

4 Primárna, sekundárna a terciálna cirkulácia atmosféry.

Cieľ štúdia témy:

Študent získa znalosti o globálnej cirkulácii atmosféry Zeme, o cirkulácii atmosféry v rámci tlakových útvarov a o lokálnej cirkulácii.

Na základe tejto témy študent:

- pochopí príčiny rozmiestnenia rôznych klimatických pásiem Zeme;
- bude vedieť vysvetliť vznik trojbunkového modelu primárnej cirkulácie atmosféry;
- bude schopný popísať vznik a smer prevládajúceho prúdenia v rôznych klimatických pásmach;
- bude schopný vysvetliť vznik lokálnych vetrov v horách alebo na pobreží a dennú dobu ich výskytu a priebeh.

Hlavné body – pojmy k zapamätaniu:

- Všeobecná cirkulácia Zeme – primárna cirkulácia;
- Sekundárna cirkulácia;
- Terciálna cirkulácia (miestne vetry);
- Katabatický a anabatický vietor;
- Bríza;
- Tryskové prúdenie;
- CAT.

Kľúčové slová:

- Coriolisova sila, cyklóna, anticyklóna, konvergencia, divergencia, komínový efekt, damper efekt.

Základná študijná literatúra:

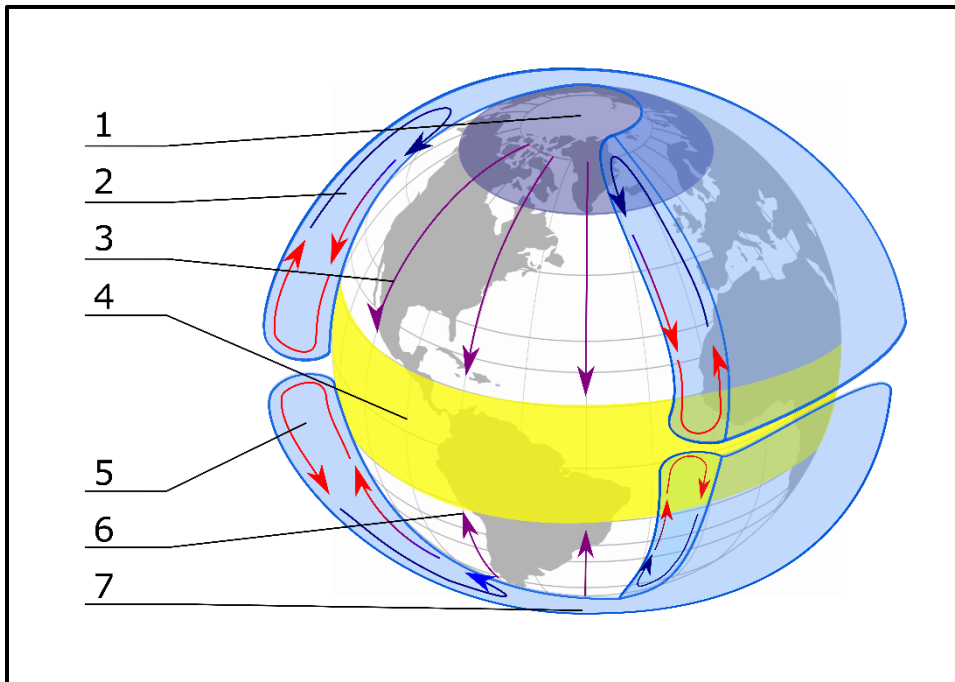
- Petr Dvořák, Letecká meteorologie
- Sobota: Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů ATPL(A), Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno 2002
- Kulčák a kol.: Učebnice pilota vrtulníku PPL(H) část II, akademické nakladatelství CERM s.r.o Brno, 2009
- ATPL Ground Training Series Meteorology, Book 9, EASA - First Edition Revised for NPA 29, CAE Oxford Aviation Academy (Oxford) Limited 2018
- Kol. autorů: Meteorologický slovník výkladový terminologický, Academia Praha, 1993

4.1 Všeobecná cirkulácia atmosféry – primárna cirkulácia

Za primárnu cirkuláciu Zeme považujeme pohyb vzduchu okolo celej planéty. Nazývame ju i Všeobecná cirkulácia atmosféry. Za primárnu cirkuláciu ju označujeme z dôvodu mohutného pohybu vzduchových mäs, ktorý je rozhodujúci pri tvorbe rôznych klimatických pásiem Zeme. Primárna cirkulácia prináša logické zdôvodnenie tvorby spomínaných klimatických oblastí v globálnom pohľade.

Primárna cirkulácia je podmienená nerovnomerným ohrievaním Zeme čo je dôsledok nerovnomerného ohrievania zemského povrchu. Najviac ohrievanou oblasťou je ekvatoriálne pásmo. V ňom je priemerná ročná intenzita slnečného žiarenia najvyššia keďže slnečné lúče tam dopadajú takmer kolmo na zemský povrch počas celého roka. Najchladnejšou oblasťou Zeme sú póly. Vplyvom zakrivenia zemského povrchu sa to isté množstvo energie rozdelí na väčšiu plochu v porovnaní s rovníkom. Navyše veľká časť energie sa odráža späť do kozmického priestoru kôli príliš ostrému uhlu pod ktorým dopadá slnečné svetlo do oblastí pólův a taktiež sa veľa energie odráža od snehu a ľadu, ktorý pokrýva veľkú časť polárnych oblastí.

Vzniká tak teplotný kontrast medzi rovníkovou oblasťou a pólmi. Vo všeobecnosti platí, že oblasť rovníka je charakteristická oblasťami nižšieho tlaku vzduchu nazývaná rovníková níz (Equatorial Low) úzko spojená z NETCZ (Near Equatorial Tradewind Convergence Zone, alebo aj ITCZ – Intertropical Convergence Zone). Nad pólmi sa v podchladenom vzduchu udržiavajú Polárne tlakové výše. Pri takto jednoduchom rozložení tlakov by mala cirkulácia bez Coriolisovho efektu vyzeráť pomerne jednoducho a vytvorila by dve základné bunky po jednej na severnej a južnej hemisfére.



Obrázok 1 Hypotetická jednobunková cirkulácia bez Coriolisovho efektu

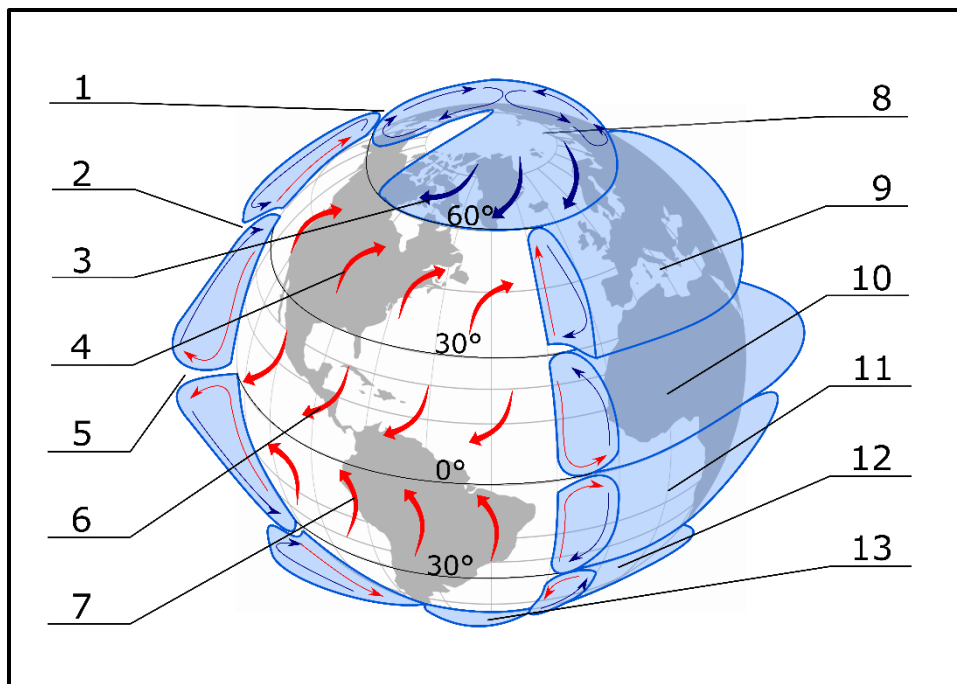
Kde:

- 1 - polárna tlaková výš, prízemná divergencia;
- 2 - vertikálny rez prúdenia v cirkulačnej bunke na severnej pologuli;
- 3 - smer prízemného prúdenia od pólu k rovníku na severnej pologuli;
- 4 - pás rovníkovej tlakovej níše, prízemná konvergencia (ITCZ);
- 5 - vertikálny rez prúdenia v cirkulačnej bunke na južnej pologuli;
- 6 - smer prízemného prúdenia od pólu k rovníku na južnej pologuli;
- 7 - polárna tlaková výš, prízemná divergencia.

Keďže Zem rotuje okolo svojej osi, predstavuje rotujúcu sústavu, a na častice pohybujúce sa v rámci rotujúcej sústavy pôsobí uchýľujúca Coriolisova sila. Coriolisov efekt spôsobí, že častice, ktoré sa začnú pohybovať od pólu k rovníku, nikdy nedosiahnu rovník. Po istom čase ich Coriolisov efekt vychýli do takej miery že sa začnú pohybovať po špirále a vytvárajú tak tri globálne bunky, ktoré nazývame:

- Polárna bunka (Polar Cell);
- Ferrelova bunka (Ferrel Cell);
- Hadleyho bunka (Hadley Cell).

Tieto bunky vytvárajú okolo zemegule semi-permanentné tlakové útvary ako sú polárne výše, subpolárne níše, subtropické výše a rovníkové níše. Rozloženie týchto tlakových útvarov určuje dlhodobý charakter počasia v prislúchajúcej oblasti, čím sa tvoria základné klimatické pásma Zeme.



Obrázok 2 Trojbunková schéma všeobecnej cirkulácie atmosféry Zeme s uplatnením Coriolisovho efektu

Kde:

- 1 - Komínový efekt tvoriaci pásmo tlakových níží;
- 2 - Padavý efekt tvoriaci subtropické tlakové výše;
- 3 - Východné polárne vetry;
- 4 - Západné vetry miernych širok – pasáty;
- 5 - Komínový efekt tvoriaci ITCZ - equatoriálna tlaková níž;
- 6 - Severovýchodné obchodné vetry – antipasáty;
- 7 - Juhovýchodné vetry, južné antipasáty;
- 8 - Polárna bunka;
- 9 - Ferrelova bunka;
- 10 - Hadleyho bunka;
- 11 - Hadleyho bunka;
- 12 - Ferrelova bunka;
- 13 - Polárna bunka.

Pre jednotlivé cirkulačné bunky sú typické veterné pomery pri zemi i vo výškach, strieda sa konvergentné i divergentné prúdenie ako výškové tak i prízemné, čo dáva predpoklad vzniku typických tlakových útvarov pre dané oblasti.

4.1.1 Polárna bunka

Najchladnejšia bunka sa nazýva polárna bunka a nachádza sa okolo pólů Zeme. Ak vezmeme do úvahy iba severnú pologuľu, tak sa rozprestiera od severného polárneho kruhu k severnému pólu. Pozostáva zo zostupných prúdů chladného a suchého vzduchu nad pólom (damper efekt) a výstupného prúdu vzduchu v oblasti polárneho kruhu (komínový efekt). Zostupné podchladené prúdy nad oblasťou pólu vytvárajú polárnu tlakovú výš. Primárna cirkulácia je charakteristická polárnymi východnými vetrami v nižších vrstvách ktoré tak tvoria anticyklónálnu cirkuláciu, typickú pre prízemné tlakové výše. Naopak, vo vyšších vrstvách atmosféry sa tvorí cyklónálna cirkulácia. Je najnižšou bunkou primárnej cirkulácie.

4.1.2 Ferrelova bunka

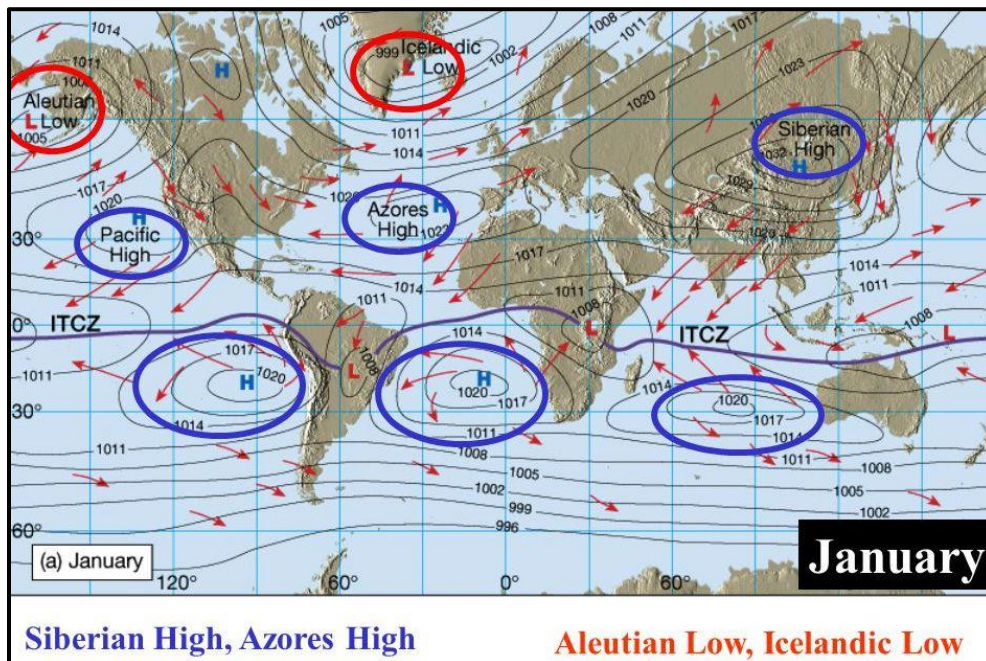
Rozprestiera sa od obratníka raka k polárnemu kruhu. Cirkuláciu tvoria výstupné prúdy (komínový efekt) v oblasti polárneho kruhu a zostupné prúdy (damper efekt) v oblasti obratníka raka. Charakteristické prúdenie v nižších vrstvách má západný smer, vo vyšších vrstvách anticyklónálne západné prúdenie. Spôsobuje tvorbu subtropických tlakových výší v oblasti obratníkov, čo korešponduje s výskytom svetových púští na zemeguli. Naopak oblasti okolo polárneho kruhu kde sa prejavuje komínový efekt, a teda tam prevládajú stúpavé prúdy a tvoria sa početné tlakové nízky sú typické premenlivým a na zrážky bohatým územím. Následkom toho sa na severnej pologuli vytvoril najrozsiahlejší súvislý lesný porast na Zemi tiahnuci sa cez Severnú Ameriku, Škandináviu a Rusko. Tento súvislý lesný porast dostal pomenovanie *tajga*.

4.1.3 Hadleyho bunka

Nachádza sa od oblasti ITCZ do oblasti obratníkov. Tvoria ju zostupné prúdy v oblasti obratníka (damper efekt) a výstupné teplé a vlhké prúdy (komínový efekt) v oblasti rovníka. Primárna cirkulácia je charakteristická tropickými východnými vetrami v nižších vrstvách (NE Trade Winds) a západnými smermi vetra vo vyšších vrstvách. Je to najvyššia bunka primárnej cirkulácie atmosféry, čo je dôsledok pomalšieho poklesu tlaku vzduchu v teplejšom vzduchu. Typické pre túto bunku sú časté búrky s veľkými úhrnmi zrážok v nočných hodinách. Okolo ITCZ sa rozprestierajú tropické dažďové pralesy.

4.1.4 Semipermanentné tlakové útvary

Semipermanentné tlakové útvary majú svoj názov odvodený od ich malej pohyblivosti. Sezónne sa však predsa posúvajú a to tlakové níše v zime viac na západ a tlakové výše na východ.



Obrázok 3

Typické rozmiestnenie semipermanentných tlakových útvarov v januári

Polárna tlaková výš. (cold core)

Vzniká ako dôsledok zostupný prúdov silne podchladeného a suchého vzduchu v oblasti pólů. Vo výške je charakteristická konvergencia a pri zemi divergentné prúdenie, čo vytvára anticyklonálnu rotáciu v dôsledku Coriolisovho efektu. Stĺpec chladného vzduchu siaha až do tropopauzy okolo 6-8 km. Má skratku PH podľa anglického názvu „Polar High“

Subpolárne níše. (cold core)

Poznáme dve výrazné subpolárne tlakové níše a to:

- Aleutská tlaková níz;
- Islandská tlaková níz.

Aleutská tlaková níz sa rozprestiera v okolí Aleutských ostrovov a má značný vplyv na ráz počasia nad Beringovým morom a západom Aljašky. V zime sa presúva viac nad Beringovo more, v lete viac ovplyvňuje pobrežie USA a Kanady. Spôsobuje tvorbu najvyššej snehovej pokrývky na svete v štáte Washington (okolo 15 m ročne).

Islandská tlaková níz sa v zime vyskytuje západne od Islandu občas zasahuje až k severovýchodu USA ku štátu Maine. V lete sa presúva nad Island a ovplyvňuje počasia najmä nad západnou Európou. Obe níše vznikajú interakciou medzi Ferrelovou a Polárnou bunkou, a to divergenciou vo výškach a konvergentným prúdením pri zemi. To spôsobuje tzv. komínový efekt. Stĺpec chladného vzduchu vystupuje až do tropopauzy, v týchto zemepisných šírkach je to 9-11 km.

Subtropické výše: (warm core)

Formujú sa ako dôsledok konvergencie vo výškach medzi Ferrelovou a Hadleyho bunkou a divergencie pri zemi. Nazývame ich Pacifická tlaková výš a Bermudsko-Azorská tlaková výš. Majú opačný postup ako subpolárne níše. V letných mesiacoch sa viac presúvajú na západ a v zimných viac na východ a tak ovplyvňujú počasia v daných oblastiach. Poloha Bermudsko-Azorskej tlakovej výše má významný vplyv na trasy vznikajúcich hurikánov, ktoré postupujú po jej južnom okraji a buď zasiahnu oblasť Karibiku a CONUS (Continental US) alebo vyklzavajú po západnom okraji tlakovej výše smerom nad Bermudy. Stĺp teplého suchého vzduchu siaha až do výšok okolo 15

km. Skratky týchto útvarov sa odvíjajú od ich anglických názvov. Pacifická tlaková výš od „Pacific High“ teda PH a Bermudsko-Azorská tlaková výš má intuitívne skratku BAH.

Zvláštnu kategóriu tvorí Sibírska tlaková výš. Vzniká jednak z dynamických príčin ako dôsledok interakcie Hadleyho a Ferrelovej bunky, ako aj v dôsledku enormného podchladzovania nad obrovským kontinentálnym územím v zimnom období. Oblasť Jakutska ktorá je pod vplyvom Sibírskej tlakovej výše je známa ako najchladnejšie mesto na severnej pologuli. Nejedná sa teda o typickú „warm core“ subtropickú tlakovú výš, no jej poloha nie je ani typická pre polárnu tlakovú výš. Je to najrozsiahlejší tlakový útvar na zemi a boli v ňom zaznamenané rekordné hodnoty tlaku vzduchu.

Ekvatoriálna níz: (warm core)

Tiež označovaná ako ITCZ alebo NETCZ. Tvorí sa ako dôsledok konverencie v oblasti rovníka a divergencie vo výškach. (komínový efekt). Stĺp teplého a vlhkého vzduchu vystupuje najvyššie na Zemi až do výšok okolo 22 km. Počas leta sa presúva viac na sever ako dôsledok prehrievania severnej pologule. Jej posun spôsobuje monzúnový charakter počasia v rovníkovej oblasti, ktorý je najvýraznejší v Ázii, kde sú dosahované najvyššie ročné úhrny zrážok.

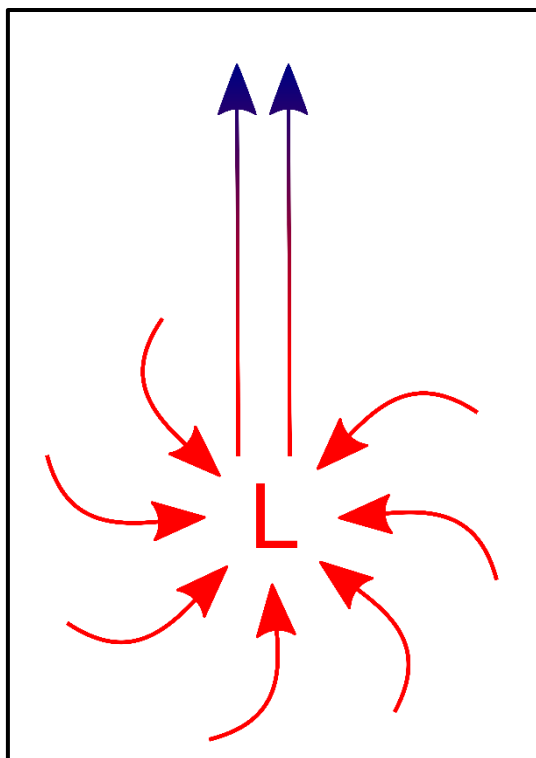
Z rozloženia výšok tlaku (výškové tlakové útvary) vyplýva, že výškové tlakové výše budú v oblasti rovníka a výškové tlakové níz sa nachádzajú v oblasti pólů. Z toho vyplýva takmer výlučné západné alebo zonálne prúdenie atmosféry vo vyšších vrstvách atmosféry, najmä v oblastiach od 20-25° do 65-70°.

4.2 Sekundárna cirkulácia atmosféry

Primárna cirkulácia atmosféry vytvára svojou dynamikou tlakové útvary v rámci ktorých je prúdenie je popísané *sekundárnou* cirkuláciou atmosféry, popisuje teda prúdenie vzduchu v jednotlivých synoptických útvaroch. Na rozdiel od globálneho prúdenia tu hovoríme i o cirkulácii v *synoptickom merítke*. Jedná sa o popis veľkoplošných tlakových útvarov zaberaajúcich horizontálne 10^2 až 10^3 kilometrov. To zodpovedá tlakovým útvarom ako sú cyklóny a anticyklóny, prípadne brázdy nízkeho tlaku alebo hrebene vysokého tlaku vzduchu. definície a základné vlastnosti už boli popísané v predchádzajúcich kapitolách o vetre a tlakových útvaroch. Prúdenie okolo nich bude teraz rozobrané podrobnejšie.

4.2.1 Cyklóna – tlaková níz

Tlakový níz, alebo cyklóna je tlakový útvar, v ktorom je najnižší tlak vzduchu v strede tlakového útvaru. Barický gradient smeruje do jej stredu. Pohyb častice na začiatku smeruje do stredu, no vplyvom Coriolisovej sily je častica nútená na severnej pologuli pohybovať sa smerom vpravo od pôvodnej dráhy určenej výhradne silou barického gradientu. Odchyľovanie sa bude uplatňovať až do okamihu, kedy sa sily pôsobiace na časticu vyrovnajú a vzduch bude cirkulovať okolo stredu tlakového útvaru. Výsledný pohyb bude proti smeru hodinových ručičiek pozdĺž uzatvorených izobár. Tlakový útvar charakteristický nižším tlakom vzduchu ako má okolie no bez uzavretých izobár nazývame brázda nízkeho tlaku vzduchu.



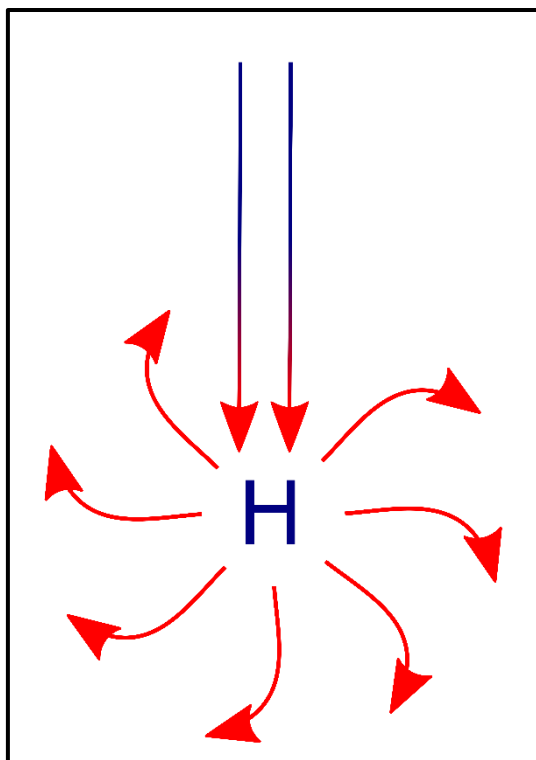
Obrázok 4 Schéma prúdenia v rámci tlakovej níže s komínovým efektom

Súčasne vzniká pri zemi konvergentné prúdenie a vzduch vystupuje v tlakovej níži do vyšších vrstiev kde sa rozteká do strán v divergentnom prúdení. Práve divergentné prúdenie vo vyšších vrstvách atmosféry býva dynamickou príčinou cyklogenézy – tvorby tlakovej níže. Konvergencia pri zemi a divergencia sú hlavnými dynamickými príčinami vzniku tlakových níží. Pri zániku divergentného prúdenia vo výškach sa tlaková níž začína vyplňať, nastáva cyklolózia (opak cyklogenézy).

Tlakové níže môžu vznikať i z termických príčin. Nad púšťami počas dňa sa vytvára plytká termálna tlaková níž, ktorá vzniká prehriatím spodnej vrstvy vzduchu, čím sa znižuje hustota vzduchu v malých výškach a následne i tlak. Termálne tlakové níže vznikajú i pri nerovnomernom prehrievaní vzduchu nad podložími s rôznym albedom. V nočných hodinách sa s klesajúcou teplotou termálne tlakové níže obvykle vyplňajú alebo sa vytvárajú nad kontrastne teplejšími povrchmi ako je napríklad more alebo jazerá.

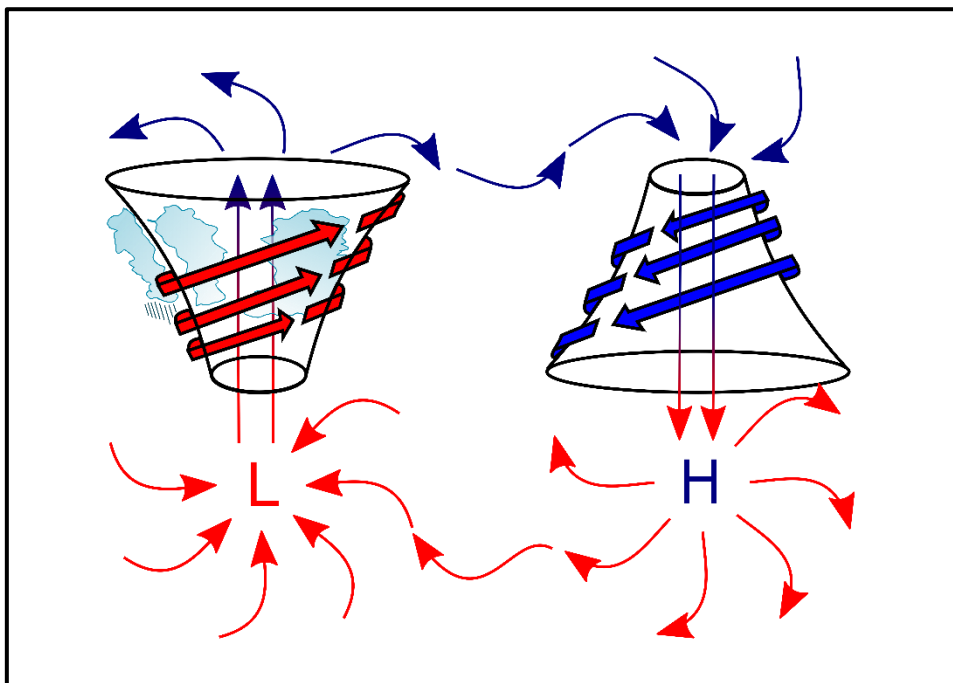
4.2.2 Anticyklóna – tlaková výš

Tlaková výš je útvar s najvyšším tlakom v strede. Barický gradient smeruje von z tlakového útvaru. Častica vzduchu na začiatku pohybu smeruje v smere barického gradientu no súčasne je jej pohyb vplyvom Coriolisovej sily na severnej pologuli vychýľovaný vpravo. Pri dosiahnutí rovnovážneho stavu síl častice cirkulujú okolo stredu tlakovej výše v smere hodinových ručičiek. Pre anticyklónu sú v priečnom reze charakteristické zostupné prúdy tvoriace divergentné prúdenie pri zemi a výšková konvergencia. Tento systém padavého vzduchu nazývame damper efekt. Vzduch sa pri zostupe adiabaticky ohrieva a vysušuje. To má za následok rozpadávanie sa oblačnosti. Pre tlakové výše bude charakteristické slabé prúdenie a bezoblačné počasie spojené s radiačnou inverziou v nočných hodinách.



Obrázok 5 Schéma prúdenia vzduchu v tlakovej výši s damper efektom

V dôsledku adiabatického ohrievania klesavých prúdov je pre tlakovú výš typická výšková teplotná inverzia, ktorú nazývame subsidenčná teplotná inverzia. Názov subsidenčná inverzia je odvodený od spôsobu formovania tohto javu (subsistencia – pokles). Tlakové výše a tlakové nízky spolu tvoria uzavretý cirkulačný systém, ktorý nazývame sekundárna cirkulácia atmosféry.



Obrázok 6 Cirkulačný systém vzduchu medzi tlakovou nížou a tlakovou výšou

Veľké objemy vzduchu si tlakové útvary navzájom vzájomne vymieňajú prostredníctvom cirkulačných buniek tvorených systémom: *prízemná konvergencia – komín – výšková divergencia – výšková konvergencia –damper prízemná divergencia*.

Na obrázku je znázornený uzavretý cirkulačný systém v synoptickom merítke, ktorý na rozdiel od primárnej cirkulácie nezasahuje celú hemisféru, ale uplatňuje sa iba v rámci interakcie medzi synoptickými útvarmi. Odtiaľ je odvodený názov tohto typu cirkulácie atmosféry, teda sekundárna cirkulácia.

4.3 Terciálna cirkulácia atmosféry

Terciálnu cirkuláciu atmosféry nazývame i lokálne alebo miestne vetry. Ide o termicky indukovanú cirkuláciu vzduchu v mikromerítke. Jedná sa o vplyv miestnych zvláštností ako sú reliéf, vzdialenosť od mora či iných väčších vodných plôch v rôznej dennej dobe. Prejavujú sa najmä v nevýraznom tlakovom poli keď barický gradient závisí hlavne od mikroklimatických pomerov.

V rámci terciálnej cirkulácie rozoznávame vzhľadom na čas výskytu rozoznávame dva hlavné typy vetrov:

- Nočný jav;
- Denný jav.

Vzhľadom na reliéf a prítomnosť vodnej masy v okolí poznáme:

- Horská bríza;
- Údolná bríza;
- Pevninská bríza;
- Morská bríza.

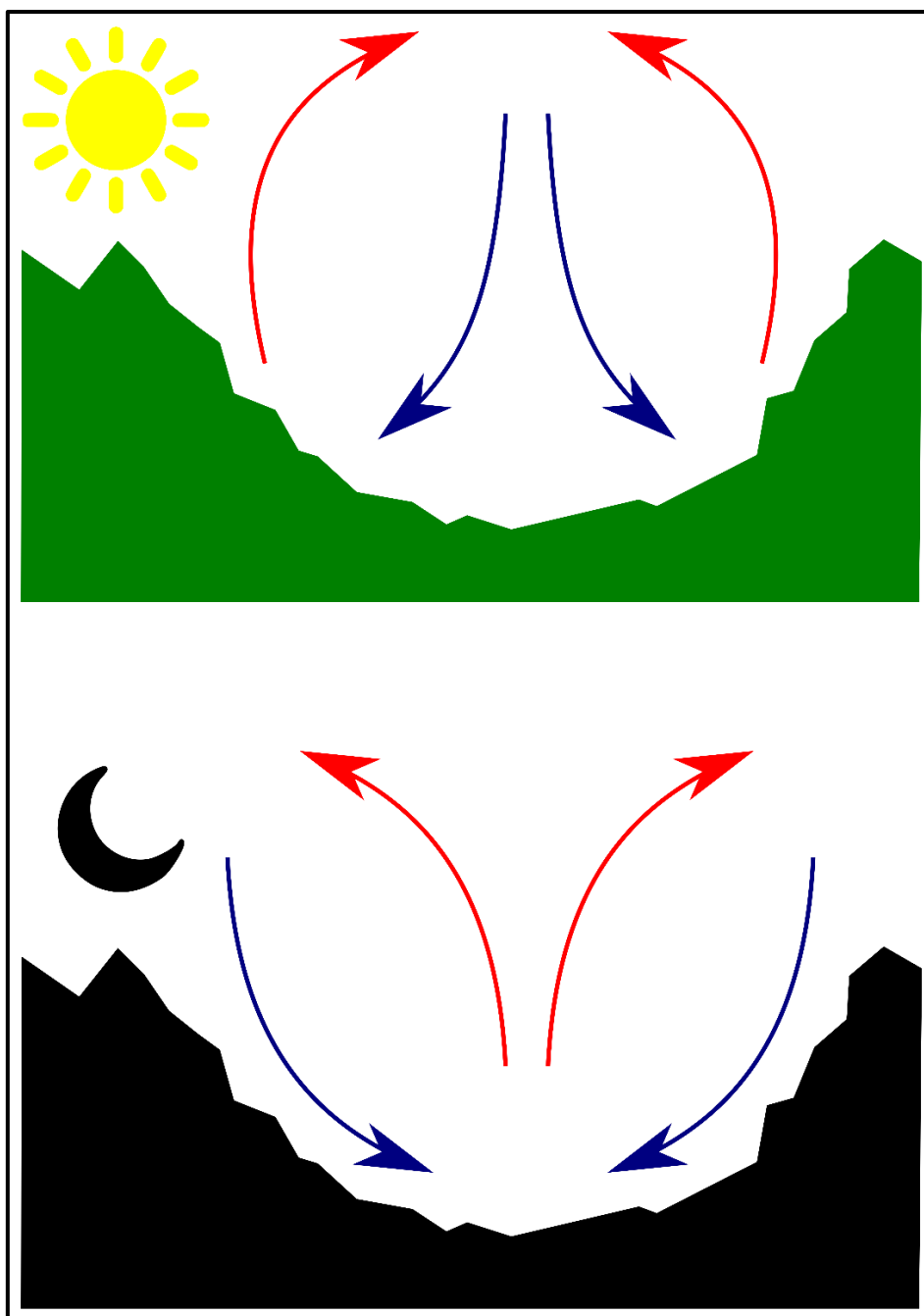
Pred samotným popisom jednotlivých druhov vetra je nutné si zadefinovať anabatický vietor a katabatický vietor. Výraz anabatický pochádza z gréckeho „anabatos“ a znamená stúpať. *Anabatický vietor* je vyjadrením pre *stúpavý vietor*. Výraz „katabatický“ pochádza z gréckeho slova „katabasis“, čo znamená klesť. Katabatický vietor teda znamená klesavý, zostupný alebo padavý vietor. Vo všeobecnosti však platí pravidlo, že *vietor dostáva pomenovanie podľa toho odkiaľ fúka*.

4.3.1 Horská bríza

V anglickom jazyku je zaužívaný termín „Mountain Breeze.“ Je to nočný typ lokálneho vetra. Ako z jeho názvu vyplýva, fúka z hôr smerom do údolí je to teda druh katabatického vetra. Vzduch sa pri ochladzovaní od zeme stáva ťažším ako vzduch vo voľnej atmosfére a steká po svahoch do údolia. V údoliach sa hromadí chladný vzduch, pričom na hrebeni sa ochladzuje pomalšie. Jav sa začína približne po západe slnka a maximum dosahuje tesne pred jeho východom, čo má súvis s denným chodom teploty. Maximum rýchlosti vetra sa vyskytuje pri dosiahnutí minimálnej teploty vzduchu. Zvláštnym typom horského vetra je tzv. ľadovcový vietor (glacier wind). Vzniká ochladzovaním vzduchu od zasneženého vrcholu hory. Dôsledkom toho, že barický gradient ktorý vzniká pri rozdieloch tlakov medzi teplejším a chladnejším vzduchom je podporovaný i gravitačným zrýchlením, môže horská bríza dosahovať značných rýchlostí. Rýchlosť vetra sa môže ešte viac zvyšovať vplyvom orografie, pri zužovaní priestoru, v ktorom vzduch klesá nadol, napríklad v kaňonoch, v hlbokých úzkych údoliach alebo v korytách riek. Od toho je odvodený anglický výraz „channeling“.

4.3.2 Údolná bríza

Tento typ vetra v angličtine známy ako „Waley Breeze“ je denný typ vetra a jedná sa o anabatický vietor. Fúka z údolia smerom hore svahmi kopcov. Pri prehriatí prízemnej vrstvy sa vzduch priľahlý k podlažiu stáva ľahším ako vzduch vo voľnej atmosfére a začne stúpať pozdĺž svahov. Tak sa vytvára jemný vánok smerujúci hore svahom. Tento jav sa začína vyvíjať v ranných hodinách a maximum rýchlosti vetra je pozorovaný počas popoludnia pri dosiahnutí maximálnej teploty vzduchu. K večeru tento jav ustáva. Nad horským hrebeňom môže vznikať kopovitá oblačnosť, a to skôr ako v údoliach alebo na podhorí. Údolná bríza môže byť spúšťacím mechanizmom pri tvorbe búrok v horských oblastiach, pričom nad rovinatým terénom sa pri tej istej meteorologickej situácii búrky vyskytovať nemusia. Údolná bríza nie je tak intenzívna ako horská bríza. Stúpajúce objemy vzduchu sa pohybujú proti smeru pôsobenia gravitačného zrýchlenia, čo rýchlosť vetra spomaľuje.



Obrázok 7 Schéma prúdenia vzduchu, v hornej časti obrázka pri údolnej bríze, v dolnej časti obrázka pri horskej bríze

4.3.3 Morská a jazerná bríza

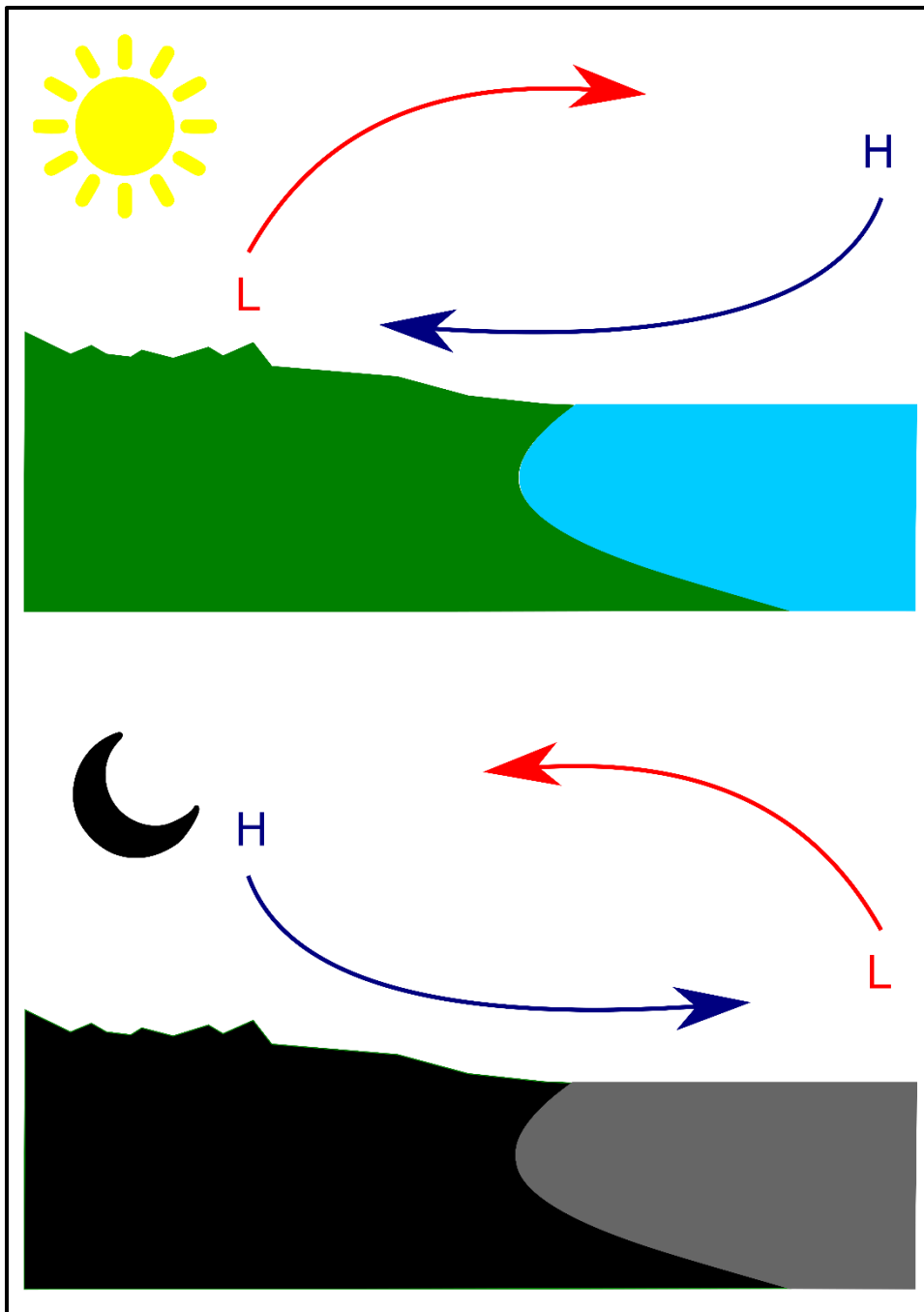
Tento denný typ vetra sa vyskytuje na pobrežiach morí alebo veľkých jazier. V anglickom jazyku sú zaužívané termíny „Sea Breze“ pre morskú brízu a „Lake Breeze“ pre jazernú brízu, podľa toho kde sa tento jav vyskytuje. Počas dňa sa pevnina ohrieva efektívnejšie ako vodná masa v dôsledku nižšieho albeda. Vodná masa je charakteristická svojou „teplotnou zotrvačnosťou“ a ohrieva a ochladzuje sa pomalšie ako pevnina. Nad pevninou sa takto vytvorí plytká termická tlaková níz. Vzduch nad vodou ostáva chladnejším a núti tak vzduch nad vodou klesať, čím sa vytvára plytká tlaková výš. To má za následok prúdenie chladnejšieho vzduchu z mora nad pevninu. Nad pevninou sa vzduchu ohrieva a stúpa, pritom vzniká kopovitá oblačnosť, ktorá sa v popoludňajších hodinách môže rozvinúť až do búrok. Kopovitá oblačnosť sa pritom vyskytuje paralelne s čiarou pobrežia. Jav začína po tom čo teplota vzduchu nad pevninou dosiahne vyššiu hodnotu ako teplota vzduchu nad

vodou. Maximum rýchlosti vetra je dosahovaná popoludní a súvisí s výskytom maximálnych denných teplôt. K večeru, po vyrovnaní rozdielu teplôt vzduchu vietor slabne.

4.3.4 Pevninská bríza

Jedná sa o nočný typ vetra. V anglickom jazyku je zaužívaný pojem „Land Breeze“. Pevnina sa v noci ochladzuje rýchlejšie ako more a s ňou sa ochladzuje i príľahlá vrstva vzduchu, ktorá nad pevninou klesá a vytvára tak slabú tlakovú výš. Teplejší vzduch nad morom alebo jazerom vytvára oblasť nižšieho tlaku vzduchu do ktorej začne od pevniny prúdiť chladnejší vzduch od pevniny. Tu sa nad vodnou masou ohrieva, navyše naberie dodatočnú vlhkosť a začne stúpať, pričom sa nad vodou formujú kopovité mraky ktoré môžu prerastať do búrkovej oblačnosti. Pevninská bríza začína po západe slnka a maximum rýchlosti vetra sa dosahuje pred východom slnka, čo má priamy súvis s výskytom minimálnej dennej teploty v uvedenom úseku dňa. Čiara kopovitej oblačnosti nad vodou paralelne lemuje pobrežie.

Lokálne vetry sú považované za miestne zvláštnosti mikroregiónov a do značnej miery ovplyvňujú mikroklimatické pomery v konkrétnej oblasti. Ovplyvňujú nie len letectvo no i námorníctvo, rybolov, či majú vplyv na výskyt rôznych endemitov.



Obrázok 8

Schéma prúdenia vzduchu na pobreží. Hore morská bríza, dole pevninská bríza

4.3.5 Tryskové prúdenie

Jetstream alebo slovenský výraz tryskové prúdenie je výraz pre silné kvázhorizontálne prúdenie koncentrované v úzkych prúdoch. Môžu byť dlhé aj niekoľko tisíc km, stovky km široké a tri až 5 km hrubé. Majú niekoľko charakteristík. Minimálna rýchlosť vetra na to aby bol považovaný za jetstream je podľa WMO 60 kt. Os tryskového prúdenia je v podstate oblasť výskytu najsilnejších vetrov v rámci priestoru jetstreamu. JET maximum je ohraničený priestor najsilnejších vetrov na ose tryskového prúdenia.

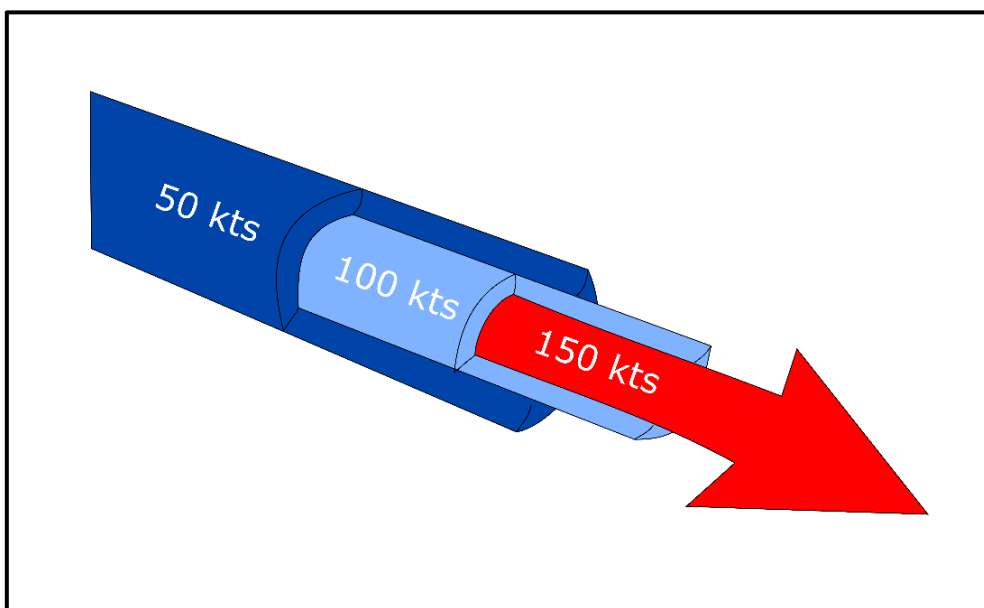
Jetstreamy sa nachádzajú v tropopauze alebo v spodnej vrstve stratosféry okolo výšok 300-200 hPa. Jednou z príčin vzniku tryskového prúdenia sú **silné horizontálne rozdiely teplôt** vo výškach v dôsledku nerovnomerného ohrevu Zeme na rovníku a na pólach. Tropopauza v dôsledku konštantného ohrevu nad

rovníkom siaha do väčších výšok ako nad pólmi, kde prebieha konštantné ochladzovanie a stlačovanie vzduchu. Tento kontrast vytvára veľký teplotný gradient a teda i barický gradient, ktorý iniciuje vietor.

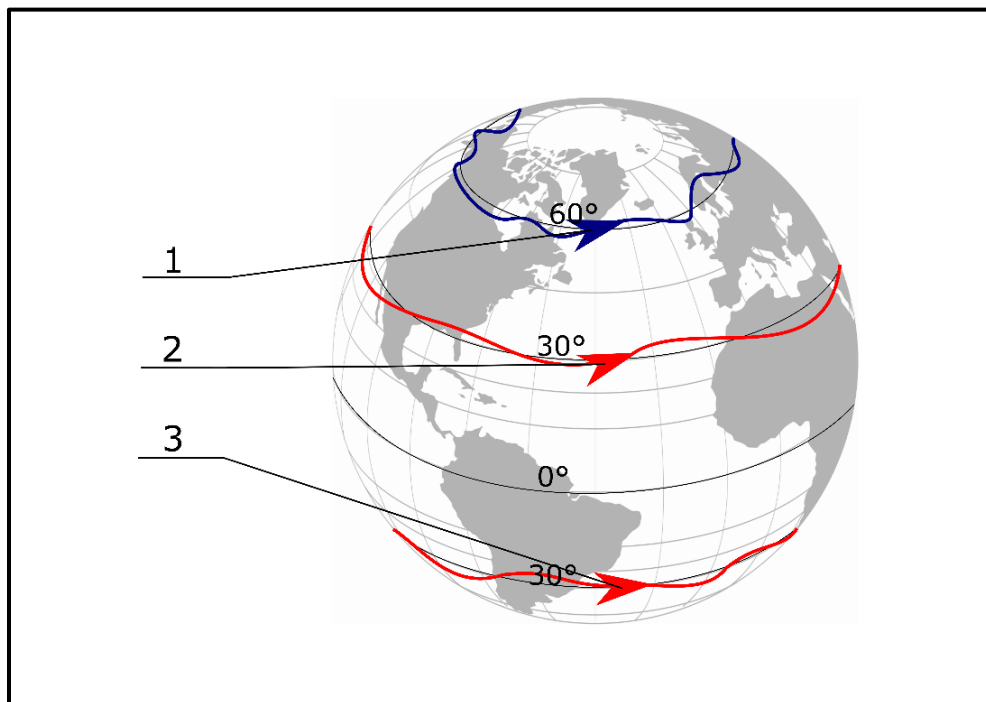
Druhou príčinou je zachovanie uhlovej hybnosti rotácie Zeme a jej atmosféry. Ak častica putuje od rovníka k pólu zvyšuje v dôsledku tohto zákona svoju rýchlosť, podobne ako krasokorčuliar pritiahnutím rúk k telu zvýši rýchlosť otáčania v piruete.

Poznáme tri druhy jetstreamov:

- Arktický;
- Polárny;
- Subtropický.



Obrázok 9 Rýchlosť jet-streamov



Obrázok 10 Výskyt jet-streamov

Kde:

- 1 – Polárny jet-stream;
- 2 – Subtropický jet-stream;
- 3 – Subtropický jet-stream.

Arktický jetstream

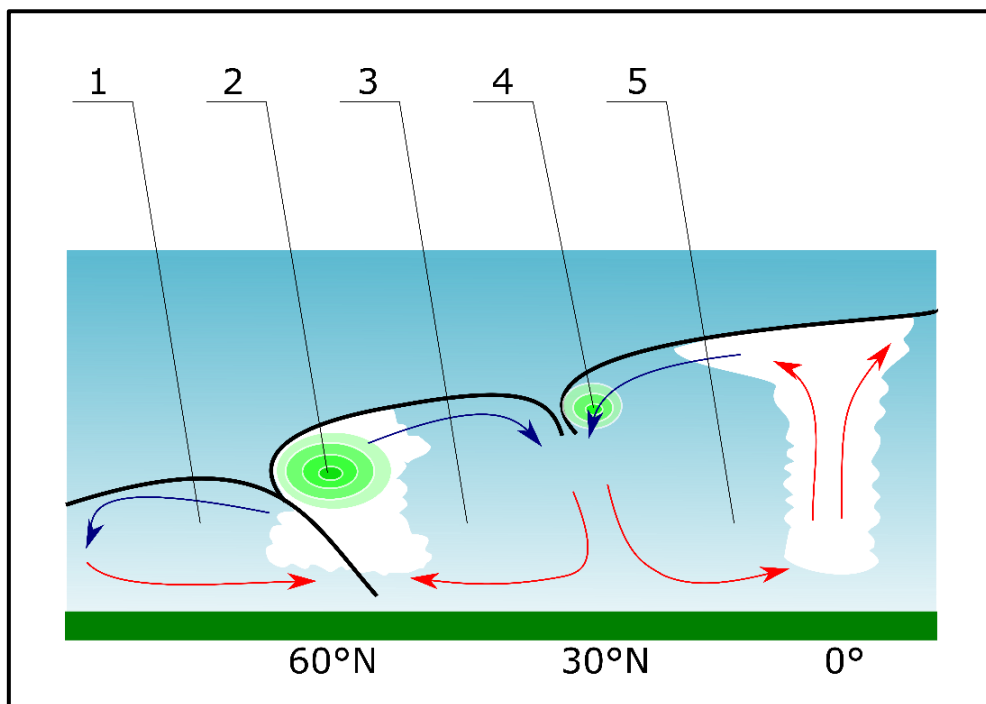
Je spojený s Polárnou bunkou v rámci primárnej cirkulácie atmosféry. Formuje sa z dôvodu silných horizontálnych teplotných kontrastov. Zachovanie uhlovej hybnosti hrá malú úlohu. Má najnižšiu výšku a je teda najteplejší so všetkých JETov. Nachádza sa medzi 50 – 70 ° N a je vždy orientovaný cyklonálne.

Polárny jetstream

Nazývaný je aj Jetstream miernych šírok. Nachádza sa na hranici medzi Polárnou a Ferrelovou bunkou. Primárne sa vytvára v dôsledku teplotných kontrastov, sekundárne kvôli zachovaniu uhlovej hybnosti. Poloha a výška jetstreamu je variabilná, záleží od ročnej doby. Nachádza sa medzi 25-60°N. Ak má smer zo západu na východ zvykne byť kontinuálny, v prípade vlnenia môže meniť výšku od 200- 300 hPa. V zime sa posúva južnejšie, v lete severnejšie. V lete je tento typ tryskového prúdenia slabší, v zime silnie v dôsledku osilnenia teplotných kontrastov.

Subtropický jetstream

Hlavnou príčinou jeho vzniku je zachovanie uhlovej hybnosti. Zvyčajne sa vyskytuje medzi 25-35 °N a má výhradne anticyklonálnu orientáciu. Nachádza sa na hranici medzi Ferrelovou a Hadleyho bunkou. Má najväčšiu výšku a je teda najchladnejší so všetkých jetstreamov.



Obrázok 11

Poloha jednotlivých druhov jetstreamov

Kde:

- 1 – Polárna bunka;
- 2 – Polárny jetstream;
- 3 – Ferrelova bunka;
- 4 – Subtropický jetstream;
- 5 – Hadleyova bunka.

Z obrázka vyššie vyplýva, že umiestnenie jetstreamov býva v blízkosti tropopauzy v hornej časti troposféry. Výška výskytu tryskového prúdenia závisí od ročnej doby a zemepisnej šírky. V letnom období a na v nižších zemepisných šírkach bude výskyt jetstreamov vyššie ako v zime a vo vyšších zemepisných šírkach.

4.3.6 Nízko hladinový jetstream

Skratka označujúca tento typ silného vetra je z anglického výrazu „Low Level Jetstream“ a označenie LLJ možno nájsť na mapách význačného počasia alebo v správach SIGMET. Je to vietor nad vrstvou trenia avšak nesúvisí s distribúciou teplého a studeného vzduchu vo výškach. Vietor musí dosahovať min 30 m/s. Ak je orientovaný meridiálne N - S ide o tzv. „pravý LLJ“ ak naopak hovoríme iba o LLJ. Jeho vznik je podmienený absenciou alebo rýchlou zmenou trenia medzi medznou vrstvou a voľnou atmosférou. Ide o podmienky typu:

- *LLJ orografický*, vplyv terénu, ako je ľadovcové prúdenie, bóra, föhn, zúženie terénu tzv. channeling;
- *LLJ termické* zvláštnosti krajiny, interakcia medzi termickými a barickými gradientmi vplyvom miestneho rozloženia horstva alebo pevniny a mora;
- *LLJ nad vrstvou inverzie*. Inverzia ako stabilná vrstva má vplyv na zúženie vrstvy prúdenia nad inverziou. Inverzná vrstva znižuje trenie medzi výškovým vetrom a prízemnými vrstvami;
- *LLJ v rámci prúdenia medzi barickými útvarmi*.

4.3.7 CAT

Označenie CAT pochádza z anglického termínu „Clear Air Turbulence“, čo znamená „turbulencia čistej (jasnej) oblohy“. Je to dynamická turbulencia v hornej troposfére a spodnej stratosfére, predovšetkým v blízkosti výskytu tryskového prúdenia a tropopauzy bez ohľadu na to či, sa v danej vrstve oblačnosť, prípadne zákal vyskytuje. CAT je teda akákoľvek turbulencia nad 6000 m, ktorá nie je spojená s oblačnosťou s vertikálnym vývojom. Pre CAT sú typické znaky:

- CAT je spojená s vertikálnymi i horizontálnymi pohybmi vzduchu z dynamických príčin;
- CAT vzniká v hornej troposfére a dolnej stratosfére;
- CAT vzniká predovšetkým v oblasti výskytu tryskového prúdenia, prípadne v stabilných vrstvách;
- CAT sa vyskytuje bez oblačnosti alebo spolu s oblačnosťou typu Ci, Cs, Cc (Fishbone Cirrus).



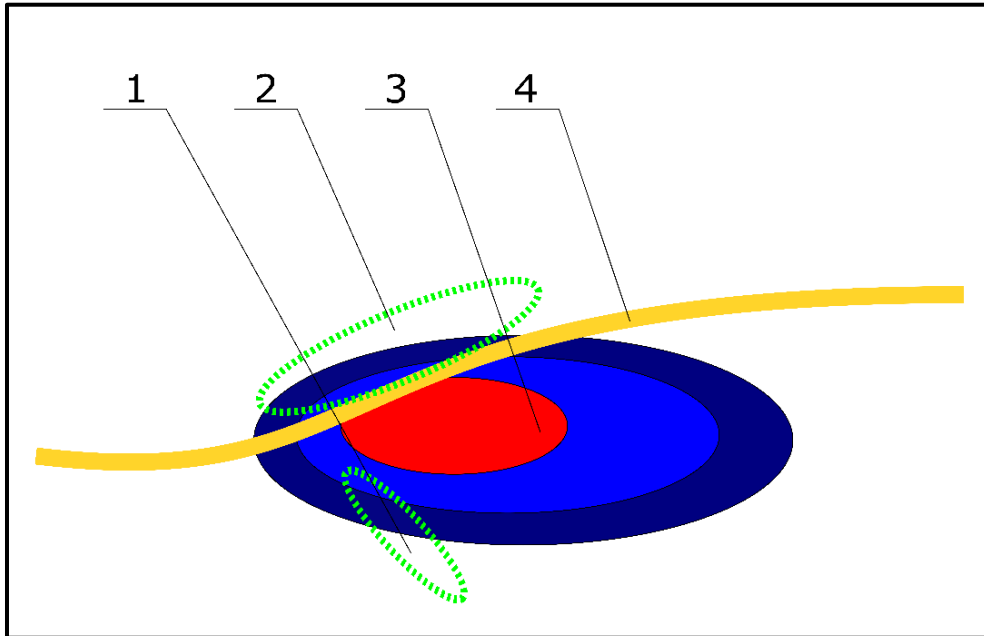
Obrázok 12 Oblačnosť typu Ci, tvarom pripomínajúca kosť ryby indikuje výskyt tryskového prúdenia a s ním spojenú CAT

Štruktúra CAT

CAT je pozorovaná len v tenkých vrstvách okolo 600 m zriedka 1 km, pričom až 70 % prípadov je spojených s výskytom tryskového prúdenia. Pásma CAT sú desiatky niekedy až stovky km dlhé a široké rádovo desiatky km. Silnejšie CAT sú sústredené na menší priestor a býva pomerne ostro ohraničené a býva nehomogénne. Lietadlo sa do oblasti CAT dostane náhle a taktiež z neho bez doznievania turbulencií vylietne. Veľakrát v bezoblačnom priestore bez viditeľného upozornenia (odtiaľ názov Clear Air Turbulence). Pri výskyte oblačnosti typu Ci unc môže posádka očakávať silnú CAT, taktiež pri Cc a na okrajoch Cs. Častejšie sa pozoruje nad oceánmi ako nad pevninou a pri cyklonálnej orientácii tryskového prúdenia je v 2/3 prípadov slabá a v 1/3 mierna až silná.

Priaznivé podmienky na vznik CAT podľa tvaru izohýps sa vyskytujú v oblasti osi brázdy níží, silnej divergencii, v oblastiach smerového strihu vetra a v oblasti hrebeňov výškových tlakových výší.

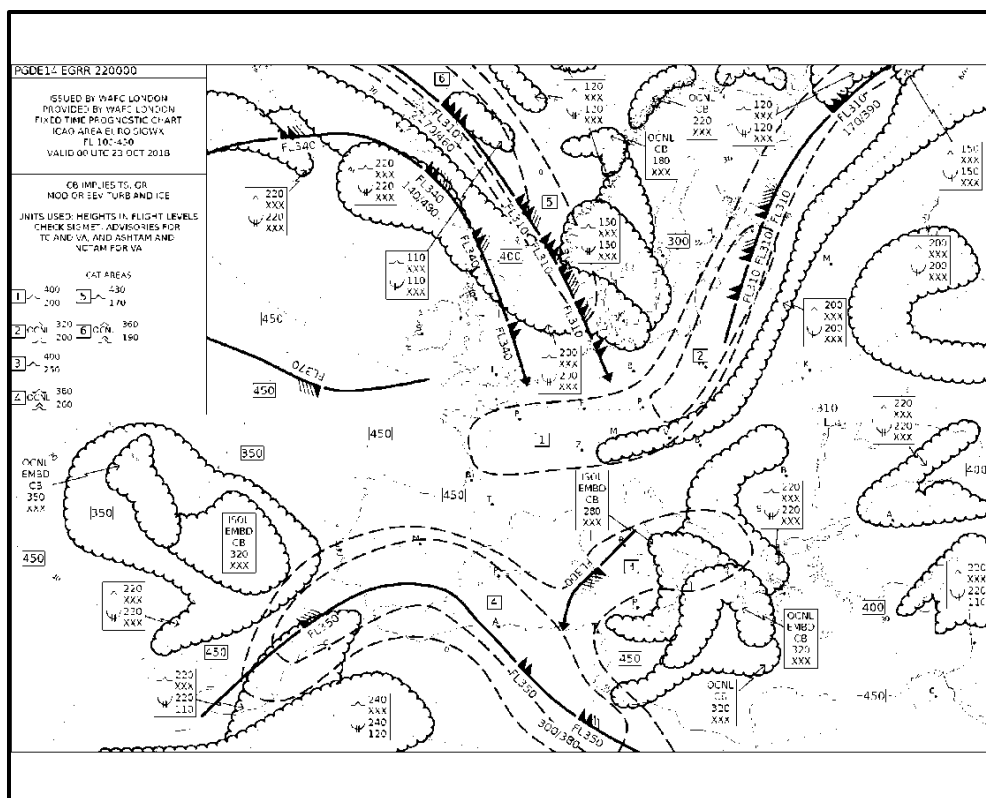
Letecká meteorologická služba sa zaoberá spracovávaním hlásení posádok lietadiel o polohe tryskového prúdenia a s ňou súvisiacou turbulenciou. Následne sa spracovávajú mapy význačného počasia, kde sú tieto fenomény zaznačené.



Obrázok 13 Výskyt CAT v súvislosti s jetstreamom

Kde:

- 1 – Oblasť maximálne silnej turbulencie;
- 2 – Oblasť možnej silnej turbulencie;
- 3 – Jadro Jet-streamu;
- 4 – Tropopauza.



Obrázok 14 Mapa význačného počasia

Na mapách význačného prúdenia sa okrem polohy tryskového prúdenia uvádza i oblasť s výskytom turbulencie tzv. CAT areas. Letecká meteorologická služba vydáva i predpovede výskytu CAT na predpovedných mapách.

Kontrolné otázky a úlohy overujúce pochopenie témy:

- Definujte primárnu, sekundárnu a terciálnu cirkuláciu.
- Popíšte všeobecnú cirkuláciu atmosféry.
- Vymenujte semipermanentné tlakové útvary.
- Popíšte sekundárnu cirkuláciu medzi tlakovými útvarmi.
- Nakreslite a vysvetlite schému horskej a údolnej brízy.
- Nakreslite a vysvetlite schému prúdenia morskej a pevninskej brízy.
- Definujte pojem Jetstream a vymenujte jeho druhy a ich výskyt.
- Čo znamená skratka CAT? Definujte tento pojem.
- Vyskytuje sa oblačnosť v priestore CAT?