

4. VŠEOBECNÁ CIRKULACE ATMOSFÉRY

4.1 VZDUCHOVÉ HMOTY

- velké objemy vzduchu (horizontálně tisíce km, vertikálně po tropopauzu) s nevelkými horizontálními gradienty meteorologických prvků a s jejich zákonitou změnou s výškou
- vedle sebe nebo se nasouvají nad sebe – odděleny atmosférickými frontami
- typické vlastnosti získávají při stagnaci nebo pomalém pohybu vzduchu v oblastech svého vzniku
- geografické typy vzduchových hmot:

Vzduchová hmota	Symbol	Oblast vzniku
arktická	AV	Severní ledový oceán a přilehlá pevnina
antarktická	AAV	Antarktida
polární	PV	kontinenty a oceány, 50-60° z.š.
tropická	TV	kontinenty a oceány, 20-35° z.š.
ekvatoriální	EV	oceány blízko rovníku

- dělení vzduchových hmot **podle typu aktivního povrchu**, nad nímž vznikají:
 - **mořské** (m) – nad oceány
 - **kontinentální** (c) – nad pevninou
- při přemísťování do jiné oblasti mění vzduchová hmota své vlastnosti – **transformace vzduchové hmoty** (dosažení rovnováhy mezi hodnotami meteorologických prvků a podmínkami v oblasti):
 - a) transformace mezi VH (např. AV → PV)
 - b) transformace uvnitř daného typu (např. mPV → cPV)
- dělení vzduchových hmot **podle termodynamického hlediska**:
 - a) **teplé VH** – při přemísťování do dané oblasti se ochlazují, přinášejí oteplení, stabilní zvrstvení nebo inverze, počasí: St, Sc, mrholení, advekční mlhy, nevýrazný denní chod meteorologických prvků
 - b) **studené VH** - při přemísťování do dané oblasti se oteplují, přinášejí ochlazení, labilní zvrstvení, počasí: Cu, Cb, bouřky a lijáky, v noci radiační mlhy, výrazně vyjádřený denní chod meteorologických prvků
 - c) **neutrální VH** – v dané oblasti si po několik dnů zachovávají své základní vlastnosti, stabilní i labilní zvrstvení

4.2 ATMOSFÉRICKÉ FRONTY

- **atmosférická fronta** – ostře vyjádřená přechodná vrstva oddělující vzduchové hmoty
- **frontální čára (fronta)** – průsečnice frontální plochy se zemským povrchem
- **hlavní atmosférické fronty** – oddělují geografické typy VH:
 - a) arktická fronta AF (AV x PV)
 - b) polární fronta PF (PV x TV)
 - c) tropická fronta TF (TV x EV resp. rozhraní mezi pasáty) – též tropická zóna konvergence
- **klimatická fronta** – průměrná dlouhodobá poloha hlavních atmosférických front

4.2.1 Vznik (frontogeneze) a zánik (frontolýza) front

- kinematický mechanismus – deformační pole proudění v oblasti barického sedla
 - frontogeneze: izotermy rovnoběžné s osou roztažení x nebo s ní svírají úhel menší než 45°
 - frontolýza: opačný případ

4.2.2 Podmínky rovnováhy frontální plochy

- **stacionární fronta** – proudění podél čáry fronty
- úhel sklonu frontální plochy:
- na rovníku ukloněná plocha fronty nemůže existovat ($\sin \varphi = 0$)

4.2.3 Atmosférické fronty v poli tlaku a větru

4.2.4 Pohyblivé fronty

- **pohyblivá fronta** – složky rychlosti směřující k frontě – izobary ve tvaru písmene V protínají čáru fronty
- vertikální složky rychlosti – výstup vzduchu (anafronta), sestup vzduchu (katafronta)

4.2.4.1 Teplá fronta

- **teplá fronta** – část fronty přemísťující se na stranu relativně chladnějšího vzduchu
- anafronta – vznik oblaků Ns, As, Cs – šířka pásu oblaků 700-900 km
- trvalé srážky z Ns (cca 300 km), popř. sněžení z Ns a As
- průběh počasí: Ci, Cs, pokles tlaku, zesilování větru → As přecházející v Ns, trvalé srážky, zesiluje vítr, pokles tlaku se zpomaluje → po přechodu fronty vzestup teploty, stočení větru doprava, ustávají srážky, pokles tlaku přerušen nebo zpomalen

4.2.4.2 Studená fronta

- **studená fronta** – část fronty přemísťující se na stranu relativně teplejšího vzduchu
- postupující studený vzduch zpomalován třením – tvar tupého klínu
- **studená fronta 1. druhu** (anafronta) – oblaka Cb, Ns, As, Cs → přeháňky a bouřky z Cb přecházejí v trvalé srážky z Ns, srážkové pásmo užší než u teplé fronty
- **studená fronta 2. druhu** (anafronta, od 2-3 km katafronta – sestup teplého vzduchu → inverze subsidenčního typu) – oblaka Cb s bouřkami a přeháňkami (50-100 km) – ve studeném vzduchu **podružné studené fronty**

- pokles tlaku před příchodem fronty, vzestup tlaku po přechodu

4.2.4.3 Okluzní fronta

- **okluzní fronta** – studená fronta postupuje rychleji než teplá, takže při povrchu se po určité době mohou střetnout dvě studené vzduchové hmoty – která postupovala za studenou a ustupovala před teplou frontou → proces splývání front (okludování, okluzní bod):
 - a) **neutrální okluze** – stejná teplota VH, nevytvoří se fronta
 - b) **teplá okluzní fronta** – studený vzduch za studenou frontou relativně teplejší než studený vzduch před teplou frontou
 - c) **studená okluzní fronta** – opačný případ než b)
- kombinace oblačných systémů a počasí splývajících front

4.2.5 Vliv orografických podmínek na atmosférické fronty

- teplá fronta snadno překonává horské překážky
- studená fronta zadržena pohořím, obtéká je, deformace fronty – **orografická okluze**

4.3 VŠEOBECNÁ CIRKULACE ATMOSFÉRY (VCA)

- systém stálých vzdušných proudění velkého měřítka (rozměry kontinentů a oceánů) od zemského povrchu do spodní mezoféry
- **hlavní faktory:** sluneční záření, rotace Země (Coriolisova síla), nehomogenity zemského povrchu, tření
- **homogenní nerotující Země:** rovník – nízký tlak, póly – vysoký tlak
- **homogenní rotující Země:** subtropy – dynamicky podmíněné pásmo vysokého tlaku, subpolární šířky (cyklonální činnost) – nízký tlak → 3 cirkulační mechanismy
- **základní zákonitosti VCA:**
 - a) převážně vírový charakter
 - b) převaha horizontálních rychlostí nad vertikálními
 - c) převaha zonálního proudění nad meridionálním
 - d) nestacionárnost proudění
 - e) změny směru a rychlosti proudění od vrstvy k vrstvě
 - f) změny směru a rychlosti proudění od sezóny k sezóně
 - g) převládající západní přenos vzduchu v troposféře a spodní stratosféře

4.3.1 Cirkulace a počasí v tropických šířkách

- transport přebytku energie od rovníku k subtropům prostřednictvím Hadleyho buňky
- faktory: malé rozdíly mezi vzduchovými hmotami, malá Coriolisova síla (chybí ostře vyjádřené fronty a frontální cyklony), velmi výrazná konvekce
- složky: tropická zóna konvergence, pasáty, monzuny, tropické cyklony

4.3.1.1 Tropická zóna konvergence

- pásmo nízkého tlaku vzduchu s konfluencí proudění a tvorbou kupovité oblačnosti
- během roku se posunuje v závislosti na poloze Slunce v rozsahu asi 40 šířkových stupňů

- TZK v blízkosti rovníku: dvě vnější (konvekce, oblačnost, srážky) a jedna vnitřní zóna (slabé větry – pásmo rovníkových tišin)
- posun TZK na sever od rovníku: na sever od TZK suché, jasné počasí, 300-600 km na jih silná konvekce, bouřky, lijáky (druhotná zóna konvergence)

4.3.1.2 Pasáty

- španělsko-arabské pasada – převoz (využití pasátů při plavně plachetnic)
- silné, stálé severovýchodní (SP) a jihovýchodní (JP) větry vanoucí z oblasti vysokého tlaku v subtropích k rovníku od 20° z. š. zimní polokoule do 30° z. š. letní polokoule (1/3 povrchu Země) – 5-8 m.s⁻¹, východní části oceánů
- vertikální struktura pasátů:
 - vrstva spodních pasátů
 - vrstva pasátové inverze (sesedání vzduchu v subtropických anticyklonách a ochlazování vzduchu od povrchu)
 - vrstva horních pasátů
- počasí: pasátová inverze brání vývoji kupovité oblačnosti (často Sc) → bez srážek nebo drobný déšť

4.3.1.3 Antipasáty

- odtok vzduchu ve výšce od rovníku k subtropům
- ve svrchní troposféře většinou proudění o malých meridionálních složkách rychlosti

4.3.1.4 Monzuny

- arabské mausin – sezóna, roční doba
- stálá vzdušná proudění sezónního charakteru nad značnými částmi zemského povrchu, vyznačující se náhlou, protichůdnou nebo téměř protichůdnou změnou převládajícího směru větru mezi zimním a letním obdobím
- termicky podmíněné rozdíly v rozložení tlaku vzduchu
- **zimní monzun** – proudění z pevniny (vyšší tlak) na oceán (nižší tlak)
- **letní monzun** – proudění z oceánu (vyšší tlak) na pevninu (nižší tlak)
- hlavní monzunová oblast je přední Indie a východní Asie (Čerrápuňdží v pohoří Khásí – nejdeštivější místo na světě)

4.3.1.5 Tropické cyklony

- nejsilnější a nejdestruktivnější typ cyklonálních bouří s různými místními názvy: hurikán – Atlantský oceán; tajfun – Dálný Východ; cyklón – Bengálský záliv; uragán – střední Amerika; orkán – jižní část Indického oceánu (Madagaskar – Maskarény); Willi-Willies – Indický oceán (Austrálie – Kokosové ostrovy)
- rozměry 150-500 km, rychlosti větru 120-200 km.h⁻¹, tlak v centru klesá až na 950 hPa, energii získávají z latentního tepla při intenzivní kondenzaci (silné srážky)
- „oko“ tropické cyklony – sestupné pohyby v centrální části víru, bez oblaků, bezvětří
- vznikají v pásmu 8-15° z.š. z východních vln nebo slabých níží při povrchových teplotách oceánů nad 27 °C a pohybují se od východu k západu, přičemž jsou Coriolisovou silou uchylovány k vyšším šířkám (→ mimotropické cyklony)

- **východní vlny** – pomalu se pohybující (300-500 km za den) brázdy nízkého tlaku vzduchu v pásmu východního proudění mezi -30° z.š.; konvergence na jejich východní (zadní) straně vede k výstupu vlhkého vzduchu, přeháňkám a bouřkám
- tropické cyklony jsou pojmenovávány střídavě mužskými a ženskými jmény
- extrémní srážky během tropické cyklony jsou často příčinou povodní
- v pobřežních oblastech je jejich účinek kombinován s bouřlivým vlnobitím a vysokým přílivem (náhlý vzestup vodní hladiny – tzv. bouřlivý příliv)
- velmi destruktivní účinky – např. cyklón v Bengálském zálivu v listopadu 1970 – 200 tisíc obětí, hurikán Andrew v srpnu 1992 v USA 43 obětí a škody za 25 miliard USD

4.3.2 Cirkulace a počasí mimotropických šířek

- západní přenos vzduchu (polární oblasti – východní proudění)
- intenzivní cyklonální činnost (cyklony, anticyklony)

4.3.2.1 Mimotropické cyklony

- **cyklona** (oblast nízkého tlaku vzduchu) – vzduch natéká proti směru pohybu hodinových ručiček dovnitř a v centru vystupuje nahoru (oblačno, deštivo)
- rozdělení cyklon podle vzniku:
 - a) **termické** – v létě nad pevninou a v zimě nad teplejšími oceány, nevelké rozměry, slabě vertikálně vyvinuty (do 1,5 km)
 - b) **frontální**
 - vysvětlení vzniku:
 - a) formuje se frontální vlna (vlny dynamicky stabilní a instabilní), studený vzduch proniká do teplého a teplý vyklouzává nad studený, pokles tlaku vzduchu
 - b) stadium mladé cyklony – zesilují fronty, výkluz teplého vzduchu, formuje se teplý sektor, vírová cirkulace, tepelná a tlaková asymetrie
 - c) stadium okludování – okluzní fronta, teplý vzduch je vytlačován od povrchu (snížení těžiště → potenciální energie na kinetickou → do cirkulace více okolního vzduchu)
 - d) odumírání cyklony – teplý vzduch vytlačen od povrchu, cyklona teplotně symetrická (ve studeném vzduchu), kinetická energie spotřebovávána na tření, obnovuje se frontální rozhraní
- **regenerace cyklony** - jsou-li teploty na obou stranách okluze rozdílné
- **centrální cyklona** – symetrická, nepohyblivá, rozsáhlá a hluboká deprese (po několika regeneracích)
- pohyb cyklon ve směru všeobecného přenosu vzduchu ve střední a horní troposféře (zpravidla od západu k východu) – $30-40 \text{ km.h}^{-1}$
- **série (rodina) cyklon** – jednotlivé cyklony se vyvíjejí za sebou a vytváří řetězec v severním Atlantiku nebo Pacifiku - každá cyklona se pohybuje na severovýchod, prohlubuje se a pak okluduje – proto cyklony přicházející na západ Evropy jsou již často okludované; meridionální výměna vzduchu

4.3.2.2 Anticyklony

- **anticyklona** (oblast vysokého tlaku vzduchu) – vzduch klesá v centru a vytéká po směru pohybu hodinových ručiček (jasné počasí)

- vznik: termicky (ochlazování vzduchu od povrchu) nebo ve spojení s cyklonami na frontách
- dělení anticyklon podle charakteru přízemního tlakového pole a jeho změn:
 - a) **stacionární subtropické anticyklony** (např. Azorská, Havajská) – 10-40° z.š. nad oceány, 3000-4000 km, tlak o 5-20 hPa vyšší než průměrný tlak na rovnoběžce, vertikálně vyvinuty, na periférii pasáty
 - b) **putující anticyklony** – hřebeny vysokého tlaku vzduchu mezi dvěma cyklonami stejné série
 - c) **anticyklony**, uzavírající sérii cyklon – vznikají z putujících anticyklon, jejichž pohyb se zastavil nebo přestal
 - d) **stacionární (sezónní) studené anticyklony mírných šířek** (Sibiřská, Kanadská) – přes 3000 km, přízemní inverze (600-800 m), tlak do 1040 hPa, slabě vertikálně vyvinuty
 - e) **arktické a subarktické zimní anticyklony** – mohutná inverze, stálost, silná divergence proudnic a větry na periférii
- počasí: slabé větry, převládající sestupné pohyby → pěkné počasí (historie VH)
 - a) jasno (Cu humilis, popř. vlnová oblaka Sc, Ac), sucho, v noci radiační mlha
 - b) oblaka St, Sc s mrholením a mlhami (podzim, zima)

4.3.2.3 Mimotropické monzuny

- monzuny mírných šířek ve východní Asii (sezónní střídání tlaku vzduchu na pevnině)
- „evropský monzun“

4.3.2.4 Typy cirkulace mimotropických šířek

- a) **zonální typ**
obvykle přenos vzduchu ve směru západ-východ (nízký tlak ve vyšších šířkách, vysoký v nižších) – postup pohyblivých cyklon a anticyklon – zeslabena meridionální výměna tepla – Evropa: advekce vzduchu z Atlantského oceánu (zima – teplý vzduch, léto – studený vzduch)
 - b) **meridionální typ**
přenos vzduchu v meridionálním směru (nepohyblivé studené centrální cyklony a teplé blokuující anticyklony vedle sebe) – Evropa: vpády studeného AV nebo teplého TV
- **cirkulační indexy** – charakterizují cirkulaci na základě rozdílů tlaku vzduchu mezi klíčovými oblastmi, např.:
 - **Southern Oscillation Index** – viz ENSO (kap. 7.3)
 - **North Atlantic Oscillation Index** (NAOI) – rozdíl normovaného (průměr dělený směrodatnou odchylkou) přízemního tlaku vzduchu mezi Lisabonem (Azorská výše) a Stykkisholmurem (Islandská níže) – kladné NAOI: intenzivní západní cirkulace v Evropě

4.4 VŠEOBECNÁ CÍRKULACE NA ZEMI

4.4.1 Tropická zóna konvergence (TZK) a monzunová cirkulace

- TZK se meridionálně posunuje během roku
- v oblasti Asie je zimní sibiřská anticyklona vystřídána letní iránskou níží, což má vliv na vznik monzunů

4.4.2 Subtropické pásmo vysokého tlaku vzduchu

- na jižní polokouli nad oceány tři velké oblasti vysokého tlaku vzduchu po celý rok, v červenci další nad Austrálií (ochlazení pevniny)
- na severní polokouli dvě velké anticyklony nad oceány – **Azorská** nad Atlantským a **Havajská** nad Tichým oceánem, zesilují od ledna k červenci a posunují se více k severu
- východní část anticyklon sušší (intenzivnější subsidence), západní vlhčí (slabší subsidence, vzduch putující nad oceány se sytí vlhkostí)

4.4.3 Proudění a tlak ve vyšších šířkách

- výrazné rozdíly v rozložení pevnin a oceánů na obou polokoulích ovlivňují tvorbu tlakových center
- na severní polokouli v zimě nad pevninou Sibiřská a Kanadská anticyklona (chladný vzduch k jihu), nad oceány Islandská a Aleutská níže spíše jako oblasti v průměru nižšího tlaku vzduchu
- na severní polokouli v létě nižší tlak na kontinentech, výrazná Asijská níže, Azorská a Havajská výše
- na jižní polokouli díky výrazné anticykloně nad Antarktidou, obklopené pásmem nižšího tlaku, výrazná západní cirkulace

4.5 VŠEOBECNÁ CÍRKULACE VE VYŠŠÍCH VRSTVÁCH ATMOSFÉRY

- proudění ve vyšších vrstvách troposféry:
 - a) západní větry od asi 25° z.š. k pólům, kde vytváří cirkumpolární cirkulaci kolem polárních níží
 - b) tropické pásmo vysokého tlaku vzduchu mezi 15-20° s.š. a j.š.
 - c) východní větry mezi oběma tropickými pásy vysokého tlaku

4.5.1 Rossbyho vlny

- vlny vznikající v západním výškovém proudění na severní polokouli na styku chladného polárního a teplého tropického vzduchu hlavně v zimních měsících (nejsilnější cirkulace):
 - a) počáteční stadium – jet-stream a západní proudění severně od průměrné pozice – silné západní větry – slabá meridionální výměna
 - b) přechodná stadia – proudění se rozšiřuje, roste jeho rychlost, zvlnění s rostoucí amplitudou
 - c) koncové stadium – komplexní narušení a buněčná fragmentace proudění – hluboké studené deprese v nižších šířkách a hluboké teplé blokující anticyklony ve vyšších šířkách mírného pásu
- fragmentace obvykle začíná na východě a šíří se na západ asi o 60° délky za týden

4.5.2 „Jet streamy“ (trysková proudění)

- **jet stream** – úzké zóny ve vyšších vrstvách atmosféry, kde proudění dosahuje velmi vysoké rychlosti (při velkých teplotních gradientech), maximální rychlost klesá od centra k okrajům:
 - polární jet stream – 35-65° z.š. obou polokouli mezi chladným polárním a teplým tropickým vzduchem (okraj Rossbyho vln) ve výšce 10-12 km s rychlostmi 350-450 km.h⁻¹
 - subtropický jet stream – při tropopauze nad Hadleyho buňkou (teplotní kontrast na okraji buňky) s rychlostmi 345-395 km.h⁻¹
 - tropický jet stream – směřuje z východu na západ, jen v létě, omezen na jihovýchodní Asii, Indii a Afriku

4.5.3 Cirkulace ve vertikálním řezu