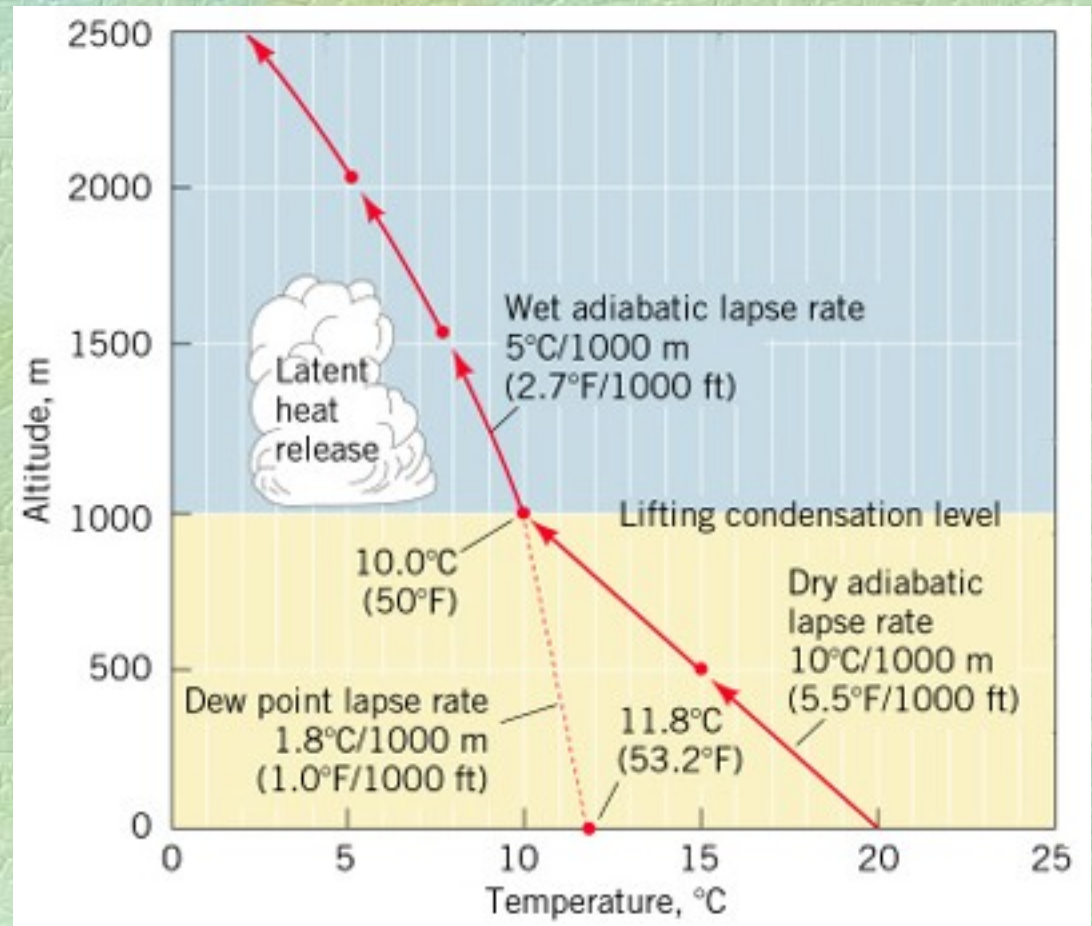
- ke kondenzaci či sublimaci vodní páry ve vzduchu je třeba jeho ochlazování
- noční ochlazení povrchu a přiléhající vrstvy vzduchu – rosa, mráz

### 4.3.1 Suchoadiabatický proces

- je-li plyn stlačován, jeho teplota roste; rozpíná-li se, jeho teplota klesá
- **adiabatické procesy** – oteplování nebo ochlazování probíhá jako výsledek změny tlaku (na úkor vnitřní energie)
- vystupuje-li vzduch, s poklesem tlaku vzduchu s výškou se rozpíná a ochlazuje se
- sestupuje-li vzduch, se vzestupem tlaku vzduchu se stlačuje a otepluje se
- odpovídající teplotní změny v suchém nebo nenasyceném vzduchu lze popsat **suchoadiabatickým gradientem** s hodnotou  $1^{\circ}\text{C}$  na 100 m výšky

## 4.3.2 Vlhkoadiabatický proces

- dosáhne-li vystupující vzduch hladiny kondenzace (stává se nasyceným), dochází při dalším výstupu a ochlazení ke kondenzaci vodní páry, při níž se uvolňuje latentní teplo
- vystupující vzduch je tak ochlazován při poklesu tlaku vzduchu, ale zčásti oteplován uvolněným latentním teplem – ochlazující efekt je charakterizován **vlhkoadiabatickým gradientem**, jehož hodnota závisí na teplotě a tlaku vzduchu a obsahu vodní páry



## 4.4 Oblaka

- **oblak** – nakupení vodních kapiček nebo ledových krystalků o rozměru 20-50  $\mu\text{m}$  ve vzduchu (v určité výšce nad zemským povrchem)
- **kondenzační jádra** o rozměru 0,1-1  $\mu\text{m}$ ; zdrojem je povrch moří, kdy se voda rozstříkuje do vzduchu, v němž po vypaření vody zůstanou krystalky soli, na nichž se tvoří částičky oblaků
- voda může existovat v kapalném skupenství jako přechlazená do  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$

## 4.4.1 Druhy oblaků

- oblaka mají mnoho tvarů a velikostí
- oblaka lze dělit podle výšky jejich spodní základny a vzhledu na:

a) oblaka vysoká (5-13 km):

- řasa – Cirrus (Ci)
- řasová kupa – Cirrocumulus (Cc)
- řasová sloha – Cirrostratus (Cs)

b) oblaka střední (2-7 km)

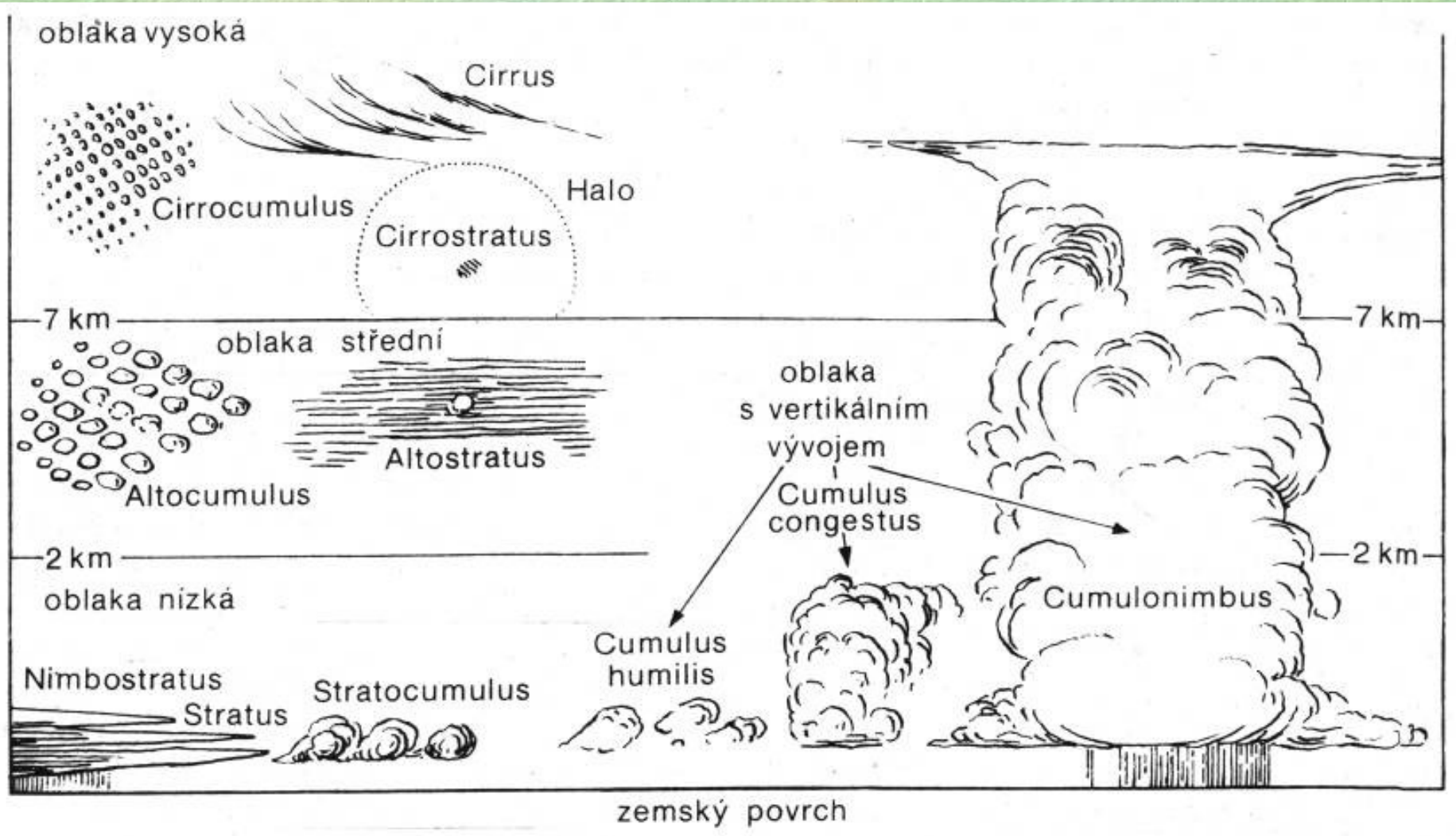
- vyvýšená kupa – Altocumulus (Ac)
- vyvýšená sloha – Altostratus (As)

c) oblaka nízká (do 2 km)

- dešťová sloha – Nimbostratus (Ns)
- slohová kupa – Stratocumulus (Sc)
- sloha – Stratus (St)

d) oblaka vertikálního vývoje (0,5-1,5 km)

- kupa – Cumulus (Cu)
- bouřkový oblak – Cumulonimbus (Cb)







Ci uncinus



Cc stratiformis perlucidus undulatus, Cu humilis



Cs fibratus



As translucidus undulatus radiatus



Ac stratiformis translucidus perlucidus



Ns praecipitatio



Sc stratiformis opacus mamma cumulonimbogenitus



Cu humilis



Cu mediocris



Cb capillatus, Cu congestus



Cb capillatus incus, Cu congestus

## 4.4.2 Mlha

- **mlha** – nakupení produktů kondenzace nebo sublimace vodní páry při zemském povrchu, kdy horizontální dohlednost alespoň v jednom směru klesá pod 1 km
- mlha patří k rizikovým jevům v silniční a letecké dopravě, mlha s kouřem – **smog**
- **radiační mlha** – vzniká v noci při poklesu teploty pod hodnotu rosného bodu (souvisí s přízemní teplotní inverzí)
- **advekční mlha** – teplý vlhčí vzduch natéká nad chladnější povrch
- **mlhy z vypařování** – výpar z teplejšího vodního povrchu do chladnějšího vzduchu

## 4.5 Srážky

- výstup nasyceného vzduchu a ochlazování způsobují dodatečnou kondenzaci, čímž narůstají oblačné částice na 50-100  $\mu\text{m}$ ; ty se dále mohou spojovat na oblačné kapky o velikosti kolem 500  $\mu\text{m}$  (velikost odpovídající **mrholení**), při dalším spojování se zvětšují na **kapky deště** (1000-2000  $\mu\text{m}$ , max. 7000  $\mu\text{m}$ ), při větší velikosti se rozpadají
- **sníh** vzniká v oblacích působením ledových krystalků a přechlazených kapek vody, které na nich namrzají – sněhové vločky mohou mít krystalickou strukturu
- pokud mají spodní vrstvy teplotu pod bodem mrazu, dopadá sníh na zem – jinak taje a padá jako déšť
- pokud padají kapky přes chladnou vrstvu, kapky mrznou (**krupky**)
- déšť padající na povrch s teplotou pod bodem mrazu – **ledovka**
- **kroupy** – kousky ledu o velikosti 5 mm nebo větší
- množství srážek se měří v 7 hodin ráno **srážkoměrem** výškou vody v mm/den (1 mm srážek = 1 litr vody na 1  $\text{m}^2$  plochy) – tuhé srážky se měří stejným způsobem po jejich rozpuštění



**1 m nad zemí, záchytná plocha 500 cm<sup>2</sup>**

**Zleva: staniční srážkoměr – ombrograf – člunkový srážkoměr**

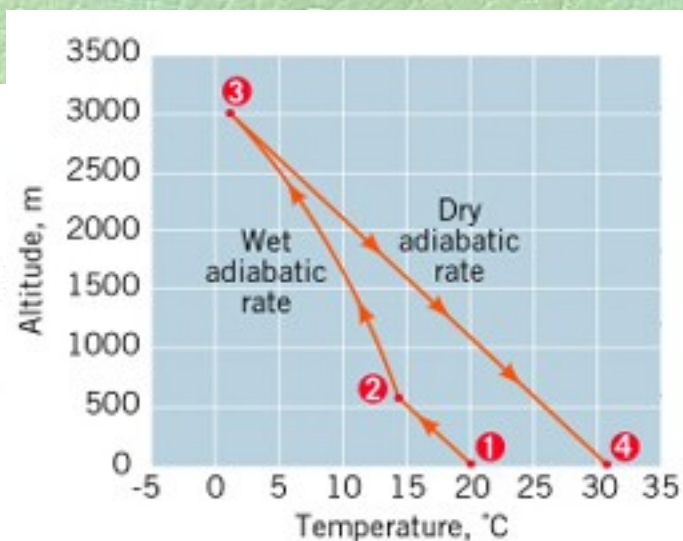
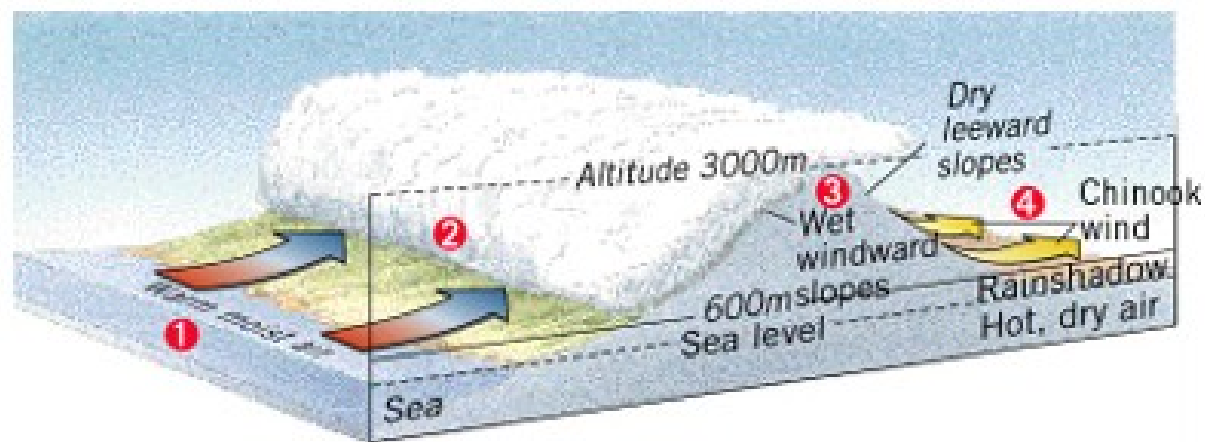


## 4.5.1 Vznik srážek

- podle příčin výstupného pohybu vzduchu, způsobujícího ochlazování, lze rozlišit:
  - a) vynucený výstup vzduchu na horských překážkách → **orografické srážky**
  - b) výstup vzduchu v důsledku konvekce → **konvektivní srážky**
  - c) výstup při pohybu vzduchových hmot → **cyklonální srážky**



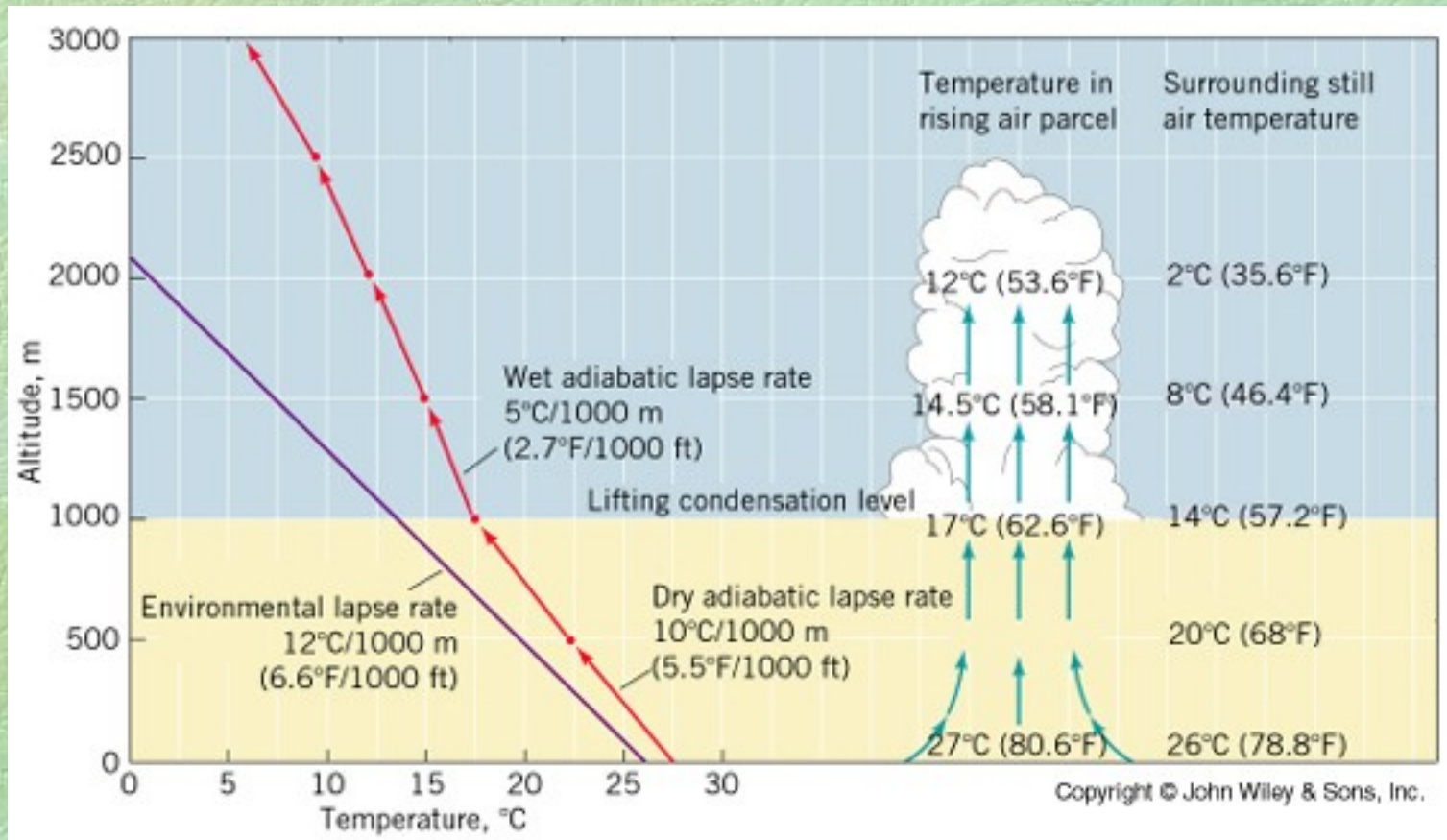
## 4.5.2 Orografické srážky



- vzduch přitéká k horské překážce, na níž dochází k vynucenému výstupu → po hladinu kondenzace ochlazování podle suchoadiabatického gradientu o 1°C na 100 m výšky → po dosažení hladiny kondenzace tvorba oblaků a při dalším výstupu ochlazování podle vlhkoadiabatického gradientu → vypadávání srážek → po překonání horské překážky vzduch sestupuje na závětrné straně (je nenasycený) a otepluje se podle suchoadiabatického gradientu, tj. vzduch se stává teplým a suchým
- zvýšení srážek na návětrné straně horských překážek, zatímco na závětrné straně vzniká **srážkový stín** (např. srážkový stín za Krušnými horami)

### 4.5.3 Konvektivní srážky

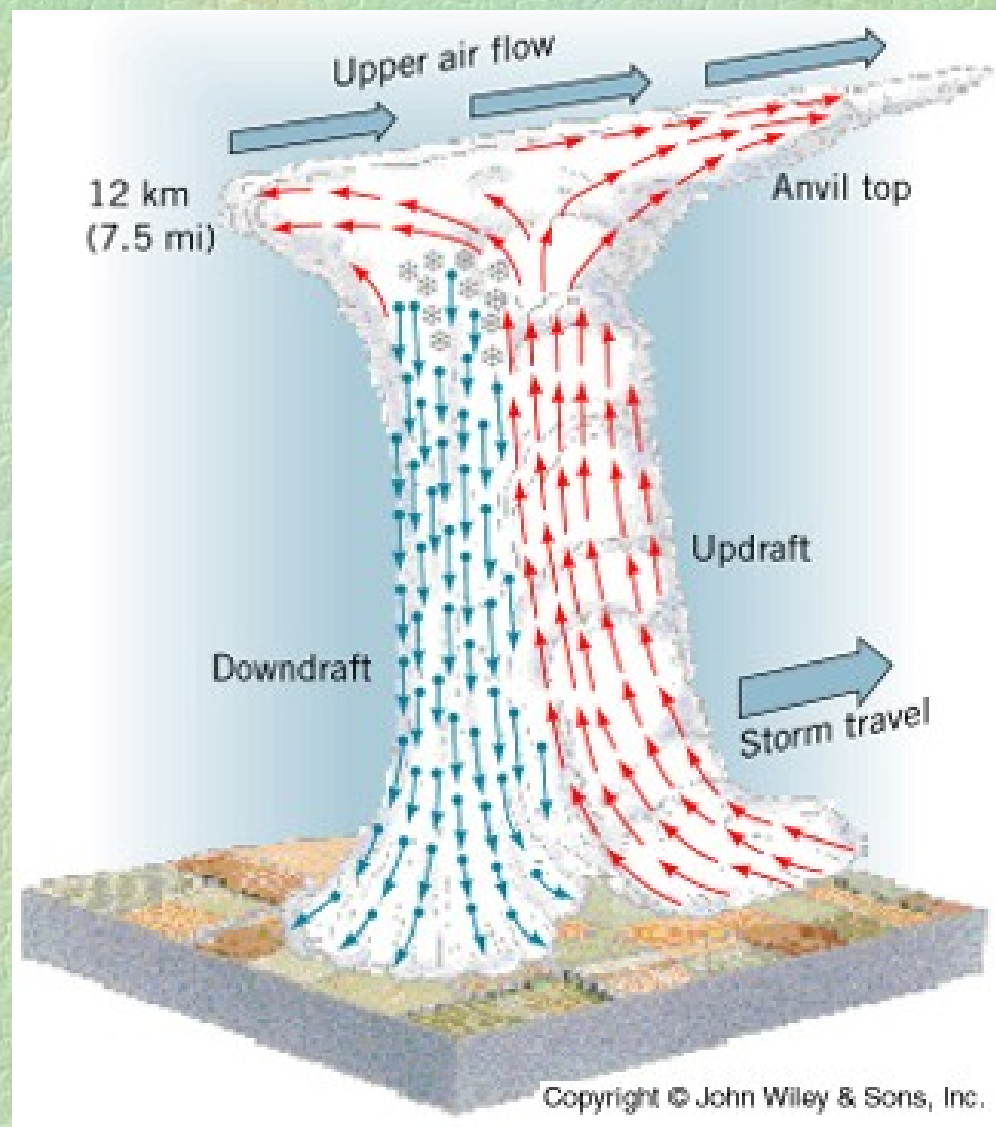
- konvekce vzniká při nerovnoměrném zahřívání zemského povrchu → bublina zahřátého vzduchu, který má menší hustotu, vystupuje nahoru → adiabatické ochlazování → bublina stoupá potud, pokud je teplejší než okolní vzduch → při dosažení hladiny kondenzace vznik kupovitých oblaků
- při intenzivní konvekci se oblaka vyvíjejí vertikálně do podoby bouřkového oblaku (cumulonimbus) v případě, že:
  - vzduch je teplý a vlhký (menší pokles teploty s výškou při kondenzaci – je teplejší oproti okolí, což podporuje výstup)
  - teplota vzduchu v okolní atmosféře (vertikální teplotní gradient) ubývá rychleji než teplota ve vystupujícím, adiabaticky se ochlazujícím vzduchu (což podporuje výstup) – **instabilní vzduch (instabilní teplotní zvrstvení)**

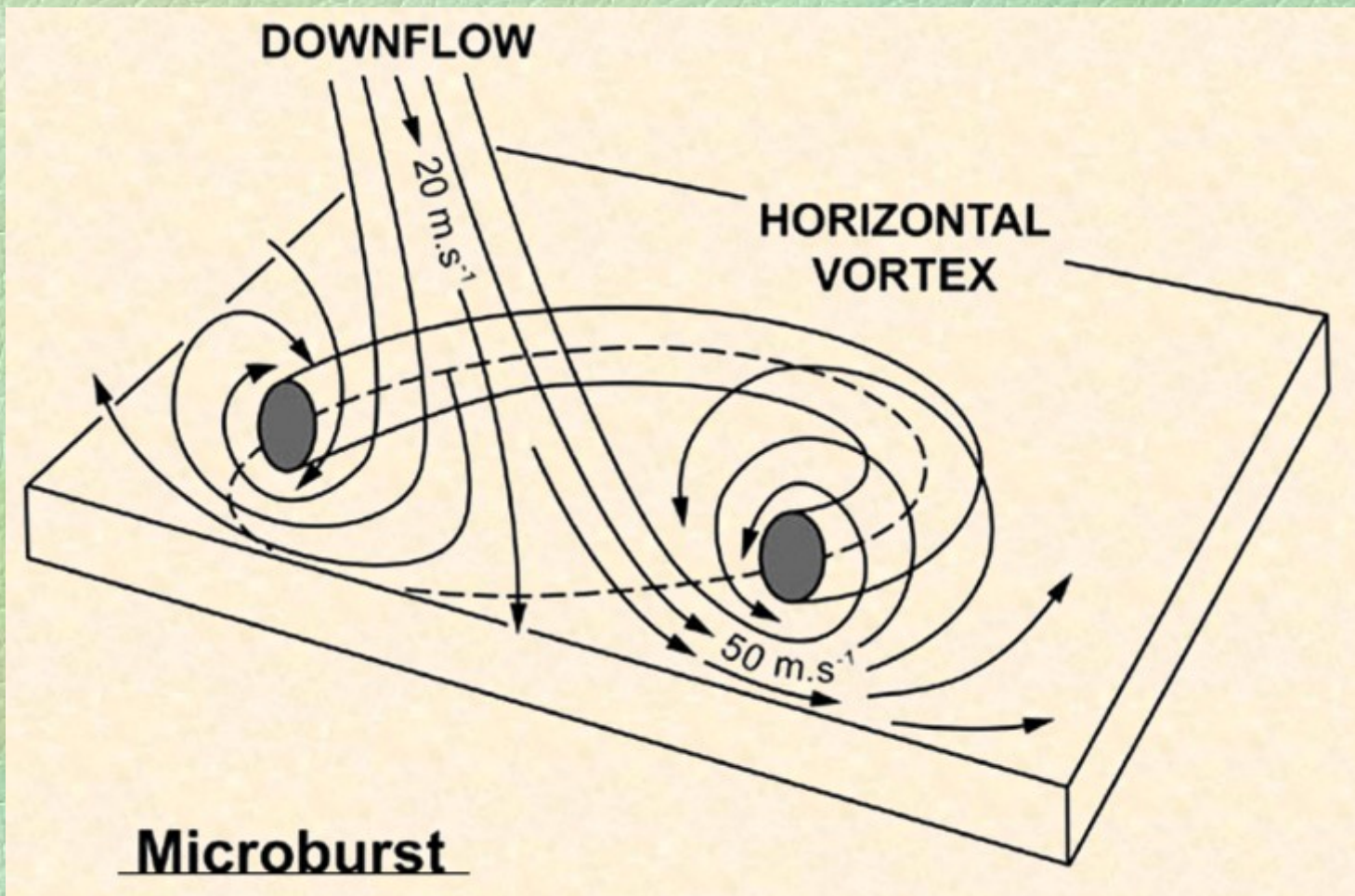


- význam latentního tepla uvolňovaného při kondenzaci, které udržuje výstupný pohyb vzduchu; pokud většina vodní páry zkondenzuje, latentní teplo se přestává uvolňovat, výstup ustává, konvekční buňka slábne
- instabilní vzduch je typický v létě – bouřky
- instabilní vzduch je typický pro rovníkové a tropické oblasti → časté bouřky a konvektivní přeháňky
- orografické zesílení konvekce

## 4.5.4 Bouřky

- **bouřka** – intenzivní lokální bouře spojená s oblakem druhu cumulonimbus s velmi silnými výstupnými pohyby vzduchu, skládající se z několika konvektivních buněk
- **konvektivní buňka** – silný výstupný pohyb vzduchu (updraft) vede ke vzniku intenzivních srážek
- rozmývání oblaku v horní části buňky výškovým větrem (kovadlina)
- sestupný pohyb vzduchu v konvektivní buňce (downdraft) – silný vítr a škodlivé účinky



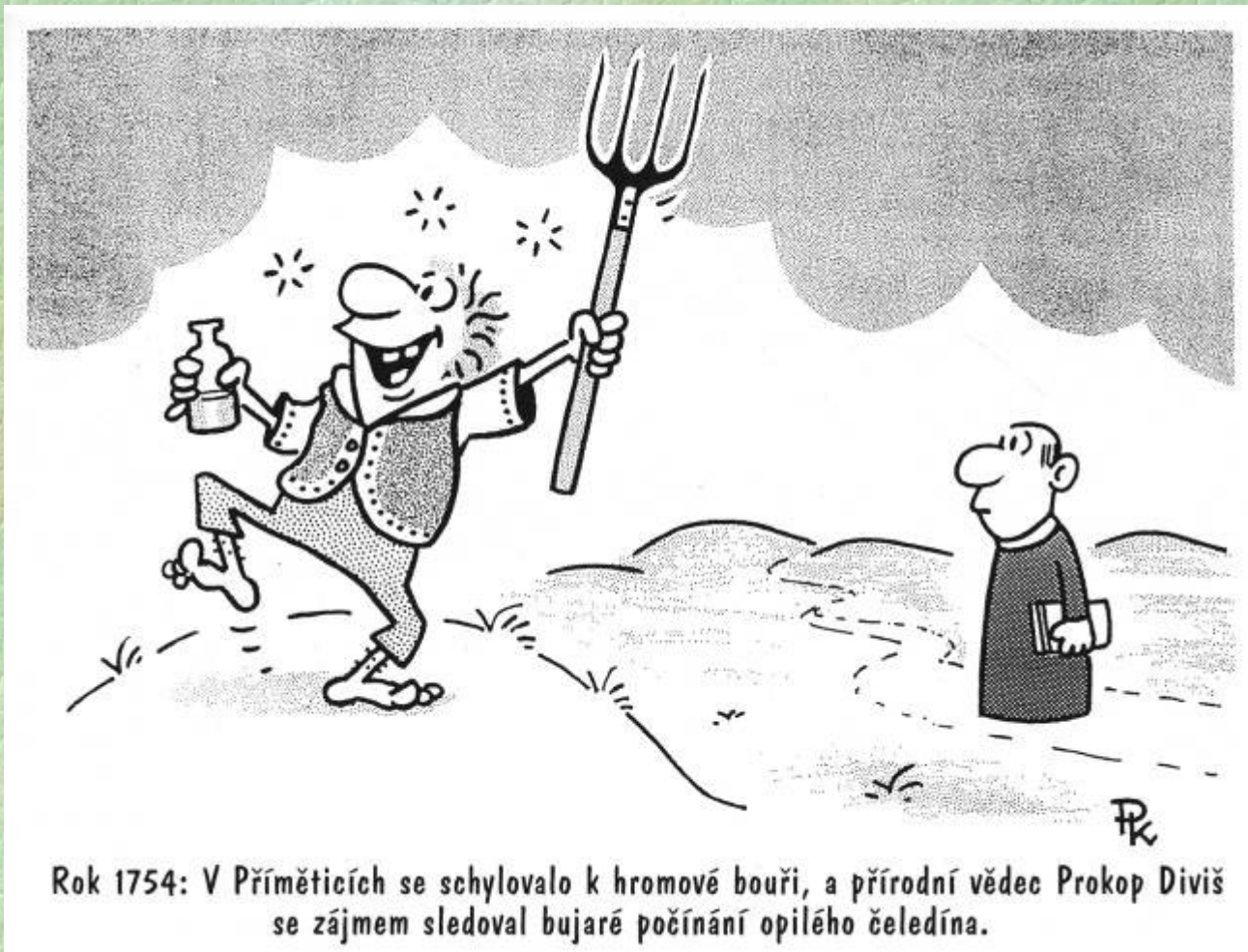


- a) **macroburst** - horizontální rozměry přes 4 km
- b) **microburst** - horizontální rozměr do 4 km, z hlediska intenzity nebezpečnější

- **kroupy** – vznikají namrzáním dalších vrstev ledu na ledových kuličkách ve výstupném proudu (až 3-5 cm), pokud je výstupný proud neudrží ve vzduchu, vypadávají k zemi – velké škody



- **blesky** – výstupné a sestupné pohyby vzduchu generují kladné a záporné elektrické náboje v různých částech oblaku, které jsou vyrovnávány řadou gigantických jiskrových výbojů (mezi částmi oblaků nebo mezi oblakem a zemí); zvukový doprovod – hřmění; škody a oběti bleskem



## 4.6 Znečištění prostředí

- atmosféra obsahuje plyny, aerosoly a větší a těžší částice, které dříve nebo později vypadávají na povrch
- **škodliviny v ovzduší** (znečištění ovzduší) – substance dostávající se do atmosféry ze zemského povrchu přirozenou cestou nebo antropogenní činností:
  - a) každodenní aktivity lidí (např. automobilismus)
  - b) průmyslové aktivity (např. spalování fosilních paliv, odpadů)
- typické škodliviny: oxid uhelnatý CO, oxidy síry SO<sub>x</sub> (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>), oxidy dusíku NO<sub>x</sub> (NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>), uhlovodíky
- nejvýznamnější zdrojem škodlivin je **spalování fosilních paliv** jak ze stacionárních zdrojů (např. elektrárny – hlavně SO<sub>2</sub>), tak z pohyblivých (automobily – hlavně CO, uhlovodíky, NO<sub>x</sub>)



## 4.6.1 Smog a kouř

- **smog** – aerosoly a plynné škodliviny významné hustoty nad městskými oblastmi (původně ze slov “smoke” – kouř a “fog” – mlha)
- současný smog ve městech obsahuje hlavně oxidy dusíku, uhlovodíky a ozon (fotochemické reakce – oxidace uhlovodíků za přítomnosti  $\text{NO}_x$  jako katalyzátorů; dráždění sliznice, kancerogenita, toxicita, poškozování buněk); fotochemickými reakcemi mohou být produkovány další toxické sloučeniny
- **zákal** – atmosférický aerosol tvořený mikroskopicky malými tuhými částicemi (prach, krystalky soli, pyl, kouřové částice), které jsou tak četné, že způsobují opalescenci (rozptyl světla projevující se hlavně červeným a modrozeleným odstínem) a snižují viditelnost

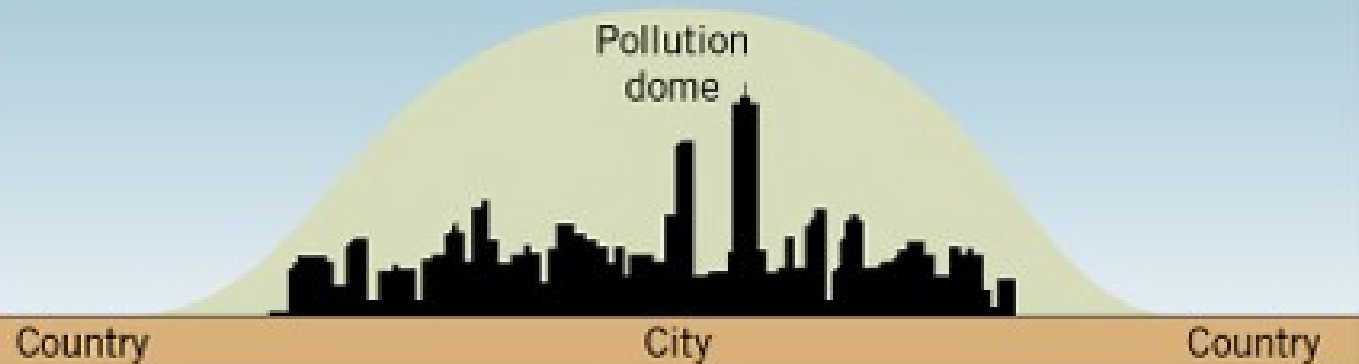
## 4.6.2 Vypadávání a vymývání škodlivin

- škodliviny jsou vynášeny nahoru s teplým vzduchem (konvekcí)
- větší částice vypadávají vlivem gravitace na povrch
- velmi malé částice jsou pak vymývány srážkami
- škodliviny jsou odnášeny z místa svého vzniku větrem a rozptylovány ve větším množství vzduchu
- velké koncentrace škodlivin při bezvětří

### 4.6.3 Inverze a smog

- největší koncentrace škodlivin se vyskytují při inverzích → objem vzduchu se škodlivinami se ochlazuje při výstupu adiabaticky, ale teplota okolní atmosféry s výškou roste – výstup tak brzy ustává → škodliviny se tak rozptylují v nižších vrstvách a jejich koncentrace je vysoká
- **přízemní inverze** – rozptyl škodlivin v inverzní vrstvě (těžký smog nebo vysoce toxická mlha) – při delším trvání zdravotní problémy, popř. úmrtí
- **výšková inverze** (oblast Los Angeles) – škodliviny se hromadí ve spodní vrstvě chladnějšího vzduchu, vertikálnímu promíchávání brání vrstva inverze nad ním
- pro velké koncentrace škodlivin je příznivé **stabilní zvrstvení vzduchu** (teplota adiabaticky klesá s výškou rychleji než v okolní atmosféře) – nad městy vzniká “znečištěná kopule”

Calm, stable air



Regional wind



Copyright © John Wiley & Sons, Inc.



Los Angeles – smog, inverze

## 4.6.4 Klimatické efekty znečištění měst

- městské znečištěné ovzduší snižuje **dohlednost a osvětlení** (smogem až 10 % v létě a 20 % v zimě)
- **UV-záření pohlcováno ozonem** ve smogu (snížení rizika rakoviny kůže, zvýšení virové bakteriální aktivity)
- **častější zimní mlhy** ve městech než ve volné krajině (mlha je zesilována aerosoly a částicemi)
- města – **zvýšené množství oblaků a srážek** (intenzifikace konvekce lidskou činností)

## 4.6.5 Kyselá depozice

- **kyselý déšť** – srážky, které mají v důsledku antropogenního znečištění ovzduší výrazně **zvýšenou kyselost**, vyjádřenou pomocí pH (čistá voda pH = 7, srážky pH = 5-6, kyselé deště pH = 3-4)
- SO<sub>2</sub> a NO<sub>2</sub> ve vzduchu reagují s kyslíkem a vodou za přítomnosti slunečního záření a prachových částic → vytvářejí aerosoly, které jako kondenzační jádra “okyselují” vodní kapičky nebo krystalky ledu

Kyselej déšť.  
To by chtělo  
deštník, nebo  
tlačenku  
a cibuli.



- výsledkem kyselé depozice je acidifikace jezer a řek, poškození půdy (ztráta živin), škody na historických objektech aj.
- **suchá depozice** – kyselé prachové částice na povrchu (při zvlhčení kapkami deště nebo mlhy způsobují kyselost vody)
- vliv kyselé depozice záleží na schopnosti půdního nebo vodního povrchu absorbovat a neutralizovat kyselost
- četné dopady kyselé depozice na ekosystémy v Evropě a Severní Americe (zvýšená úmrtnost ryb v kanadských jezerech, poškození lesů ve střední Evropě)



## Literatura:

- Netopil, R. a kol. (1984): Fyzická geografie I. SPN, Praha. Kap. 2.3.5: s. 65-75.
- Strahler, A., Strahler, A. (2006): Introducing Physical Geography. Wiley, New York. Kap. 4: Atmospheric Moisture and Precipitation, s. 118-149.