



CHEMIE OVZDUŠÍ

Přednáška č. 4

Organizace studia

- Přednášející: Ing. Marek Staf, Ph.D., tel.: 220 444 458
e-mail: marek.staf@vscht.cz
web: <http://web.vscht.cz/~stafm/>
budova A, ústav 216, č. dveří 162
e-learning:
<https://e-learning.vscht.cz/course/view.php?id=105>
- Rozsah předmětu: zimní semestr
14 přednášek, 14 týdnů, 2 hodiny/týden
- Klasifikace: zkouška - ústní zkouška
- Poznámka: na předmět „Chemie ovzduší“ volně navazuje
„Technologie ochrany ovzduší“ ⇒ prolínání obsahu
cca 10 %

Osnova přednášky 4

Fyzikální zákonitosti v atmosféře

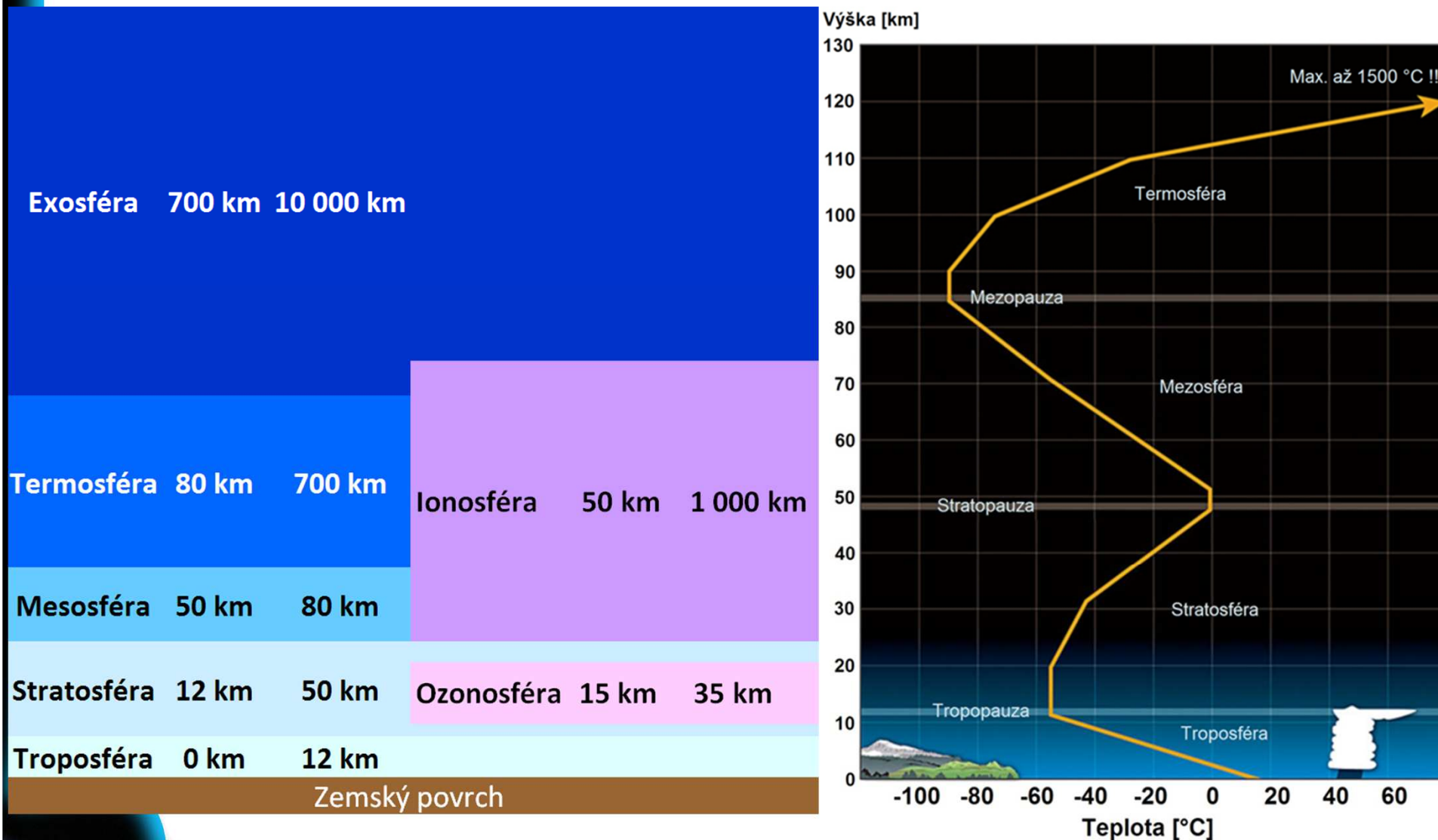
- Síly podílející se na pohybu hmoty v atmosféře
- Atmosférické cirkulační buňky
- Troposférická a stratosférická trysková proudění
- Rychlost větru
- Lokální proudění v troposféře – dálkové a místní větry

Úvod do synoptické meteorologie

- Tvorba a vyhodnocení synoptické mapy
- Metody získávání dat pro tvorbu předpovědi
- Rozdělení druhů předpovědi dle časového úseku a dostupné způsoby jejich tvorby

Stratifikace atmosféry - připomenutí

Atmosférické vrstvy a teploty (dle NASA a National Weather Service)



Obecná pravidla cirkulace atmosféry

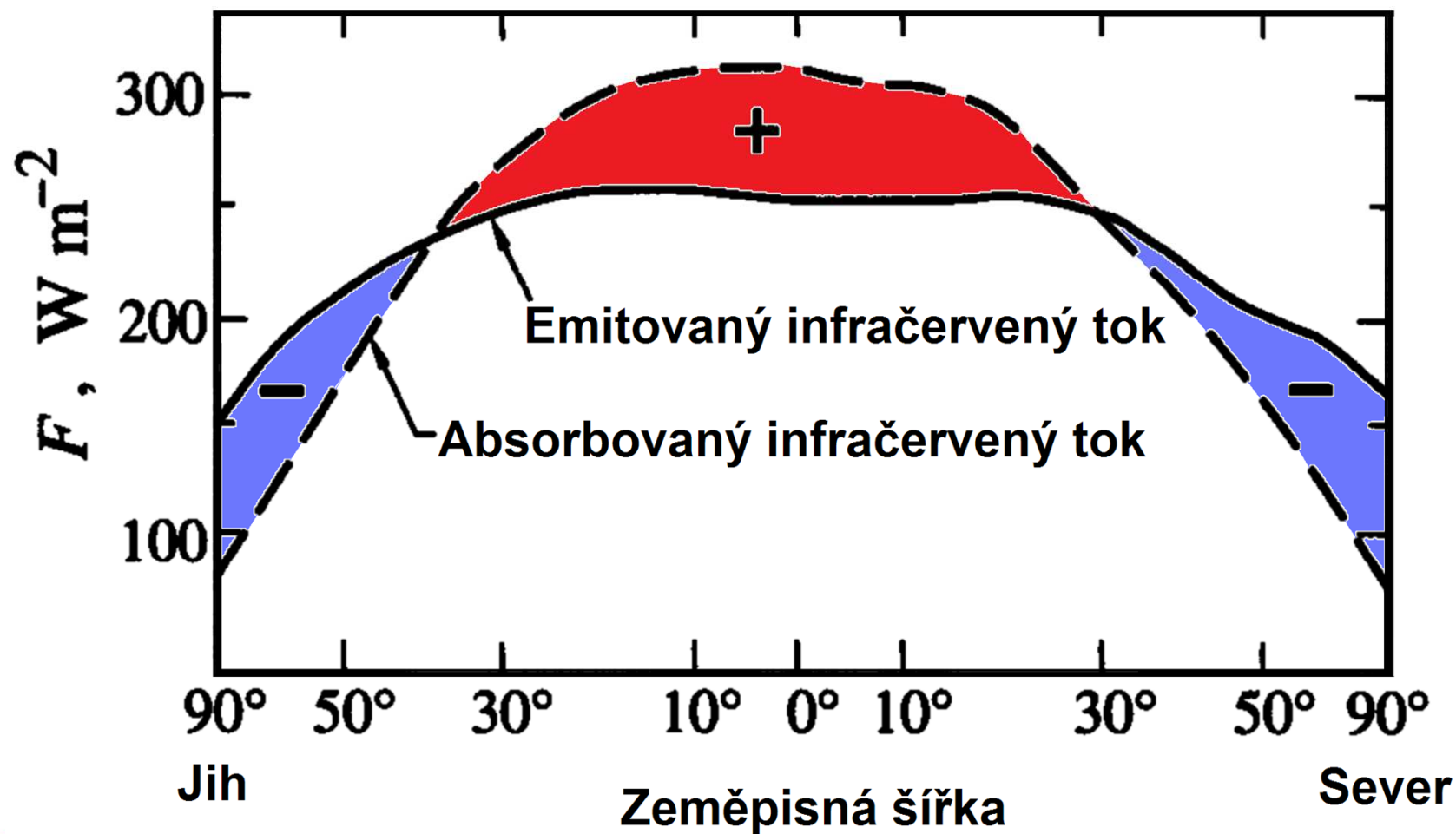
- Hnací síly pohybu vzduchu (4 hlavní + další vedlejší)

1

- Základní síla = nerovnoměrné zahřívání různých částí planety slunečním zářením;
- Tropické oblasti přijímají více energie, než je reflexně odráženo;
- Polární oblasti přijímají výrazně méně energie, než je odráženo;
- Kladná bilance příjem – radiace mezi 40° severní a 40° jižní šířky;
- Cca 60 % cirkulace způsobeno výše uvedeným mechanismem;
- Cca 40 % cirkulace způsobeno oceánským mechanismem;
- Pohyb v Hadleyově buňce (popsán r. 1735) dán principem vzestupu teplého vzduchu s nižší hustotou a poklesu vzduchu s hustotou vyšší.
- Další významná síla – Coriolisova síla, způsobená rotací zemského tělesa (viz dále)

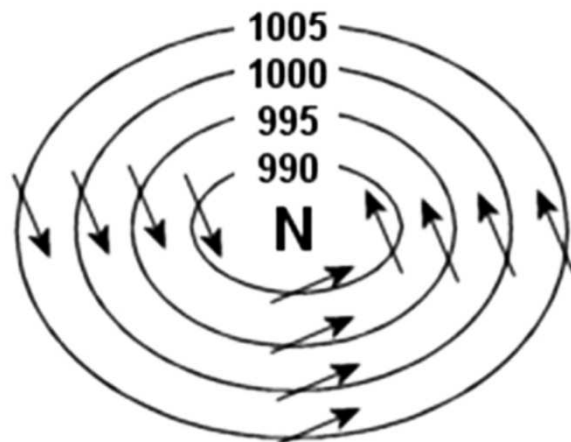
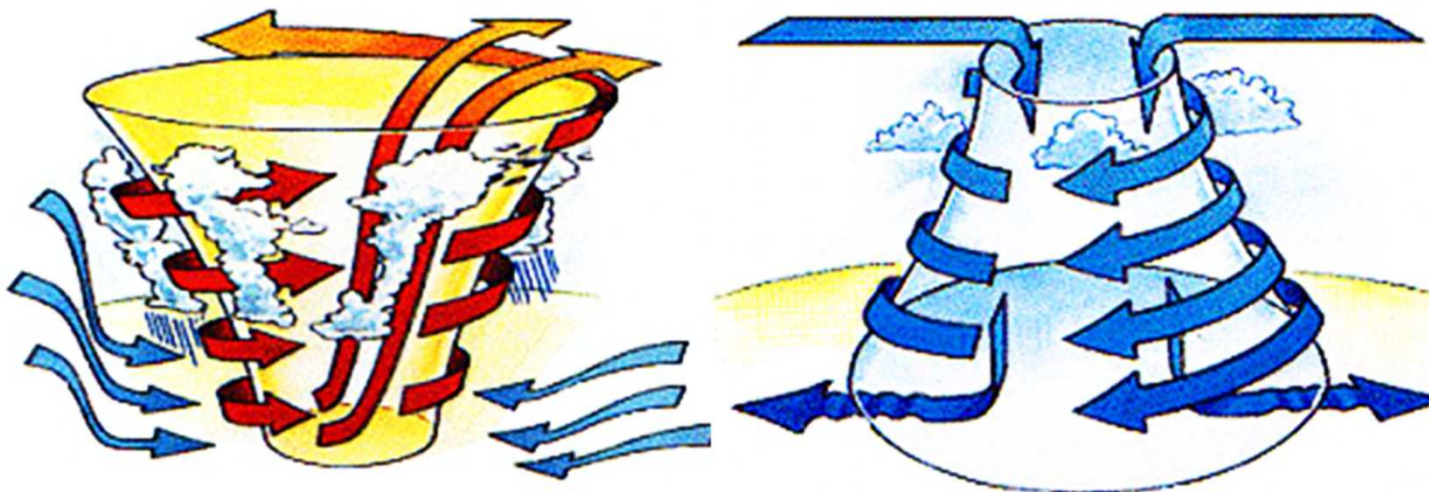
Obecná pravidla cirkulace atmosféry

- Rozdíly v absorbovaném a emitovaném energetickém toku (Zdroj: Seinfeld, J., H., Pandis, S., N.: Atmospheric Chemistry and Physics)

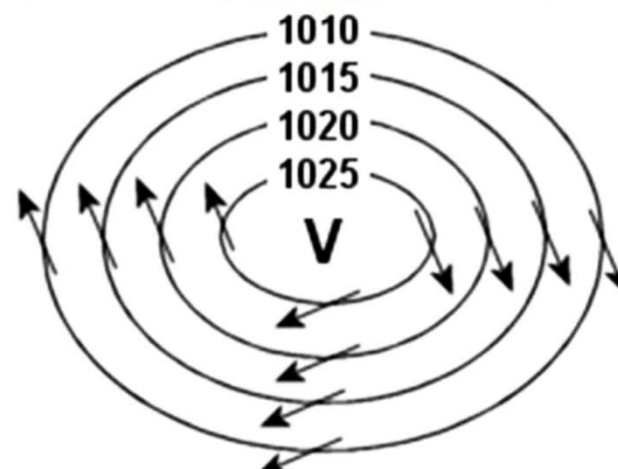


Obecná pravidla cirkulace atmosféry

- Lokální změny tlaku = hlavní hybná síla větru (Zdroj: Seinfeld, J., H., Pandis, S., N.: Atmospheric Chemistry and Physics)



Cyklóna = tlaková níže



Anticyklóna = tlaková výše

Obecná pravidla cirkulace atmosféry

- Další faktory ovlivňující pohyb vzduchu

2

- Coriolisova síla = setrvačná síla vlivem rotace zemského tělesa:

způsobuje na severní polokouli stáčení pohybujících se těles doprava, na jižní polokouli doleva, tj. od směru pohybu;

na rovníku je nulová a roste se zeměpisnou šířkou;

ovlivňuje proudění vzduchu a pohyb mořských proudů;

viditelně se projevuje jen u větších větrných systémů \Rightarrow odchylka od horizontálního tlakového gradientu (předchozí snímek);

3

- Tření = frikce = síla působící proti směru pohybu vzduchu;

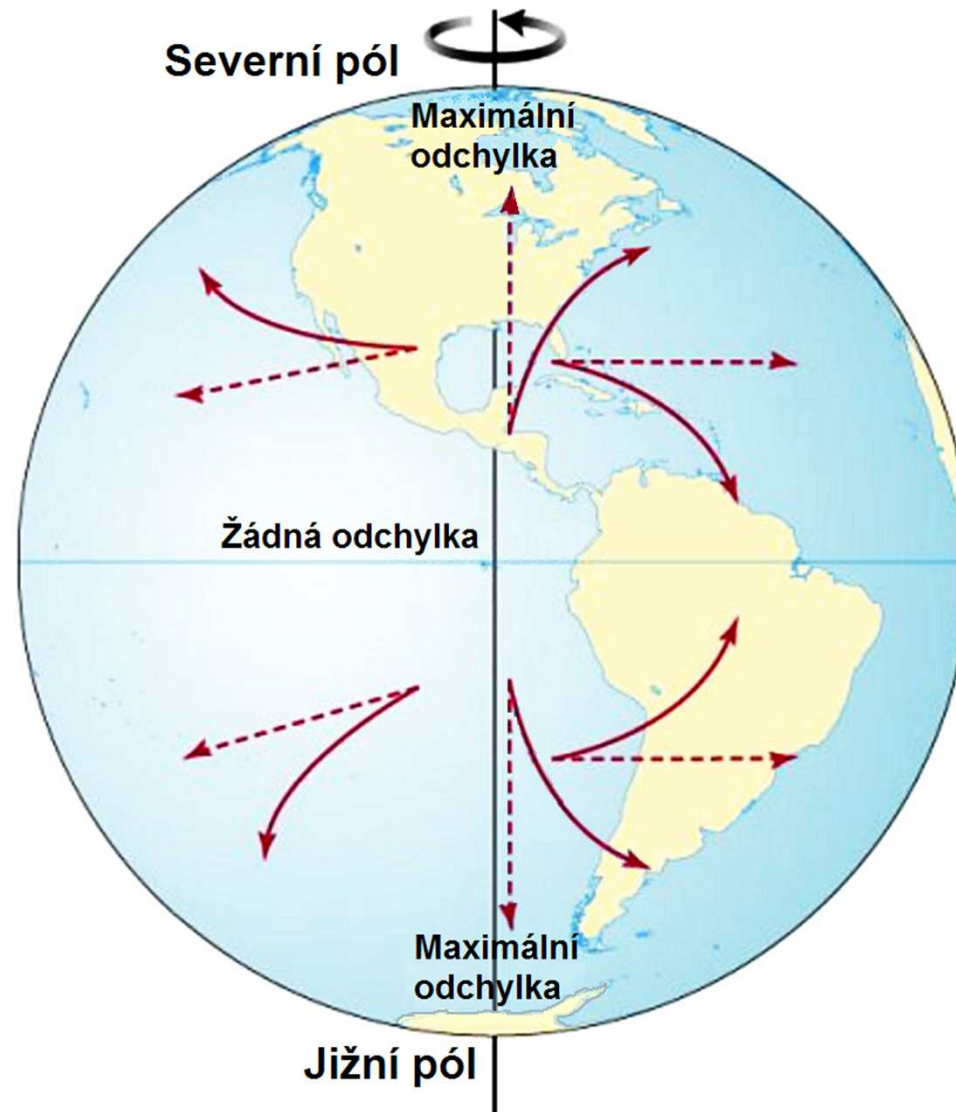
4

- Odstředivá síla – ovlivnění proudění, pokud toto probíhá po křivočaré trajektorii;

- Výsledek: vzduch proudí na stranu nižšího tlaku a je odchýlen o určitý úhel od směru horizontálního tlakového gradientu.

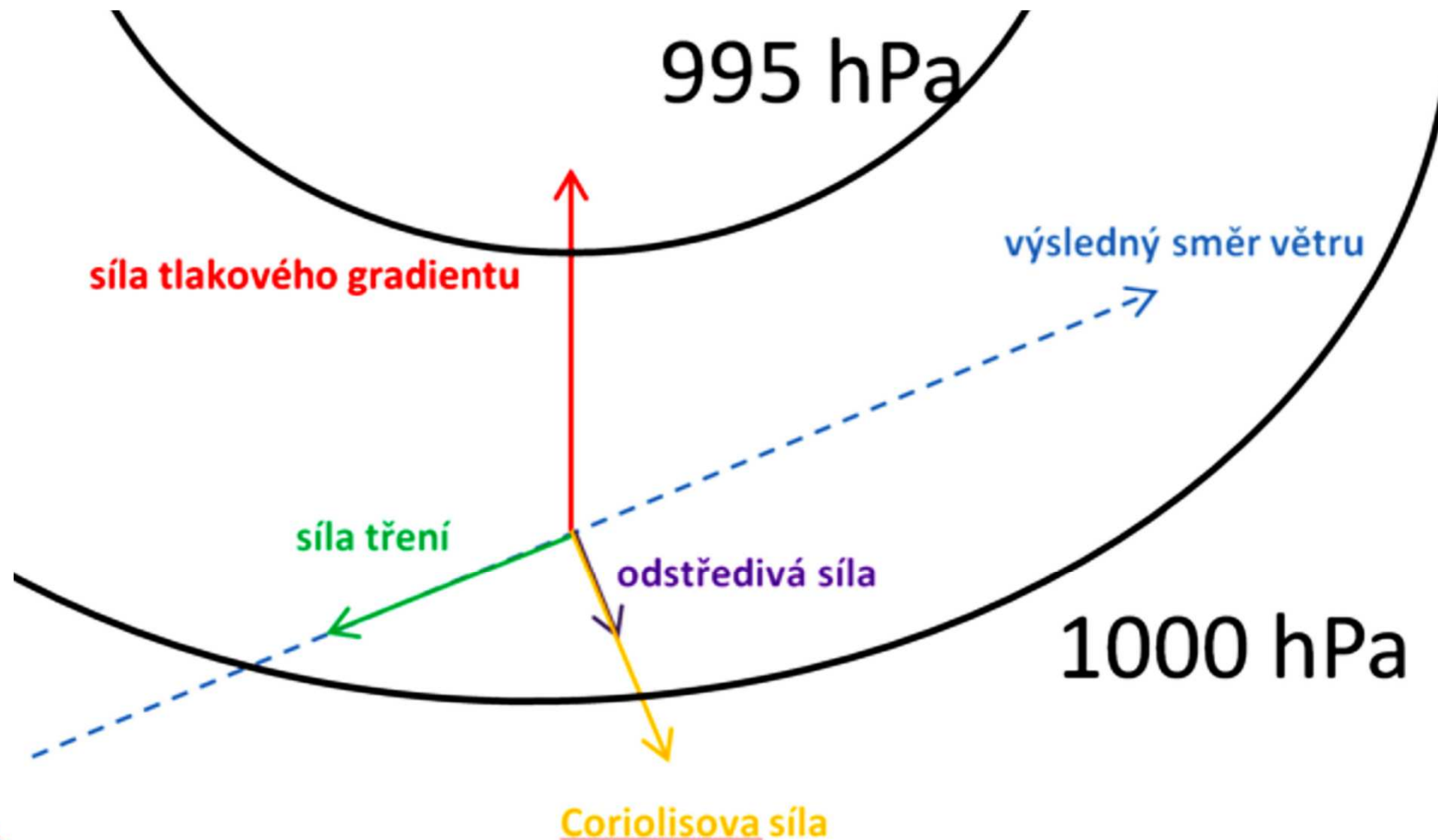
Obecná pravidla cirkulace atmosféry

- Znázornění odchylek od přímé trajektorie vlivem Coriolisovy síly



Obecná pravidla cirkulace atmosféry

- Příklad vektorového určení směru větru se zohledněním výše uvedených faktorů (Zdroj: In-počasí.cz):



Obecná pravidla cirkulace atmosféry

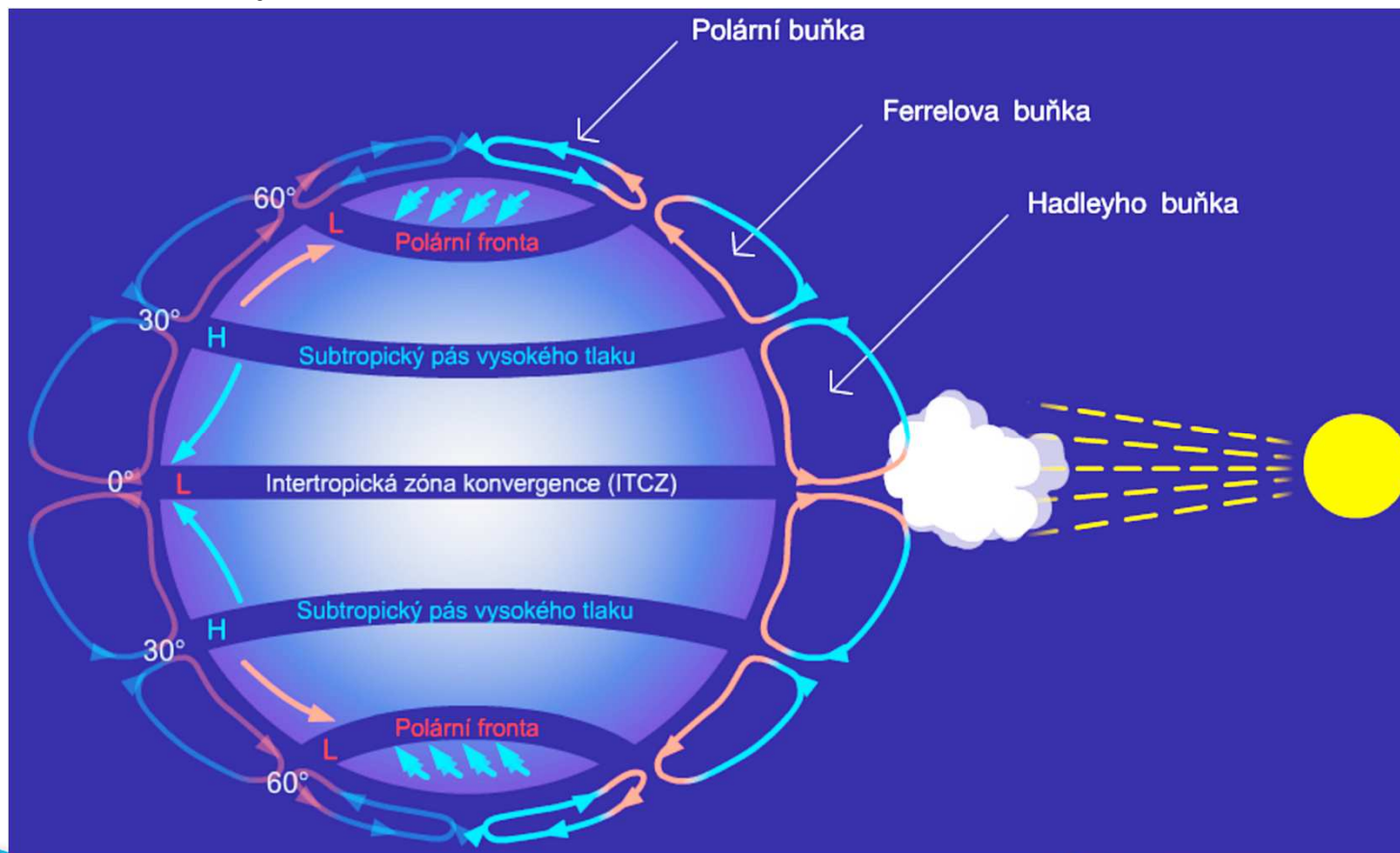
- Globální cirkulace atmosféry má tyto zákonitosti

(Zdroj: http://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/04-cirkulace.html)

- Převážně vírový charakter pohybu vzduchu (např. cyklonální proudění);
- Převaha horizontálních pohybů nad vertikálními;
- Převaha zonálního proudění (ve směru rovnoběžek) nad meridionálním;
- Proměnlivost atmosférické cirkulace a jejích složek;
- Změny směru a rychlosti proudění od vrstvy k vrstvě;
- Převládající západní přenos vzduchu v troposféře a spodní stratosféře v mírných šířkách.

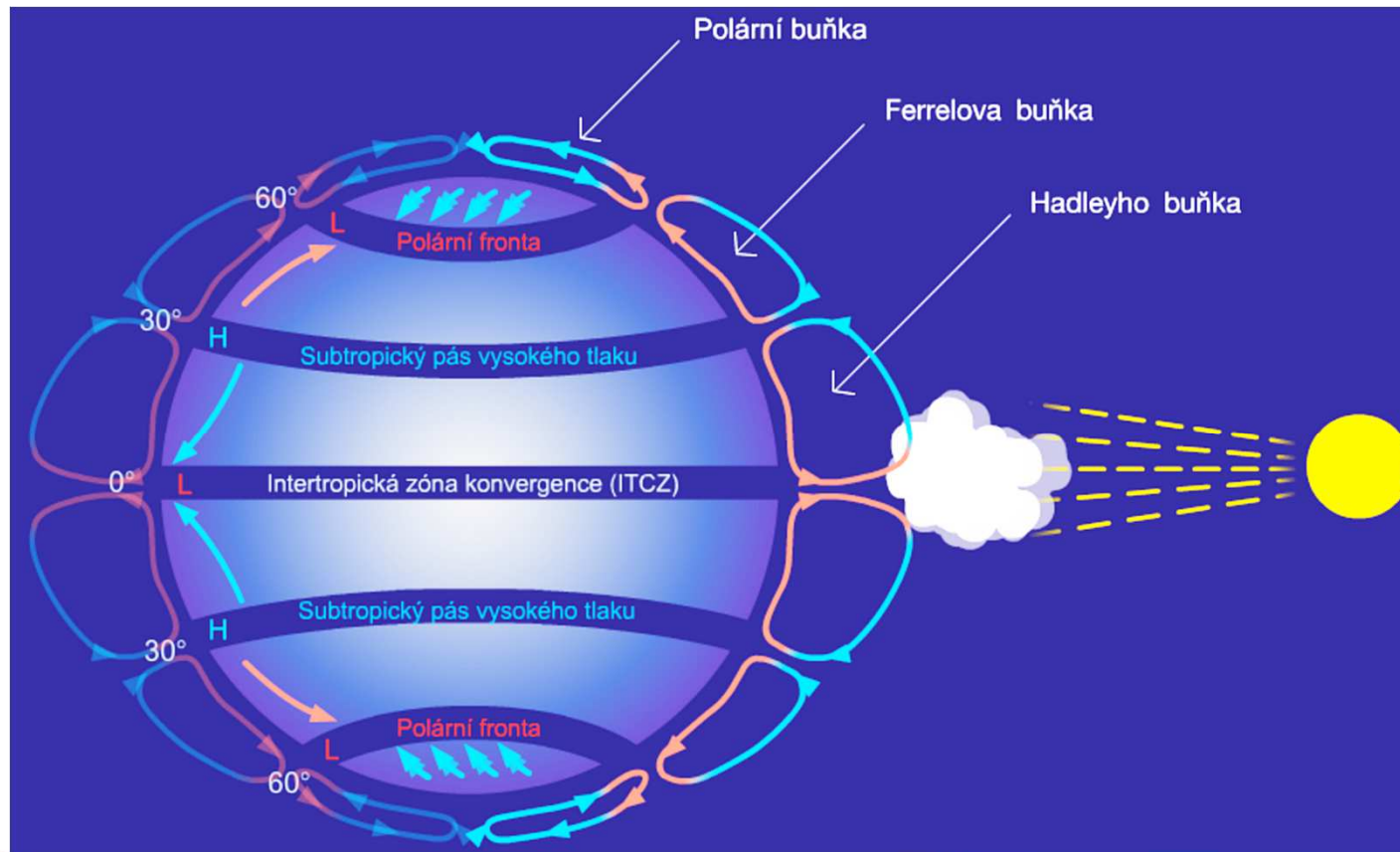
Atmosférické cirkulační buňky

- Hadleyova buňka – vzduch v oblasti nízkého tlaku na rovníku (ITCZ) stoupá k horní hranici troposféry, následně směřuje na jih a na sever a po dosažení 30 ° severní i jižní šíře klesá suchý za vzniku pásů vysokého tlaku (oblasti pouští); poté se buď vrací k rovníku nebo je tlačěn do mírných šířek.



Atmosférické cirkulační buňky

- Polární buňka – na 60° severní i jižní šíře stoupá ohřátý vzduch k horní hranici troposféry, kolem pólů se chladí a v polárních oblastech klesá za tvorby oblasti vysokého tlaku.
- Ferrelova buňka – převažující západní proudění díky cirkulaci mezi Hadleyovou a polární buňkou.

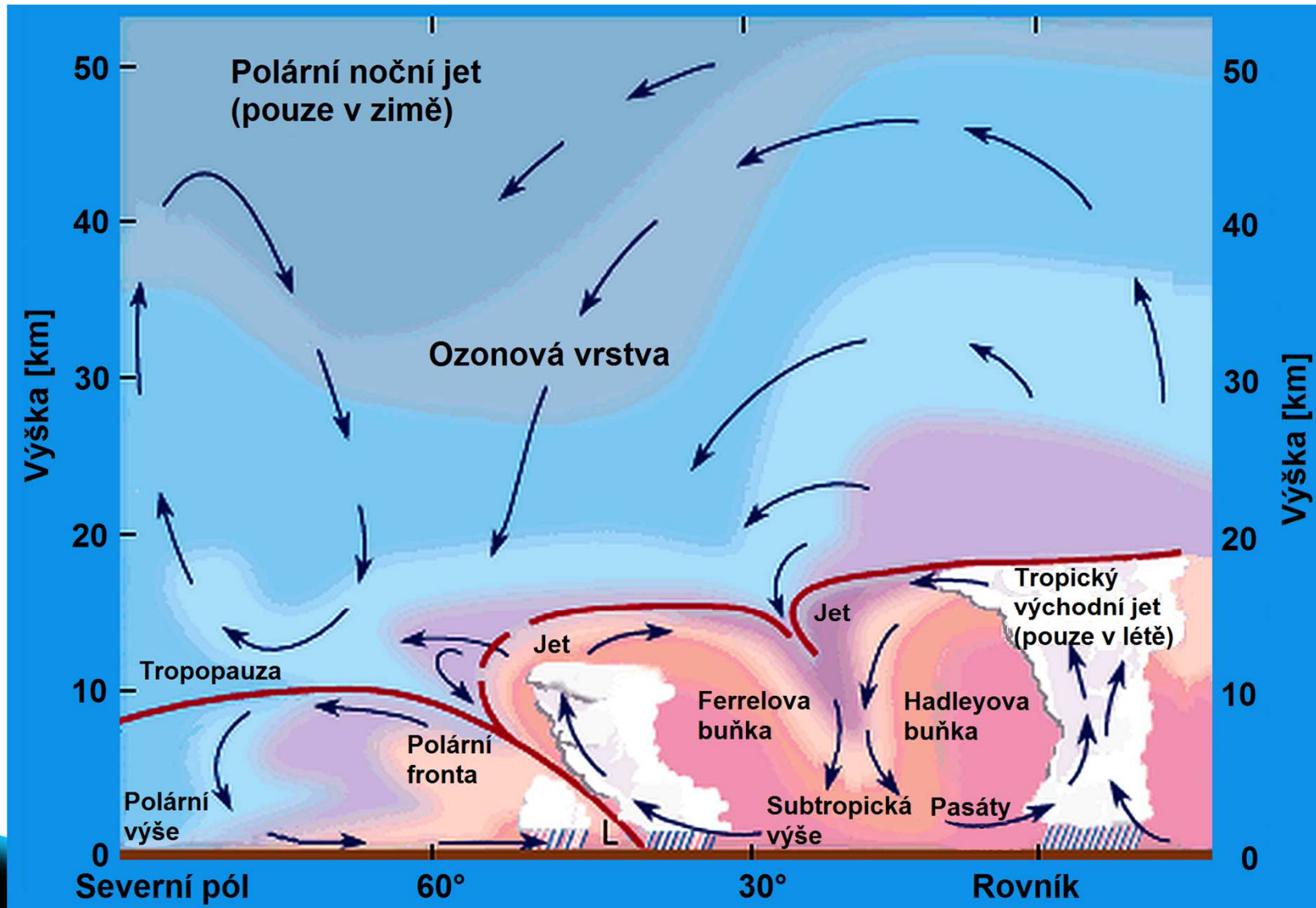


Tryskové proudění – Jet Stream

- Druhy tryskových proudění (Zdroj: In-počasí.cz)
 - Troposférické tryskové proudění;
 - Polární Jet Stream (lokalizace cca 60°, mezi polární a Ferrelovou buňkou)
 - Subtropický Jet Stream (v zimě cca 30°, v létě posun na cca 40°, mezi Ferrelovou a Hadleyovou buňkou)
 - Ekvatoriální Jet Stream (nad rovníkem)
 - Stratosférické tryskové proudění;
 - Nízkohladinové tryskové proudění;

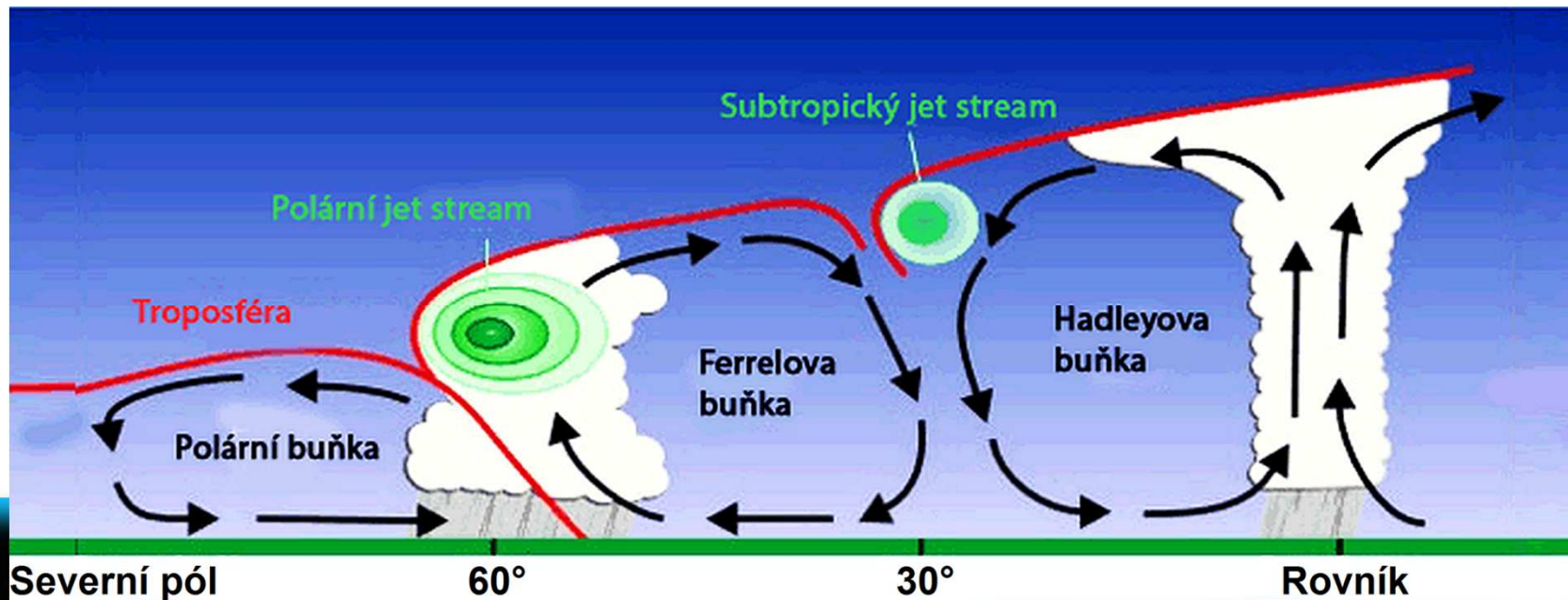
Tryskové proudění – Jet Stream

- Výšková situace Jet Streamu (pro severní polokouli)



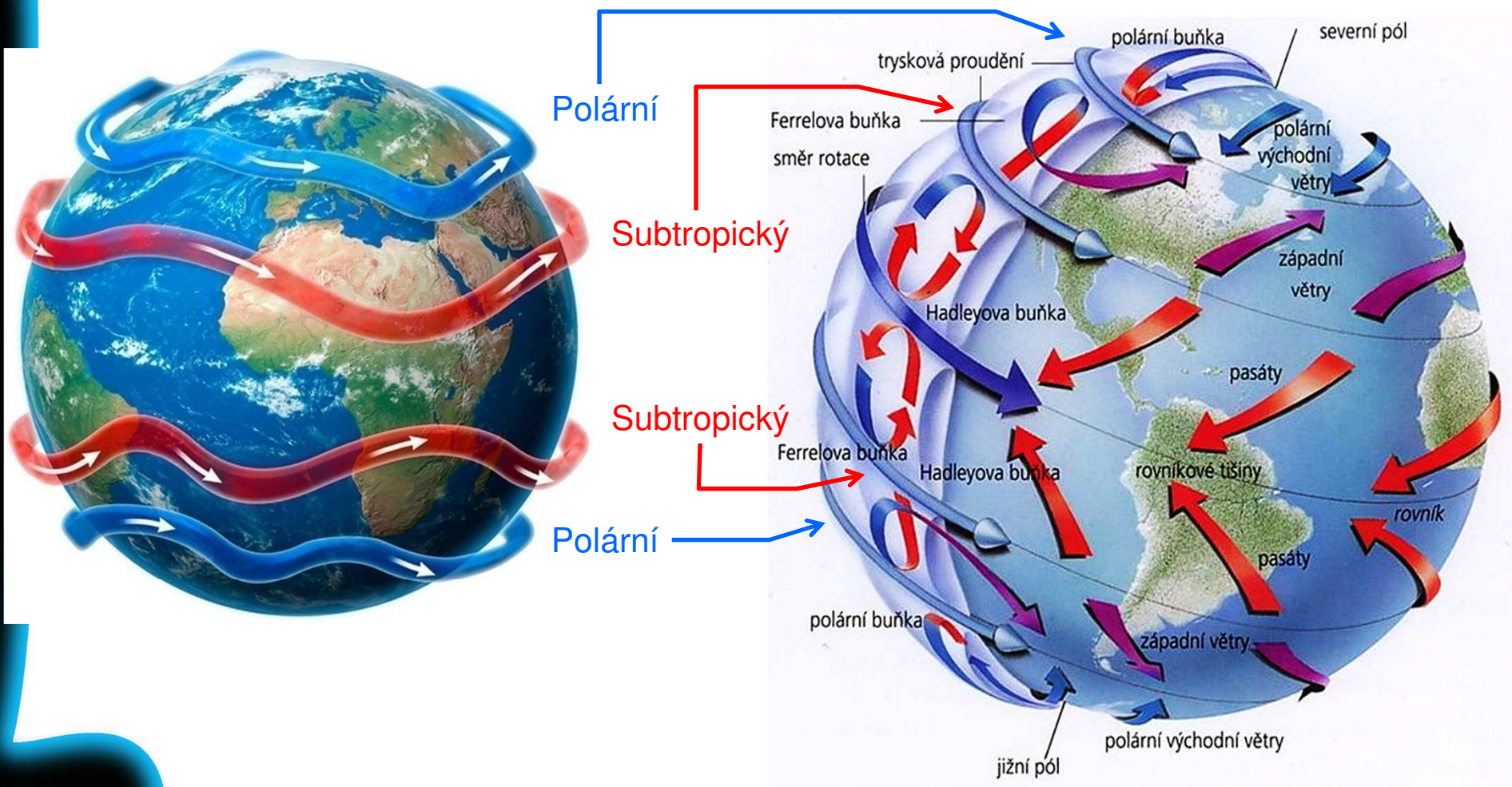
Troposférický Jet Stream

- Tvar, hybná síla a směr Jet Streamu
 - ve směru ze západu na východ; tvar přibližně meandrovitě zvlněné trubice podél rovnoběžek;
 - vyvolán rozdílem teplot v různých zeměpisných šířkách
- Rychlost Jet Streamu
 - průměrná rychlost $> 30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (108 km/h), maximální naměřená $> 700 \text{ km/h}$



Troposférický Jet Stream

- Vodorovný směr pohybu jet streamu + troposférické buňky



Troposférický Jet Stream

- Význam Jet Streamu (pro severní polokouli)
 - vliv na počasí v Evropě a Asii;
 - severojižní zvlnění způsobeno tzv. Rossbyho vlnami, které působí ještě tlakem směrem k západu;
 - síla větru tryskového proudění obvykle větší \Rightarrow vlny tryskového proudění se pohybují k východu;
 - někdy síla Rossbyho vln stejně velká jako jet stream \Rightarrow zastavení tryskového proudění \Rightarrow dlouhodobě stejné rozložení tlaku \Rightarrow extrémy v počasí:
 - meandry klenuté k severu přitahují od jihu horký vzduch
 - meandry klenuté k jihu přitahují studený vzduch od severu.
 - Jet stream transportuje velké hmoty vzduchu na velké vzdálenosti (včetně polutantů);

Troposférický Jet Stream

■ Vzhled a vlastnosti Jet Streamu

- Tvar podobný hadicovým kanálům s výrazně vyšší rychlostí proudění - vymezený izotachami

Pozn. Izotacha = myšlená čára spojující místa se stejnými rychlostmi větru, vody a postupu některých meteorologických jevů

- Okraje se vyznačují prudkým nárůstem (gradientem) rychlosti větru – kolem $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (36 km/h) na 1 km příčné vzdálenosti.
- Vertikální lokalizace: zpravidla 1 až 2 km pod tropopauzou (na hranici sousedních vzduchových hmot s výrazně rozdílnými teplotami);
- Pozor! Pro letadla potenciálně nebezpečné, ale při letu ve směru jet streamu výrazná úspora paliva.

Troposférický Jet Stream

- Dílčí proudy troposférického jet streamu (Zdroj: In-počasí.cz)

- Polární tryskové proudění

Mezi polární a Ferrelovou buňkou střet chladnějšího vzduchu ze severu s jižním teplým vzduchem teplejších oblastí

Netvoří zcela souvislý pás okolo Země, ale jde dílčí útvary, pohybující se podél zeměpisné délky i podle šířky.

Intenzita se stupňuje s nástupem zimy

Silnější polární jet stream kolem 60 – 50° zeměpisné šířky, ale vlivem zvlnění zasahuje i pod 30°;

Vertikální lokalizace 7 až 12 km

Troposférický Jet Stream

- Dílčí proudy troposférického jet streamu (Zdroj: In-počasí.cz)
 - Subtropické tryskové proudění

Průměrná lokalizace 30°, mezi Ferrelovou a Hadleyovou buňkou, na pomezí tropického a chladnějšího vzduchu;

Vertikální lokalizace 10 až 16 km (viz změny výšky tropopauzy se zeměpisnou šířkou);

Je stabilnější nežli polární jet stream (v podstatě souvislý).

Letní přesun průměrně o 10° k pólům (nad pevninou více než nad mořem);

Rychlost větší než u polárního, $> 50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (180 km/h).
 - Ekvatoriální tryskové proudění

V oblasti rovníku na střetu jižní a severní Hadleyovy buňky;

Vertikální lokalizace 15 až 20 km;

Opačný směr proudění než u ostatních jetů (od východu)!

Ostatní trysková proudění

- Charakteristika stratosférického jet streamu (Zdroj: In-počasí.cz)
 - Vertikálně lokalizován nad troposférickými jety (cca 30 – 50 km);
 - Rychlý proud s izotachou cca 60 m.s^{-1} (216 km/h);
 - V zimě sestup až na hranici tropopauzy 12 km;
 - Směr proudění se mění v průběhu roku: v zimě ze západu, v létě z východu, ale slábne až ztrácí charakter jet streamu;
 - nejvýraznější zimní proudění v okolí 70° zeměpisné šířky.


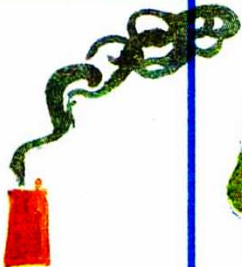


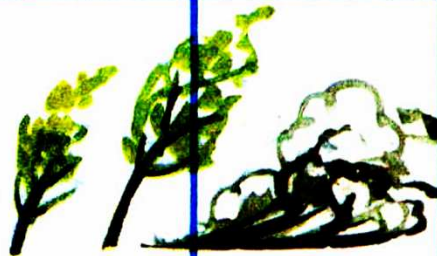
Ostatní trysková proudění

- Charakteristika nízkohladinového jet streamu (Zdroj: In-počasí.cz)
 - Více druhů silného větru v nízkých nadmořských výškách;
 - Trubice rychlého vzduchu, pohybujícího se rovnoběžně před studenou frontou;
 - Noční nízkohladinový jet, vznikající díky noční inverzi teploty;
 - Nebezpečný tzv. sting jet („bodavý“) u rychle se prohlubujících cyklón s rychlým poklesem tlaku ⇒ poškozují střechy, láme stromy atd.
 - Klimatologický nízkohladinový jet stream (Climatological low level jet stream), existuje pouze na severní polokouli
 - Např. Somálský jet odebírající vlhkost z oblasti Somálska a tvořící vlhkost pro Asijské monsuny.

Lokální proudění v troposféře

- Beaufortova stupnice síly větru (Zdroj: <http://www.rmets.org/weather-and-climate/observing/beaufort-scale>)

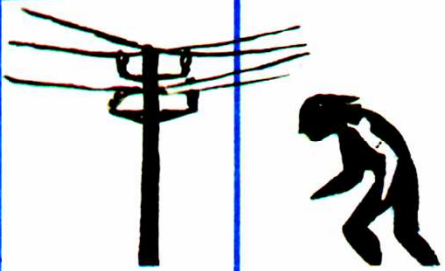






— Autor sir Francis Beaufort, britský kontradmirál (1774 – 1857);

Stupeň	0	1	2	3	4	5
Rychlost větru v m/sec.	0–0.2	0.3–1.5	1.6–3.3	3.4–5.4	5.5–7.9	8.0–10.7
Charakteristika	bezvětrí	vánek	slabý vítr	mírný vítr	dostí čerstvý vítr	čerstvý vítr
						
	Kouř stoupá kolmo vzhůru	Dým se sice pohybuje, větrná korouhev zůstává však v klidu	Vítr cítíme ve tváři, listí lehce šelestí, stojatá voda se mírně čepí	Vítr napíná praporek, na vodě vznikají vlnky, větvičky stromů se chvějí	Ohýbají se slabší stromečky a menší vlnky se začínají pěnit	Vítr víří prach a zvedá papíry ze země

Lokální proudění v troposféře

- Beaufortova stupnice síly větru (Zdroj: <http://www.rmets.org/weather-and-climate/observing/beaufort-scale>)

– Autor sir Francis Beaufort, britský kontradmirál (1774 – 1857);

6	7	8	9	10	11	12
10.8 – 13.8	13.9 – 17.1	17.2 – 20.7	20.8 – 24.4	24.5 – 28.4	28.5 – 32.6	nad 32.7
silný vítr	prudký vítr	bouřlivý vítr	vichřice	silná vichřice	mohutná vichřice	orkán
 <p>Telegrafní dráty sviští a ohýbají se silné větve stromů</p>	 <p>Stromy se ohýbají i s kmínky a celými korunami, máme potíže jít proti větru, vlny se značně pějí</p>	 <p>Větve stromů se lámou, vítr téměř znemožňuje chůzi</p>	 <p>Padají tašky ze střech, na menších stavbách vznikají drobné škody</p>	 <p>Vyvrací a láme stromy, znemožňuje téměř jízdu i automobilům</p>	 <p>Působí rozsáhlé škody, poboří stavení, odnáší střechy</p>	 <p>Tornádo, tajfun, hurikán, má ničivé účinky, zabíjí lidi i zvířata. U nás se prakticky nevyskytuje</p>

Lokální proudění v troposféře

- Dálkové větry

- Pasáty: Tropické větry vznikající v důsledku cirkulace v Hadleyových buňkách. Směřují z oblastí vysokého tlaku subtropické šířky ($30 - 40^\circ$) do oblasti nízkého tlaku nad rovníkem.

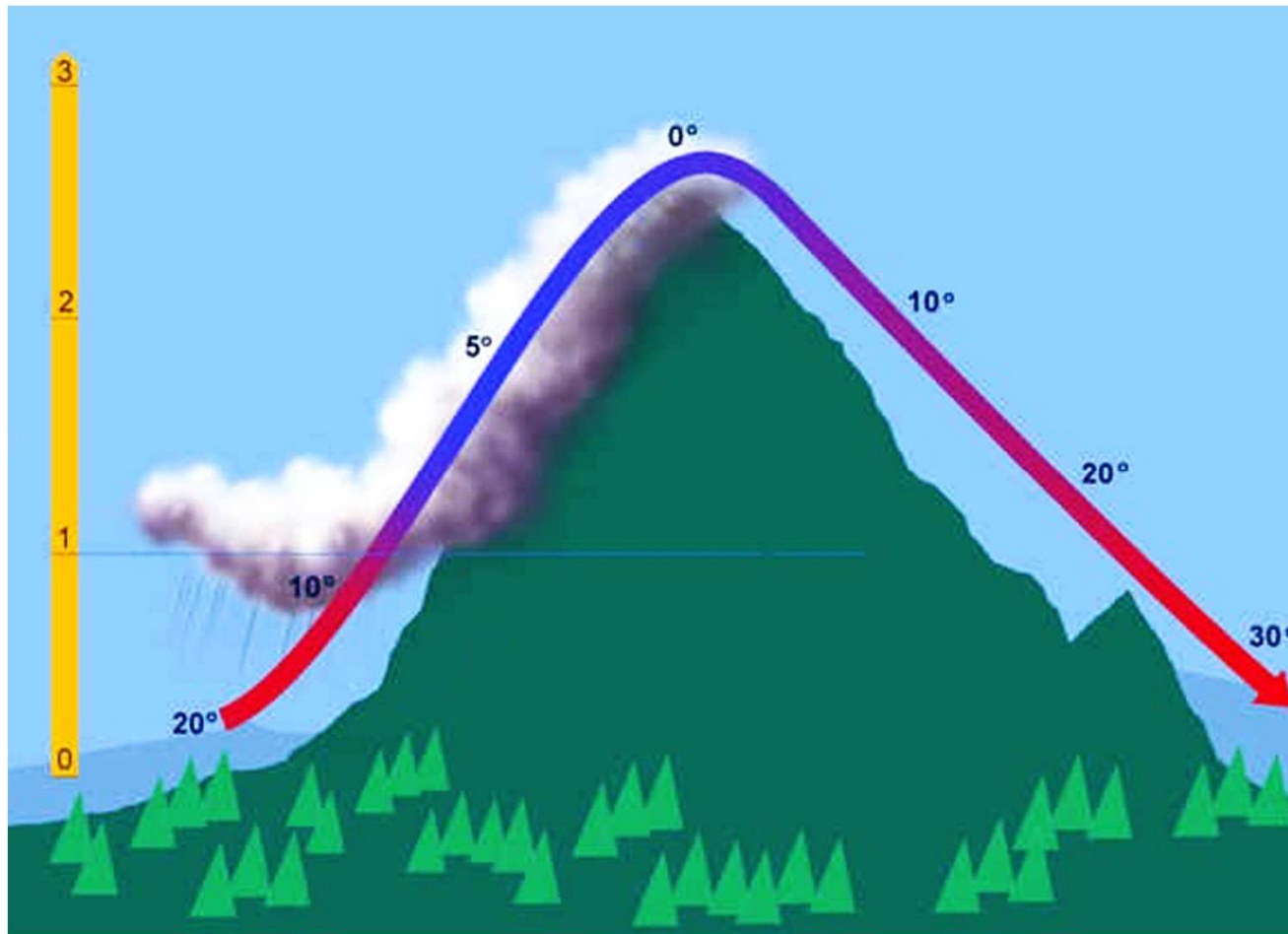
V oblasti mezi $30 - 40^\circ$ severní i jižní šířky odebírají vlhkost a přenášejí ji do rovníkových deštných pralesů; na severní polokouli vanou ze severovýchodu, na jižní z jihovýchodu.

- Monzuny: Pravidelné sezónní větry zajišťující srážky v jižní a jihovýchodní Asii: Letní monzun vzniká vyšším zahříváním pevniny vůči oceánu. Nad pevninou vzniká tlaková níže \Rightarrow vlhký vzduch z oceánu proudí k vysokým pohořím, nad nimiž se ochlazuje a tvoří srážky).

Zimní monzun závisí na nerovnoměrném ochlazení, kdy suchý vzduch vane nad oceán a nese sněhové vánice nad Japonsko.

Lokální proudění v troposféře

- Místní větry – ovlivněné působením výrazného reliéfu na cirkulaci
 - Fén (föhn): suchý, teplý, padavý vítr vanoucí na závětrné straně horských překážek



Lokální proudění v troposféře

- Místní větry – ovlivněné působením výrazného reliéfu na cirkulaci
 - Bríza: Pobřežní vánek, který vane mezi mořem a pobřežím v létě jako důsledek nestejnomyerného zahřívání vody a souše, měnícími směr tlakového gradientu.

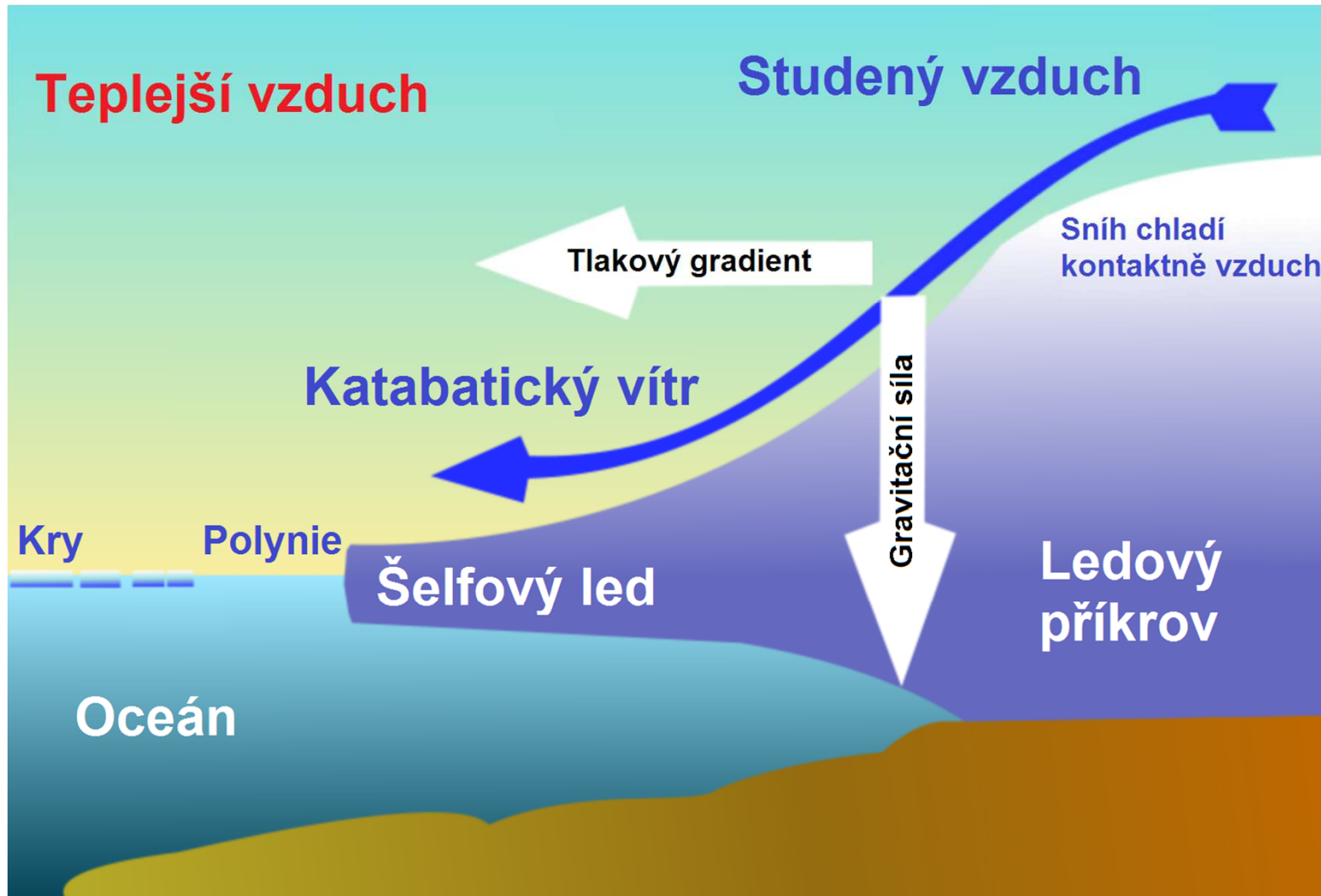
Směr: odpoledne chladnější vzduch z moře na pevninu, v noci z pevniny na moře;
 - Bóra: Přetékání studeného vzduchu přes horské překážky lemující pobřeží, nejdříve se hromadí, pak přetéká průsmyky a sedly s prudkým poklesem teploty (podtéká pod teplý vzduch a způsobuje vlnobití).
 - Mistrál: Synonymum pro bóru, užívané v jižní Francii.
 - Katabatické větry obecně:

Studený vzduch stéká gravitací z vyšších poloh do nižších (např. ledovcový vítr)

širší skupina větrů, např. polární obdoba bóry

Lokální proudění v troposféře

- Katabatické větry – gravitační podtékání studeného vzduchu pod teplejší



Lokální proudění v troposféře

- Místní větry – ovlivněné působením výrazného reliéfu na cirkulaci

- Horské a údolní větry:

Ve dne stoupá zahřátý vzduch údolími nahoru (údolní vítr), v noci tudy stéká studený vzduch (horský vítr); kombinují se s příčnou cirkulací v údolích na svazích (ve dne výstup vzduchu po zahřátých svazích nahoru, v noci stékání chladného vzduchu).

- Blizard:

Vanoucí z moře na pevninu, přinášející srážky (zpravidla sněhové); v oblasti severních zeměpisných šířek; rychlost cca $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (54 km/h).

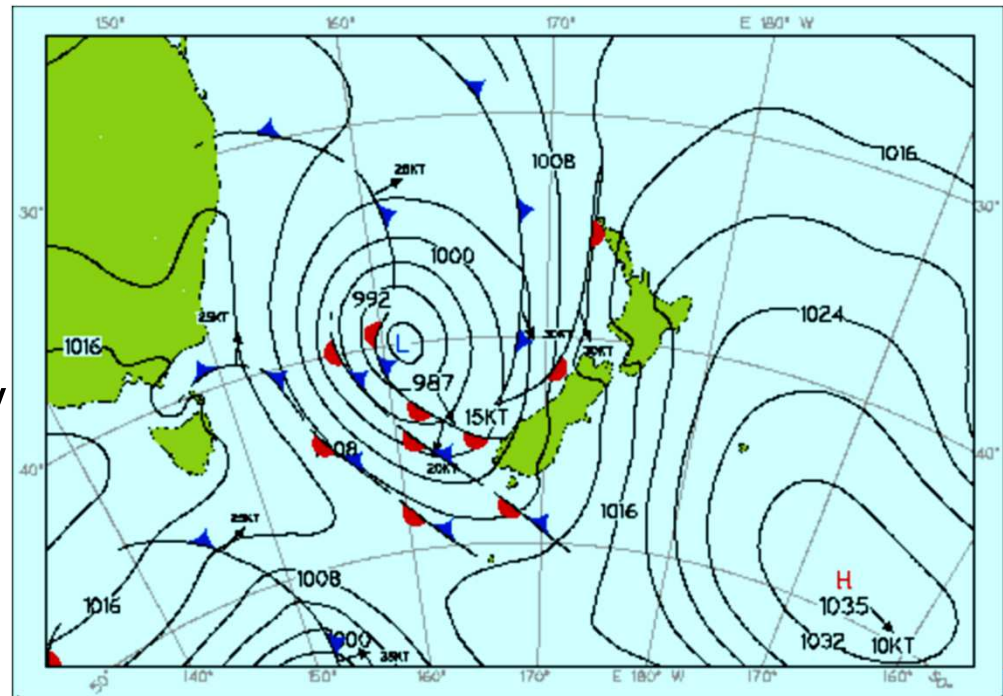
- Tornádo:

Velmi rychle stoupající spirální proud, vznikající při nerovnoměrném rozložení teploty a tlaku vzduchu u povrchu; rychlost může přesáhnout 200 km/h.

Problematika meteorologie

■ Synoptická meteorologie

- Na úrovni makroměřítká se zabývá studiem atmosférických jevů a procesů.
- Zjištěné informace zakreslovány do synoptické (povětrnostní) mapy.
- Analýzou informací v mapách sledován vznik, vývoj a přemísťování cyklón, anticyklón, vzduchových hmot a atmosférických ploch ⇒ tím lze předpovídat počasí.
- Synoptické mapy zobrazují horizontálně i vertikálně (v tzv. izobarických hladinách).
- Data získávána:
 - aerologickým měřením
 - meteorologickými radiolokátory
 - meteorologickými družicemi



Problematika meteorologie

- **Synoptická meteorologie**

- Synoptická analýza = porovnání údajů zjištěných ze synoptických map, založená na principech:

- **Komplexnost**

= vzájemná spojitost a podmíněnost analyzovaných charakteristik počasí

Hodnoty jedné charakteristiky jsou porovnávány na různých místech, v různých výškách a v určitém čase.

- **Trojrozměrnost**

Pozorování hodnot meteorologických charakteristik probíhá na několika různých výškových hladinách.

- **Časová následnost**

Porovnávání hodnot meteorologických charakteristik ve více sousledných časových úsecích ⇒ sledování vývoje v čase.

Problematika meteorologie

- **Synoptická meteorologie**

- Pracovní postup analýzy synoptické mapy:

- určení stabilních a nestabilních vzduchových hmot na základě druhu oblačnosti a formy srážek, lokalizace a identifikace frontálních poruch;
- zakreslení linií vyjadřující hodinové tendence tlaku vzduchu (izalobary),
- stanovení polohy teplé, studené a okluzní fronty,
- určení typu fronty a směru postupu izobar za předpokladu gradientového větru,
- srovnání s výškovými mapami absolutní a relativní barické topografie.

- Podmínka úspěšné předpovědi:

Znalost přesných údajů aktuálního stavu atmosféry.

Problematika meteorologie

■ Synoptická meteorologie

■ Získávání přesných údajů aktuálního stavu atmosféry:

- Síť pozemních stanic vysílajících každých 1 nebo 6 hodin kódovanou zprávu s daty o: oblačnosti, dohlednosti, relativní vlhkosti, srážkách, sněhové pokrývce, teplotě vzduchu, teplotě rosného bodu, směru a síle větru, tlaku vzduchu a tlakové tendenci,
- Aerologické stanice (4 x denně ve stejný čas po celém světě, v ČR v Praze – Libuši a v Prostějově) – vypouštěna aerosonda pomocí meteorologických balónů
 - Dostup cca 32 km
 - Sběr dat po dosažení výšky balon praskne a sonda spadne na zem, přičemž každých 5 s měří teplotu, vlhkost, tlak, teplotu rosného bodu, směr a rychlost větru + několikrát do roka měření ozonu a radioaktivity v atmosféře.
- Metody dálkové detekce (meteorologické družice, meteorologické radary, systémy detekce blesků aj.)

Problematika meteorologie

- Aerologické stanice – vypouštěna aerosonda pomocí meteorologických balónů (Zdroj: ČHMÚ)



Problematika meteorologie

- **Synoptická meteorologie**

- Rozdělení předpovědí počasí:

- | | | |
|---------------------|------------------------|--|
| – Velmi krátkodobá | 0–12 h | synoptické vyhodnocení |
| Z toho nowcasting | 0–2 h | synoptické vyhodnocení |
| – krátkodobá | 1–3 dny | numerické modely |
| – střednědobá | 4–8 dnů | numerické + modely teorie
deterministického chaosu |
| – dlouhodobá | měsíce | znalosti vazeb mezi složkami
klimatického systému (např.
Asie znalost nástupu monzunu
atd.) |
| – předpověď klimatu | desetiletí,
staletí | velmi komplikované |