

Klimatologie a hydrogeografie

Lekce 4

Atmosférické fronty a vzduchové hmoty
Všeobecná cirkulace atmosféry
Tropická a mimotropická cirkulace



RNDr. Jiří Jakubínský, Ph.D. | 30. 10. 2018

Proudění vzduchu



Proudění vzduchu



3

Proudění vzduchu

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



4

Vzduchové hmoty

- fyzikálně relativně **stejnorodé útvary** charakteristické jen **malými horizontálními gradienty** meteorologických prvků a jejich zákonitou změnou s výškou, typickou pro danou vzduchovou hmotu
- horizontální rozměry cca **2 – 3 tisíce km**
- vertikální rozměry **od zemského povrchu až po tropopauzu**
- vzduchové hmoty (VH) o rozdílných vlastnostech jsou odděleny **atmosférickými frontami**
- dělení VH podle oblastí jejich formování:
 - **arktická**, resp. **antarktická**
 - **mírných šířek (polární)**
 - **tropická**
 - **ekvatoriální**
- všechny VH (vyjma ekvatoriální) se dělí na **mořskou a kontinentální**
- přemísťování VH vede ke změně fyzikálních vlastností → **transformace vzduchových hmot**

5

Vzduchové hmoty

- **transformací VH** dochází ke:
 - změně geografického typu VH
 - změně uvnitř daného typu (mořská / kontinentální)
- **typy vzduchových hmot podle termodynamického hlediska:**
 - **teplá VH**
 - při přemísťování se postupně ochlazuje (její teplota neodpovídá podmínkám energetické bilance v dané oblasti)
 - přináší oteplení
 - při ochlazování její dolní části od zemského povrchu se zmenšuje vertikální teplotní gradient a vzniká stabilní zvrstvení (někdy až inverze) – typicky např. v zimě při proudění oceánského vzduchu na pevninu (výskyt oblak typu St, Sc → mrholení, advekční mlhy)
 - nevýrazný denní chod meteorologických prvků při stabilním zvrstvení
 - labilní zvrstvení se vyskytuje méně často (oblaka typu Cu, Cb – lijáky, bouřky v létě) – výraznější denní chod meteorologických prvků

6

Vzduchové hmoty

- **studená VH**
 - při přemísťování do dané oblasti se zdola postupně prohřívá
 - způsobuje ochlazení
 - zahříváním od zemského povrchu vzniká velký vertikální teplotní gradient a labilní zvrstvení (typické v létě nad kontinenty a v zimě nad oceány [zde ojediněle i v létě]) – výskyt oblak druhu Cu, Cb, lijáky, bouřky, v noci nad pevninami také radiační mlhy
 - velmi výrazný denní chod meteorologických prvků
 - stabilní zvrstvení ve studeném vzduchu se vyskytuje jen v zimě nad pevninou (mrazivé, bezoblačné počasí, ojediněle s radiačními mlhami) – denní chod meteorologických prvků je méně výrazný

- **neutrální (místní) VH**
 - v dané oblasti si zachovávají po několik dnů své základní vlastnosti
 - podle výchozích vlastností mohou být zvrstvené stabilně (v zimě nad pevninou) i labilně (v létě nad pevninou)

7

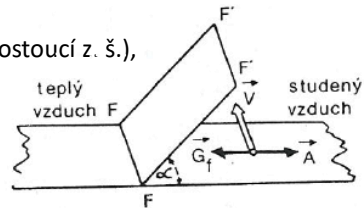
Atmosférické fronty

- **úzká přechodná vrstva mezi vzduchovými hmotami**
- délka až několik stovek km / šířka obvykle jen desítky km
- výška několik km (až po tropopauzu)
- průsečnice frontální plochy se zemským povrchem = **frontální čára (fronta)**
- **hlavní atmosférické fronty** (mezi základními geografickými typy VH)
- **podružné atmosférické fronty** (mezi teplotně rozdílnými VH stejného geografického typu)
- **výškové fronty** (v určité výšce nad zemským povrchem v troposféře)
- 3 hlavní atmosférické fronty:
 - **arktická (AF)** – rozhraní mezi arktickým a polárním vzduchem
 - **polární (PF)** – rozhraní mezi polárním a tropickým vzduchem
 - **tropická (TF)** – málo výrazné rozhraní mezi pasáty obou polokoulí → častěji užívaný název „**tropická zóna konvergence**“
- **klimatická fronta** = průměrná dlouhodobá poloha hlavních atmosférických front

8

Atmosférické fronty

- **frontogeneze**
 - důsledek konfluenčních pohybů vzduchu
 - přibližují se vzduchové částice o různých vlastnostech
 - zvětšování horizontálních gradientů teploty + dalších prvků
 - vznik výrazného rozhraní
- **frontolýza** – zánik atmosférické fronty
- stav rovnováhy mezi teplým a studeným vzduchem
 - **nerotující Země**: teplý vzduch nad studeným, oddělen horizontální plochou
 - **rotující Země**: frontální plocha ukloněna vzhledem k horizontu na stranu studeného vzduchu, úhel sklonu cca $0,5-1^\circ$ (zmenšuje se s rostoucí z. š.), vzduch proudí podél frontální čáry
 - **stacionární fronta**



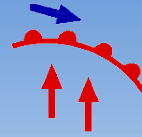
9

Atmosférické fronty

- při zapojení složek rychlosti směřující k frontě → přemísťování fronty směrem k teplému nebo studenému vzduchu = **pohyblivá fronta**
- **pohyb vzduchu** v teplé a studené vzduchové hmotě **není rovnoměrný** – vznikají **vertikální složky rychlosti proudění** → výstup nebo sestup teplého vzduchu podél klínu studeného vzduchu
- **anafronta** = fronta na které dochází k výstupnému klouzání teplého vzduchu
- **katafronta** = sestupný pohyb teplého vzduchu podél klínu studeného vzduchu

10

Atmosférické fronty

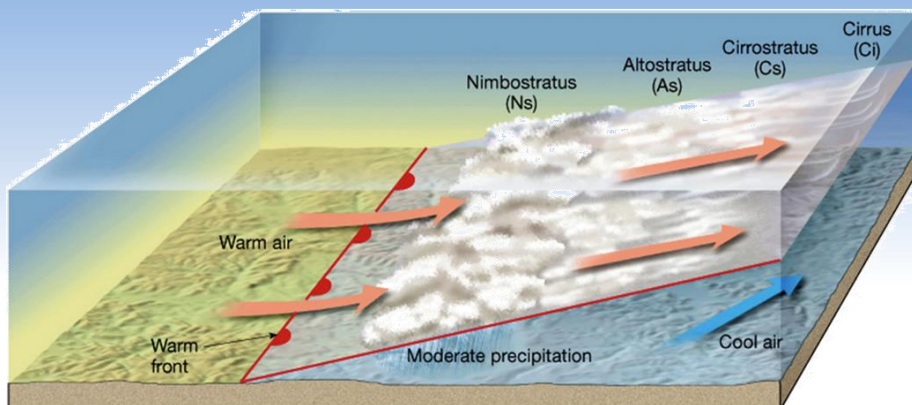


• TEPLÁ FRONTA

- část fronty přemísťující se na stranu relativně chladnější VH
- za teplou frontou postupuje teplejší VH, chladnější vzduchu před frontou ustupuje
- nejčastěji **anafronta**
- nad frontou se nachází **oblačný systém** (oblaka Ci, Cs, As, Ns, pod nimi St)
- největší mocnost oblačnost v oblasti frontální čáry
- zóna oblaků Ns s trvalými srážkami (obvykle rozsah okolo 300 km)
- celý oblačný systém až 900 km
- **sled událostí typických pro přechod studené fronty:**
 - 1) oblaka druhu Ci, Cs
 - 2) pokles tlaku vzduchu a zesilování větru
 - 3) oblaka As → Ns, trvalé srážky, další zesilování větru, pokles tlaku se zpomaluje
 - 4) po přechodu fronty – vzestup teploty vzduchu, stáčení větru vpravo ve směru hodinových ručiček (např. JV→JZ), srážky ustávají

11

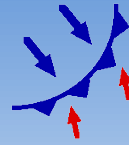
Atmosférické fronty



zdroj: Lutgens, Tarbuck 2004

12

Atmosférické fronty



- **STUDENÁ FRONTA**

- přemísťuje se na stranu relativně teplejší VH
- za ní postupuje **relativně chladnější VH**, teplejší vzduch před frontou ustupuje
- rychlost postupu studeného vzduchu **zpomalována třením** o zemský povrch → typický profil **tvaru tupého klínu**
- podle rychlosti postupu rozlišujeme **2 druhy studené fronty**:
 - **studená fronta 1. druhu**
 - pohybuje se **pomaleji**
 - v celém výškovém profilu je **anafrontou**
 - **oblačný systém** totožný s teplou frontou, ale v opačném pořadí (Ns–As–Cs)
 - silný výstup teplého vzduchu po **strmé spodní části fronty** (vznik Cb, přeháňkové deště a bouřky)
 - přeháňky přecházejí v trvalé srážky za frontou (ve studeném vzduchu)
 - užší srážkové pásmo oproti teplé frontě (strmá frontální plocha)

13

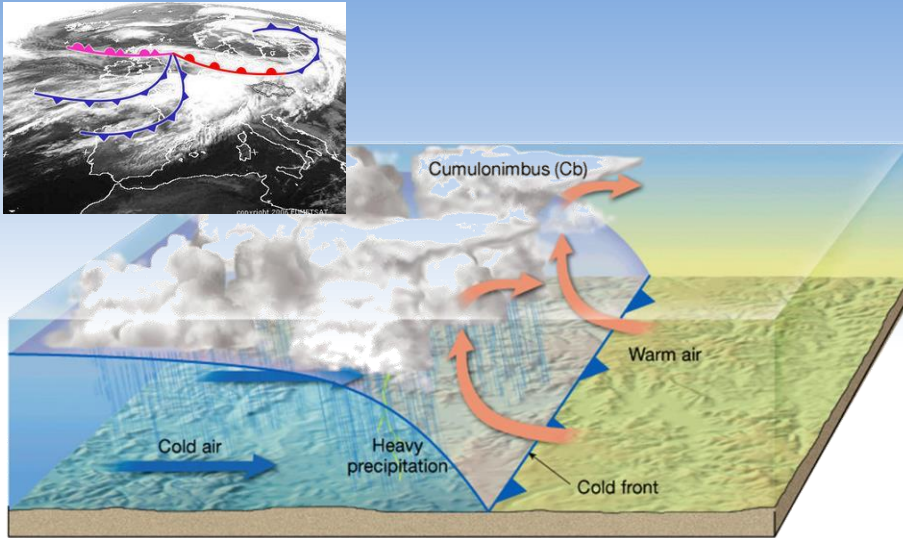
Atmosférické fronty

- **studená fronta 2. druhu**

- pohybuje se **rychleji**
- ve spodní části **anafronta**, od cca 2–3 km **katafronta**
- teplý vzduch nad frontální plochou se pohybuje rychleji než samotná fronta → předbíhá ji a sestupuje podél její plochy
- vystupující teplý vzduch se obrací zpět do teplé VH za vzniku **inverze subsidenčního typu**
- intenzivní výstup vzduchu na čele fronty vede ke vzniku Cb (intenzivní přeháňky, bouřky)
- velmi **malá šířka srážkového pásma** (50–100 km)
- potenciál k formování **podružné studené fronty**
- před frontou atmosférický **tlak klesá**, po jejím přechodu však **stoupá**

14

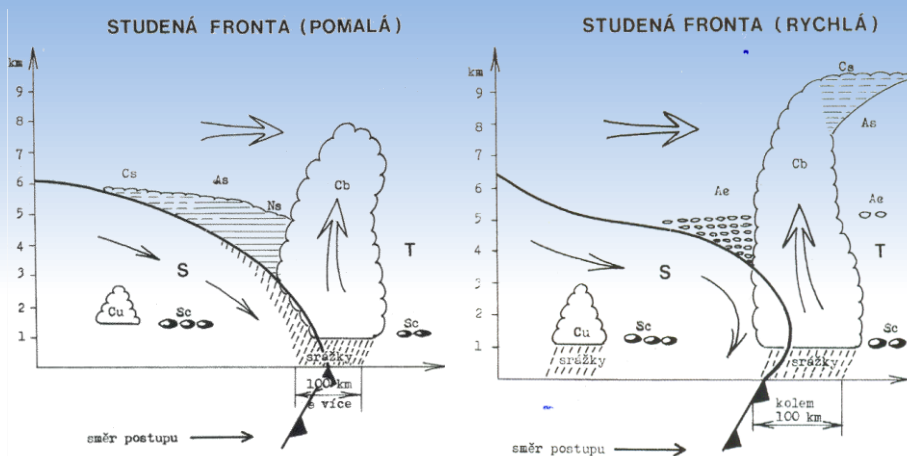
Atmosférické fronty



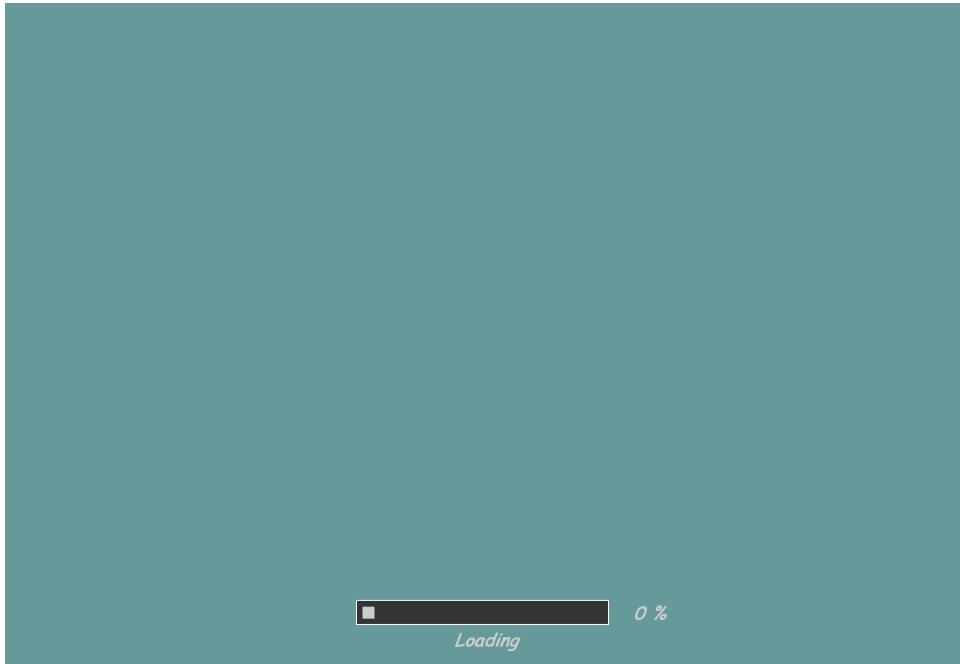
zdroj: Lutgens, Tarbuck 2004

15

Atmosférické fronty

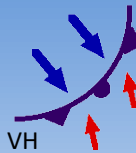


16



17

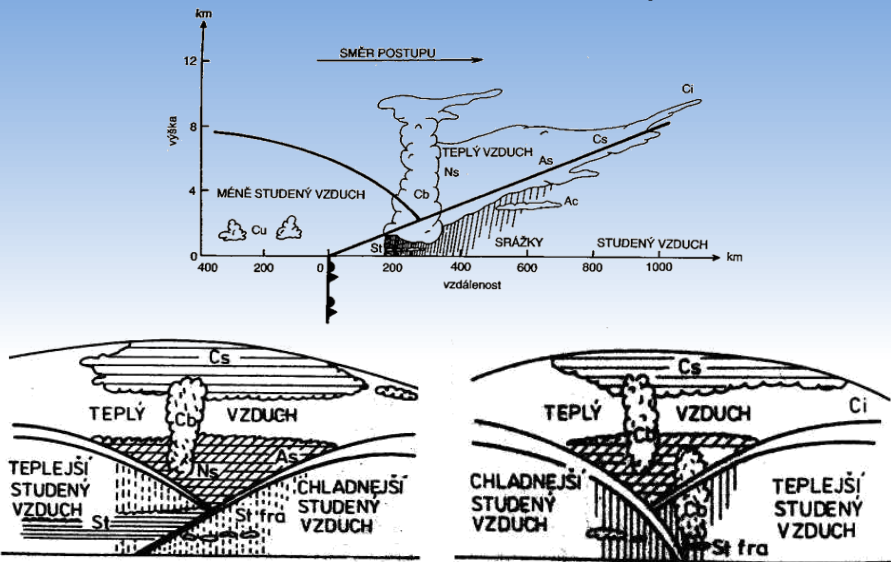
Atmosférické fronty



- **OKLUZNÍ FRONTA**
 - rychle se pohybující studená fronta dostihuje jinou studenou VH
 - teplý vzduch je zcela vytlačen od zemského povrchu
 - **proces okludování, okluzní bod**
 - v případě stejné teploty obou zúčastněných studených front nevzniká frontální rozhraní – **neutrální okluze**
 - **teplá okluzní fronta** – teplota vzduchu studené fronty je vyšší než teplota studené VH kterou dostihuje
 - **studená okluzní fronta** – teplota vzduchu studené fronty je nižší než teplota studené VH kterou dostihuje
 - nejčastější výskyt teplých okluzních front v Evropě v zimě a studených okluzních front v létě
 - oblačné systémy okluzní fronty jsou kombinací systému teplé a studené fronty

18

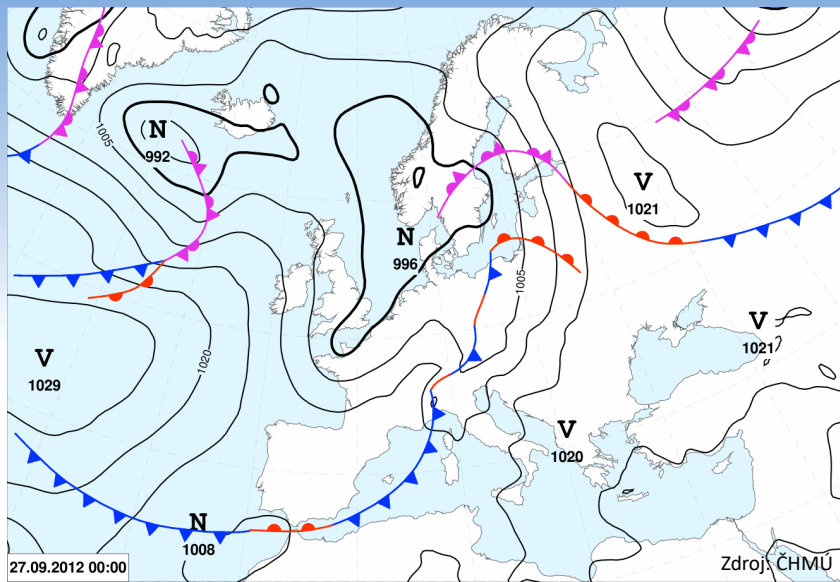
Atmosférické fronty



Zdroj: Netopil a kol. 1984

19

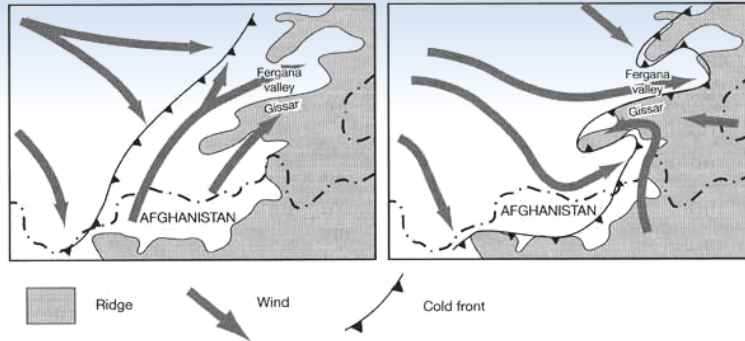
Atmosférické fronty



20

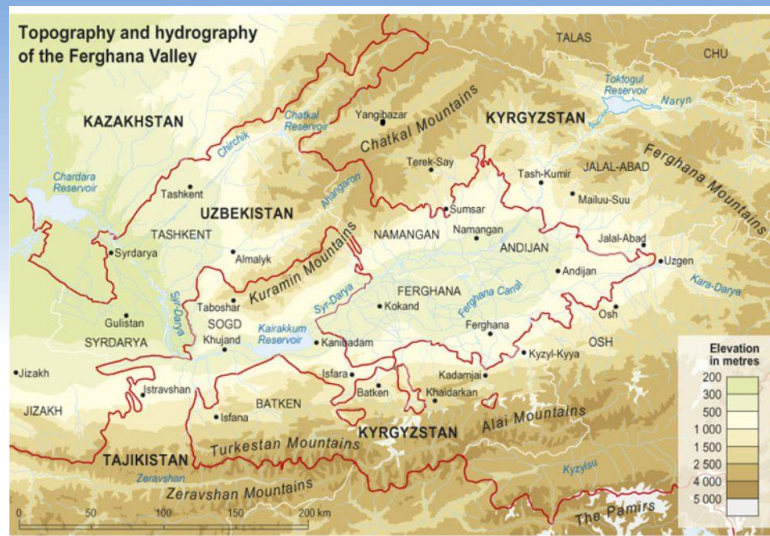
Atmosférické fronty

- **oroграфická okluze**
 - horské překážky překoná snadno teplá fronta
 - studené fronty jsou obvykle zadrženy horami vyššími než 2 000 m
 - studený vzduch pohoří obtéká
 - teplý vzduch je vytlačován vzhůru a na druhou stranu pohoří
 - deformace fronty



21

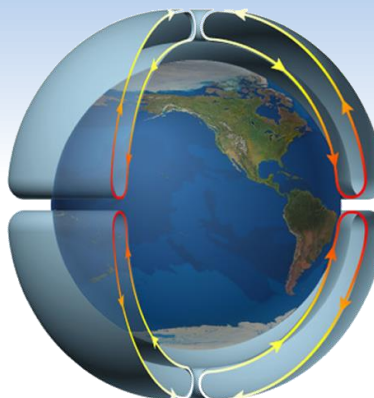
Atmosférické fronty



22

Všeobecná cirkulace atmosféry

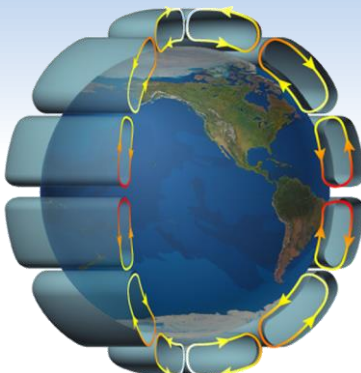
- **system stálých vzdušných proudění velkého měřítka**
- rozměry kontinentů a oceánů
- vertikálně od zemského povrchu až do spodní mezoféry
- základní faktory:
 - sluneční záření
 - rotace Země
 - nehomogenita zemského povrchu
 - tření o zemský povrch
- **nerotující Země s homogenním povrchem**
 - jednoduchá cirkulace mezi termicky podmíněnými oblastmi **NT** kolem rovníku a **VT** při pólech



23

Všeobecná cirkulace atmosféry

- **rotující homogenní Země**
 - odchylka výškového proudění na sever a jih od rovníku
 - v oblasti 30. rovnoběžky odchylka až 90° → akumulace vzduchu → lokální zvýšení tlaku vzduchu (subtropický pás VT)
 - 3 relativně samostatné cirkulační mechanismy na každé polokouli



24

Všeobecná cirkulace atmosféry

- **reálná Země**
 - složitý cirkulační mechanismus
 - **vliv nehomogenního zemského povrchu**
 - **vliv tření vzduchu o zemský povrch**
 - **základní zákonitosti všeobecné cirkulace atmosféry (VCA):**
 - převážně vírový charakter atmosférických pohybů
 - převaha rychlostí horizontálních pohybů nad vertikálními v měřítku velkoprostorových vírů
 - převládá zonální proudění (ve směru rovnoběžek) nad prouděním meridionálním (ve směru poledníků)
 - pohyby atmosféry jsou nestacionární
 - směr a rychlost proudění se mění od vrstvy k vrstvě a od sezóny k sezóně
 - **horizontální tlakový gradient** směřuje obecně **od rovníku k pólům** (platí nad mezní vrstvou atmosféry)
 - v troposféře a spodní stratosféře převládá **západní proudění** (vliv uchylující síly zemské rotace)

25

Všeobecná cirkulace atmosféry

- **CIRKULACE TROPICKÝCH ŠÍŘEK**
 - rozdíl teplot mezi ekvatoriálními a subtropickými oblastmi
 - cirkulace celoročně existuje jen v oblasti Tichého a Atlantského oceánu
 - **Hadleyova buňka**
 - **tropická zóna konvergence (TZK)**
 - pásmo **nízkého tlaku** podél rovníku
 - **konfluence vzdušných proudů** a výstup vzduchu → kupovitá oblačnost
 - **posun TZK v průběhu roku** (závislost na poloze Slunce)
 - závislost na poloze termického rovníku
 - vyšší prům. teploty S polokoule → TZK dosahuje do vyšších z. š. (až 30° s. š. v Asii)
 - **pásmo rovníkových tišin** v případě TZK v oblasti geografického rovníku
 - vznik **druhotné zóny konvergence** v případě TZK na S polokouli
 - TZK nepředstavuje výrazné teplotní rozhraní, rozdílů zejm. ve vlhkosti

26

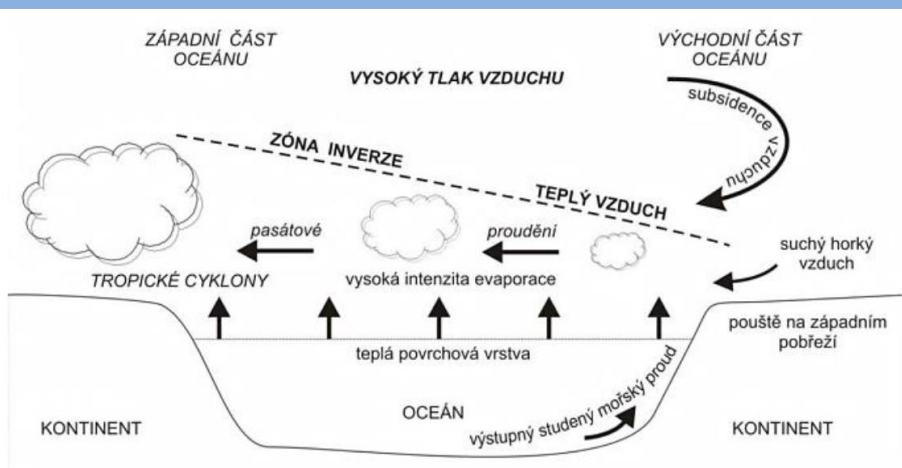
Všeobecná cirkulace atmosféry

– PASÁTY

- **silné stálé větry ve spodní troposféře** v oblasti mezi subtropickou výší a ekvatoriální níží
- 20° z. š. zimní polokoule až 30° z. š. letní polokoule
- S polokoule: **SV větry** / J polokoule: **JV větry**
- nejlépe vyvinuty nad východními částmi oceánů
- nad pevninou vanou jen sezónně nebo vůbec (např. SV Afrika – Arabský pol.)
- JV pasát: vlhký chladnější vzduch na pevninu
- SV pasát: variabilní v závislosti na lokalitě
- **3 vrstvy pasátové cirkulace:**
 - **vrstva spodních pasátů** (mocnost 500–2500 m)
 - **vrstva pasátové inverze** (ohřívání vzduchu při jeho sesedání v oblasti subtropů, ochlazování spodních vrstev od chladných vod oceánu či chladnější pevniny v zimě)
 - **vrstva horních pasátů** (do výšky 6–10 km, východní směr, stabilnější a sušší vzduch)

27

Všeobecná cirkulace atmosféry



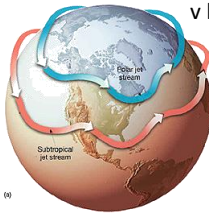
Zdroj: Ruda (2014)

28

Všeobecná cirkulace atmosféry

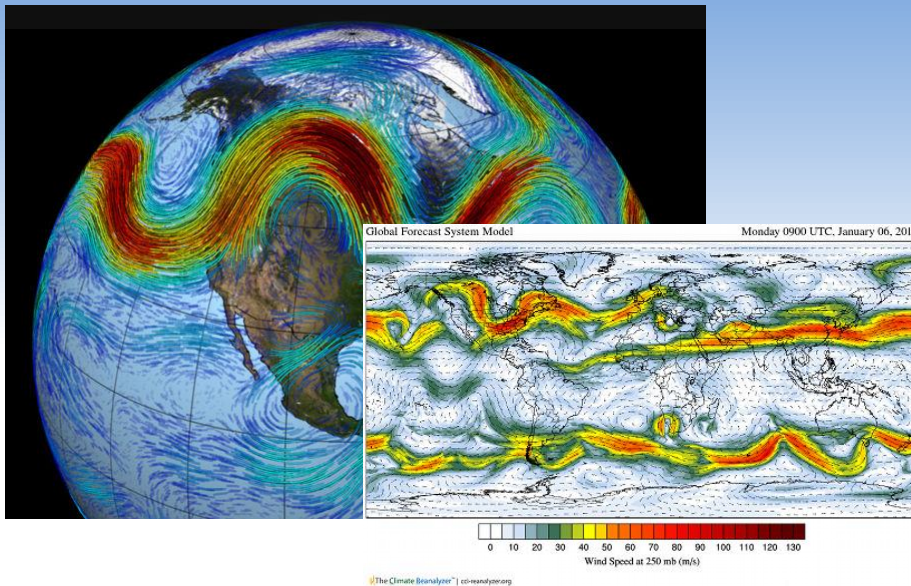
– ANTIPASÁTY

- odtok vzduchu z nízkých šířek ve výškách 8–12 km v blízkosti rovníku do 4–6 km na 25°–30° s. š. a j. š.
- **reálné proudění je však poněkud odlišné** (meridionální složky rychlosti proudění jsou velmi malé)
- situace nejvíce připomíná proudění nad západními částmi oceánů
- antipasáty se zachovávají pouze ve vybraných oblastech (zejm. 16°–20° z. š.)
- výskyt **tryskových proudění („jet streams“)**
 - **subtropický jet stream** (35° s. š. – 30° j. š., hladina 200 hPa, silné západní proudění)
 - **tropický jet stream** (cca 10° s. š. a 10°–20° j. š., silné východní proudění v letním období v oblasti JV Asie, Indie a Afriky)



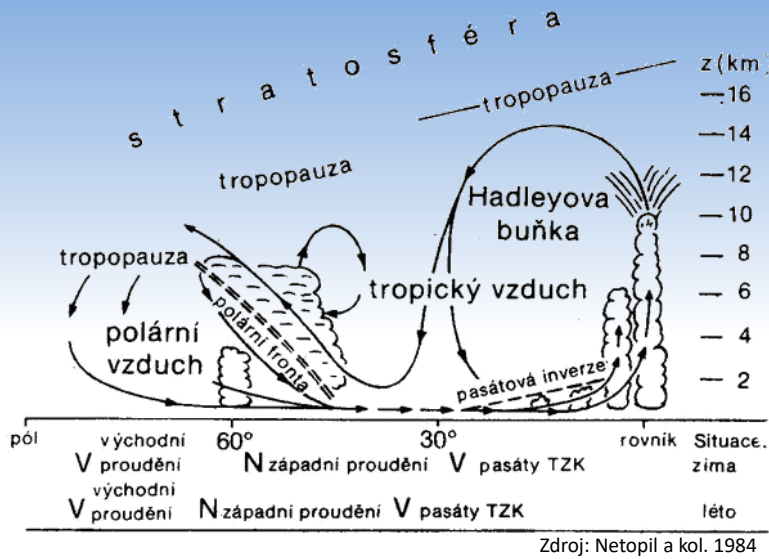
29

Všeobecná cirkulace atmosféry



30

Všeobecná cirkulace atmosféry

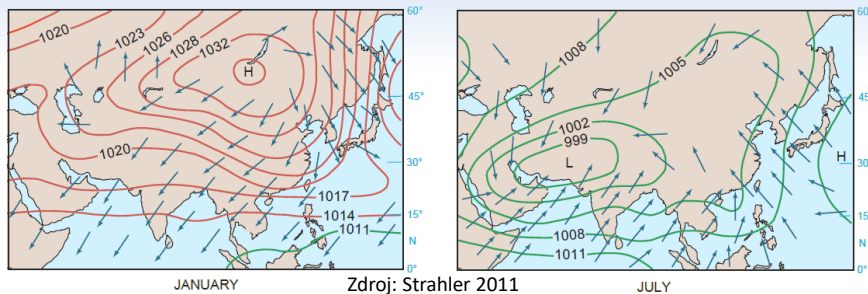


31

Všeobecná cirkulace atmosféry

– MONZUNY

- vzdušná proudění **sezónního charakteru** nad velkými částmi zemského povrchu, jež se vyznačují náhlou a (téměř) protichůdnou změnou převládajícího směru větru mezi zimním a letním obdobím
- nesterétné zahřívání povrchu oceánu a kontinentu → termicky podmíněné rozdíly v rozložení tlaku vzduchu
- v zimě z pevniny na oceány / v létě naopak (**zimní**, resp. **letní monzun**)
- výskyt **nejen v tropech**, nejintenzivnější však jsou **tropické monzuny**



32

Všeobecná cirkulace atmosféry

– TROPICKÉ CYKLÓNY

- **cyklonální víry**, vznikající v **TZK nad oceány**
- malé rozměry (do 1000 km)
- **velké tlakové gradienty** (14–17 hPa/100 km) → rychlosti větru 50–100 m.s⁻¹
- v centru cca 960–970 hPa
- **vznik v oblastech mezi 5°–20° z. š.** (kolem rovníku jen zřídka)
- zdroj energie = povrchové **vody tropických částí oceánů**, s teplotou vyšší než **26 °C**
- tlaková níže, labilní teplotní zvrstvení, konvekční výstup nasyceného vzduchu
- pohyb malou rychlostí **od východu k západu**, odchylování k vyšším z. š.
- nad pevninou dochází **vlivem tření ke ztrátě energie a zániku cyklóny**
- zhruba od 25° z. š. se dráha cyklony parabolicky zakřivuje (okraj subtropické anticyklóny) – SV směr (na S polokouli)
- mírný pás: **zánik cyklóny** nebo změna v **mimotropickou cyklónu**

33

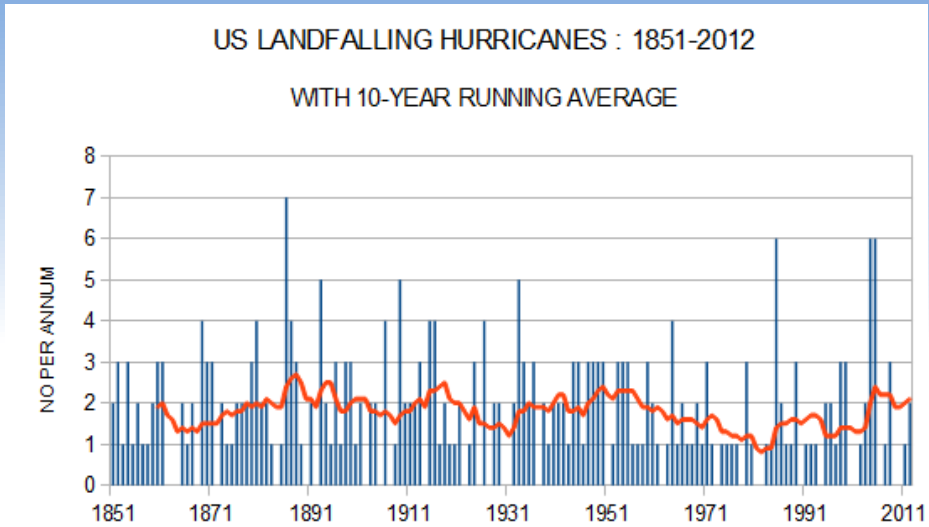
Všeobecná cirkulace atmosféry

- „**oko cyklóny**“ – slabé sestupné pohyby vzduchu, bez oblaků, po obvodu intenzivní konvekční proudění (oblaka Cb, Ns, ...)
- negativní dopady tropických cyklón na lidskou populaci
- regionální názvy tropických cyklón
 - **tajfun** (Dálný východ)
 - **cyklón** (Bengálský záliv a Arabské moře)
 - **uragán** (Střední Amerika)
 - **hurikán** (Atlantský oceán)
 - **orkán** (jižní část Indického oceánu)
 - **Willy-Willy** (mezi Austrálií a Kokosovými ostrovy)



34

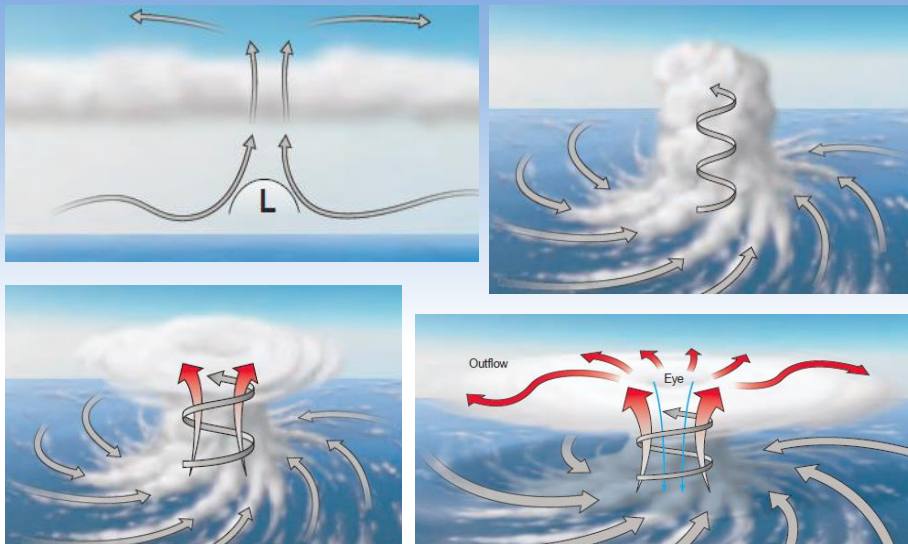
Všeobecná cirkulace atmosféry



Zdroj: NOAA 2013

35

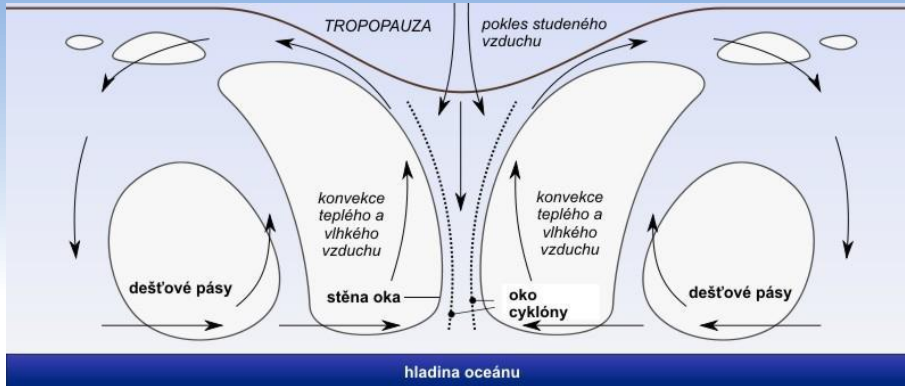
Všeobecná cirkulace atmosféry



Zdroj: Strahler 2011

36

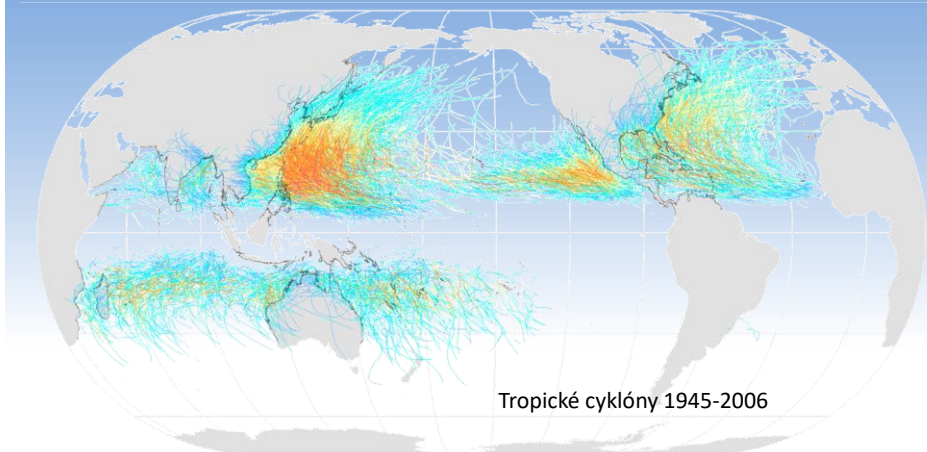
Všeobecná cirkulace atmosféry



Zdroj: Ruda 2014

37

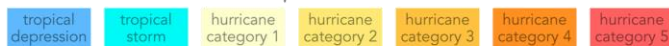
Všeobecná cirkulace atmosféry



Tropické cyklóny 1945-2006

Zdroj: Wikipedia

Saffir-Simpson Hurricane Scale:



38

Všeobecná cirkulace atmosféry

- **MIMOTROPICKÁ CIRKULACE**
 - západní přenos vzduchu v mírných šířkách
 - v polárních oblastech (zejm. Antarktida) východní složka proudění
 - intenzivní cyklonální činnost – nepřetržitý vznik, vývoj a přemísťování cyklón a anticyklón
 - **mimotropické cyklóny:**
 - **termické**
 - vznik v létě nad pevninou a v zimě nad oceány
 - nestejněměrné zahřívání zemského povrchu
 - menší rozměry, slaběji vertikálně vyvinuty
 - **frontální**
 - vznik na atmosférické frontě, v podobě vlny (vlnové poruchy)
 - zvlnění fronty vlivem diskontinuity teploty vzduchu, větru či orografických podmínek
 - s rostoucí instabilitou teplotního zvrstvení roste pravděpodobnost vzniku vlny

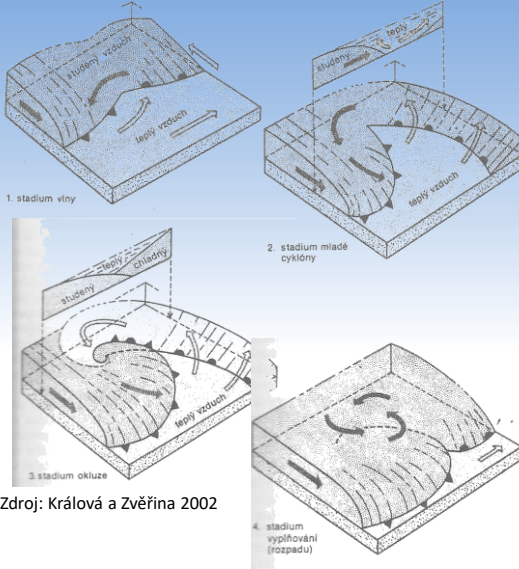
39

Všeobecná cirkulace atmosféry

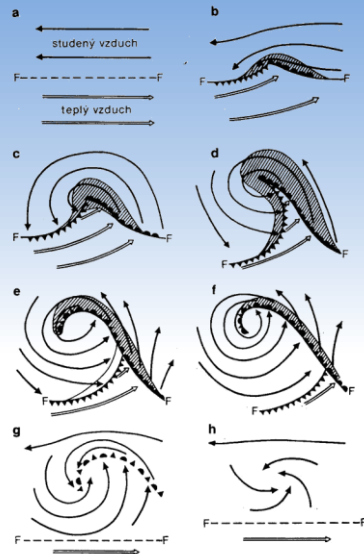
- **vlny dynamicky stabilní** (po vzniku si zachovávají svoji amplitudu a pak zanikají)
- **vlny dynamicky instabilní** (amplituda rychle narůstá)
 - přední část vlny se pohybuje směrem do studeného vzduchu
 - zadní část do teplého vzduchu
 - charakter teplé, resp. studené fronty
- **stadia vývoje cyklóny:**
 - **stadium vlny** (vírový charakter proudění vzniklý na dynamicky instabilní vlně, teplý vzduch proniká nad studený)
 - **stadium mladé cyklóny** (amplituda vlny se zvětšuje, teplý vzduch proniká do studeného – vznik jazyka teplého vzduchu, tzv. teplý sektor cyklóny)
 - **stadium odumírání cyklóny** (studená fronta se pohybuje rychleji, teplý vzduch je vytlačován od povrchu, po vzniku okluzní fronty teplý sektor přestává existovat, cyklóna ztrácí spojení s frontou a začíná se vyplňovat)

40

Všeobecná cirkulace atmosféry



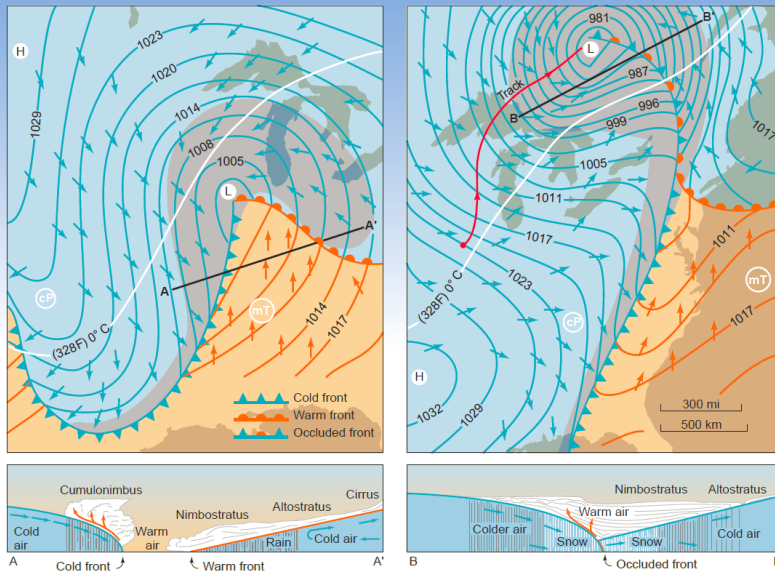
Zdroj: Králová a Zvěřina 2002



Zdroj: Netopil a kol. 1984

41

Všeobecná cirkulace atmosféry



42

Všeobecná cirkulace atmosféry

- v případě rozdílných teplot dvojice studených vzduchových hmot (na obou stranách okluze) → **opětovný vývoj (regenerace) cyklóny**
- obnova teplotní asymetrie – druhotný teplý sektor
- **centrální cyklóna**: symetrická, nepohyblivá a hluboká deprese, vertikálně až k tropopauze, vzniklá po více regeneracích cyklóny
- postupně odumírá
- průměrná rychlost pohybu cyklón 40–80 km.h⁻¹
- pohyb obvykle **od západu k východu**, s uchylováním k vyšším z. š.
- vznik **série cyklón**

43

Všeobecná cirkulace atmosféry

- **ANTICYKLÓNY**
 - **příčiny vzniku anticyklón**
 - termické příčiny (ochlazování vzduchu od zemského povrchu)
 - druhotný efekt vývoje cyklón na frontách (deficit vs. přebytek vzduchové hmoty)
 - **specifika anticyklón**
 - bez frontálních rozhraní
 - převládají sestupné pohyby vzduchu (pěkné počasí)
 - inverze zabraňuje vývoji konvektivních oblaků a přeháněk
 - **typy počasí v oblasti anticyklón** (v závislosti na vlhkosti vzduchu)
 - jasné a suché počasí, event. nízké radiační mlhy v noci a kupovitá oblačnost na okrajích anticyklóny
 - s vlnovými oblaky druhu Sc a Ac (v létě na pevnině)
 - s oblaky druhu St a Sc s mrholením a mlhami (podzim, zima)
 - mírný vítr

44

Všeobecná cirkulace atmosféry

- **dělení anticyklón** dle charakteru přízemního tlakového pole a jeho změn
 - **stacionární subtropické anticyklóny**
 - mezi 10° a 40° z. š., zejm. nad oceány
 - horizontální rozměry 3000 až 4000 km
 - vertikálně vyplňují troposféru
 - **putující anticyklóny**
 - postupují mezi dvěma za sebou následujícími cyklónami stejné série
 - podoba hřebenů vysokého tlaku vzduchu
 - **anticyklóny uzavírající sérii cyklón**
 - vznik z putujících anticyklón, jejichž pohyb ustal
 - **stacionární (sezónní) studené anticyklóny mírných šířek**
 - např. severoamerická, asijská anticyklóna
 - typická přízemní inverze teploty
 - **arktické a antarktické zimní anticyklóny**
 - vznik ochlazením přízemní atmosféry dlouhovlnným vyzařováním
 - mohutná inverze, silná difluence proudnic

45

Všeobecná cirkulace atmosféry

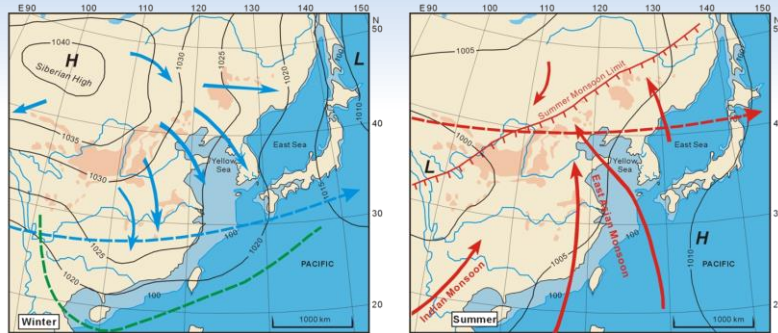
- **typy atmosférické cirkulace v mimotropických šířkách**
 - **zonální typ**
 - přenos vzduchových hmot **od západu k východu**
 - nízký tlak ve vyšších šířkách, vysoký tlak v nižších šířkách
 - meridionální výměna tepla oslabena
 - v Evropě advekce teplého, resp. studeného vzduchu (v zimě, resp. v létě) z Atlantského oceánu
 - **meridionální typ**
 - vznik v důsledku existence **vedle sebe položených nepohyblivých studených cyklón a teplých, blokuujících anticyklón**
 - pronikání vzduchových hmot **z nízkých do vysokých šířek** v čelních částech cyklón a v týlových částech anticyklón
 - pronikání vzduchu **z vysokých do nízkých šířek** v týlových částech cyklón a čelních částech anticyklón
 - narušení západního přenosu vzduchu
 - v Evropě vpády studeného arktického vzduchu nebo teplého tropického vzduchu

46

Všeobecná cirkulace atmosféry

- **MIMOTROPICKÉ MONZUNY**

- monzuny mírných a vysokých z. š.
- východní Asie
- sezónní převládání nízkého tlaku vzduchu v létě a vysokého tlaku v zimě nad pevninou
- méně stálé a méně intenzivní oproti tropickým monzunům

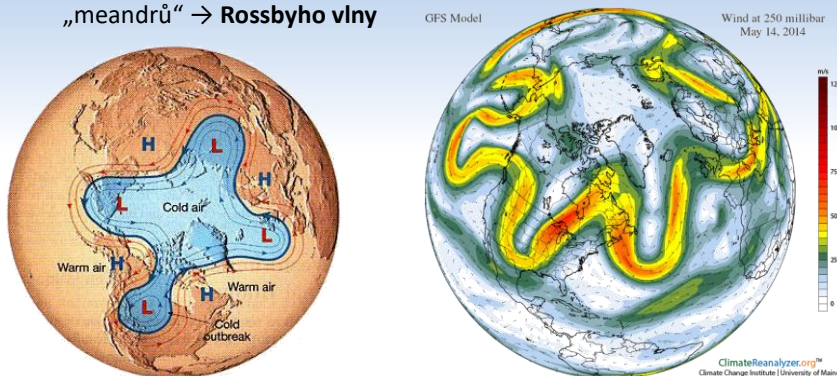


47

Všeobecná cirkulace atmosféry

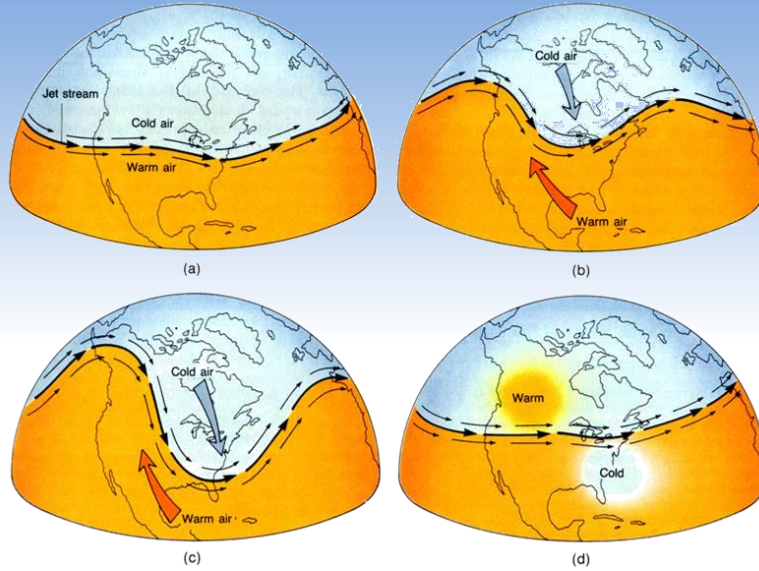
- **PROUDĚNÍ VZDUCHU VE VYŠŠÍ ATMOSFÉŘE**

- vysokorychlostní proudění vzduchu se západní složkou
- **polární tryskové proudění („jet stream“)**
- styk polárního a tropického vzduchu
- poloha velmi proměnlivá v prostoru a čase – vznik vzdušných „meandrů“ → **Rosbyho vlny**



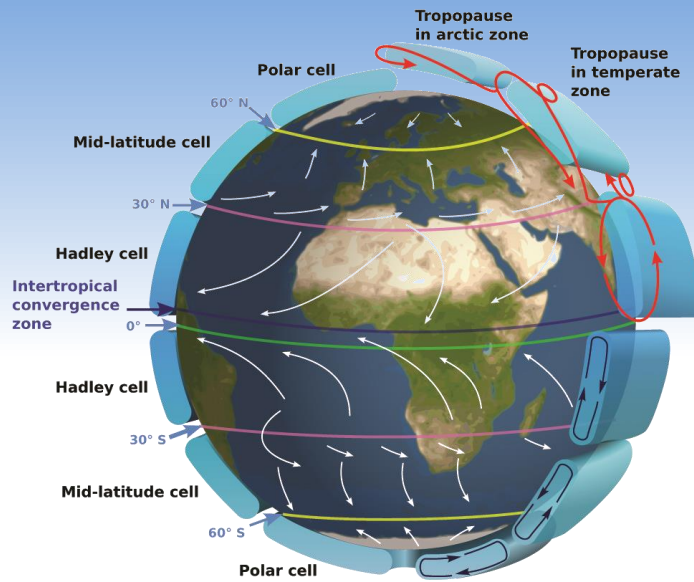
48

Všeobecná cirkulace atmosféry



49

Všeobecná cirkulace atmosféry



50

