

# Atmosféra a hydrosféra Země

## Lekce 4

### Tlak a proudění vzduchu



RNDr. Jiří Jakubínský, Ph.D. | 30.3.2022

### 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)

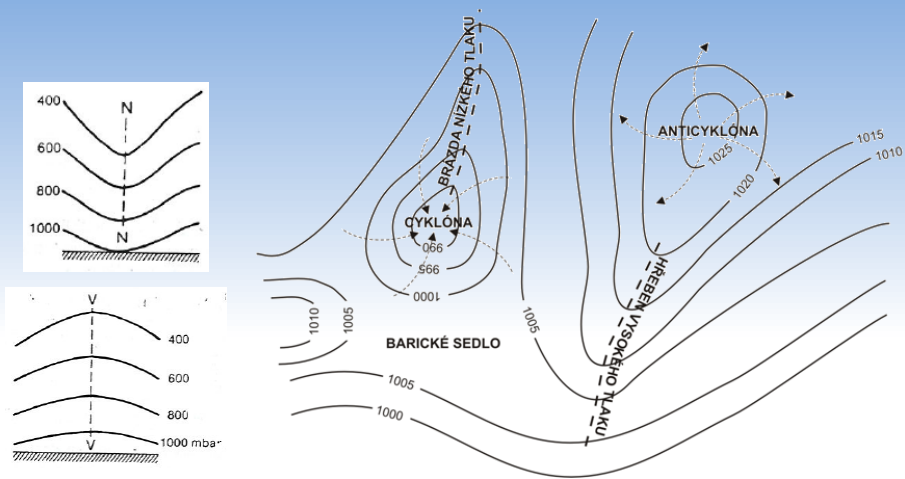
Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

# 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 výšemi a nížemi, či mezi dvěma hřebeny a brázdami

Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

# Tlak vzduchu



zdroj: Netopil a kol. 1984

zdroj: Ruda 2014

[Animace vzniku cyklony a anticyklony zde.](#)

Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

# 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)

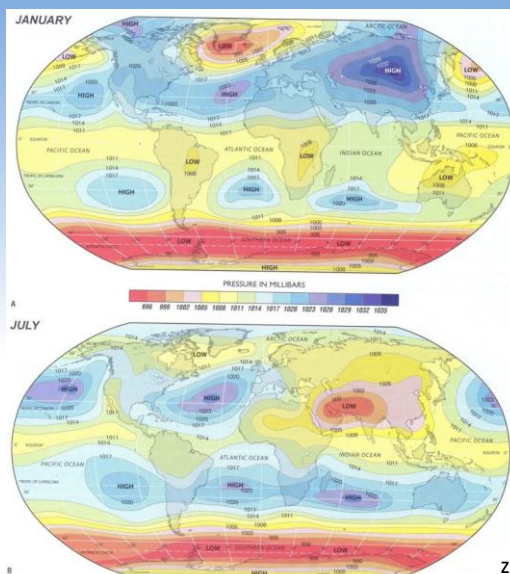
Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

# 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

Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

# Tlak vzduchu



zdroj: de Blij 2004

Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

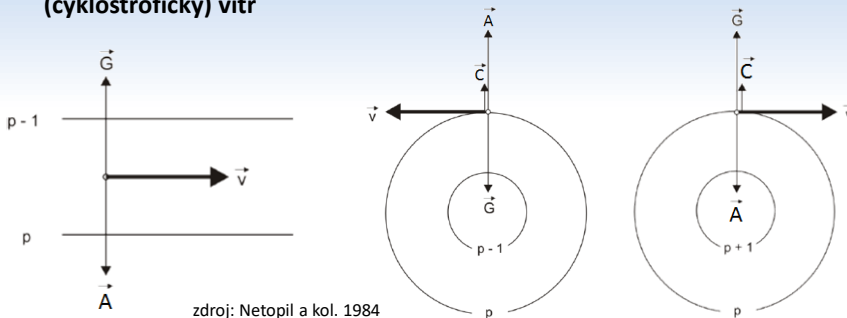
## Proudění vzduchu

- 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:** 
$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{G} + \vec{A} + \vec{C} + \vec{R}$$

Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

## 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**



zdroj: Netopil a kol. 1984

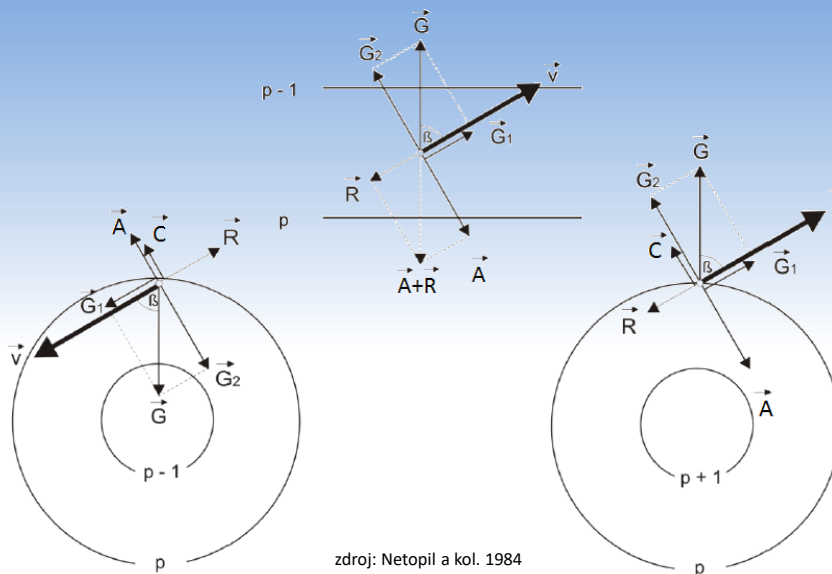
Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

## 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  $\vec{C}$

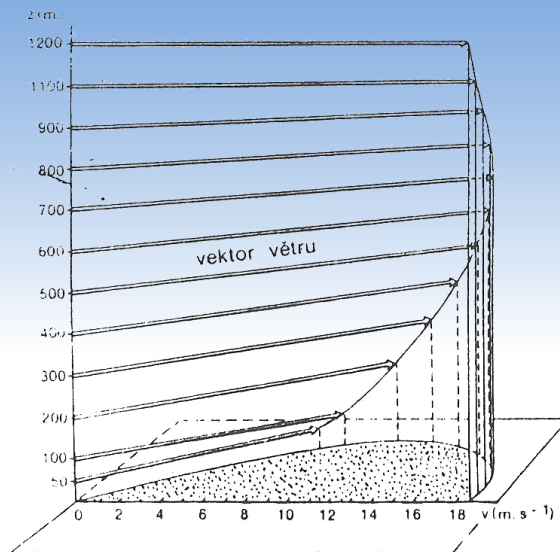
Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

## Proudění vzduchu



Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

## Proudění vzduchu

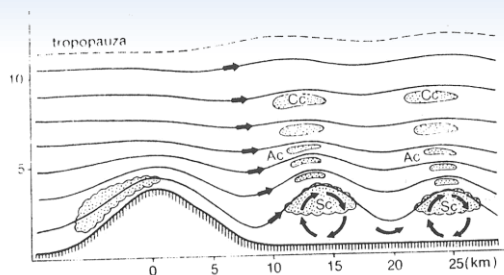


zdroj: Netopil a kol. 1984

Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

## 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

Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

## 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 Rhône („mistral“)

Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

## Proudění vzduchu



Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský



## Proudění vzduchu

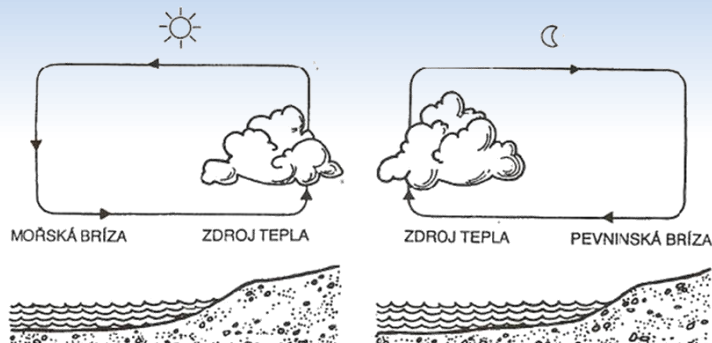


Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubínský

## 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



Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubínský

# 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

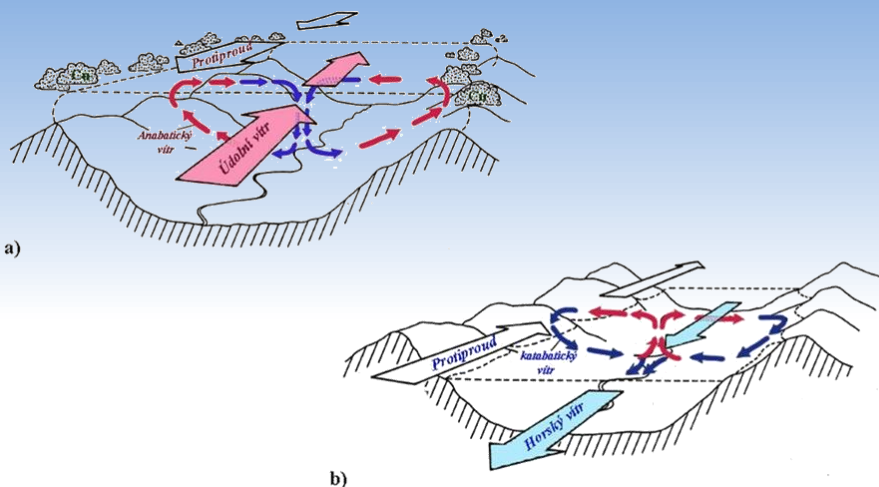
## – ledovcový vítr

- 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*]

Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

# Proudění vzduchu



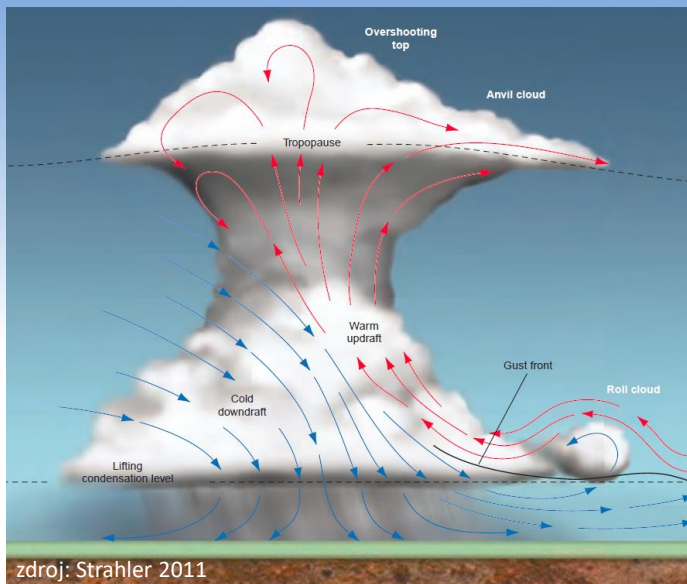
Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

## 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. **smršťe**, 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)

Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

## Proudění vzduchu



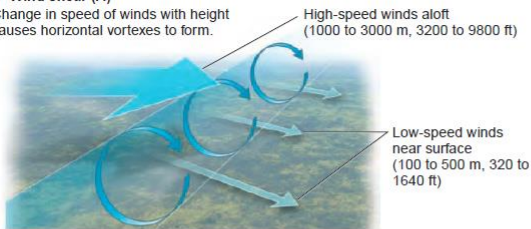
zdroj: Strahler 2011

Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

# Proudění vzduchu

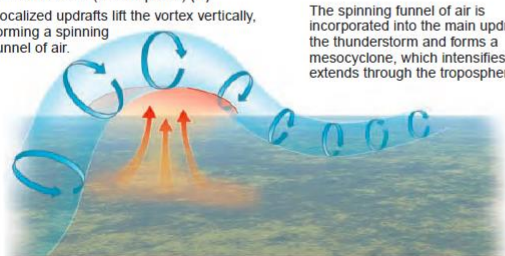
## ▼ Wind shear (A)

Change in speed of winds with height causes horizontal vortices to form.



## ▼ Convection (warm updraft) (B)

Localized updrafts lift the vortex vertically, forming a spinning funnel of air.



The spinning funnel of air is incorporated into the main updraft of the thunderstorm and forms a mesocyclone, which intensifies as it extends through the troposphere.

## ▼ Mesocyclone (C)

Rotation at the bottom of the mesocyclone can induce circulations in the air below it that can become a tornado.



zdroj: Strahler 2011

Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

# Proudění vzduchu



Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

## Proudění vzduchu

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



Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubínský