

Atmosféra a hydrosféra Země

Lekce 4

Tlak a proudění vzduchu



RNDr. Jiří Jakubínský, Ph.D. | 9. 4. 2019

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)

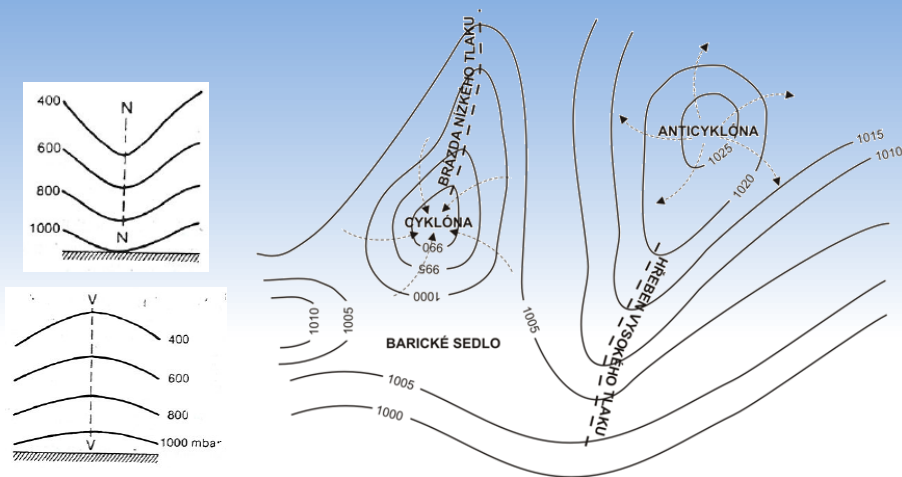
Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

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)

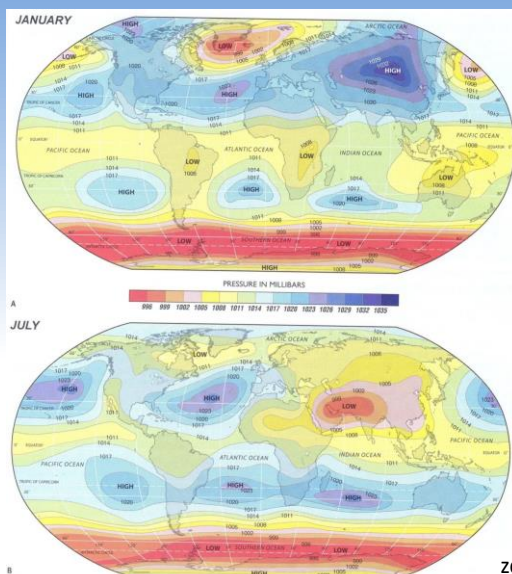
Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

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

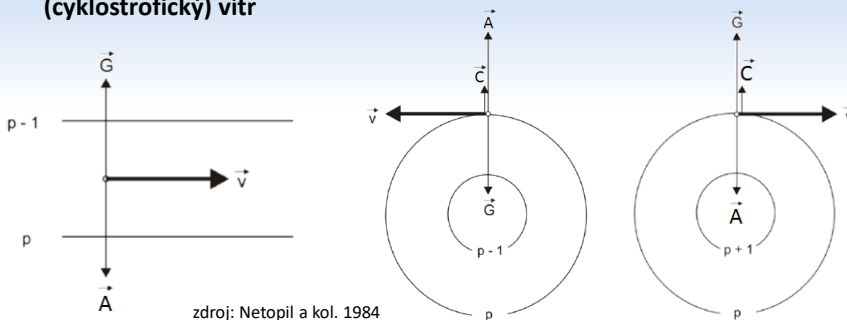
Proudění vzduchu

- 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**



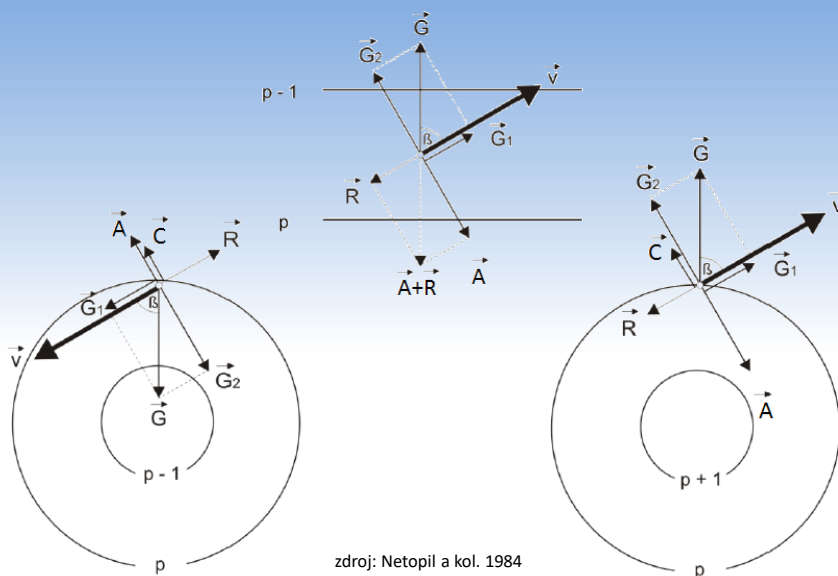
Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

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 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}

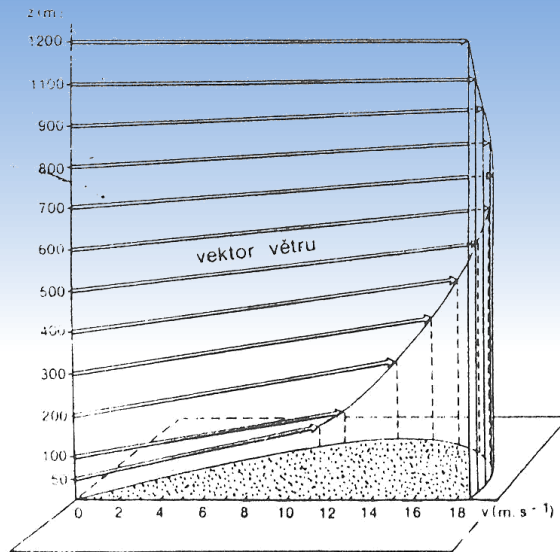
Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

Proudění vzduchu



Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

Proudění vzduchu

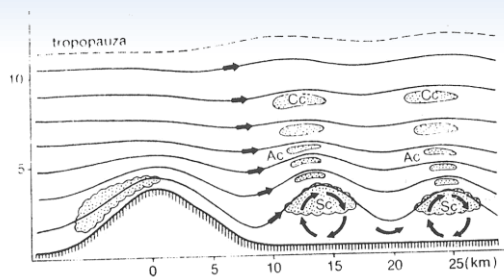


zdroj: Netopil a kol. 1984

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

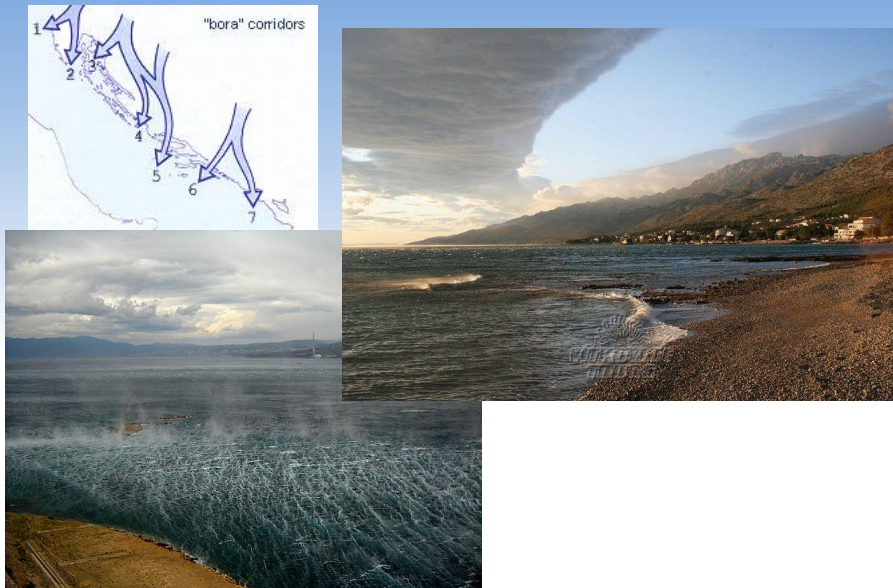
Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

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 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 Rhône („mistral“)

Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

Proudění vzduchu



Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

Proudění vzduchu

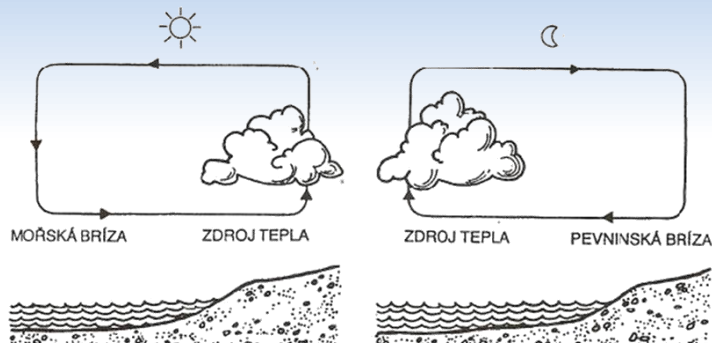


Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

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. Jakubinský

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

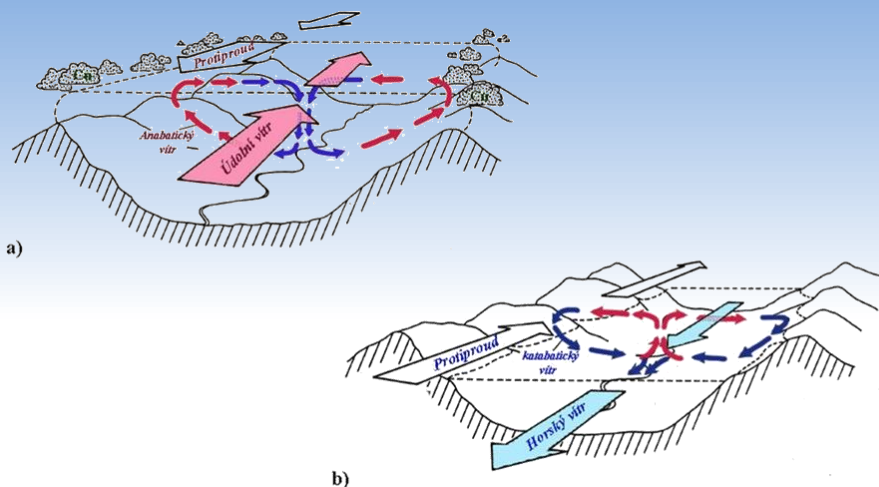
– ledovcový vítr

- 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. Jakubínský

Proudění vzduchu



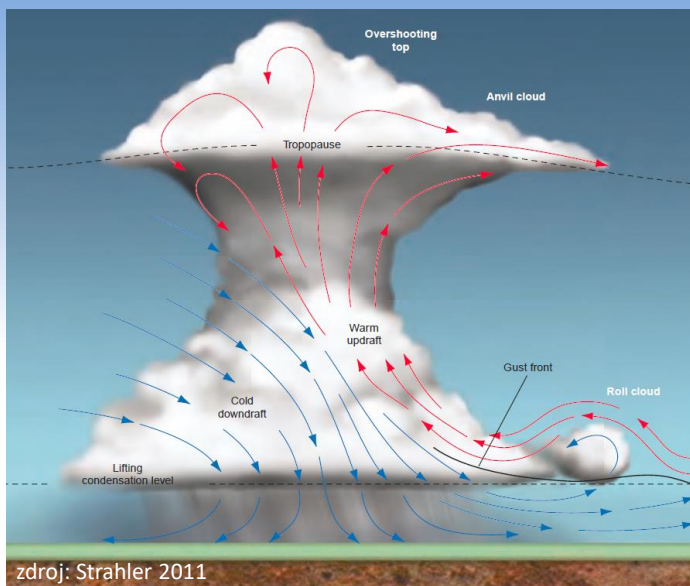
Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubínský

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 m.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)

Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

Proudění vzduchu

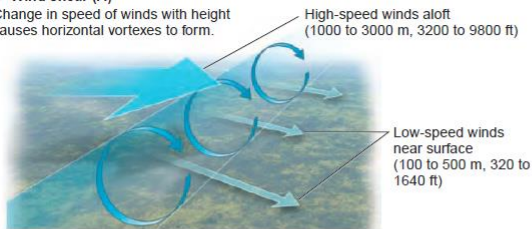


Atmosféra a hydrosféra Země | J. Jakubinský

Proudění vzduchu

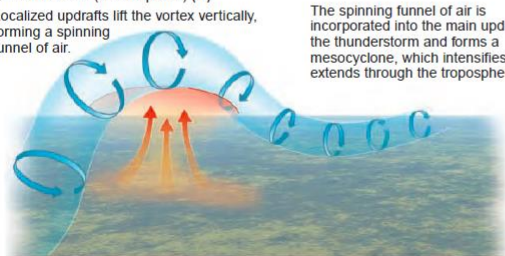
▼ Wind shear (A)

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)

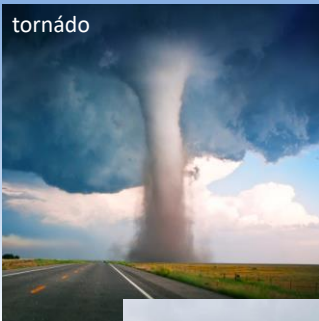
Rotation at the bottom of the mesocyclone can induce circulations in the air below it that can become a tornado.



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