

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

Obr. 4.1/77 - SS

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 sněž vytváří při odtoku na povrchu různé tvary a formy reliéfu a přenáší živiny od jednoho místa k druhému
 - c) vodou v atmosféře je přenášeno obrovské množství latentního tepla od jednoho místa k druhému

4.1.1 Hydrosféra a hydrologický cyklus

Obr. 4.2/78 - SS

- 97,2 % tvoří slaná voda, 2,8 % sladká voda
- 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, vypadávající v podobě srážek (srážky nad oceány asi čtyřikrát větší než nad pevninou)
 - c) srážky vypadlé 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

Obr. 4.3/78 – SS

- 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. km³
- pevnina: srážky (na) = výpar (z) + odtok (z), tj. $110 = 70 + 40$ tis. km³
- protože na pevnině výpar = srážky – odtok, lze odtok při bilancování vypustit a lze zapsat:
$$70 \text{ (pevnina)} + 420 \text{ (oceán)} = 110 \text{ (pevnina)} + 380 \text{ (oceán)} \text{ (vše v tis. km}^3\text{)}$$

4.2 Vlhkost vzduchu

- vlhkost vzduchu – obecně značí množství vodní páry ve vzduchu
- množství vodní páry ve vzduchu kolísání 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: $-10\text{ °C} - 2\text{ g/kg}$, $30\text{ °C} - 26\text{ g/kg}$

Obr. 4.4/80 – SS

- 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

Obr. 4.5/80 – SS

- **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)

Obr. 4.7/81 - SS

- 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
- 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 lze popsat **suchoadiabatickým gradientem** s hodnotou 1 °C na 100 m výšky

4.3.2 Vlhkoadiabatický proces

- dosáhne-li vystupující vzduch hladiny kondenzace, 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

Obr. 4.10/84 - SS

4.4 Oblaka

- **oblak** – nakupení vodních kapiček nebo ledových krystalků o rozměru $20\text{--}50\ \mu\text{m}$ ve vzduchu
- **kondenzační jádra** o rozměru $0,1\text{--}1\ \mu\text{m}$; 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 °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 (Cc)
 - 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)

Obr. 2.27/69 – Netopil: Fyzická geografie I

4.4.2 Mlha

- **mlha** – nakupení produktů kondenzace nebo sublimace vodní páry na 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)
- **advektivní 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 μm; ty se dále mohou spojovat na oblačné kapky o velikosti kolem 500 μm (velikost odpovídající **mrholení**), při dalším spojování se zvětšují na **kapky deště** (1000-2000 μm, max. 7000 μm), 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 **srážkoměrem** výškou vody v mm/den (1 mm srážek = 1 l vody na 1 m² plochy) – tuhé srážky se měří stejným způsobem po jejich rozpuštění

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

Obr. 4.16/95 – SS

- 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 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 vyvíjí vertikálně do podoby bouřkového oblaku (cumulonimbu) v případě, že:
 - a) vzduch je teplý a vlhký (menší pokles teploty s výškou při kondenzaci – je teplejší oproti okolí, což podporuje výstup)
 - b) 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)**

Obr. 4.19/98 – SS

- 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

Obr. 4.21/99 – SS

- **konvektivní buňka** – silný výstupný pohyb vzduchu 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
- **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_x (SO₂, SO₃), oxidy dusíku NO_x (NO, NO₂, NO₃), uhlovodíky
- nejvýznamnější zdrojem škodlivin je spalování fosilních paliv jak ze stacionárních zdrojů (např. elektrárny – hlavně SO₂), tak z pohyblivých (automobily – hlavně CO, uhlovodíky, NO_x)

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 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, které jsou tak četné, že způsobují opalescenci a snižují viditelnost (tvořený hlavně prachem, krystalky soli, pylem, kouřovými částicemi)

4.6.2 Vypadávání a vymývání škodlivin

- škodliviny jsou vynášeny nahoru s teplým vzduchem (konvekci)
- větší částice vypadávají vlivem gravitace na povrch
- velmi malé částice jsou pak vymývány srážkami
- škodliviny jsou odnášeny z místa svého vzniku větrem a rozptýlovány 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 rozptýlí v nižších vrstvách a jejich koncentrace je vysoká
- přízemní inverze – rozptýlí 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“

Obr. E4. 7/92 - SS

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, kyselý déšť pH = 3-4)
- SO₂ a NO₂ ve vzduchu reagují s kyslíkem a vodou za přítomnosti slunečního záření a prachových částic → vytváří aerosoly, které jako kondenzační jádra „okyselují“ vodní kapičky nebo krystalky ledu
- výsledkem kyselé depozice je acidifikace jezer a řek, poškození půdy (ztráta živin), škody na historických objektech aj.
- **suchá depozice** – kyselý prachové částice na povrchu (při zvlhčení kapkami deště nebo mlhy způsobují kyselost vody)

- vliv kyselých depozic závisí na schopnosti půdního nebo vodního povrchu absorbovat a neutralizovat kyselost
- četné dopady kyselých depozic 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. (1999): *Introducing Physical Geography*. Wiley, New York. Kap. 4: Atmospheric Moisture and Precipitation, s. 77-103.