

6 Termodynamika – adiabatické procesy a zvrstvenie atmosféry.

Cieľ štúdia témy:

Študent aplikuje doteraz získané poznatky z fyziky atmosféry na posúdenie miery stability alebo nestability atmosféry na základe jej teplotného a vlhkosťného zvrstvenia, s čím súvisí proces tvorby oblačnosti a k nej prislúchajúceho počasia.

Na základe tejto témy študent:

- získa znalosti o adiabatických zmenách teploty vzduchu na základe jej stavu nasýtenia vodnými parami;
- pochopí fyzikálnu podstatu Föhnového efektu;
- dokáže posúdiť mieru stability atmosféry;
- bude schopný vysvetliť fyziku vzniku konvektívnej oblačnosti.

Hlavné body – pojmy k zapamätaniu:

- nenasýtená a nasýtená adiabata;
- Föhnov efekt;
- stabilné a instabilné zvrstvenie;
- konvekcia, konvekčná oblačnosť.

Kľúčové slová:

- adiabata, adiabatický dej, gradient teploty, labilita, krivka stavová, krivka zvrstvenia, stabilita.

Základná študijná literatúra:

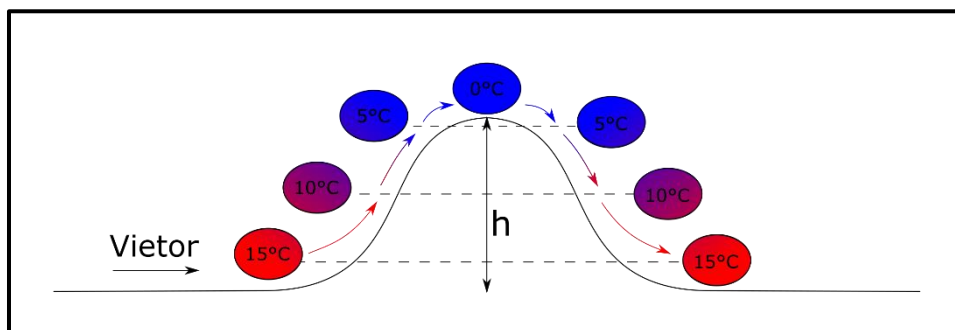
- Petr Dvořák, Letecká meteorologie
- Sobota: Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů ATPL(A), Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno 2002
- Kulčák a kol.: Učebnice pilota vrtulníku PPL(H) část II, akademické nakladatelství CERM s.r.o Brno, 2009
- ATPL Ground Training Series Meteorology, 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

6.1 Adiabatické deje

V termodynamike sú adiabatické deje definované ako procesy, pri ktorých je daný objem vzduchu tepelne izolovaný od okolia.

Podľa 1. vety termodynamickej je celková práca vykonaná rozpínajúcim plynom, napríklad pri stúpaní objemu plynu do vyšších výšok, vykrytá úbytkom vnútornej energie a teda poklesom jej teploty, prípadne z ďalších energetických zdrojov v rámci daného objemu plynu ako je uvoľňovanie latentného tepla pri kondenzácii vodných pár. Naopak pri zostupe objemu plynu nastáva v dôsledku zvyšovania atmosférického tlaku kompresia, a to má za následok zvyšovanie vnútornej energie objemu plynu, teda i jeho teploty.

Pri väčšine dejov v atmosfére v prípade, že pri nich nevypadávajú zrážky, možno uvažovať o adiabatických dejoch. Tieto deje považujeme za vratné, t.j. pri klesaní objemu vzduchu do hladiny rovnakej odkiaľ daný objem vzduchu predtým stúpil nadobudne vzduch tú istú teplotu akú mal pred svojim výstupom. Súvisí to s celkovou vnútornou energiou ktorá sa nemení, keďže sa jedná o energeticky izolovanú sústavu. Plyn ktorý sa ochladil na úkor práce ktorú vykonal svojou adiabatickou expanziou, prijme rovnakú energiu pri svojom opätovnom stlačení pri poklese do pôvodnej hladiny. Teplota daného objemu vzduchu bude rovná východzej teplote pred zmenou výšky.



Obrázok 1 Vratný dej

Pre modelovanie dejov atmosféry s výskytom zrážok zavádzame pojem *pseudoadiabatický dej*. Predpokladáme, že zrážky počas výstupu okamžite vypadnú mimo objem plynu. V tomto prípade sa jedná o dej nevratný, keďže časť celkovej energie daného objemu plynu ubudla vo forme vypadávajúcich zrážok. Týmto spôsobom sa popisuje napríklad Föhnov efekt. Podľa stavu nasýtenia vodnými parami posudzovaného vzduchu poznáme:

- nenasýtené adiabatické deje;
- nasýtené adiabatické deje.

Nenasýtené adiabatické deje, niekedy nesprávne nazývané suchoadiabatické deje popisujú stavové zmeny objemu plynu pri vzduchu vodnými parami nenasýtenom. V prípade nasýtenia objemu vzduchu vodnými parami dochádza ku kondenzácii vodných pár, a vtedy hovoríme o nasýtené adiabatických dejoch, prípadne vlhkoadiabatických dejoch, pri ktorých je nutné brať do úvahy i vplyv latentného tepla zo skupenskej premeny vodných pár.

6.1.1 Nenasýtený adiabatický dej

Deje nenasýtené adiabatické popisujú zmeny teploty vzduchu, u ktorého nenastal stav nasýtenia vodnými parami. Výraz suchoadiabatický dej, ktorý sa v meteorologickej praxi občas používa by bol správny iba v prípade absolútne suchého vzduchu. Zmeny teploty pri zmene výšky vyjadruje v tomto prípade *nenasýtené adiabatický gradient teploty*. Pri výstupe sa daný objem plynu bude vplyvom menšieho tlaku okolia rozpínať, čím vykoná prácu na úkor úbytku svojej vnútornej energie čo sa prejavuje ako pokles teploty. Túto zmenu vyjadruje nenasýtené adiabatický gradient teploty ktorý je definovaný ako: „zmena teploty suchého objemu plynu, alebo plynu, pri ktorom nenastal stav nasýtenia vodnými parami.“ Ak je pri tom uvažovaný objem plynu tepelne izolovaný od okolia, čo je pre adiabatický dej predpokladom, hodnota nenasýteného adiabatického gradientu teploty je:

1 °C / 100 m alebo 3 °C/1000 ft.

Je lineárny a jeho grafickým vyjadrením je priamka a nazývame ju suchá alebo nenasýtená adiabata. V angličtine sa nenasýtená adiabatický gradient teploty označuje ako DALR, čo skratkou „Dry Adiabatic Lapse Rate“.

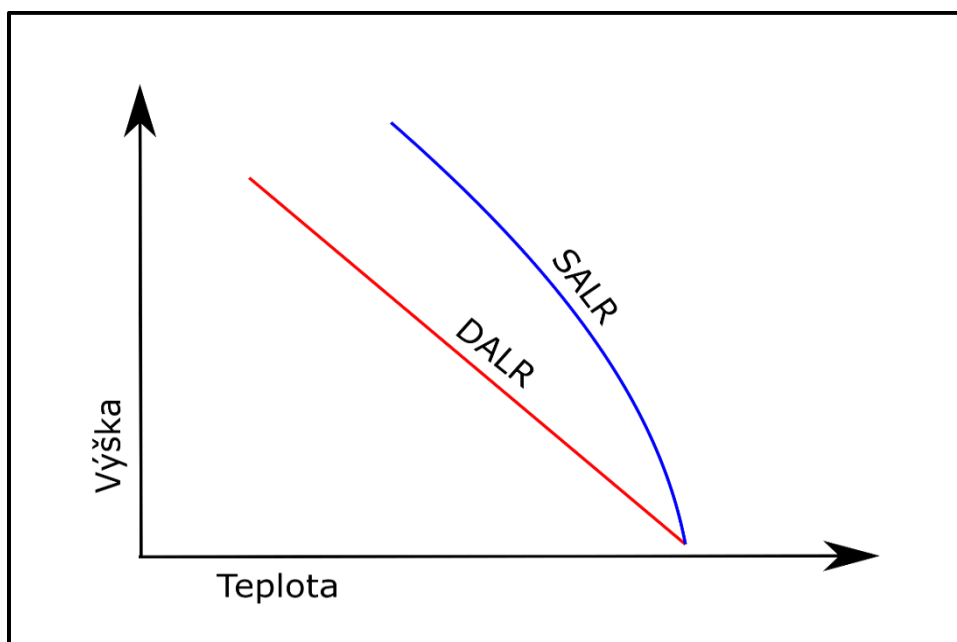
6.1.2 Nasýtený adiabatický dej

V prípade výstupu vlhkého vzduchu sa pokles teploty riadi podľa nenasýtenoadiabatického gradientu. S jeho ochladzovaním však narastá relatívna vlhkosť až do stavu nasýtenia. Výška v ktorej nastáva stav nasýtenia voláme *kondenzačná hladina*. S ďalším výstupom vzduchu pokračuje pokles jeho teploty, pričom prebytočná vlhkosť kondenzuje a uvoľňuje tak do objemu plynu latentné teplo. To spomaľuje ochladzovanie vzduchu. Takýto pokles teploty potom nazývame nasýtené adiabatickým gradientom teploty, v angličtine označovaný ako SALR, teda „Saturated Adiabatic Lapse Rate“. Tento gradient sa mení v závislosti na tlaku vzduchu a jeho teplote, nemá teda lineárny charakter. Grafickým vyjadrením nasýtené adiabatického gradientu je krivka, ktorej sklon sa s výškou a menšou teplotou zväčšuje. Pri teplotách pod $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ blíži k suchoadiabatickému gradientu teploty.

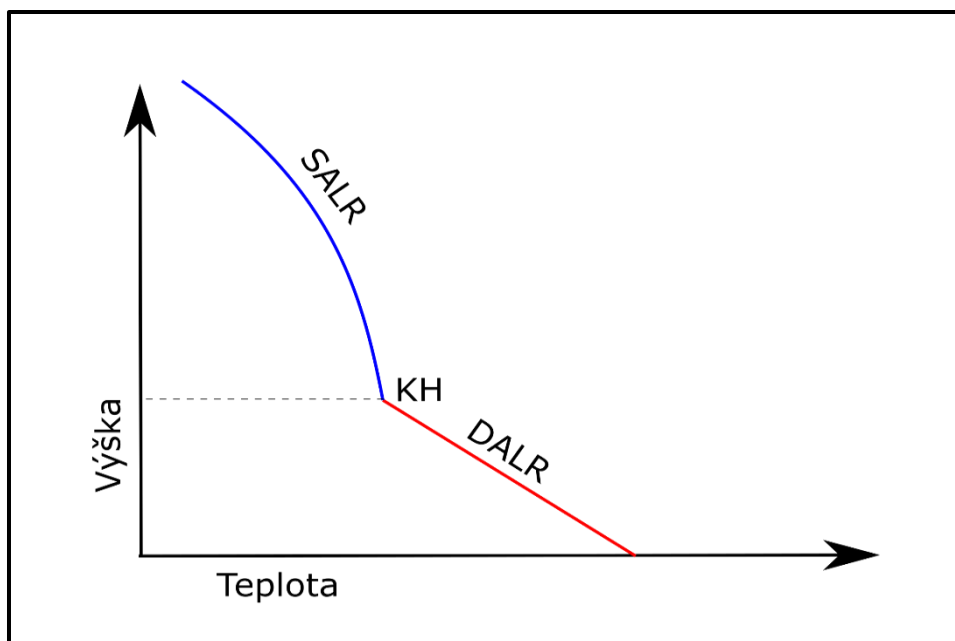
Tabuľka 1 Prehľad hodnôt SALR pri rôznych teplotách a tlaku vzduchu v $^{\circ}\text{C km}^{-1}$

Tlak (hPa)	Teplota				
	-40	-20	0	20	40
1000	9.5	8.6	6.4	4.3	3.0
800	9.4	8.3	6.0	3.9	
600	9.3	7.9	5.4		
400	9.1	7.3			
200	8.6				

Priemerný pokles teploty v malých výškach je pri nasýtené adiabatickom gradiente teploty $0,6\text{ }^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$ alebo $1\text{ }^{\circ}\text{C} / 1000\text{ ft}$.



Obrázok 2 Grafické vyjadrenie nenasýtenej adiabaty (DALR) a nasýtenej adiabaty (SALR)



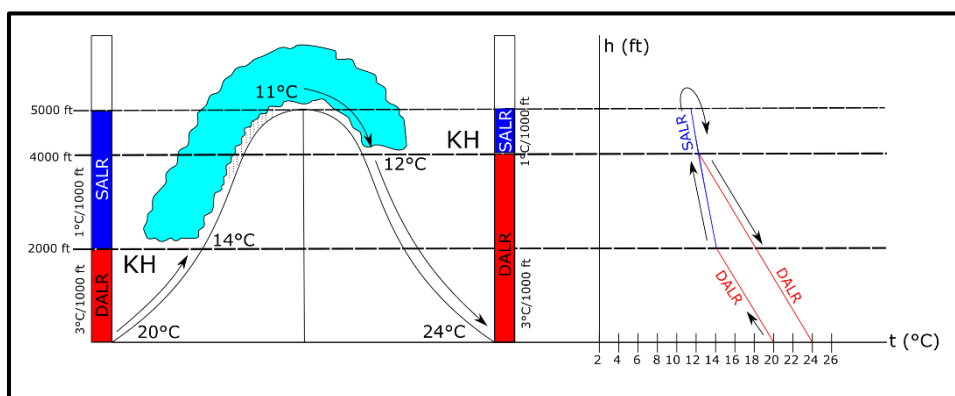
Obrázok 3 Stavová krivka vyjadrujúca zmenu teploty vzduchu s výškou pri rôznych stavoch nasýtenia

Vzduchová častica mení počas výstupu svoju teplotu podľa jej vlhkosťného stavu. Do stavu nasýtenia vodnými parami sa jej teplota bude meniť podľa nenasýtenoadiabatického gradientu teploty až do výšky kondenzačnej hladiny. Od tejto výšky sa pri ďalšom výstupe bude ochladzovať podľa nasýtene adiabatického gradientu teploty. Túto krivku nazývame stavová krivka.

Zmeny teploty vzduchu sa prejavujú ako pri jeho výstupe, tak i poklese. Dôležitou hladinou je KH, teda kondenzačná hladina, kde sa mení stav nasýtenia vodnými parami uvažovaného vzduchu a spája sa v nej SALR a DALR.

6.1.3 Föhnový efekt

Rozdiel medzi SALR a DALR sa uplatňuje pri vysvetlení a pochopení teplejšieho prúdenia na záveterných stranách hôr, ktorých hrebeň je kolmý na prúdenie.



Obrázok 4 Föhnový efekt a vznik zrážkového tieňa

Vzduch je nútený na náveternej strane horskej prekážky stúpať, pričom sa až do výšky kondenzačnej hladiny ochladzuje podľa nenasýtenej adiabaty. Od kondenzačnej hladiny vyššie sa už ale ochladzuje pomalšie podľa nasýtenej adiabaty. V prípade zrážok časť vlhkosti stratí. Na záveternej strane začne vzduch klesať, pričom sa otepľuje spoiatku podľa nasýtenej adiabaty, no pre stratu obsahu vodných pár v dôsledku zrážok na náveternej strane dosiahne stav nenasýtenia vodnými parami vo vyššej výške ako na náveternej strane. Od tejto výšky sa otepľuje podľa suchej adiabaty a teda rýchlejšie.

Na úpätí horskej prekážky na záveternej strane bude teplota vyššia a vlhkosť vzduchu býva suchší. V dôsledku menšieho množstva vodných pár v ovzduší na záveternej strane v dôsledku adiabatického otepľovania

pozorujeme i menej oblačnosti i zrážok. Tento jav nazývame i *zrážkovým tieňom*. Čím vyššia je horská prekážka tým silnejší bude i Föhnov efekt. Keďže sa časť energie sa stráca v podobe zrážok jedná na náveternej strane, jedná sa o jav *pseudoadiabatický*.

6.1.4 Stabilita atmosféry

Rôzne časti zemskej atmosféry sú vzhľadom k nerovnomernostiam zemského povrchu rôzne zahrievané. Od povrchov z rôznym albedom sa priľahlá vrstva vzduchu zahrieva rôznym spôsobom a vznikajú tak teplotné a teda i tlakové rozdiely. V dôsledku toho je atmosféra je v neustálom horizontálnom a vertikálnom pohybe a premiešava sa. Vertikálne pohyby menších objemov vzduchu nazývame konvekciou. Vznik a vývoj týchto vertikálnych pohybov závisí od okamžitého teplotného stavu atmosféry, ktoré nazývame teplotným zvrstvením. Teplotná krivka popisujúca tento priebeh teploty atmosféry s výškou nazývame krivka zvrstvenia (pozri kapitolu 1.4 Teplota atmosféry). Sklon krivky zvrstvenia je určený veľkosťou vertikálneho teplotného gradientu atmosféry, ktorý sa označuje ako ELR, čo je skratkou z anglického výrazu „Environmental Lapse Rate“. ELR je vyjadrením aktuálneho teplotného profilu atmosféry nameraný aerologickými stanicami rádiosondážou za pomoci meteorologických balónov. Na základe sklonu krivky zvrstvenia a teda priebehu teploty s výškou vieme určiť mieru stability, respektíve nestability atmosféry. Sú prípady, kedy teplotné zvrstvenie konvekcie napomáha alebo im zabráňuje.

Na skúmanie stavu atmosféry sa používajú teoretické modely:

- Časticová metóda – skúma zanedbateľne malú časticu (bublinu) vzduchu, okolie je kľudné;
- Normandova klasifikácia – skúma veľkosť kladnej a zápornej plochy na termodynamickom diagrame;
- Metóda vrstvy – predpokladá sa parita výstupného a klesavého prúdu v jednotkovej vrstve a stabilita je daná rozdielom teplôt prúdov.

Poznáme tri základné stavy zvrstvenia atmosféry, pričom rozhodujúci je pomer medzi vertikálny teplotným gradientom atmosféry G_a , ktorej priebeh teploty je popísaný krivkou zvrstvenia a gradientom vystupujúcej častice G_c , ktorej priebeh teploty s výškou je popísaný stavovou krivkou:

- stabilné zvrstvenie $ELR < G_c$;
- Labilné zvrstvenie $ELR > G_c$;
- Indiferentné zvrstvenie $ELR = G_c$.

Podrobnejšie možno klasifikovať zvrstvenie atmosféry na:

- Absolútna stabilita;
- Absolútna labilita;
- Podmienená labilita;
- Konvenčná labilita.

Niektoré zdroje uvádzajú pojmy ako instabilita, nestabilita, čo sú synonymá k pojmu labilita. Pre teplotný gradient zvrstvenia atmosféry je v angličtine zavedený pojem „Environmental Lapse Rate (ELR)“ ktorý je popísaný krivkou zvrstvenia atmosféry..

6.1.4.1 Stabilné zvrstvenie atmosféry.

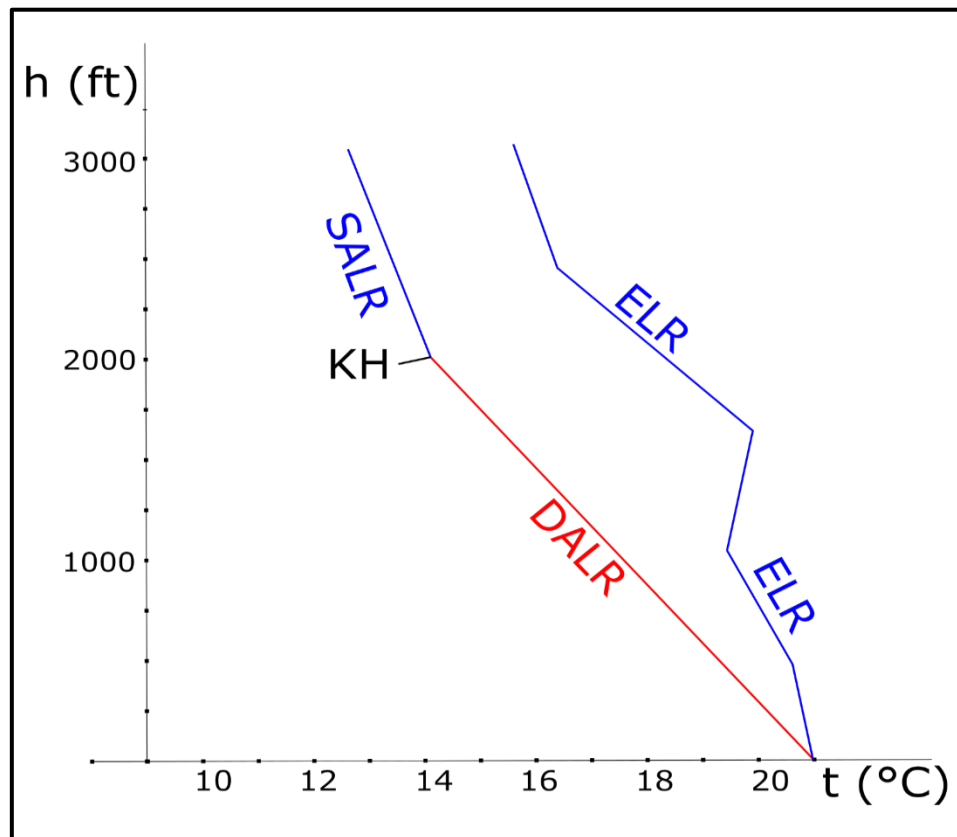
Stabilné zvrstvenie je stav atmosféry, kedy sa vzduchová častica vracia späť do pôvodnej rovnovážnej polohy ak prestane na ňu pôsobiť sila ktorá ju z pôvodnej polohy vychýlila. Za rovnovážnu polohu považujeme takú hladinu v ktorej má častica rovnakú teplotu ako jej okolie. V prípade, že častica je nútená vystúpiť do hladiny, kde je jej okolie teplejšie, klesne naspäť ho hladiny s rovnakou teplotou okolia atmosféry. Častica sa teda ochladzovala rýchlejšie ako okolitá atmosféra, a platí:

$$ELR < G_c$$

Rozdiel teplôt vystupujúcej častice a okolitého vzduchu je záporný, to znamená, že vystupujúca častica je chladnejšia ako okolitý vzduch, je teda ťažšia ako jej okolie a podľa Archimedovského princípu bude klesať späť do rovnovážnej hladiny. Ak je vystupujúca častica nenasýtená vodnými parami ochladzuje sa pri svojom výstupe podľa DALR, ak je vodnými parami nasýtená, jej zmena teploty s výškou zodpovedá SALR. V prípade že pre zvrstvenie atmosféry platí, že:

$$ELR < DALR < SALR$$

Stúpajúca častica je počas celého svojho výstupu chladnejšia ako okolitá atmosféra bez ohľadu na to v akom stave nasýtenia sa nachádza. Krivka zvrstvenia sa nachádza na pravo od SALR a DALR a takéto zvrstvenie nazývame *absolútne stabilné*.



Obrázok 5 Absolútne stabilné zvrstvenie. Stúpajúca častica je chladnejšia ako okolie nezávisle od svojho stavu nasýtenia

Typickým stabilným zvrstvením je prípad inverzie alebo izotermie. Stabilné zvrstvenie atmosféry zabraňuje svojím charakterom vertikálnym pohybom, prevláda preto pri ňom bezoblačné počasie. V chladnej polovici roka sa často vyskytujú hmly alebo nízka oblačnosť. Stabilná vrstva vo vyšších častiach atmosféry blokuje výstupné pohyby častíc vzduchu a znamená to zvyčajne hornú hranicu vertikálneho vývoja oblačnosti. Typickou stabilnou vrstvou je tropopauza, kde končí vývoj búrkovej oblačnosti, ktorá sa v oblasti tropopauzy rozplýva do vrstvy.

6.1.4.2 Labilné zvrstvenie atmosféry

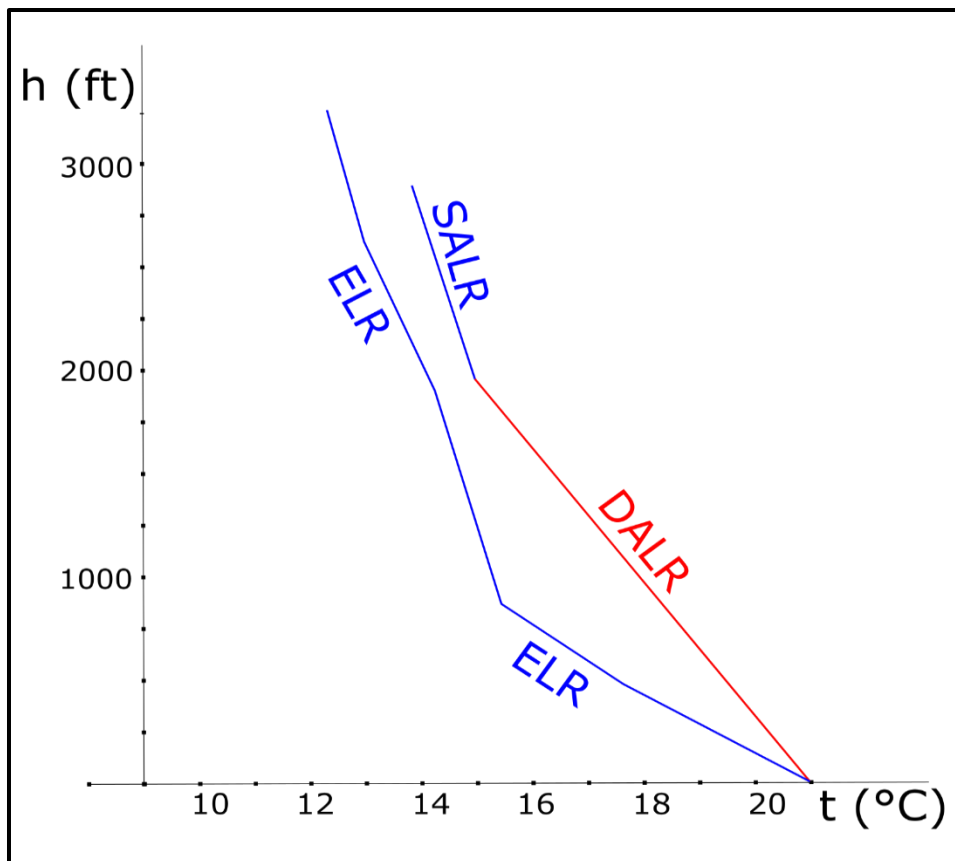
Labilné zvrstvenie je stav atmosféry, kedy častica samovoľne pokračuje vo výstupe aj po ukončení pôsobenia sily, ktorá ju z pôvodnej polohy odchýlila. Tento jav nastáva ak sa častica adiabaticky ochladzovala pomalšie ako jej okolie, je teda teplejšia ako okolitá atmosféra. Tu platí že:

$$ELR > G_c$$

Rozdiel teplôt vystupujúcej častice a okolia je kladný, to znamená, že vystupujúca častica je teplejšia ako jej okolie. Ak je častica nenasýtená vodnými parami ochladzuje sa pri svojom výstupe podľa DALR, ak je vodnými parami nasýtená, jej zmena teploty s výškou zodpovedá SALR. V prípade že pre zvrstvenie atmosféry platí, že

$$ELR > DALR > SALR$$

je stúpajúca častica je počas celého svojho výstupu teplejšia ako okolitá atmosféra bez ohľadu na to v akom stave nasýtenia sa nachádza. Krivka zvrstvenia sa nachádza na ľavo od SALR a DALR a takéto zvrstvenie nazývame *absolútne labilné*.



Obrázok 6 Absolútne labilné zvrstvenie atmosféry. Stúpajúca častica je teplejšia ako okolie nezávisle od jej stavu nasýtenia

Pri absolútne labilnom zvrstvení dochádza k intenzívnym vertikálnym pohybom vzduchu, ktoré nazývame konvekcia. Častice samovoľne pokračujú vo svojom výstupe až do rovnovážnej hladiny, kde sa ich teplota vyrovná teplote okolitej atmosféry. Takouto hladinou môže byť už spomínaná stabilná vrstva, ktorá konvekciu zabrzdí.

Indiferentné zvrstvenie

V prípade, že krivka zvrstvenia je zhodná s krivkami nasýtenej alebo nenasýtenej adiabaty sú vertikálne teplotné gradienty vystupujúcej častice a zvrstvenia atmosféry rovnaké.

$$ELR = G_c$$

Teplota stúpajúcej častice je zhodná s teplotou okolia. Po ukončení núteného výstupu spôsobeného vonkajšou silou častica ostáva na hladine kam ju sila dopravila. Rozdiel teplôt vystupujúcej častice a okolia je 0. Jedná sa o jav ojedinelý ak sa vyskytuje, tak zvyčajne len v istom malom rozsahu výšok.

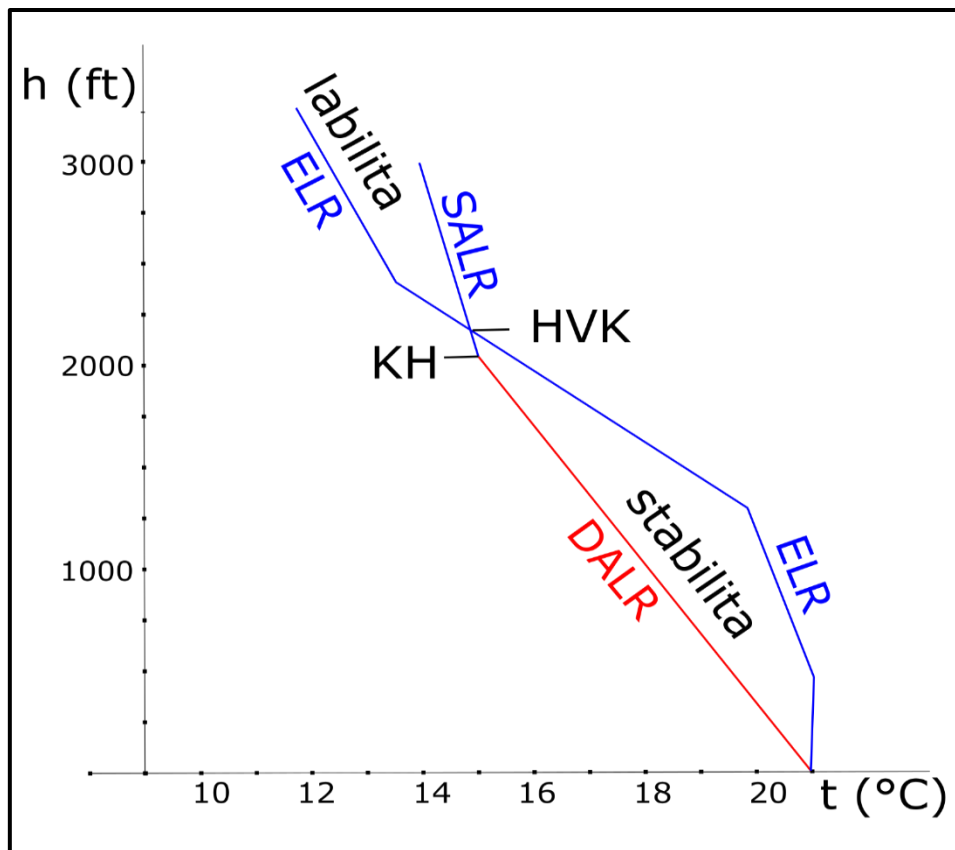
Podmienene labilné zvrstvenie

Je celkom bežným javom, keď častica stúpa spočiatku vodnými parami nenasýtená, následne dosiahne stav nasýtenia v kondenzačnej hladine a ďalej stúpa a ochladzuje sa podľa nasýtenej adiabaty. Výstup častice môže byť zapríčinený silou a môže byť spočiatku nútený, alebo sa tak deje samovoľne po dosiahnutí istého stavu v atmosfére.

Ak je zvrstvenie atmosféry v začiatkovej fáze núteného výstupu častice stabilné a po dosiahnutí istej hladiny sa mení na labilné voláme tento typ zvrstvenia podmienená labilita. Pre vertikálny gradienty teploty vystupujúcej častice platí pomer:

$$DALR > ELR > SALR$$

čiže krivka zvrstvenia ELR je sklonená. Pre častice vodnými parami nenasýtené je zvrstvenie stabilné, no pre častice nasýtené vodnými parami, je zvrstvenie atmosféry labilné.



Obrázok 7 Podmienená labilita. Stúpajúca častica je chladnejšia ako okolie v nenasýtenom stave ale teplejšia ako okolie v stave nasýtenom

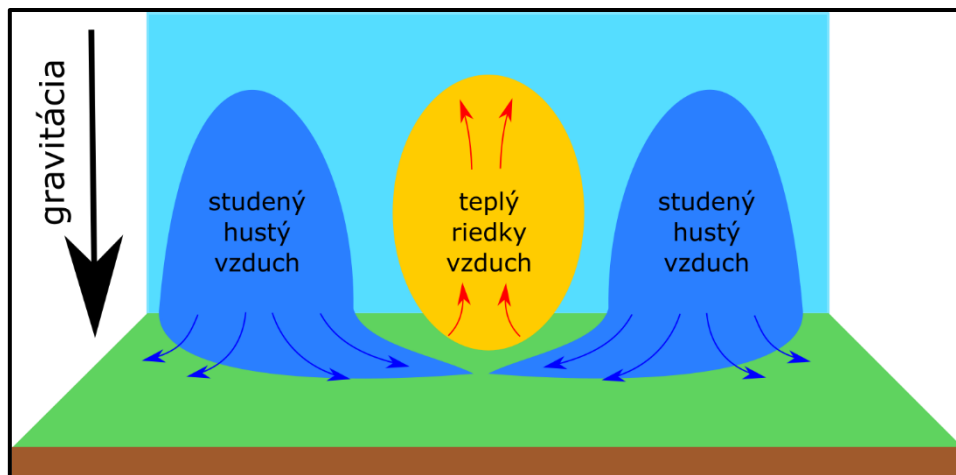
Od hladiny kde je zvrstvenie labilné začína častica stúpať samovoľne. Túto hladinu nazývame hladina voľnej konvekcie, označujeme ako HVK. Častice stúpajú až dovtedy, kým budú teplejšie ako teplota okolia. Na termodynamickom diagrame, ktorý popisuje krivku zvrstvenia, suché a vlhké adiabaty sa tieto oblasti s kladnou odchýlkou teplôt označujú tiež ako kladné plochy podľa Normandovej klasifikácie. Častice vystupujú až do výšok kde sa krivka zvrstvenia pretína s nasýtenou adiabatou, inými slovami povedané teplota stúpajúcich častíc bude rovná teplote okolia, teda po stabilnú vrstvu. Túto vrstvu nazývame i HHK Horná hladina konvekcie a jej výška udáva hornú hranicu oblačnosti. Podmienená labilita je typickým zvrstvením atmosféry.

6.1.5 Konvekcia a konvektívna oblačnosť

Vertikálny pohyb vzduchu sa nazýva *konvekcia*. Pre vznik vertikálneho pohybu častice je nutný počiatočný impulz, alias sila ktorá núti častice opustiť svoj rovnovážny stav z istej hladiny. To čo sa deje po počiatočnom impulze závisí od miery nestability atmosféry, ktorá bola popísaná v predchádzajúcich odsekoch. Podľa charakteru počiatočného impulzu môžeme klasifikovať výstupné pohyby na:

- Termickú konvekciu;
- Orografický výstup;
- Konvergencia pri zemi;
- Divergencia vo výškach;
- Trenie medzi vzduchom a zemou.

Termická konvekcia je viac alebo menej neusporiadaný pohyb malých objemov vzduchu. Na základe rôzneho albeda zemského povrchu sa zemský povrch a teda i vzduch tesne nad ním ohrieva nerovnomerne. Nad teplejšími miestami sa vzduch ohrieva viac, rozpína sa, stáva sa ľahším ako jeho okolie a začína stúpať. Súčasne ho nahrádza chladnejší vzduch z okolia aby tak nahradil stúpajúce kapsy teplého vzduchu. Túto cirkuláciu nazývame termická konvekcia alebo aj termická turbulencia. Prehriatie prízemnej vrstvy vzduchu nad kritickú teplotu je spúšťačím mechanizmom pre vznik konvekcie, čiže stúpavých a s nimi súvisiacich klesavých prúdov.



Obrázok 8 Cirkulačný systém pri termickej konvekcii

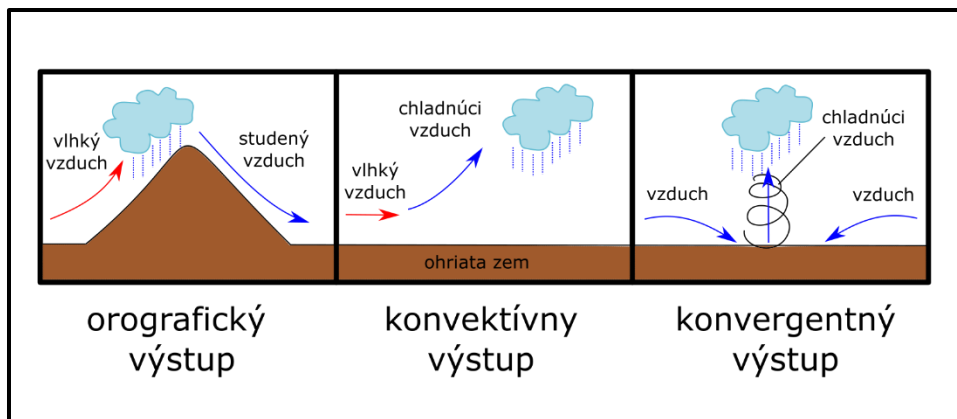
Poznáme miestnu termickú konvekciu v miestnych vzduchových hmotách a konvekciu vo vnútri nestabilnej vzduchovej hmoty nasúvajúcej sa nad prehriate podložie. Denný chod konvekcie je daný chodom teploty vzduchu a prízemným vertikálnym gradientom teploty. Konvekcia začína po dosiahnutí tzv. kritickej teploty alebo teploty konvekcie pri ktorej je dosiahnutý dostatočný vertikálny teplotný gradient na to aby malé objemy vzduchu nad prehriatymi plochami podložja začali stúpať, pričom sa adiabaticky ochladzujú. Pri dostatočnej vlhkosti a keď vystupujúce častice dosiahnu konvektívnu kondenzačnú hladinu (KKH) sa tvorí *kopovitá* alebo *konvektívna oblačnosť* so spodnou základňou vo výške KKH. Počas dňa pri stúpajúcej teplote a klesajúcej relatívnej vlhkosti vzduchu v prízemnej vrstve sa KKH dvíha do vyšších hladín. Večer a v noci pri absencii slnečnej energie alebo pri poklese teploty pod teplotu konvekcie, výstupné prúdy ustávajú a kopovitá oblačnosť so rozplýva do vrstiev a rozpadáva sa. Deje sa tak v dôsledku poklesu vertikálneho teplotného gradientu atmosféry, čím sa stabilizuje. Takýto priebeh množstva oblačnosti počas dňa sa nazýva i *oblačnosť s denným chodom*.

Orografický výstup je spôsobený terénymi nerovnosťami. Rozsah výstupných pohybov závisí od výšky prekážky a na charaktere zvrstvenia atmosféry. V prípade podmienenej nestability môže byť orografický výstup dostatočný na prekonanie počiatočného stabilného zvrstvenia a častice na horských prekážkach môžu v tomto prípade pokračovať v samovoľnom výstupe a tvoriť oblačnosť súvisiacu s horskou prekážkou. Na záveternej časti pozorujeme rozpad oblačnosti v dôsledku klesania vzduchu a jeho následného adiabatického otepľovania čiže Föhnov efekt.

Konvergencia teda zbiehavé prúdenie spôsobuje nahromadenie vzduchu v prízemnej vrstve a to má za následok stúpanie nahromadeného vzduchu. Konvergencia v prízemnej vrstve je impulzom pre vznik komínového efektu, ktorý podporuje konvektívne prúdy z dynamických príčin.

Divergencia vo výškach, teda rozbiehavé prúdenie má za následok úbytok vzduchu v danej hladine. Tento úbytok atmosféra kompenzuje stúpavými prúdmi z nižších vrstiev, čo nazývame komínový efekt. Podobne ako pri konvergencii pri zemi, komínový efekt môže byť spúšťacím mechanizmom pre vznik stúpavých konvektívnych prúdov a podporovať konvekciu z dynamických príčin.

Trenie medzi vzduchom a zemou je obmedzené na medznú vrstvu atmosféry. Spôsobuje tvorbu výrov s rôzne orientovanými osami rotácie. Ich vertikálny rozsah bude obmedzovaný zvrstvením atmosféry, rýchlosťou prúdenia, veľkosťou prekážok a ich orientáciou vzhľadom na smer prúdenia



Obrázok 9

Rôzne spôsoby vzniku konvekcie

Kontrolné otázky a úlohy overujúce pochopenie témy:

- Ako je definovaný adiabatický dej?
- Kedy považujeme jav za vratný kedy a nevratný?
- Vysvetlite skratky DALR, SALR, ELR a aký je ich význam.
- Vysvetlite Föhnov efekt.
- Definujte pojmy stabilné a labilné zvrstvenie atmosféry.
- Kedy je zvrstvenie atmosféry stabilné?
- Kedy je zvrstvenie atmosféry labilné?
- Čo je to podmienená labilita? Kedy sa vyskytuje?
- Definujte pojem konvekcia a konvektívna oblačnosť.
- Popíšte cirkulačný systém pri termickej konvekcii.
- Vysvetlite denný chod kopovitej oblačnosti
- Ako môže vznikať konvekcia?
- Ako sa prejavuje konvergentné prúdenie pri zemi vzhľadom ku konvekcii?