

5 Termodynamika – vlhkosť vzduchu a jej parametre.

Cieľ štúdia témy:

Študent aplikuje svoje poznatky z fyziky na procesy v atmosfére so zameraním sa na vlhkosť vzduchu a pochopí úlohu vodných pár v ovzduší na stav počasia.

Na základe tejto témy študent:

- získa znalosti o rôznych parametroch vlhkosti vzduchu;
- získa znalosti o energetických zmenách pri skupenských premenách vody v atmosfére;
- získa poznatky o spôsobe merania parametrov vlhkosti vzduchu a o jednotkách merania vlhkosti vzduchu.

Hlavné body – pojmy k zapamätaniu:

- vlhkosť vzduchu;
- napätie vodných pár;
- špecifická, relatívna a absolútna vlhkosť;
- zmiešavací pomer;
- rosný bod, zmeny skupenstva, latentné teplo.

Kľúčová slová:

- vlhkosť vzduchu, napätie vodných pár, špecifická, relatívna a absolútna vlhkosť, zmiešavací pomer, rosný bod, zmeny skupenstva, latentné teplo.

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

5.1 Termodynamika a vlhkosť atmosféry

Termodynamika je časť meteorológie zaoberajúca sa aplikáciami termodynamických zákonov na atmosféru Zeme. Možno ju deliť na termodynamiku vodnými parami nenasýteného vzduchu a termodynamiku vodnými parami nasýteného vzduchu. Vodné pary v atmosfére majú značný vplyv na priebeh teplôt vzduchu pri zmenách ostatných stavových veličín ako sú tlak, hustota a objem vzduchu. Pre popis týchto zmien využíva termodynamika najmä:

- Stavovú rovnicu;
- Prvú vetu termodynamickú.

Pre objem vzduchu, ktorý má blízko do nasýtenia vodnými parami, platia aj deje spojené s energetickými výmenami pri premenách skupenstva vody, teda pri výpare, kondenzácii, mrznutí a topení, sublimácii a depozícii.

K najlepšie preštudovaným a teoreticky popísaným termodynamickým dejom v atmosfére patria *adiabatické deje*. Poznatky z oblasti termodynamiky sa uplatňujú pri vysvetľovaní a predpovedaní javov ako je tvorba a rozpad oblačnosti, a tvorba a typ atmosférických zrážok. V leteckej meteorológii sa termodynamika uplatňuje i pri predpovediach výšky spodnej základne a množstva oblačnosti, a vplyve vlhkosti a jej parametrov na úroveň dohľadnosti.

Vzhľadom na to, že voda má pomerne veľkú tepelnú kapacitu, jej množstvo v atmosfére a jej skupenské premeny majú značný vplyv na tepelné a teplotné pomery v atmosfére.

5.1.1 Vlhkosť vzduchu

Vlhkosť vzduchu je definovaná ako *základný meteorologický prvok* popisujúci množstvo vodných pár v objeme vzduchu. V meteorológii možno vlhkosť vzduchu vyjadriť pomocou série parametrov ako sú:

- Tlak vodných pár;
- merná alebo špecifická vlhkosť;
- Absolútna a relatívna vlhkosť;
- Zmiešavací pomer, sýtosťný doplnok;
- Rosný bod a deficit rosného bodu.

V meteorológii pracujeme s týmito základným súčasťami:

- Suchý vzduch;
- Vodná para;
- Kvapalné a tuhé zrážky.

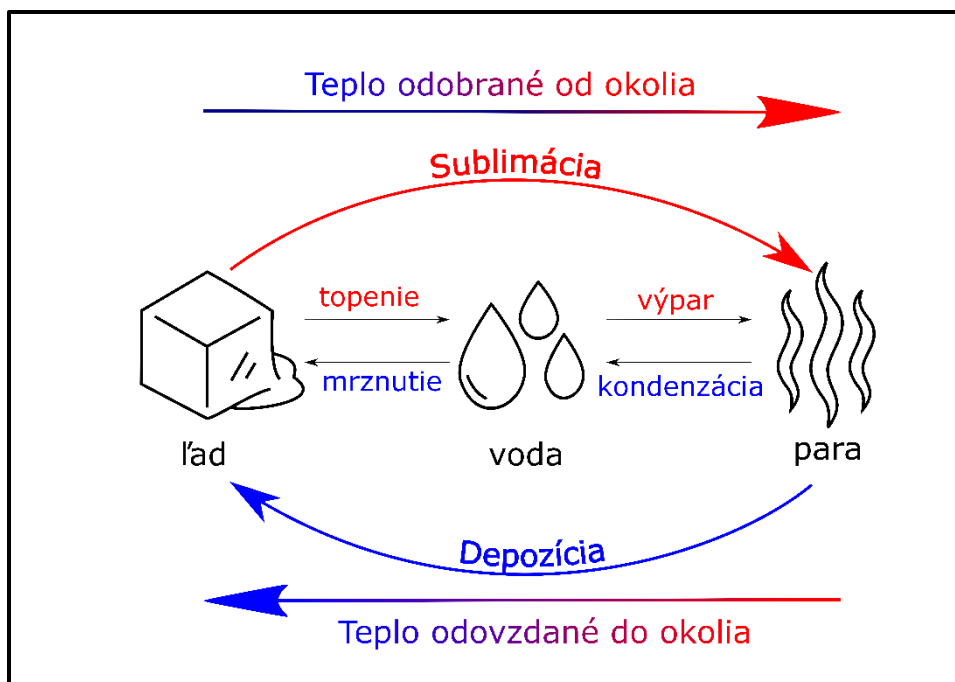
Vlhký vzduch je zmesou vodných pár a suchého vzduchu. Množstvo vodných pár v suchom vzduchu je premenlivé, záleží najmä od teploty. Teplý vzduch dokáže pojať viac vodných pár ako studený. Objem vodných pár môže tvoriť maximálne 4 % z celkového objemu vlhkého vzduchu. Napríklad množstvo vodných pár v zime môže byť v našich zemepisných šírkach okolo 5 g/m³ no v lete 15 až 20 g/m³ (Množstvo vodných pár pri istej teplote v danom objeme vzduchu už bolo popísané v stati 1.2.3 Vodná para v atmosfére).

Hlavným zdrojom vodných pár vo vzduchu je výpar z vodných plôch, vegetácie, z vypadávajúcich zrážok zo sublimácie zo snehovej prikrývky. Vedľajším zdrojom sú procesy spojené s ľudskou činnosťou ako výsledok rôznych technologických postupov. Tieto zdroje môžu mať významný vplyv na tvorbu mikroklimy v regióne. Vodná para, napriek jej malému množstvu v porovnaní so suchým vzduchom je významná pri tvorbe počasia. Jej skupenské premeny prispievajú k výmene tepla v atmosfére. Hrá významnú úlohu vo jednak vo veľkopriestorových dejoch ako sú tropické cyklóny tak aj pri mikrocirkulačných procesoch ako je konvekcia, tvorba oblačnosti alebo hmiel. Je to dôležitý skleníkový plyn, ktorý zabraňuje prudkému poklesu teplôt v nočných hodinách. To možno pozorovať v prípade suchého vzduchu na púšti alebo vo vysokých polohách kde teplota v noci prudko klesá, na rozdiel od vlhkých tropických oblastí, kde je rozdiel medzi maximálnou teplotou počas dňa a minimálnou teplotou v noci minimálny.

5.1.2 Zmeny skupenstva vody

Pre zmenu stavu formy vlhkosti sú zavedené takzvané stavové zmeny skupenstva vody. Tieto deje majú svoje pomenovania. Jedná sa o:

- mrznutie/topenie;
- kondenzácia/vyparovanie;
- depozícia/sublimácia.



Obrázok 1 Skupenské zmeny vody a s nimi súvisiaci energetický tok

Pre každý z týchto dejov je charakteristická istá energetická zmena, ktorá prebieha vo forme *latentého tepla*. Pri prechodoch, povedzme, z energeticky „nižších stavov“ do energeticky „vyšších stavov“ voda energiu spotrebuje na tento fázový prechod a odoberá si ju od svojho okolia. Naopak, pri prechode od „vyšších stavov“ do „nižších“ prebytočné teplo vytvorené pri poklese do nižšieho stavu voda odovzdá svojmu okoliu. Pod pojmom „energeticky vyšší“ alebo „nižší stav“ sa pre tieto účely rozumie miera kinetickej energie molekúl vody, ktorá je v plynnom skupenstve najvyššia a smerom ku kvapalnému a tuhému skupenstvu sa molekuly vody spomaľujú a ich kinetická energia klesá.

Mrznutie a topenie

Voda pri normálnom tlaku vzduchu mrzne pri teplote 0°C . Počas tohto procesu sa voľné väzby medzi molekulami menia na pevné a médium tak nadobúda pevnú štruktúru. Dôsledkom toho sa počas mrznutia uvoľňuje latentné teplo do okolia. Zvláštnosťou je, že pri mrznutí sa objem vody pri tej istej hmotnosti zväčšuje, ľad má teda menšiu hustotu ako voda v kvapalnej forme. To je dôvod, prečo ľad pláva na hladine riek alebo oceánov (Archimedov zákon).

Pri tlaku nižšom ako je normálny tlak, $1013,25\text{ hPa}$, sa teplota tuhnutia vody posúva ku nižším teplotám ako je 0°C . Navyše drobné kvapky vody na svoje zamrznutie potrebujú prítomnosť tzv. mrznúcich jadier, čo sú viac menej častice zhodné s kondenzačnými jadrami. Podchladené kvapky vody sa takto môžu vyskytovať v atmosfére až do teplôt -40°C , čo je podstatná podmienka pre tvorbu námrazy na lietadlách. Problematiky námrazy počas letu bude rozobraná neskôr.

Topenie je opozitum k javu mrznutie. Prebieha pri teplote 0°C a za normálneho tlaku. Pri prijatí tepla sa molekuly vody, ktoré tvoria ľad rozkmitajú natoľko, že opustia svoje pevné miesto tvoriace kryštalickú štruktúru ľadu, ľad sa roztápa. Počas tohto procesu molekuly spotrebujú latentné teplo na úkor svojho okolia, svoje bezprostredné okolie takto počas procesu topenia ochladzujú.

To má za následok zaujímavý fakt. Teplota vody topiaceho sa ľadu má teplotu 0°C (alebo teplotu topenia vody pri danom tlaku) z dôvodu neustáleho ochladzovania od ešte nepremených kúskov ľadu v objeme vody. Vďaka tomu sa snehová pokrývka na jar neroztopí celá naraz ale postupne (pokiaľ na ňu neprší), čo zabraňuje vzniku bleskových záplav pri topení snehu na horách. To je zároveň dôvod, prečo sa neodporúča konzumovať sneh na zahnanie smädu napríklad výškovým horolezcom. Ten by totiž mohol spôsobiť podchladenie organizmu, dokonca

až omrzliny. Naopak to platí pri procese zamrzania vody ako dôsledok uvoľňovania latentného tepla do bezprostredného okolia kryštálikov ľadu. Proces týchto skupenských premien vody sa tak deje za tej istej teploty až do ukončenia premeny celého objemu média.

Vyparovanie a kondenzácia

Vyparovanie, alebo výpar je zmena kvapalného skupenstva vody na plynné. Prebieha pri všetkých teplotách nad bodom mrazu. Je to prechod s energeticky „nižšieho“ do „energeticky vyššieho“ stavu formy vody. Pri tomto procese sa latentné teplo spotrebuje, proces vyparovania tak ochladzuje okolie. Tento fakt využíva ľudské telo na reguláciu svojej teploty. Pri nadmernom prehriatí organizmu sa s potných žliaz na pokožke objaví pot, ktorý pri vyparovaní ochladzuje organizmus. Rýchlosť vyparovania závisí od vlhkosti okolitého vzduchu, teploty a prúdenia vzduchu. Pre výpar platí, že čím suchší vzduch sa nachádza v okolí kvapaliny, tým rýchlejšie sa voda vyparuje. Podobne je to i pri vyšších teplotách okolitého vzduchu, kedy majú molekuly vyššie kinetické energie a skôr tak opúšťajú kvapalnú formu vody. Prúdenie napomáha k premiešavaniu vzduchu vo väčšom objeme nad zdrojom vlhkosti a výpar z neho sa tak urýchľuje.

Vyparovanie vody sa prebieha vždy, no okolitý vzduch nie je schopný pojať neobmedzené množstvo vlhkosti. V kapitole 1.2.3 už bolo spomenuté, že vodné pary môžu tvoriť maximálne 4 % objemu vzduchu. Pri dosiahnutí tohto medzného stavu, ktorý nazývame stav nasýtenia, nastáva pri ďalšom výpare *kondenzácia*. Pri stave nasýtenia teda platí, že koľko vody sa do okolia vyparí, toľko sa jej s uvedeného objemu vzduchu vráti späť vo forme kvapalnej, čiže kondenzuje. Stav nasýtenia sa dá popísať i ako rovnovážny stav medzi výparom a kondenzáciou. Parciálny tlak vodných pár pri stave nasýtenia sa nazýva *tlak nasýtených pár* a jeho hodnota sa mení v závislosti na teplote vzduchu. V teplejšom vzduchu je tlak nasýtených pár vyšší ako v chladnejšom.

Kondenzácia je prechody stavu vody zo skupenstva plynného do kvapalného. Tento proces prebieha pri nasýtení daného objemu vzduchu vodnými parami, t.j. pri relatívnej vlhkosti blízko 100 %. To je stav, kedy sa už v objeme vzduchu nemôže za danej teploty a tlaku nachádzať viac vodných pár. Teplejší vzduch dokáže pojať viac vlhkosti ako chladnejší. Pri poklese teploty sa chladnejší vzduch zbaví prebytočných vodných pár vo forme kondenzátu, vodné pary sa menia na vodu v tekutom stave. Pri tomto procese sa do okolia uvoľňuje energia vo forme latentného tepla, keďže sa jedná o prechod z energeticky „vyššieho“ do energeticky „nižšieho“ stavu. Latentné teplo pri kondenzácii má výrazný vplyv na rozvoj búrkovej oblačnosti typu supercela, a pri tropických cyklónoch, kde napomáha k ohrievaniu okolitých mas vzduchu a prispieva tak rozvoju oblačnosti.

Kondenzácia je jeden z hlavných fyzikálnych procesov pri tvorbe oblačnosti a zrážok. Vodné pary sú pre ľudské oko neviditeľné. Čo môže pozorovateľ vidieť na oblohe sú produkty kondenzácie alebo depozície, ktoré odrážajú svetlo tak, že sa stáva pre oko pozorovateľa vnímateľnými a nazývame to oblačnosť.

Sublimácia a depozícia

Sublimácia je fyzikálny proces premeny skupenstva so stavu pevného priamo do stavu plynného. Pri tomto procese sa latentné teplo spotrebuje, čiže si ho ľad odoberá od okolia podobne ako pri topení. Tento proces prebieha vždy nad vodou v pevnom skupenstve až do stavu nasýtenia vodnými parami. Platí, tlak nasýtených pár nad ľadom je menší ako tlak nasýtených pár nad vodou, čo má vplyv na tvorbu snehových zrážok. Pri dosiahnutí stavu nasýtenia sa pri záporných teplotách začne proces opačný – *depozícia*. Tu platí podobný princíp rovnováhy ako pri vzťahu výparu a kondenzácie pri stave nasýtenia. Depozíciou sa mení to isté množstvo vlhkosti z plynného na pevné ako sa sublimáciou zmenilo z pevného na plynné.

Depozícia, nazývaná i desublimácia, je fyzikálny proces zmeny skupenstva z plynného na pevné. Počas tohto procesu sa do okolia vyžaruje latentné teplo. Depozícia nastáva pri záporných teplotách vzduchu pri stave nasýtenia vodnými parami. Princíp je veľmi podobný kondenzácii. Ďalším poklesom teploty sa zníži množstvo vlhkosti ktoré je vzduch schopný vo svojom objeme udržať a prebytočnej vlhkosti sa zbaví vo forme kryštálikov ľadu.

5.1.3 Parametre vlhkosti vzduchu

Pri sledovaní vlhkosti vzduchu možno pozorovať niekoľko parametrov, ktoré rôznym spôsobom popisujú vlhkosť charakteristiky daného objemu vzduchu. Každý z nich má rôzne uplatnenie v meteorologickej praxi pri posudzovaní stavu počasia a jeho predpovediach. Vlhkosť vzduchu, čiže množstvo vodných pár ktoré sa v určitom objeme vzduchu nachádza sa popisuje pomocou týchto parametrov:

- Tlak vodných pár/napätie vodných pár;

- Sýtostný doplnok;
- Absolútna vlhkosť vzduchu;
- Relatívna vlhkosť vzduchu;
- Špecifická vlhkosť/zmiešavací pomer;
- Rosný bod/deficit rosného bodu.

Tlak vodných pár

Tlak pár, nazývaný i *napätie vodných pár* je parciálnym tlakom vlhkého vzduchu a podľa Daltonovho zákona sa podieľa na celkovom tlaku vzduchu. Kolíše v závislosti na teplote. V chladnejšom vzduchu je napätie vodných pár menšie ako v teplom. Pri danej teplote môže byť tlak pár na istej maximálnej hodnote, ktorú nazývame tlak nasýtených pár. Vravíme tiež, že vzduch je vodnými parami nasýtený. Tlak pár vo vzduchu označujeme ako e tlak nasýtených pár pri danej teplote označujeme ako E . Platí že:

$$e \leq E$$

Pri vodnými parami nasýtenom vzduchu nastáva jav, pri ktorom ak sa do vzduchu odparí nejaké množstvo pár, to isté množstvo sa premení späť do pôvodného stavu, nastáva teda stav rovnováhy medzi zmenami skupenského stavu vody. Vtedy platí, že:

$$e = E$$

čiže tlak pár dosiahol svoju maximálnu hodnotu pri danej teplote a preto tento prípad nazývame nasýtený stav. Ako už bolo spomenuté, chladnejší vzduchu dokáže v sebe udržať menej vlhkosti ako teplejší, preto maximálny tlak vodných pár E s teplotou klesá. V atmosfére je pomerne bežným javom existencia tzv. podchladenej vody. Sú to drobné kvapôčky vody pri teplotách do $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (po anglicky supercooled droplets). Tlak nasýtených pár nad ľadom E_l je pritom menší ako tlak nasýtených pár nad vodou E_v :

$$E_l < E_v$$

Tento fakt má veľký význam pri tvorbe zrážok a oblačnosti.

Sýtostný doplnok

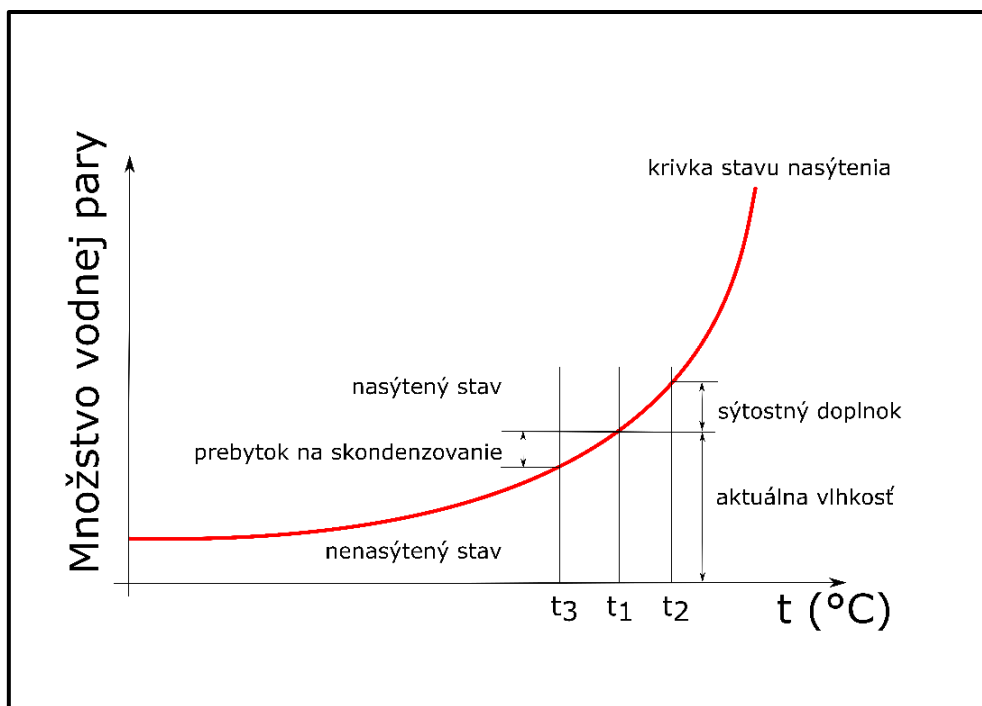
Okrem napätia vodných pár e a E poznáme ďalšiu charakteristiku vyplývajúcu z rozdielu momentálneho napätia vodných pár a maximálneho napätia vodných pár za danej teploty. Sýtostný doplnok je vyjadrený vzťahom:

$$d = E - e$$

Kde:

- d je sýtostný doplnok.

To znamená, že čím je sýtostný doplnok väčší, tým suchší je vzduch. Ináč povedané, čím je sýtostný doplnok väčší, tým viac vlhkosti potrebuje vzduch doplniť do stavu nasýtenia.



Obrázok 2 Vplyv teploty na vlhkosť

Graf vyjadrujúci vzťah medzi teplotou, vlhkosťou a sýtosťným doplnkom. Pri teplote T_1 je dosiahnutý rovnovážny stav nasýtenia. Pri vyšších teplotách t_2 je vzduch schopný naviazať do svojho objemu viac vlhkosti, vzniká sýtosťný doplnok. Pri poklese teploty smerom k t_3 sa vzduch stáva nasýtením pri nižšej teplote a vzniká tak prebytok na skondenzovanie, respektíve depozíciu.

Pri hodnote sýtosťného doplnku 0 hPa je vzduchu vodnými parami nasýtený. Záporné hodnoty sýtosťného doplnku prakticky nie sú možné, vzduch sa prebytočnej vlhkosti pri ďalšom poklese teplôt zbavuje kondenzáciou, respektíve pri záporných teplotách depozíciou. To vysvetľuje princíp tvorby oblačnosti alebo hmiel, kedy sa pri ochladení vzduchu, či už izobarickom alebo adiabatickom, vytvára prebytok na skondenzovanie alebo depozíciu. Vtedy sa vytvoria kvapôčky vody alebo kryštáliky ľadu, ktoré sú na rozdiel od vodných pár ľudskému oku viditeľné.

Absolútna vlhkosť vzduchu

Pri absolútnej vlhkosti vzduchu posudzujeme množstvo vodnej pary v gramoch na m^3 . Označujeme ju ako **a**. Určitý objem vzduchu môže pri danej teplote obsahovať isté limitné množstvo vodných pár. Toto množstvo nazývame maximálna absolútna vlhkosť. Označujeme ju ako **A**. Analogicky s faktami uvedenými prio napätí vodných pár platí, že absolútna vlhkosť vzduchu je závislá na teplote. Teplejší vzduch dokáže za daného objemu do seba naviazať väčšie množstvo vlhkosti. Tento fakt sa prejavuje napríklad pri pozorovaní úhrnu zrážok, kedy najväčšie priemerné úhrny zrážok pripadajú na letné obdobie. V teplej polovici roka sa vyskytujú búrky s lejakmi, prípadne sa vyskytujú i dni s výskytom dusna. *Dusno* je subjektívne nepríjemný pocit vyvolaný kombináciou teploty vzduchu, vlhkosti vzduchu a malej rýchlosti vetra. Pri vyšších teplotách a vysokých vlhkostiach vzduchu je obmedzený výpar potu z ľudskej pokožky, čo má za následok zhoršenie ochladzovacieho efektu organizmu. Záleží od individuálnej kondície a veku, no všeobecne sa za hranicu dusna považuje tlak vodnej pary 18,8 hPa. Zhoršenie efektu ochladzovania vplyvom zníženého výparu pri vyšších teplotách a vlhkostiach a jeho dopad na ľudský organizmus sa nazýva *pocitová teplota*.

Relatívna vlhkosť vzduchu

Absolútna vlhkosť sa v praxi ťažko meria, množstvo vodných pár kolíše v závislosti od teploty vzduchu, no i od jeho objemu preto bol zavedený parameter relatívna vlhkosť vzduchu, ktorá je vyjadrená pomerom absolútnej vlhkosti k maximálnej absolútnej vlhkosti pri danej teplote. Označujeme ju **f** alebo **RH** a je vyjadrená vzťahom:

$$RH = \frac{a}{A} \times 100\%$$

pričom relatívna vlhkosť sa dá vyjadriť i pomerom napätia vodných pár ku napätiu nasýtených vodných pár pri danej teplote:

$$RH = \frac{e}{E} \times 100\%$$

Pre stav nasýtenia vodnými parami platí:

$$a = A \text{ alebo } e = E$$

z toho vyplýva, že

$$\frac{a}{A} = \frac{e}{E} = 1$$

Pri stave nasýtenia vodnými parami je relatívna vlhkosť 100 %. Relatívna vlhkosť je pre svoju dobrú merateľnosť najviac využívaná v meteorologickej praxi, pri niektorých výrobných procesoch i v bežnom živote.

Špecifická vlhkosť, zmiešavací pomer

Špecifická vlhkosť je charakteristika ktorá popisuje množstvo vodnej pary v gramoch na kilogram vlhkého vzduchu. Využitie má najmä v aerológii, čo je veda zaoberajúca sa voľnou atmosférou na základe balónových sondáží, prípadne iných meraní vyšších vrstiev atmosféry. Obdobnou charakteristikou je zmiešavací pomer ktorý je definovaný podielom hmotnosti vodnej pary ku hmotnosti suchého vzduchu v danom objeme. Jednotkami merania. Pre zmiešavací pomer platí vzťah:

$$w = \frac{m_v}{m_d}$$

Kde:

- m_v je hmotnosť vodnej pary;
- m_d je hmotnosť suchého vzduchu v danom objeme;
- w je zmiešavací pomer.

Jedná sa o bezrozmernú veličinu, ktorá sa číselne približne rovná relatívnej vlhkosti vzduchu.

Rosný bod/deficit rosného bodu

Rosný bod (T_d), označovaný aj ako DPT (due point temperature) je hypotetickou teplotou na ktorú keby sme vlhký vzduch izobaricky ochladili dosiahli by sme stav nasýtenia vodnými parami. Hovoríme o hypotetickej teplote, z dôvodu nemožnosti praktického merania tejto teploty. Jej hodnota sa získava výpočtom. Opäť platí princíp, že v teplejšom vzduchu je možné dosiahnuť vyššie hodnoty rosného bodu, no konkrétna hodnota závisí od množstva vlhkosti obsiahnutej v ovzduší. Najvyššie hodnoty teploty rosného bodu budú preto vo vlhkých tropických oblastiach. Analogicky najnižšie tepoty rosného bodu možno očakávať v oblastiach pólů. Rozdiel medzi teplotou vzduchu a rosným bodom sa nazýva *deficit rosného bodu* (due point depression, DPT)

$$DPD = T - DPT$$

Kde:

- T je teplota vzduchu.

Deficit rosného bodu udáva ako ďaleko má nenasýtený vzduch do stavu nasýtenia. Názov „rosný bod“ dostala táto teplota podľa druhu usadených zrážok, ktoré je možné pozorovať na povrchu, zväčša na stebľach trávy, Tieto vznikajú v noci alebo skoro ráno, kondenzáciou vodných pár pri izobarickom ochladení v tesnej blízkosti povrchu, teda v MBL vrstve.

5.1.4 Meranie vlhkosti vzduchu

Na meranie vlhkosti sa využívajú *hygroskopické* vlastnosti blán a vlasov. Prístroje sa teda nazývajú hygrometre, uložené v meteorologických búdkach. Vlasy a blany majú tú vlastnosť, že sa vo vlhkom vzduchu predlžujú. Obsahujú totiž pukliny alebo medzierky, v ktorých vodné pary kondenzujú a tým sa materiál rozťahuje. Tento pohyb je vyvedený prevodovým mechanizmom na stupnicu, kde sa vlhkosť odčíta priamo v %. Tieto vlhkomery je treba často regenerovať a zbavovať mastnoty, ktorá hygroskopické vlastnosti meracích médií zhoršuje. V prípade záznamu priebehu vlhkosti s časom hovoríme o hygrografe.

Presnejšia metóda funguje na princípe dvoch rovnakých teplomerov, s ktorých jeden je zvlhčovaný, napríklad savou pančuškou, ktorej jeden koniec je v nádobke s destilovanou vodou a druhý je natiahnutý priamo na zásobník ortuti teplomera. Jedná sa o Augustov staničný psychrometer. Prístroj funguje na princípe, kde platí, že čím suchší je vzduch, tým rýchlejšie výpar s povrchu pančušky prebieha. To má za následok vyššej spotreby latentného tepla potrebného na výpar. Túto energiu vlhká pančuška získava na úkor teploty „vlhkého“ teplomera. Vlhký teplomer tak bude ukazovať nižšiu teplotu ako „suchý“. Na základe rozdielu teplôt sa pomocou tabuliek odčítavajú hodnoty **e** a **RH**. Táto dvojica teplomerov tvorí základ prístrojového vybavenia meteorologickej búdky, preto sa aj nazýva Psychrometrická žalúziová búдка.



Obrázok 3 Psychrometrická žalúziová búдка a jej obsah

Pre všetky psychrometrické žalúziové búdky platia jednotné normy vydané WMOz dôvodu zabezpečenia homogenity nameraných údajov na celom svete. Okrem iného musia mať búdky objem 1 m³ a teplomery v nich sú inštalované tak, aby ortuťové zásobníky teplomerov boli presne 2 m nad zemou. Búдка svojou konštrukciou a farbou zabezpečuje ochranu pred priamym slnečným žiarením (odtiaľ pochádza laický pojem teplota v tieni), atmosférickými zrážkami a súčasne zabezpečuje primeranú cirkuláciu vzduchu.

Psychrometrická metóda vykazuje chyby pri teplotách okolo 0 °C, pre anomálie vody a pre tvorbu alebo spotrebu latentného tepla, ktorá sa v prípade skupenských premien pri teplotách blízko bodu mrazu prejavuje.

Už bolo spomenuté, že na výpar vody z povrchu pančušky je potrebné latentné teplo, ktoré si voda odoberie z povrchu teplomera a tak ho ochladí. Vlhký teplomer teda ukazuje nižšiu, nanajvýš rovnú teplotu ako suchý. Pri mrznutí vody sa však teplo s vlhkej pančušky uvoľní a tak vlhký teplomer ohreje. Vtedy vykazuje vyššiu teplotu ako teplomer suchý. Jedná sa o zlyhanie metódy. Psychrometer taktiež vykazuje značné chyby pri teplotách pod – 10 °C.



Obrázok 4 Digitálny teplomer PT100 so senzorom vlhkosti vzduchu vľavo s radiačným krytom, vpravo bez krytu

V modernej meteorológii pri automatizovanom zbere dát sa používajú sondy na základe zmien hygroskopickéj kapacity polymérovej vrstvy. Tieto sondy zároveň merajú teplotu vzduchu platinovými teplomermi a DPT je vypočítaná dodatočne. Radiačný kryt senzora teploty a vlhkosti vzduchu plní funkciu psychrometrickej žalúzievej boudky. Týmto spôsobom je povrch snímača chránený pred priamymi účinkami slnečného žiarenia. Takto nameraná teplota popisuje teplotu vzduchu, nie teplotu sondy vystavenej priamemu slnečnému žiareniu. Média a laická verejnosť túto teplotu neodborne označujú ako „teplotu v tieni“.

5.1.5 Zmeny vlhkosti vzduchu.

Je zrejmé, že zmeny vlhkosti vzduchu budú súvisieť najmä so zmenou teploty vzduchu. Do úvahy preto prichádzajú zmeny teploty a teda aj vlhkosti vzduchu v súvislosti s dennou a ročnou dobou. Hovoríme o dennom a ročnom chode vlhkosti. potom závisí od sledovania konkrétneho parametra vlhkosti, ktorý pozorujeme.

Chod absolútnej a relatívnej vlhkosti vzduchu

Absolútna vlhkosť priamo súvisí s výskytom maximálnych a minimálnych teplôt. Čím vyššia je teplota vzduchu, tým viac vlhkosti zo zdrojov vyparovania sa doň môže dostať. Chod úrovne absolútnej vlhkosti je preto vo fáze z chodom dennej teploty

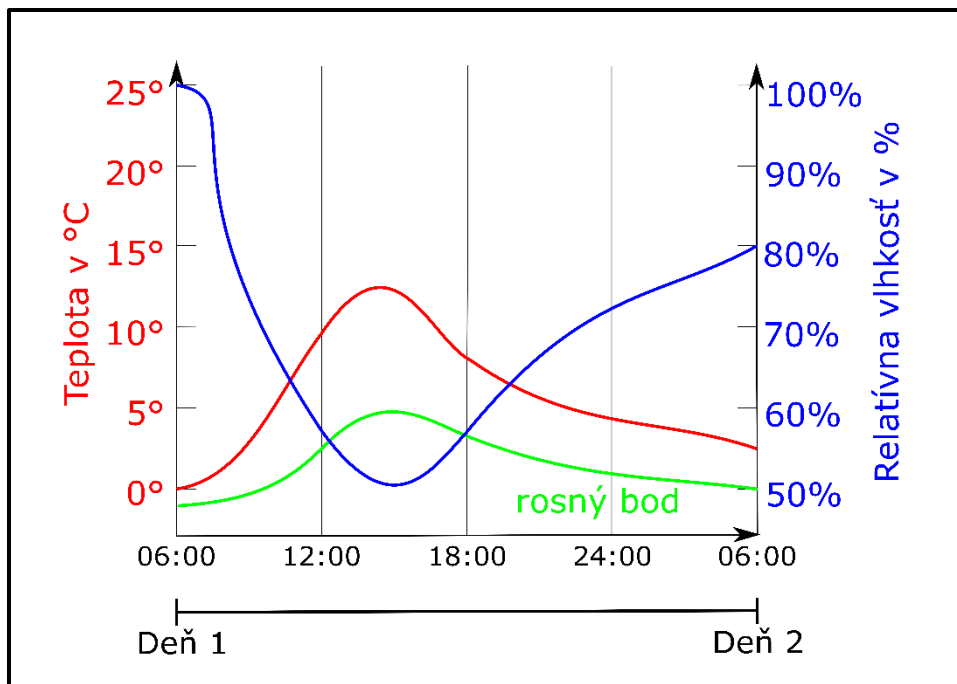
- Maximum popoludní;
- Minimum ráno.

Analogicky možno očakávať, že ročný chod absolútnej vlhkosti vzduchu bude vo fáze s ročným priebehom teploty vzduchu:

- Maximum v lete;
- Minimum v zime.

Pri sledovaní *relatívnej vlhkosti* vzduchu sa dostávame do protifázy s denným priebehom teploty vzduchu“

- Maximum ráno po východe slnka;
- Minimum popoludní.



Obrázok 5 Denný chod relatívnej vlhkosti vzduchu je v protifáze s chodom teploty vzduchu

Je tomu tak z dôvodu izobarického ochladzovania a otepľovania vzduchu. V prípade izobarického ochladzovania sa teplota vzduchu približuje k teplote rosného bodu, následne klesá deficit rosného bodu a zvyšuje sa relatívna vlhkosť vzduchu. Naopak pri izobarickom otepľovaní narastá sýtočný doplnok, deficit rosného bodu sa zväčšuje a tak klesá relatívna vlhkosť vzduchu.

Analogicky pri ročnom chode priebehu relatívnej vlhkosti vzduchu sa dostávame do protifázy s chodom teplôt vzduchu:

- maximum v zime;
- minimum v lete.

Priebeh vlhkosti, či už absolútnej alebo relatívnej, býva ovplyvňovaný výskytom zrážok napríklad pri výskyte popoludňajších búrok v letnom období. Vtedy okrem narušenia denného chodu teploty vzniká i veľké množstvo dodatočných zdrojov vlhkosti z výparu z vypadávajúcich zrážok, vlhkej pôdy, mlák a jazierok vzniknutých zo zrážok a pod.

Kontrolné otázky a úlohy overujúce pochopenie témy:

- Čo sleduje termodynamika atmosféry?
- Ako nazývame prechod z pevného skupenstva na plynné?
- Čo je to latentné teplo?
- Pri akých fázových premenách sa latentné teplo uvoľňuje a pri ktorých sa spotrebúva?
- Definujte pojmy absolútna a relatívna vlhkosť.
- Definujte pojem rosný bod a pojednajte o spôsobe jeho merania.
- Čo je to deficit rosného bodu?
- Na čo sa využíva sledovanie zmien vlhkosti a teploty v leteckej meteorológii?
- V ktorej dennej dobe sa vyskytuje maximum relatívnej vlhkosti? Prečo?