

Kazalo

1	Opazovanja in meritve v ozračju	5
1.1	Značilnosti meritev v atmosferi	5
1.2	Pregled merjenja atmosferskih spremenljivk	10
1.2.1	Temperatura zraka	10
1.2.2	Zračni pritisk ali zračni tlak	11
1.2.3	Hitrost vetra	14
1.2.4	Voda v zraku	16
	Vlažnost zraka	16
	Merjenje vlažnosti zraka s psihrometrom	17
	Tekoča in trdna voda v zraku: vodnost oblakov	18
	Tekoča in trdna voda pri tleh: padavine in snežna odeja	19
1.2.5	Sončno obsevanje ter sevanje tal in ozračja	21
1.2.6	Avtomatske meteorološke postaje	22
1.3	Opazovanja vremena	23
1.3.1	Opis lokalnega vremena z vremenskimi pojavi	25
	Oblačnost	25
	Vremenski pojavi ob večinoma jasnem vremenu	26
	Padavinski pojavi	27
1.4	Meteorološki sateliti	30

1

Opazovanja in meritve v ozračju

1.1 Značilnosti meritev v atmosferi

V primerjavi z drugimi področji fizike je v meteorologiji težko opravljati nadzorovane poizkuse. V tem je meteorologija podobna nekaterim drugim področjem naravoslovja, kot na primer astronomiji, seizmologiji, paleontologiji ali fizični geografiji. Pojavi v atmosferi se zgodijo sami, brez našega povoda ali vpliva, tako da so meritve v atmosferi vedno le meritve naravnega stanja in poteka pojavov. Hkrati skoraj nikoli ne moremo povsem natančno določiti začetnega stanja ali robnih pogojev nekega pojava. Naslednja okoliščina, ki loči meteorološke meritve od drugih meritev v fiziki, je ta, da so dogajanja v atmosferi neponovljiva: istovrstni pojavi so si med seboj podobni, nikoli pa si niso povsem enaki.

Atmosfera obdaja vso površino planeta Zemlje, kopno in morja. Vremenski pojavi se dogajajo po vsej globini troposfere. V horizontalni smeri v ozračju ni nobenih robov ali meja, atmosfera se zaključi sama vase, v vertikalni smeri pa je le spodnji rob jasen, to je površje planeta Zemlja, zgornji rob atmosfere pa ni povsem določen, saj ozračje postopno prehaja v medplanetarni prostor.

Polja meteoroloških spremenljivk so v naravi zvezna, to pomeni, da so v vsaki točki prostora, ki ga napolnjuje atmosfera, enolično določene fizikalne količine, kot so temperatura, pritisk ali količina vlage. Hkrati so ta polja tudi zvezno odvedljiva, kar pomeni, da v njih ni singularnih točk, kjer bi

se te količine na zelo kratki razdalji zelo močno spreminjale. Za takšna zvezna polja tudi natančno veljajo enačbe, ki jih uporabljamo za popisovanje fizikalnih zakonitosti ozračja. V dejanskih okoliščinah lahko izmerimo vrednosti atmosferskih spremenljivk le v posameznih diskretnih točkah, pri čemer je razdalja med merilnimi točkami lahko tudi precej velika. Tako izmerjena polja atmosferskih spremenljivk so le diskreten približek zveznih polj. Približek je tem boljši, čim gostejše so meritve v prostoru. O stanju atmosfere v prostoru med merilnimi točkami vemo malo. Verjamemo sicer, da so polja zvezna in zvezno odvedljiva, da se vmes med točkami meritev ne dogaja nič posebnega, vendar praksa kaže, da se v atmosferi dogajajo tudi pomembni pojavi, ki jih točkovne merilne mreže ne zaznajo ali jih zaznajo le delno. Takšni pojavi so pogosto vir napak v poznavanju dogajanja v atmosferi.

Polja atmosferskih spremenljivk ponavadi merimo z merilno mrežo, ki jo sestavlja mnogo skoraj enako opremljenih merilnih postaj. Razdalja med točkami merilne mreže je odvisna tudi od tega, kakšne atmosferske pojave želimo meriti. Merilne mreže so prostorsko nepravilne, to pomeni, da so razdalje med točkami različne; merilne točke so večinoma postavljene tam, kjer je opazovanje in merjenje fizično in finančno mogoče. Merilno mrežo sestavljajo z merilnimi napravami in inštrumenti opremljene postaje, za katere skrbijo opazovalci-merilci.

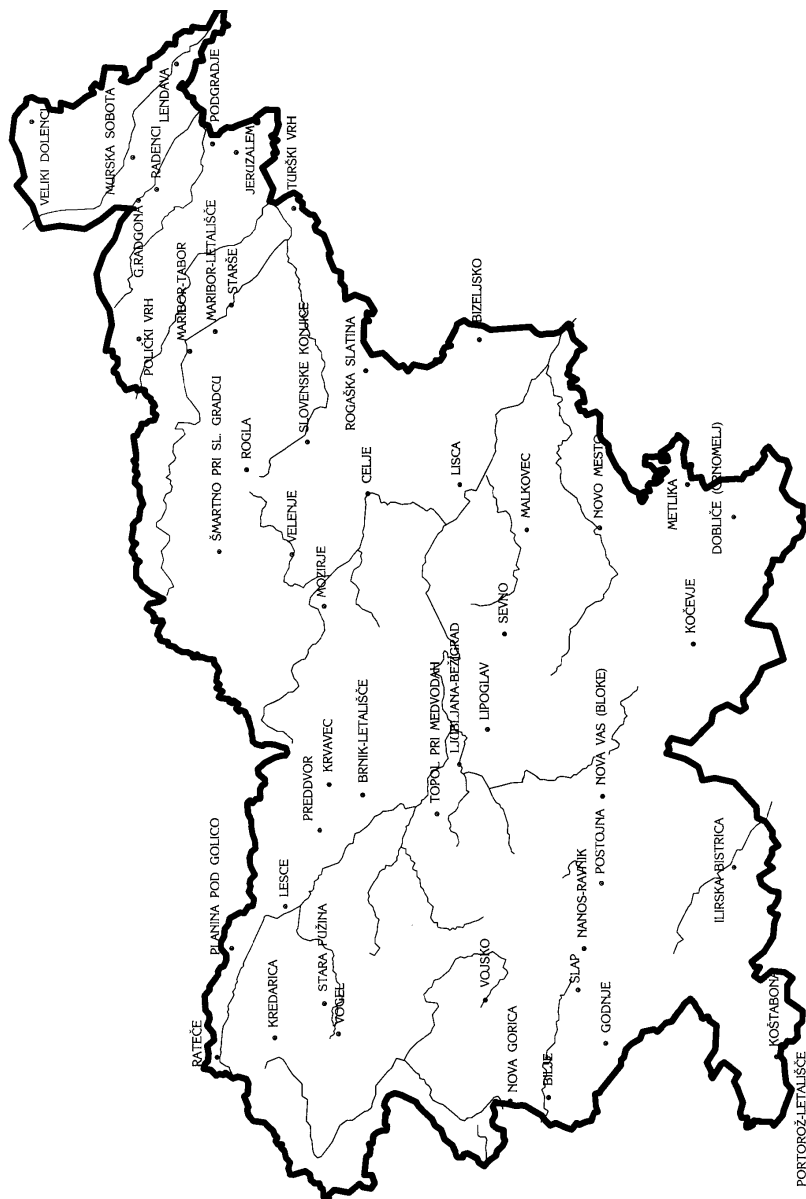
Za merjenje pojavov sinoptičnih razsežnosti (ti pojavi so veliki nekaj tisoč kilometrov) je po površini Zemlje vzpostavljena mreža meteoroloških postaj za določanje vertikalnega poteka meteoroloških spremenljivk. S takšnih postaj spuščajo v ozračje dvigajoče se balone, na katere so privezane merilne naprave za določanje vlage, temperature in pritiska. (Tehnično ime za te meritve je radiosondaža ali kar kratko sondaža) Razdalje med radiosondnimi postajami so na kontinentih med 100 in 300 km, na morjih pa so še dosti večje. Sinoptične pojave poleg tega meri in opazuje še prizemna sinoptična opazovalna mreža z razdaljami med postajami od 10 do 50 km na kopnem in precej večjimi razdaljami med ladjami in bojami na morju. Iste pojave opazujejo in merijo tudi meteorološki sateliti. Geostacionarni sateliti z meritvami oblačnosti, premikov oblakov in temperature vrha oblakov s prostorsko ločljivostjo okoli 2 km, polarno orbitalni sateliti pa tudi z meritvami vertikalnega profila temperature s horizontalno krajevno ločljivostjo okoli 50 km. Meritve v meteoroloških opazovalnih mrežah morajo biti tudi časovno usklajene, redne in stalne, saj se dogajanja v atmosferi odvijajo neprestano.

Meritve v atmosferi morajo biti natančne. Ne le da mora biti natančna vsaka meritev posebej, natančnost meritev mora biti zagotovljena v celotni mreži. Meteorološke meritve in opazovanja so zaradi globalnosti vremenskih pojavov mednarodno usklajene. Enotnost kvalitete, kontrola izmerjenih podatkov in hitra izmenjava izmerjenega so med glavnimi nalogami Svetovne meteorološke organizacije (WMO).

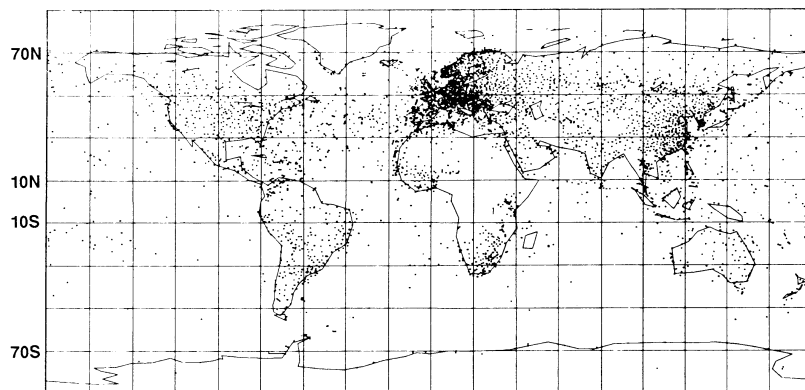
Razen natančnosti meritev je treba pri opazovanju stanja atmosfere paziti tudi na reprezentativnost meritve. Ta značilnost meritve pomeni, da izmerjena vrednost neke meteorološke spremenljivke res predstavlja stanje v atmosferi nad določenim geografskim območjem. Temperaturo tako npr. merimo v vremenski hišici, ki je postavljena daleč stran od ostalih objektov (da se izognemo vplivom ogrevanja ali hlajenja), ki je pobarvana belo, da se izognemo vplivom sončnega segrevanja hišice. Hišica je oblikovana tako, da skozi njo piha veter, ki skrbi za izmenjavo zraka z okolico. Hišico postavimo na takšno mesto, kjer so razmere kar najbolj značilne za določeno pokrajino: ne tik ob jezeru ali reki, če je le mogoče ne na vrhu gore in ne na sedlu in ne v najbolj globoko vrtačo, ne v gozdu, po možnosti na pokošeno travo.

Na reprezentativnost meritve vplivajo tudi sami pojavi v ozračju. Izrazito jezero hladnega zraka v kotlini povzroči, da je izmerjena temperatura bistveno nižja. Podatek je sicer točen in reprezentativen za to kotlino, ne predstavlja pa stanja v atmosferi le nekaj deset metrov višje. Tudi majhna nevihta bistveno spremeni meritve temperature, vlage in vetra na neki postaji. Le nekaj kilometrov stran je temperatura lahko dosti višja, ne da bi to pomenilo, da je tam vmes kakšna, gledano z večjih razsežnosti, bistvena ločnica v ozračju.

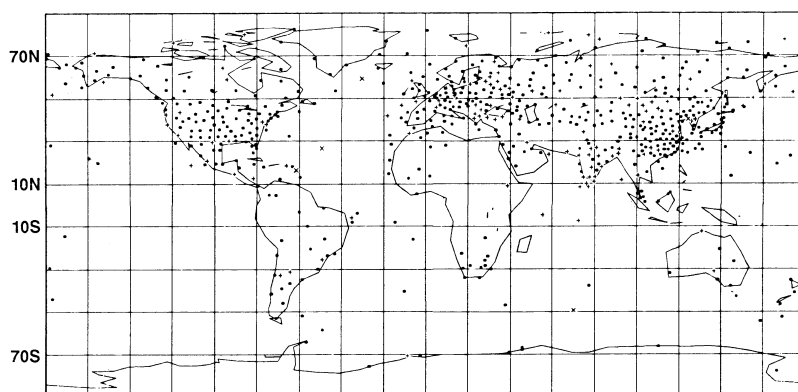
Ker morajo biti meritve, opravljene na različnih opazovalnih točkah, med seboj primerljive in vsaj približno enako natančne, morajo biti opravljene s standardiziranimi in umerjenimi merilnimi napravami in inštrumenti ter na predpisani način. Meritve stanja atmosfere morajo biti časovno neprekinjene, vsekakor pa tudi sočasne in časovno usklajene. Opazovalne mreže nekatere meteorološke spremenljivke merijo neprestano, druge pa le ob določenih časih. Časi meritev – meteorološki termini – so svetovno usklajeni, tako da npr. vse radiosondne postaje vsak dan sočasno ob 00.00 in 12.00 UTC (svetovni usklajeni čas, precej natančno ustreza GMT) spustijo balone z merilnimi sondami (dodatna termina sta še 06.00 in 18.00 UTC). Ob 00.00, 03.00, 06.00, 09.00, 12.00, 15.00, 18.00 in 21.00 UTC so opazovalni termini za prizemna sinoptična opazovanja, ob 07.00, 14.00 in 21.00 po lokalnem času pa so meritve in opazovanja za klimatološke namene.



Slika 1.1: Mreža meteoroloških postaj v Sloveniji; vsaka točka predstavlja eno klimatološko postajo, na katerih merijo vrednosti meteoroloških spremenljivk trikrat na dan (ob 7.00, 14.00 in ob 21.00 po SEČ).



PRIZEMNE SINOPTIČNE MERITVE



RADIOSONDAŽNE MERITVE

Slika 1.2: Mreža sinoptičnih postaj – meritve pri tleh vsake tri ure (zgoraj) in radiosondnih meritev – balonske meritve vertikalnega poteka meteoroloških spremenljivk vsakih dvanajest ur (spodaj). Vsaka pika predstavlja eno merilno mesto (po Daleyu, 1991).

1.2 Pregled merjenja atmosferskih spremenljivk

V atmosferi je mogoče meriti različne mehanske, termodinamične, električne in kemijske količine. V tem pregledu se bomo omejili le na najpomembnejše mehanske in termodinamične spremenljivke, ki jih bomo kasneje uporabljali pri razlagi pojavov v atmosferi. Pri načinu meritve bomo opozorili le na najbolj pogoste vrste in oblike meritev.

1.2.1 Temperatura zraka

Temperaturo zraka merimo s termometrom, izražamo pa s Kelvini (K) in s stopinjami Celzija ($^{\circ}C$). V nekaterih deželah uporabljajo tudi stopinje Fahrenheita ($^{\circ}F$).

Pri meritvi temperature moramo poskrbeti, da je temperatura termometra čim bolj enaka temperaturi zraka. Poskrbeti moramo, da termometer izmenjuje toploto le z zrakom in da je v termičnem ravnotežju z njim. Zmanjšati je treba vplive sončnega sevanja (termometer je nameščen v beli meteorološki hišici 2 m nad tlemi), poskrbeti je treba za pretok zraka mimo termometra (ventiliranje), doseči je treba stacionarno stanje: počakati je treba, da se temperatura ustali. Preprečiti je treba vplive opazovalca na termometer: med meritvijo mora biti opazovalec tako daleč, da ne s svojim infrardečim sevanjem, ne s toploto ali dihanjem, kaj šele s kondukcijo (prijemanjem) ne kvari meritve.

Standardna naprava za merjenje temperature zraka je živosrebni termometer. Uporabljajo se tudi termometri z obarvanim alkoholom, pa tudi bimetalni, uporovni in termistorski termometri. Standardni postajni termometer je namenjen za merjenje povprečne temperature v desetih minutah, temu primeren je njegov reakcijski čas.

V avtomatskih meteoroloških postajah za meritve temperature poleg uporovnih in termistorskih termometrov uporabljajo tudi meritve drugih od temperature odvisnih fizikalnih količin. Nekateri termometri merijo le trenutno stanje temperature, drugi pa beležijo stanje neprestano, najsi je to analogno, grafično (termograf) ali pa številčno, digitalno.

S posebnimi termometri merimo tudi minimalno oziroma maksimalno temperaturo zraka v izbranem časovnem intervalu, ponavadi v enem dnevu.

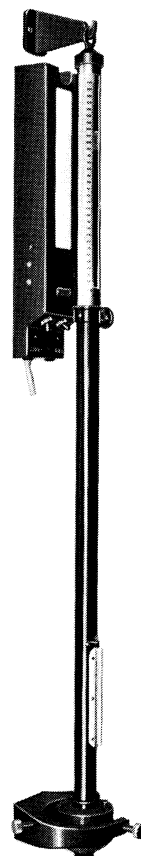
1.2.2 Zračni pritisk ali zračni tlak

Tlak ali pritisk v tekočinah je neodvisen od smeri, tako da je skalarna količina. V ozračju je posledica sile teže vsega zraka nad merilnim mestom. V naravoslovju nasploh in v tej knjigi sta izraza tlak in pritisk sinonima. V tehniki pa pritisk pogosto pomeni ploskovno porazdeljeno silo (vektor) in zato izraz tlak uporabljajo za skalarno količino.

Enota za pritisk je Pascal (Pa). Posebej v meteorologiji je najpogostejša enota $1 hPa = 100 Pa$, *hektopascal*, kar pogosto poimenujemo tudi milibar ($1 mbar$). Povprečna velikost zračnega tlaka je na morskem nivoju $1013,25 hPa$ oziroma $1013,25 mbar$ (za to vrednost se uporablja tudi izraz normalni zračni pritisk ali tlak). Zračni pritisk se najbolj spreminja z nadmorsko višino (pri majhnih višinah za okoli $1 hPa$ na $10 m$), spreminja pa se tudi zaradi vremenskih procesov (horizontalne razlike so npr. $1 hPa$ na $100 km$, časovne razlike pa med $0,1$ in $1 hPa/h$) in termodinamičnih vplivov.

Standardna naprava za merjenje tlaka je živosrebrni barometer. To je vezna posoda, kjer je en krak odprt navzgor, v drugem, zaprtem in evakuiranem, pa je živo srebro. Teža stolpca živega srebra uravnoteži težo zraka.

Normalnemu zračnemu pritisku ustreza $760 mm Hg$. Pritisk določamo tako, da odmerimo višino med gladinama živega srebra in jo pomnožimo z gostoto Hg in lokalnim gravitacijskim pospeškom:



Slika 1.3: Živosrebrni barometer, en del vezne posode je rezervar za živo srebro, drugi del pa na vrhu zaprta pokončna cev. Nad stolpcem živega srebra je vakuum.

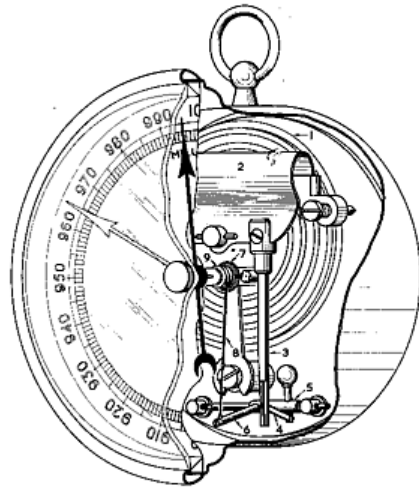
$$p = \rho g \Delta h.$$

Masa živega srebra v barometru je precejšnja (okoli 1 kg), saj morata biti kraka vezne posode dovolj široka, da so kapilarni učinki zanemarljivi. Ker ima živo srebro precejšen koeficient temperaturnega raztezka, se višina živega srebra v barometru razen zaradi zračnega pritiska zaznavno spreminja tudi s temperaturo. Zaradi precejšnje mase so te spremembe počasne. Zaradi temperaturnega raztezanja je potrebno meritve pritiska preračunati na standardno temperaturo živega srebra ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Barometer mora biti nameščen v takšnem prostoru, kjer je temperatura kar najbolj stalna.

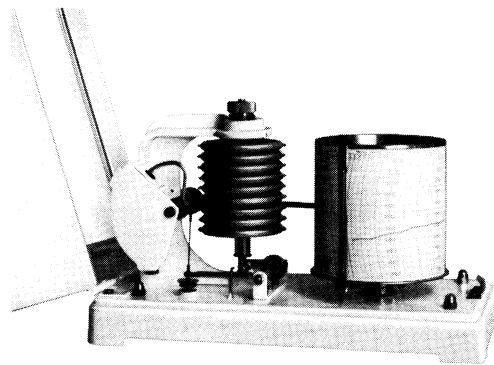
Merilna mesta z barometri so v krajih z različnimi nadmorskimi višinami in zato so izmerjene vrednosti pritiska (četudi preračunane na $0\text{ }^{\circ}\text{C}$) med seboj le težko primerljive. Pogosto je treba v meteorologiji računati razlike med pritiski, tako da se je ustalila navada, da se pritiske preračuna na referenčno višino, ponavadi je to morski nivo. Pri tem uporabimo barometrično enačbo (enačba ??). V barometrični enačbi predpostavimo, da naj bo med nivojem morja in višino barometra zrak s takšno temperaturo, kot jo ima zrak na merilni postaji, kar povzroči nekaj napake pri preračunu pritiska.

Zračni pritisk lahko merimo tudi s pomočjo Vidiejeve doze. To je zaprta kovinska posoda, v kateri je zračni tlak nekoliko znižan, stene in pokrov posode pa se lahko zaradi sprememb zračnega tlaka deformirajo, torej se bolj ali manj upognejo. Da so deformacije sten posode majhne in upogib linearen glede na spremembe pritiska, je v posodi nameščena vzmet, ki delno kompenzira deformacije. Vidiejeva doza se razteza tudi zaradi temperaturnih sprememb (segrevanje in ohlajanje sten, vzmeti in zraka v dozi), temperaturni vplivi so kompenzirani z raztezanjem bimetala. Barometer z Vidiejevo dozo (imenujemo ga tudi aneroid) umerimo z živosrebrnim barometrom. Deformacijo Vidiejeve doze mehansko ali električno ojačimo. Instrument, ki grafično beleži potek pritiska, imenujemo barograf.

Zaradi povezave med nadmorsko višino in pritiskom lahko aneroide uporabljamo kot višinometre. Pri tem je seveda potrebno umerjanje višinometra pri znanih nadmorskih višinah zaradi tega, ker se pritisk in temperatura spreminjata tudi zaradi sprememb vremena. Za merjenje sprememb pritiska lahko uporabimo tudi piezoelektrične kristale.



Slika 1.4: Prerez aneroida: deformacija Vidiejeve doze se mehansko ojači in prikaže na okrogli skali.



Slika 1.5: Barograf: na levi so Vidiejeve doze, na desni pa vrtljivi boben, na njem registrirni papir.

1.2.3 Hitrost vetra

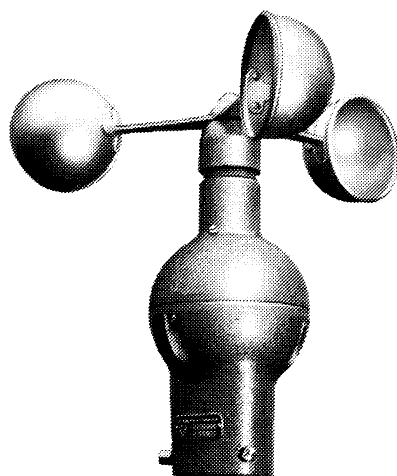
Hitrost vetra je, kot smo videli v prejšnjem poglavju, vektorska količina s tremi komponentami v lokalnem ortogonalnem koordinatnem sistemu. V meteorologiji komponente hitrosti ponavadi označimo z u, v in w .

Veter merimo z anemometri. Včasih eksplicitno merimo vsako komponento vetra posebej, bolj pogosta pa je meritev vetra le v horizontalni smeri. Tedaj določimo veter v lokalnem polarnem koordinatnem sistemu: določimo smer in hitrost vetra. Smer vetra v meteorologiji določamo vedno po smeri, iz katere piha veter: smer vetra severnika je izhodišče koordinatnega sistema ($N : 0^\circ$ oziroma 360°), ostale smeri se vrstijo v negativni smeri (v smeri urnega kazalca; vzhodnik: $E : 90^\circ$). Hitrost vetra izražamo v metrih na sekundo (m/s), pri nekaterih uporabnikih (letalski in pomorski promet) pa se še vedno uporabljajo enote vozli ($1 kt = 1 \text{ morska milja/h} = 1852 m/h = 0,514 m/s$). Meritev smeri vetra na meteoroloških merilnih postajah opravljajo z vetrokazom praviloma na višini 10 m nad tlemi. Na vodoravno palico sta pritrjena krilo in konica – utež. Palica je uravnotežena in horizontalno vrtljiva na vertikalni osi. Krilo, pritrjeno na palico, se obrača z vetrom, na nasprotni strani palice pa konica kaže smer, iz katere piha veter.

Meritve hitrosti vetra so bolj zapletene. Hitrost premikanja zraka je določena kot pot, ki jo opravi zrak v časovni enoti. Ker je zrak neviden, je težko slediti njegovemu premikanju. Za meteorološke meritve se ponavadi uporablja anemometer z Robinsonovim križem. Na vertikalno os so vrtljivo nasajeni trije ali štirje kraki, na katerih so nameščene votle polkrogle ali stožci. Zaradi neenakega upora na vbokli in izbokli strani krogel se pojavi navor in križ se začne vrteti: čim večja je hitrost vetra, hitreje se vrti. Deloma je hitrost vrtenja odvisna tudi od turbulentnosti toka: pri majhnih hitrostih, ko je tok laminaren, je rezultatna sila na polkrogle linearno odvisna od hitrosti, pri večjih pa je odvisna potenčno. Anemometre ponavadi umerijo v vetrovnih tunelih, v katerih poznamo hitrost toka zraka.

Hitrost vetra lahko merimo tudi s Pitotovo cevjo, kjer iz izmerjene razlike tlakov ob odprtinah pravokotno in prečno na tok (meritve zastojnega tlaka) z Bernoullijevo enačbo določimo hitrost zraka.

Meritve hitrosti vetra lahko opravimo tudi drugače. Če merimo hitrost vetra z radiosondo, potem privzamemo, da se balon radiosonde giblje z vetrom. Hitrost tedaj merimo tako, da beležimo potek trajektorije balona. Hitrost določimo s časovnim diferenciranjem trajektorije. Hitrost vetra lahko določamo tudi s pomočjo Dopplerjevega učinka za zvočne ali elek-



Slika 1.6: Anemometer: Robinsonov križ sestavljajo tri ali štiri čaše, nameščene na horizontalne prečke. Hitrost vrtenja Robinsonovega križa je merilo za hitrost vetra.

tromagnetne valove: tako delujejo Dopplerjev sodar, radar ali lidar. Pri odboju valovanja od gibajočega se zraka se frekvenca spremeni v odvisnosti od hitrosti. V vseh primerih oddajnik oddaja valovanje z znano frekvenco; valovanje se na tarčah (to so lahko oblačni delci, področja različne gostote zraka, aerosol ipd.) odbije ali siplje nazaj in sprejemnik zazna frekvenco odbitega valovanja. Iz razlik frekvenc oddanega in sprejetega valovanja je mogoče izračunati hitrost premikanja tarče in s tem hitrost vetra. Na ta način lahko izmerimo vetrove nad večjim območjem in ne le v eni točki, določimo pa lahko le komponento vetra v radialni smeri glede na Dopplerjev merilec.

* Za merjenje hitrosti vetra uporabljajo tudi približne načine, kjer večinoma merijo učinke sile upora gibajočega zraka. Na ta način delujejo Wildov vetrokaz in vetrovna vreča. Wildov vetrokaz je na horizontalni osi pritrjena vertikalna nihajoča plošča, njen nagib glede na vertikalo je merilo hitrosti vetra. Vetrovna vreča je valj iz tkanine, ki ima na eni strani stalno odprtino, veter vrečo obrača v svojo smer, napihuje in dviga v odvisnosti od hitrosti.

Za oceno hitrosti vetra lahko uporabimo tudi učinke vetra na morju in na kopnem. Učinki (npr. velikost in oblika valov) so naštet v Beaufortovi skali (glej v dodatku). Na podlagi višine in oblike valov na morski gladini daleč stran od obale lahko namreč približno

sklepamo na hitrost vetra, podobno lahko sklepamo na podlagi drugih dogajanj v naravi: šelestenje listov, nihanje vej in debel in podobno.

Za dokaj natančno merjenje majhnih sprememb hitrosti vetra uporabljamo anemometer na vročo žico, kjer iz intenzivnosti ohlajanja ogrevane žice sklepamo na hitrost toka zraka. Hitrost vetra lahko točkovno merimo tudi z ultrazvočnim anemometrom. Pri tem merimo spremembo frekvence zvoka, ki je posledica gibanja zraka med zvočnikom in mikrofonom, in nato z uporabo Dopplerjeve enačbe določimo hitrost vetra. *

1.2.4 Voda v zraku

V atmosferi in na njenem spodnjem robu (na zemeljskem površju) se voda pojavlja v vseh treh agregatnih stanjih. Količine, ki jih merimo, in meritve teh količin so različne za vodno paro, tekočo vodo in led oz. sneg.

Vlažnost zraka

Vodna para je nevidna plinasta primes zraka. Vlažnost zraka opredelimo kot vsebnost vodne pare v zraku in jo lahko podajamo in merimo na različne načine.

Osnovni način za izražanje vlažnosti zraka je *gostota vodne pare* – *absolutna vlaga* ρ_v . Ta je v zraku neposredno težko določljiva, zato vlažnost zraka izražamo tudi kot *delni tlak vodne pare* e (parni tlak, v *mbar* oziroma *hPa*), kot *specifično vlago* q (koncentracija vodne pare v zraku, $q = m_v / (m_s + m_v)$, enota je ponavadi *g/kg*) ali kot *razmerje mešanosti* r (razmerje med maso vodne pare in maso suhega zraka, $r = m_v / m_s$, v *g/kg*).

Razmere v mešanici zraka in vodne pare opisuje Clausius-Clapeyronova enačba, ki določa maksimalno možno količino plinaste vode v zraku, tako da je parni tlak pri posamezni temperaturi zraka navzgor omejen z *nasičenim parnim tlakom* e_s . Če je v zraku nasičeni parni tlak presežen, se iz njega začne izločati voda v tekoči ali trdni obliki.

Relativna vlaga f je razmerje med dejanskim parnim tlakom in nasičenim parnim tlakom pri dani temperaturi zraka. Izražamo jo v odstotkih. Temperatura, pri kateri bi se ob ohlajanju začela kondenzirati voda, se imenuje *temperatura rosišča* T_d . O vlagi v zraku in njenih spremembah pa podrobneje v šestem poglavju.

Med posameznimi spremenljivkami, ki opisujejo količino vodne pare v zraku, so enostavne povezave, ki jih bomo pregledali v poglavju o termodinamiki ozračja. Delni tlak vodne pare oziroma absolutno vlago posredno določamo na podlagi podatkov, izmerjenih s psihrometrom. Iz delnega tlaka

vodne pare lahko izračunamo specifično in relativno vlago ter temperaturo rosišča. Temperaturo rosišča lahko izmerimo tudi neposredno, tako da postopno ohlajamo zrcalo, dokler se na njem ne začne izločati rosa (rosiščni higrometer). Relativno vlago lahko merimo neposredno z različnimi higrometri. Te naprave so narejene tako, da z njimi merimo nekatere lastnosti snovi, ki se spreminjajo z relativno vlago. Tako se npr. spreminjajo dolžina vlaken las ter električna prevodnost in dielektričnost nekaterih snovi. Povezava med lastnostmi snovi in relativno vlago je pogosto nelinearna, saj je histereza večinoma izrazita. Lastnosti snovi se namreč drugače spreminjajo pri povečevanju kot pri zmanjševanju vlažnosti zraka. Meritve relativne vlage s higrometri tako niso prav natančne.

Inštrument, ki grafično beleži potek relativne vlage, se imenuje higrograf. Pri njem merimo spremembe dolžine pramena razmaščenih las zaradi sprememb relativne vlage. Higrometre je potrebno umerjati s psihometričnimi meritvami.

Absolutno vlago, to je gostoto vodne pare v zraku, lahko direktno merimo gravimetrično. Zajamemo volumen zraka in vso vlago absorbiramo v znani masi higroskopne snovi. Higroskopno snov ponovno stehtamo in povečanje mase higroskopne snovi povzroči prav absorbirana masa vodne pare. Ta metoda se uporablja le za meritve v laboratorijih in ni primerna za operativne meritve.

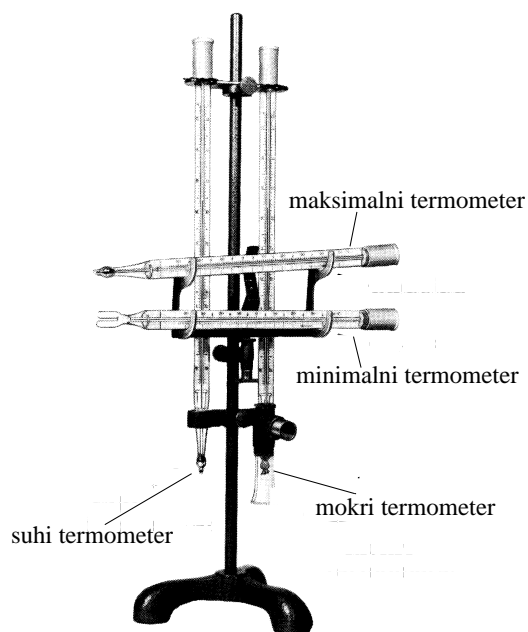
Merjenje vlažnosti zraka s psihrometrom

Standardni način za določanje vlage v zraku poteka z meritvijo specifične vlage s psihrometrom. Psihrometer je sestavljen iz dveh termometrov. En od termometrov ima bučko, ki je mokra, drugi pa suho. Mimo bučk termometrov teče stalen tok zraka (ob psihrometru je ventilator). Suhi termometer kaže temperaturo zraka T . Mokri termometer pokaže nižjo temperaturo T_m , saj voda ob bučki mokrega termometra izhlapeva. Izhlapi je toliko, da se zrak ob njej nasiti, mokri termometer se zaradi izhlapevanja ohladi.

Napišimo energijsko bilanco za zrak okrog bučke mokrega termometra:

$$h_i \Delta q = c_p \Delta T \quad (1.1)$$

kjer je Δq sprememba specifične vlage zaradi izhlapevanja, ΔT pa razlika med temperaturama mokrega in suhega termometra. Če vstavimo temper-



Slika 1.7: Psihrometer je sestavljen iz dveh termometrov. Bučka enega od njiju je ovita z mokro krpico. Prečno sta postavljena termometra za merjenje najvišje in najnižje temperature zraka.

aturi T in T_m , dobimo

$$h_i (q_s(T_m) - q) = c_p (T - T_m). \quad (1.2)$$

Od tod iz izmerjenih T_m in T ter nasičene specifične vlage $q_s(T_m)$ (to izračunamo iz Clausius–Clapeyronove enačbe) dobimo specifično vlago zraka:

$$q = q_s(T_m) - c_p/h_i (T - T_m). \quad (1.3)$$

Teškoča in trdna voda v zraku: vodnost oblakov

* Ob prenasičenju, do katerega ponavadi pride zaradi ohlajanja zraka, se vodna para iz zraka izloča kot tekoča voda ali led. Ob prisotnosti kondenzacijskih jeder (teh v atmosferi

nikoli ne manjka) se voda izloča v obliki drobnih oblačnih ali meglenih kapljic ali oblačnih ledenih kristalov; nastanejo oblaki ali megla. V mirujočem zraku kapljice in kristali le zelo počasi padajo, tako da se zdi, da v zraku lebdijo, v premikajočem se zraku jih s seboj nosi veter.

Količino trdne ali tekoče vode v zraku opišemo z vodnostjo, ki je masna koncentracija vodne primesi v zraku (masa tekoče vode oziroma masa trdne vode na maso zraka). Vodnost ima enake enote kot specifična vlaga. Vsota specifične vlage in vodnosti se pri kondenzacijskih procesih ohranja, če pri tem ne pride do padavin.

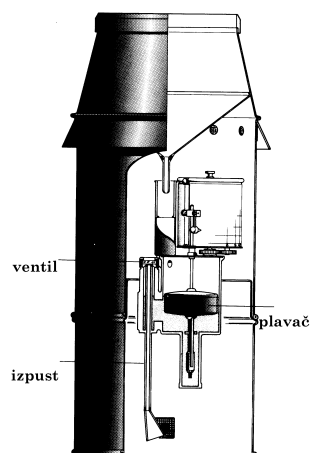
Količino vode v oblaku določamo predvsem z meteorološkim radarjem. Z vodnostjo oblakov je močno povezana količina padavin pri tleh. Laboratorijsko lahko določamo vodnost zraka gravimetrično z absorpcijo v higroskopni snovi, lahko pa vso vodo s segrevanjem zraka izparimo in določimo parni tlak. Količino tekoče in trdne vode v oblaku določamo tudi s slikanjem vzorcev oblačnega zraka, ki ga zajamejo raziskovalna letala med preletom skozi oblak. Slike kapljic nato računalniško obdelamo in na podlagi velikosti in oblike oblačnih elementov določimo volumen in maso vode.

Oblaki v atmosferi so sestavljeni iz množice kapljic in ledenih kristalov. O vrstah, oblikah in lastnostih oblakov bomo govorili kasneje. Opazovalci na meteoroloških postajah opazujejo skupno količino oblačnosti, vrsto in višino oblakov ter z oblaki povezane optične, padavinske in električne pojave. *

Teškoča in trdna voda pri tleh: padavine in snežna odeja

Iz oblakov se lahko izločijo padavine; o njihovem nastanku bomo izvedeli več v posebnem poglavju. Padavine, ki padejo iz oblaka, letijo skozi zrak in precejšnji del jih prileti na tla. Količino padavin pri tleh (gostoto masnega toka, kg/m^2 na časovni interval) merimo s posebnimi posodami. Imenujemo jih ombrometri, pluviometri ali dežemerji. Te posode, v katerih se zbira padavinska voda, imajo natančno znano ploščino prestrezne ploskve. Časovni interval merjenja je različen: navadne padavinske postaje izmerijo količino padavin vsakih 24 ur, za standardne sinoptične meritve padavin odmerijo količino vode vsakih 12 ur, včasih pa na 6 ur ali na 3 ure. Avtomatski ombrometri lahko merijo količino padavin tudi v dosti krajših časovnih intervalih. Količino padavin sicer merimo kot gostoto masnega toka, vendar jo ponavadi podajamo v enoti liter na m^2 na časovni interval ali v milimetrih na časovni interval. Številsko so si izrazi med seboj enaki: če zlijemo en liter vode (to je en kilogram) na kvadratni meter površine, voda prekrije tla en milimeter na debelo. Poleg količine padavin opazujejo meteorološki opazovalci tudi vrsto padavin in spremembe njihove intenzitete (rahle, zmerne, močne padavine, plohe, nevihte, nalivi itd).

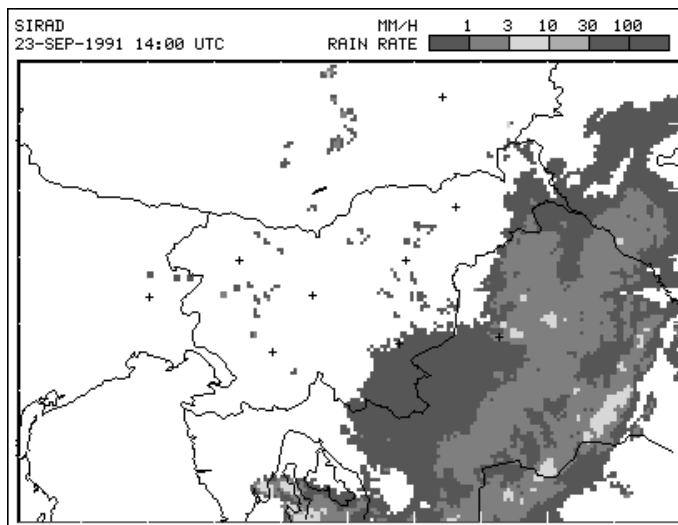
Količina padavin, ki jo izmerimo z ombrometrom, naj bi bila takšna, kakršno prejmejo naravna tla v okolici. To zahtevo je pogosto težko ure-



Slika 1.8: Ombrograf (pluviograf) z merilnim valjem. Padavinska voda, ki jo prestreže lijak, se nabira v valju, plavač na gladini vode pa premika registrirno pero.

sničiti, saj pluviometer moti gibanje zraka v svoji bližini in v močnem vetru so napake pri merjenju padavin zelo velike. Posebno velike so napake tedaj, ko so vertikalne hitrosti padanja padavinskih kapljic ali snežink majhne v primerjavi s horizontalnim vetrom. V takem primeru se lahko zgodi, da kar večino padavin odnese mimo dežemera. Napake se pojavljajo tudi tam, kjer je teren okoli dežemera razgiban: če je pluviometer postavljen na pobočju, po katerem piha veter navzgor, se lahko zgodi, da v ombrometer ne bo padlo skoraj nič padavin (npr. snega), čeravno je v zraku polno snežink. Tudi količino trdnih padavin lahko merimo s pluviometrom. Ob meritvi moramo brez izgub staliti v ombrometru zastali sneg. V težko dostopnih krajih merijo količino padavin s totalizatorji (pluviometri z letno ali sezonsko meritvijo količine padavin). Padavine lahko merimo tudi kontinuirano z ombrografom (pluviografom).

Količino padavin v zraku lahko izmerimo tudi z meteorološkim radarjem. Radar oddaja elektromagnetno sevanje v ozkem snopu. Če radarski žarek zadene kapljice ali kristale, ki lebdi v ozračju, se na njih del sevanja sipa in del tega sipanega sevanja se vrne nazaj v radarsko anteno. Količina vrnjene energije je sorazmerna številu in velikosti padavinskih elementov v zraku,



Slika 1.9: Radarska slika padavin nad vzhodnim delom Slovenije in nad delom Hrvaške. Različne intenzitete padavin so prikazane z odtenki sivine.

skozi katerega potuje radarski žarek. Po upoštevanju razdalje, s katere so prišli radarski odboji, lahko iz izmerjene intenzitete odboja približno sklepamo na to, koliko padavin je v zraku. Meritev padavin z radarjem količinsko ni zelo natančna in da predvsem kvalitativno podoba prostorske razporeditve padavin v oddaljenosti do okoli 100 km okoli radarja.

Snežna odeja na tleh se čez zimo nabere postopoma. Meteorološka mreža meri višino novozapadlega snega v zadnjih 3, 6 ali 12 urah, vsak dan pa tudi skupno višino snežne odeje. Višino novega snega in debelino snežne odeje merimo s snegomeri. To so stalno nameščene ali pa premične palice z označenim merilom. Meritev je treba opraviti tako, da se snežna odeja pri tem ne potepta. Na meteoroloških postajah poleg višine snežne odeje opazujejo tudi površino snežne odeje, prenašanje snega z vetrom (živi sneg), občasno izmerijo tudi gostoto, trdnost in temperaturo posameznih plasti snega.

1.2.5 Sončno obsevanje ter sevanje tal in ozračja

Daleč največji dotok energije v sistem atmosfere in zemeljskega površja je energija sončnega obsevanja. Več o energijski bilanci Zemlje in ozračja

bomo izvedeli v posebnem poglavju. Tukaj le omenimo, da energijo sevanja v posameznih delih Sončevega spektra merimo z različnimi radiometri. Pirheliometer je za merjenje direktnega sončnega sevanja, piranometer ali solarimeter pa za merjenje skupnega sončnega sevanja. *Gostoto energijskega toka sevanja* izražamo v enotah W/m^2 , način merjenja pa je večinoma diferencialno kalorimetričen. Merimo razliko v temperaturi med obsevanimi črnimi in belimi telesi, za katere izračunamo energijsko bilanco. Posamezne dele spektra omejimo s filtri. Na enak način lahko merimo tudi nevidne dele elektromagnetnega sevanja, predvsem infrardeče (IR) in ultravijolično (UV)sevanje. V infrardečem (IR) delu spektra ne seva le Sonce, pač pa tudi površina Zemlje in plini v atmosferi. Temperatura Zemlje, predmetov na njej in plinov v atmosferi je namreč takšna, da je maksimum njihovega sevanja prav v področju infrardečega sevanja.

Energijo sevanja lahko merimo globalno (merimo celotno količino sevanja, ki pade od zgoraj na horizontalno ploskev), cirkunglobalno (merimo vse sevanje, ki pade od spodaj in zgoraj na okroglo sprejemno ploskev), merimo pa lahko tudi neto sevanje (razliko med sevanjem navzdol in navzgor). Posebej merimo tudi direktno (neposredno) sončno obsevanje ali pa le njegov razpršeni (difuzni) del.

1.2.6 Avtomatske meteorološke postaje

Meteorološke postaje so opremljene s standardnimi in registrirnimi instrumenti, pogosto pa so na istem mestu nameščeni tudi elektronski senzorji za merjenje meteoroloških spremenljivk. Na nekaterih postajah pa so vsi senzorji povezani z računalnikom in takšni postaji pravimo, da je avtomatska. Računalnik takšne postaje po vnaprej predvidenem programu opravlja meritve (meritve opravlja v kratkih časovnih intervalih, nato iz njih izračuna časovna povprečja, npr. za eno uro). Računalnik občasno kalibrira senzorje, shranjuje izmerjene podatke in zbirnemu računalniku merilne službe redno sporoča rezultate meritev. Avtomatska meteorološka postaja lahko močno razbremeni meteorološkega opazovalca, povsem nadomestiti pa ga ne more. Opazovanja vremenskih pojavov in oblakov najbolje opravlja opazovalec, izkušnje pa so pokazale, da nenadzorovana avtomatska postaja kaj kmalu začne delovati slabo. Težave se pojavijo zaradi vremena in zaradi delovanja okolice, če so senzorji nenadzorovani. Tako se na primer v pluviografu lahko nabere listje in zamaši lijak, ivje lahko obda anemometer ali termometer, močan veter ali strela lahko poškodujeta senzorje, termistorji se kvarijo,



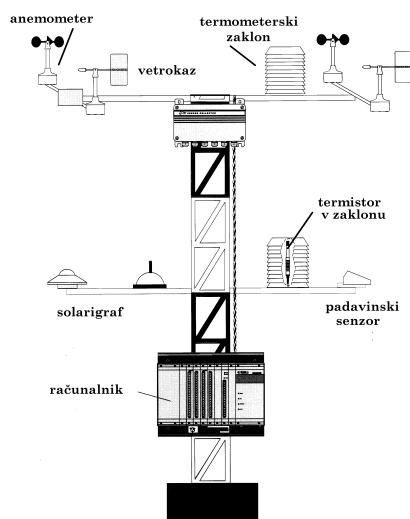
Slika 1.10: Heliograf je optična naprava za merjenje trajanja sončnega obsevanja. Sončni žarki se zberejo v krogelni leči in v njenem gorišču izžigajo registrirni trak.

torej je pogosto potreben opazovalčev poseg.

1.3 Opazovanja vremena

V prejšnjih poglavjih smo pregledali osnovne spremenljivke, ki jih merimo in z njimi opisujemo stanje v atmosferi. Razen instrumentalnih meritev je pomemben vir informacij o dogajanju v atmosferi tudi opazovanje meteoroloških pojavov in oblakov. Meteorološki ali vremenski pojav je oznaka za trenutno stanje ali dogajanje v ozračju nad nekim krajem.

Opazovanji oblakov in pojavov imata zaradi enostavnosti dolgo tradicijo. Opazovanje, razumevanje in napovedovanje zaporedja meteoroloških pojavov so bili sploh prva metoda napovedovanja vremena. Opazovanje vremenskih pojavov tudi v instrumentalni dobi ni izgubilo svojega pomena, saj so vremenski pojavi označevalci značilnih procesov v ozračju. Iz njih lahko sklepamo na dogajanje v širši okolici in nastop pojava služi za verifikacijo napovedi. Vremenski pojavi so končno tisti del dogajanja v ozračju, ki jih ljudje najbolj zaznajo.



Slika 1.11: Avtomatska meteorološka postaja: senzorji so postavljeni na stebru, računalnik pa je povezan v omrežje meteorološke službe.

V meteorologiji ločimo veliko število vremenskih pojavov. Zelo podrobno so po vrstah in podvrstah razdeljeni padavinski pojavi (kondenzacija na tleh, pršenje, dež, sneg, plohe, nevihte), pojavi z zmanjšano vidnostjo (megle, motnost, meglice), pojavi prašnih, peščenih in snežnih viharjev. Nekoliko manj podrobno moremo opazovati pojave ob tako imenovanem "lepem vremenu", saj jih je tedaj ponavadi manj in so neizraziti. Meteorološki opazovalci morajo biti tako izučeni, da znajo opazovati in ločiti posamezne vremenske pojave med seboj.

Opazovanja oblakov prav tako kot opazovanja drugih vremenskih pojavov služijo za verifikacijo napovedi in za sklepanje o dogajanju v večjih delih atmosfere. Oblaki se pojavljajo na različnih višinah, v različnih oblikah in z različnimi bazami ter horizontalnimi in vertikalnimi razsežnostmi. Oblake v meteorologiji delimo v rodove, vrste in podvrste, pri čemer so mišljene značilne tipizirane oblike. Za opazovanje in razvrščanje oblakov mora biti opazovalec tako izučen, da zna konkretne oblake primerjati z značilnimi oblikami in jih nato klasificirati. Več o oblakih bo v posebnem razdelku 6.6.2.

1.3.1 Opis lokalnega vremena z vremenskimi pojavi

Vreme je trenutno stanje ozračja nad nekim območjem. Lokalno vreme opišemo z opazovanimi vremenskimi pojavi in izmerjenimi vrednostmi meteoroloških spremenljivk (temperatura, vlaga, veter, pritisk, padavine, sončno obsevanje). V tem poglavju se bomo ukvarjali z opazovanimi vremenskimi pojavi. Pojave, ki smo jih podrobneje že obravnavali ali pa jih bomo v drugih poglavjih (padavine, megle, optični pojavi), bomo tu le našteli. V pogovornem jeziku se za označevanje vremena pogosto uporabljata izraza 'lepo' in 'slabo' vreme. Takšna razdelitev je pregraba in preveč subjektivna, saj sta 'lepost' ali 'slabost' vremena vse preveč odvisni od trenutnih potreb opazovalca – uporabnika vremena.

Oblačnost

Pri opisu lokalnega vremena ponavadi najprej povemo, kolikšna je oblačnost in kakšni so oblaki. O vrstah, oblikah in rodovih oblakov ter o njihovem nastanku govorimo v 6. poglavju. Tu si bomo ogledali, kako določamo oblačnost (del neba je prekrit z oblaki). Zaradi raznolikosti oblakov, različnosti razporeditve oblakov po nebu in različne debeline posameznih oblačnih slojev določanje oblačnosti ni povsem enolično. Oblačnosti določamo v osminah ali pa desetinah neba, ki je prekrito z oblaki. Če so oblaki po nebu razporejeni tako, da so med njimi večji ali manjši deli jasnega neba, potem si mislimo vse oblake združene v oblačni sistem in potem ocenimo njegovo velikost. Oblačnosti lahko izražamo tudi opisno:

- jasno: na nebu ni oblakov ali je do $1/8$ neba prekrita z visokimi oblaki,
- pretežno jasno : na nebu je le sem ter tja kak oblak (do $1/8$ nizkih in srednjih ali do $2/8$ visokih oblakov),
- delno jasno: na nebu je nekaj oblakov (do $3/8$), manj kot pol neba pokritega z oblaki,
- delno oblačno: polovica neba ($4/8$) je pokrita z oblaki, z visokimi oblaki lahko tudi več kot polovica,
- zmerno oblačno: več kot pol neba ($5/8$) je pokritega z oblaki, pri visokih oblakih lahko do $6/8$,
- zmerno do pretežno oblačno: večji del neba ($6/8$) je prekrit z oblaki,

- pretežno oblačno: velika večina neba ($7/8$ in več) je prekrita z oblaki, sem ter tja je še malo jasnega neba,
- oblačno: nebo je povsem pokrito z oblaki, je brez jasnin.

Posebej je treba opozoriti, da jasnost ne pomeni istega kot sončnost. Nebo je lahko precej prekrito z visokimi oblaki (npr. $5/8$, zmerno oblačno), vendar skozi visoke oblake sonce še dokaj neovirano sije. Če je z oblaki prekrita južna polovica neba, severna pa jasna, ob deloma jasnem vremenu sonca sploh ne vidimo, če pa je razporeditev oblačnosti obrnjena, pa lahko ob enaki oblačnosti sonce ves dan prijetno sije. Izjemni primeri so lahko celo taki, da ob pretežno oblačnem vremenu sonce več ali manj ves čas sije skozi redke jasnine ali pa da ob pretežno jasnem vremenu posamezen oblak potuje prek neba ravno tako, da zakriva sonce.

Podobne izraze kot pri opisu stanja oblačnosti uporabljamo tudi pri napovedovanju oblačnosti, le da pri napovedovanju dodamo še izraze za časovni potek oblačnosti. Tako dobimo izraza za *spremenljivo* oblačnost in za oblačnost, ki se spreminja okoli $4/8$, tu uporabimo tudi soznačnico *deloma jasno z zmerno oblačnostjo*.

Vremenski pojavi ob večinoma jasnem vremenu

Tudi če na nebu ni oblakov, lahko v ozračju opazimo nekatere vremenske pojave. Večinoma so povezani s spremembami vidnosti. Vzroki za zmanjšanje vidnosti so lahko kondenzacijski pojavi v plasti ozračja blizu tal ali pa aerosol in dim. Vidnost izmerimo kot najmanjšo razdaljo (v izbrani ali v poljubni smeri), kjer še lahko ločimo izbrane predmete od ozadja. Več o vidnosti v 8. poglavju.

Vidnost je lahko zmanjšana zaradi kondenzacijskih pojavov:

- zamegljenost ali meglica (vidnost od 1 do 10 km, visoka relativna vlaga),
- megla (vidnost manj kot 1 km),
- ledena megla,
- megla v pasovih,
- megla z vidnim nebom,
- močēča megla,
- megla, ki primrzuje.

Vidnost je lahko zmanjšana tudi zaradi aerosola ali drugih delcev, ki jih veter dvigne v ozračje. Ti pojavi so:

- suha motnost (aerosol v ozračju, vidnost od 1 do 10 km, nizka relativna vlaga),
- prašna motnost (prah v ozračju),
- dim,
- nizki živi sneg (veter dviga snežna zrna in jih tik nad tlemi prenaša naokrog),
- visoki živi sneg (veter prenaša sneg v debeli prizemni plasti, vrhovi gora imajo snežne zastave),
- pršec (veter trga kapljice iz griv valov in jih nosi s seboj),
- nizki živi pesek (veter dviga zrna peska s sipin in jih nosi s seboj),
- visoki živi pesek (veter prenaša pesek z vrtinci v debeli plasti zraka),
- peščeni vihar (ob nevihti ali močnem vetru se v zrak dvigne veliko peska, nastane oblak prahu in peska),
- peščeni ali prašni vrtinci.

Ob večinoma jasnem vremenu lahko okoli Sonca in Lune opazimo nekatere optične pojave. Podrobneje so pojasnjeni v 8. poglavju:

- hálo (okoli sonca, okoli lune, mali, veliki, zgornji ali spodnji tangencialni loki, sončni steber, slika sonca, sosonce),
- venec (korona, okoli sonca ali okoli lune),
- mavrica.

* V oblakih lahko opazimo irizacijo in glorijo, ob padavinah pa mavrico ali belo mavrico. Zaradi segrevanja zraka pri tleh ali zaradi temperaturnih inverzij lahko kdaj pa kdaj opazimo zrcaljenje. Drobne spremembe lomnega količnika zraka, ki so posledica vetrov ali lokalnega segrevanja in dviganja zraka, povzročajo trepetanje in migotanje. Ob sončnem zahodu ali vzhodu opazimo zarjo kot barvite oblake, včasih vidimo tudi barvne pramene zarje. *

Padavinski pojavi

Padavinske pojave delimo na enakomerne dolgotrajnejše padavine in na kratkotrajne, a ponavadi intenzivne padavine. Posebej ločimo padavine,

ki se ne izločijo iz oblakov, pač pa nastanejo na tleh ali predmetih. Med enakomerne padavine spadajo:

- pršenje,
- pršenje, ki zmrzuje (podhlajeno, ali pa pada na hladne predmete),
- dež,
- dež, ki zmrzuje,
- zmrznjeni dež,
- dež s snegom,
- sneženje,
- zrnati sneg,
- babje pšeno,
- ledene iglice,
- sodra,
- toča.

Intenzitete in način padanja dolgotrajnih padavin označujemo s stopnjujočimi izrazi:

- v presledkih rahlo dežuje (sneži, prši, pada sodra...),
- rahlo dežuje,
- v presledkih dežuje,
- dežuje,
- v presledkih močno dežuje,
- močno dežuje.

Intenzivne, a kratkotrajne padavine so večinoma povezane s konvektivnimi oblaki. Sem spadajo naslednji pojavi:

- Ploha (manjša ploha, ploha, močna ploha). Ploha je kratkotrajna padavina (naliv), ki se vsuje iz konvektivnega oblaka, pred in po tem je vreme večinoma brez padavin. Če ne dodamo prilastka, velja, da gre za ploho dežja, lahko pa so tudi snežne plohe, plohe sodre ali babjega pšena, toče, zrnatega snega.

- Nevihta (nevihta, močna nevihta). Nevihta je izrazit padavinski pojav, naliv z močnim dežjem, snegom..., ki se vsuje iz konvektivnega oblaka, ob tem piha močan veter, bliska se in grmi. Nevihte so časovno omejene na največ nekaj ur. Če ne dodamo prilastka, velja za nevihto z dežjem, lahko so tudi snežne nevihte, nevihte s sodro, točo, babjim pšenom, s peščenim viharjem.
- Strela je električni pojav ob nevihtah, ko pride do preskoka električnega naboja med oblaki ali med oblaki in tlemi. Če treska v bližini (oddaljenost nevihte do 20 km), slišimo tudi grmenje. Ponoči lahko včasih vidimo bliskanje tudi od zelo oddaljenih neviht, tako da grmenje do nas ne seže. Več o tem v 8. poglavju.
- Grmenje je zvočni pojav, ki spremlja strela. Zaradi pretoka naboja se zrak močno segreje in eksplozivno razširi, kar povzroči močan pok. Z oddaljenostjo od strele postaja pok vse bolj zamolkel. Grmenje lahko včasih slišimo (posebno ob močno oblačnem vremenu), tudi če ne vidimo bliska.
- Elijev ogenj je električni pojav, ko zaradi povečane jakosti električnega polja pride do ionizacije zraka ob konicah predmetov. Ko se ioni rekombinirajo, svetijo, zato govorimo o ognju. Včasih elijev ogenj spremlja slišno prasketanje.
- Tromba je horizontalni vrtinec (z vertikalno osjo vrtenja) manjših razsežnosti nad vodo, večinoma nad toplim morjem. Nastane ob nevihtnem vremenu.
- Tornado je izrazit lijakast vrtinec z vertikalno osjo vrtenja, ki se spusti iz baze velikega nevihtnega oblaka ob zelo visokih temperaturah zraka, ko je ozračje vertikalno labilno. V vrtincu pride do velikih hitrosti vetra, velikega horizontalnega striženja vetra in do velikih razlik v pritisku med središčem in obrobjem tornada. Vsi trije učinki skupaj povzročijo razdejanje v naravi in na zgradbah.

Nekatere padavine se izločijo na tleh ali na predmetih. To so:

- rosa (kondenzacija),
- zmrznjena rosa (kondenzacija in zmrzovanje),
- slana (depozicija),
- mehko ivje (krhko, izotropno, ob brezvetrju ali zelo rahlem vetru se deponira na predmete iz megle),

- trdo ivje (primrznjene podhlajene kapljice iz megle ali oblaka se ob vetru odlagajo na privetrni strani predmetov, ivnate obloge bele barve),
- ledeno ivje (podobno kot trdo ivje, le da iz kompaktnega ledu, zato prozorno),
- poledica (na tleh, ponavadi primrzuje podhlajeno pršenje ali dež; več v poglavju ??),
- požled (to je običajno ime za poledico na predmetih).

1.4 Meteorološki sateliti

Meteorološki sateliti so naprave za daljinsko opazovanje ozračja in za opravljanje nekaterih meritev v ozračju. Glede na oddaljenost in način delovanja ločimo geostacionarne in polarno-orbitalne satelite. *Geostacionarni sateliti* se vrtijo okoli središča Zemlje na oddaljenosti okoli 36 000 km v ekvatorialni ravnini, tako da se vrtijo z enako kotno hitrostjo, kot se vrti Zemlja. Zaradi tega so geostacionarni sateliti ves čas nad istimi točkami zemeljskega površja. S satelita iznad ekvatorja v geostacionarni orbiti lahko vidimo večji del k satelitu obrnjene poloble. Območja na robovih te poloble so zaradi ukrivljenosti površja Zemlje za satelit precej slabo razločljiva. Geostacionarne satelite (okoli Zemlje jih je razvrščenih okoli pet) meteorologi uporabljajo za slikanje oblačnosti.

Radiometri na satelitu zaznavajo elektromagnetno sevanje v različnih delih spektra (pasovom, kjer zaznavajo posamezni radiometri, pravimo tudi kanali). Radiometre, ki delujejo v vidnem delu spektra, imenujemo tudi kamere, še pomembnejši pa so radiometri, ki merijo sevanje v različnih pasovih IR (infrardečega) sevanja.

Posnetek Zemlje v posameznem spektralnem področju predstavlja satelitsko sliko. Glede na vrsto radiometra so na satelitskih slikah predstavljene zelo različne količine: vidimo lahko odbito vidno svetlobo (vidne slike so v resnici slike albedo oblakov in tal) ali pa sevanje atmosfere, oblakov v njej in tal. Sprejemni kanali kamer (infrardečih radiometrov) so izbrani tako, da imajo največjo občutljivost v področju maksimuma sevanja različnih plinov (npr. vodna para). V delih spektra, kjer je atmosfera za infrardeče (IR) sevanje prosojna (IR okno), lahko zaznamo sevanje predmetov v atmosferi (sevanje oblakov in tal). Slika infrardečega (IR) sevanja je zaradi povezav med temperaturo sevalca in energijo sevanja hkrati tudi slika temperatur sevalcev (Stefan – Boltzmannov zakon). Ker je iz razdalje geostacionarnega

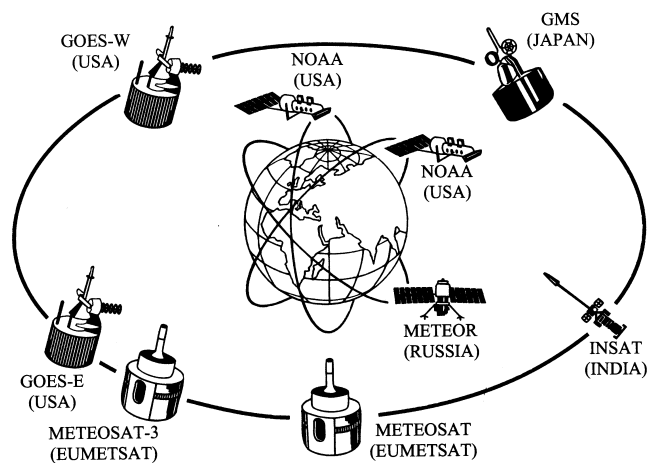
satelita videti le IR sevanje najvišjega sevalca v atmosferi, so infrardeče (IR) slike hkrati tudi slike višin oblakov.

Geostacionarni sateliti slikajo Zemljo v rednih časovnih intervalih (npr. vsake pol ure). Slike se v digitalni obliki prenašajo na zemeljsko kontrolno postajo, se tam obdelajo (preprojicirajo iz polarno-stereografske projekcije v lambertovo), tako obdelane slike pošljejo na satelit, satelit pa jih reemitira proti Zemlji, kjer jih lahko sprejmejo uporabniki. Barve oziroma sivine – beline oblakov, kot jih vidimo na IR sliki oblakov, so umetno prirejene. Vsaki količini infrardečega (IR) sevanja enolično predpišemo odtenek sivine. Če so slike podane v odtenkih sivine, potem velja, da so najhladnejši (najvišji) oblaki najbolj beli. Z računalniško tehniko je mogoče zaporedje satelitskih slik animirati, tako da dobimo kratke filmske sekvence pomikov in razvoja oblačnosti (npr. za 24 ur 48 slik – vsake pol ure ena slika). Večinoma se animira IR slike, saj jih satelit snema neprestano (ob vsakem dnevnem času), medtem ko vidne slike lahko posnamemo le na tistih delih Zemlje in le tedaj, ko jih obseva sončna svetloba.

Iz oblik in strukture slike oblakov je mogoče ugotoviti, kakšne vrste oblakov prekrivajo zemeljsko površje in deloma tudi, kakšno je vreme. Satelitski podatki o oblačnosti so posebej dragoceni na območjih, kjer ni drugih opazovanj. Satelitske slike nudijo hiter pregled dogajanja nad velikim geografskim območjem. Z opazovanjem premikanja oblakov lahko približno določimo hitrost vetra.

Geostacionarni sateliti najboljše pokrivajo (z najboljšo ločljivostjo – okoli 2 km za vidno sliko in 5 km za infrardečo (IR) sliko – in z najmanjšimi geometrijskimi popravki) ekvatorialne in tropske predele Zemlje.

Polarno-orbitalni sateliti krožijo okoli Zemlje po dosti nižjih orbitah kot geostacionarni. Večinoma so orbite izbrane tako, da sateliti obkrožijo Zemljo v eni do dveh urah. Ker polarno-orbitalni sateliti letijo nizko (do par tisoč kilometrov nad tlemi), pri enem preletu posnamejo le pas zemeljskega površja nekaj sto kilometrov levo in desno od svoje orbite. Orbite so večinoma orientirane tako, da sateliti krožijo v ravnini, ki poteka blizu osi Zemlje: Zemlja se pod satelitom vrti, posneti pasovi površja se vrstijo od zahoda proti vzhodu. Zaradi pasovne oblike snemanja v smeri nadira so slike polarno-orbitalnih satelitov nekoliko manj uporabne za spremljanje razvoja vremena, saj se isto območje na Zemlji na teh slikah pojavi le redko (večinoma dvakrat na dan). Prednost polarno-orbitalnih satelitov je v tem, da so slike posnete z manjše razdalje in imajo zaradi tega boljše prostorsko ločljivost. Hkrati je ločljivost neodvisna od geografskih koordinat



Slika 1.12: Geostacionarni in polarno-orbitalni meteorološki sateliti; stanje leta 1995.

na Zemlji, saj je površje Zemlje za satelit vedno skoraj pravokotno pod njim. Polarno-orbitalni satelit pri vsakem obhodu poslika tudi polarne kraje, za katere so slike geostacionarnih satelitov neuporabne, saj je za geostacionarni satelit območje pola že zelo nagnjena ploskev. Polarno-orbitalni sateliti slike, posnete v različnih delih spektra, posredujejo na Zemljo. Za sprejem in obdelavo je potrebno nekaj kontrolnih zemeljskih postaj, slike s polarno-orbitalnih satelitov pa se prenašajo tudi s posredovanjem geostacionarnih telekomunikacijskih satelitov.

Razen za slikanje oblačnosti lahko polarno-orbitalne satelite uporabljajo tudi za določanje poteka temperature in vlage v stolpcu zraka, ki leži blizu nadira satelita. Ti podatki so dragoceno dopolnilo balonskim radiosondnim meritvam. Radiosondni podatki so izmerjeni ob določenih terminih (večinoma 00.00 in 12.00 UTC, s stalnih postaj), medtem ko so polarno-orbitalne satelitske meritve neprestane in so razporejene vzdolž trajektorije satelita.