

predmeta uzima se da je 0,02, a on zavisi od kutnih dimenzija objekta. Po danu za kutne dimenzije objekta veće od  $20'$   $\varepsilon$  ostaje nepromijenjen i ne zavisi od osvijetljenosti i veličine objekta. U sumrak i noću, kad se osvijetljenost znatno smanjuje,  $\varepsilon$  se povećava.

Za razliku od optičke vidljivosti, koja zavisi od brojnih već navedenih faktora, u praksi služi pojam *meteorološka vidljivost*, pod kojom se podrazumijeva maksimalna udaljenost na kojoj motritelj normalnog vida uz postojeću prozirnost atmosfere može vidjeti i raspoznati taman predmet određenih dimenzija (tzv. reper), kad se on ističe na nebu prema horizontu. Kutne dimenzije predmeta treba da budu veće od  $20'$ . Vidljivost se određuje u horizontalnom ili približno horizontalnom smjeru, pa se takva vidljivost naziva horizontalnom vidljivošću (kraće vidljivost). Na aerodromima se određuje i vertikalna i kosa vidljivost.

Meteorološka vidljivost definira se omjerom

$$S = \frac{\ln \varepsilon}{\alpha}, \quad (41)$$

gdje je  $\varepsilon$  prag kontrastne vidljivosti, a  $\alpha$  indikator oslabljenja svjetlosti, vezan s prozirnošću atmosfere. Prema sadržaju aerosola daljina se vidljivosti mijenja u širokom opsegu. Za idealno čistu atmosferu vidljivost je  $\sim 350$  km. Indikator  $\alpha$  dobiva se nadalje iz relacije

$$e^{-\alpha l} = p^l, \quad (42)$$

gdje je  $l$  udaljenost repera od promatrača, a  $p$  koeficijent prozirnosti atmosfere sveden na jediničnu udaljenost. Za meteorološku je vidljivost prema definiciji  $\varepsilon = 0,02$ , pa je  $S_{\text{met}} = \frac{3,91}{\alpha}$ , i time  $S_{\text{met}}$  karakterizira stanje prozirnosti atmosfere.

Na meteorološkim se stanicama većinom subjektivno određuje vidljivost desetstupanjskom skalom prikazanom u tabl. 22.

Tablica 22  
SKALA SUBJEKTIVNE  
METEOROLOŠKE VIDLJIVOSTI

Stupanj	Udaljenost $d$ na kojoj se reper vidi km
0	$d < 0,05$
1	0,05...0,2
2	0,2...0,5
3	0,5...1
4	1...2
5	2...4
6	4...10
7	10...20
8	20...50
9	$d > 50$

Kod određivanja vidljivosti odabiru se reperi na standardnim udaljenostima od promatrača, što tamnije boje (po mogućnosti crne), koji se ističu prema nebu i koji u horizontalnom smjeru nemaju kutne dimenzije veće od  $5^\circ$ , a manje od  $20'$  (zvonici, stupovi, usamljene kuće i sl.). Valja istaći da u prirodi nema apsolutno crnih tijela, pa je zbog toga meteorološka vidljivost zapravo veća od stvarne.

**Vidljivost noću.** Određivanje vidljivosti noću i u sumrak osniva se na ustanovljivanju vidljivosti umjetnih izvora svjetlosti (žarulja). U tu je svrhu, osim udaljenosti izvora svjetlosti, potrebno poznavati i jakost izvora svjetlosti. Jakost svjetlosti dobiva se množenjem snage žarulje s faktorom 1,7 kandelu po vatu.

Da bi se dobila veza između danje i noćne vidljivosti, uzima se najprije da se izvor svjetlosti nalazi na takvoj udaljenosti da ga se može smatrati točkastim. Vidljivost se tada određuje pomoću osvijetljenja  $E$  u zjenici oka promatrača. Ta veličina zavisi od jakosti zračenja izvora svjetlosti  $I$ , udaljenosti izvora svjetlosti  $l$  od motritelja i od stupnja prozirnosti  $p$ , tj.

$$E = \frac{I}{l^2} p^l = \frac{I}{l^2} e^{-\alpha l}. \quad (43)$$

Izvor svjetlosti vidjet će se sve do tada dok  $E$  bude veće od praga svjetlosne osjetljivosti oka, tj. minimalnog osvijetljenja  $E_0$ , koje još može zamijetiti oko. Ta je pak veličina zavisna od svjetline pozadine, donekle drukčija kod različitih ljudi, i mijenja se čak kod istog motritelja. Osobito ju mnogo mijenjaju uvjeti motrenja: posebno ako motritelj uđe u tamu iz osvijetljenog prostora. Vrijeme adaptacije je najmanje 10...15 min. Kao srednja vrijednost kod opažanja u prirodi uzima se vrijednost minimalnog osvijetljenja  $E_0 = 2 \cdot 10^{-7}$  lx.

Ako se  $E$  izjednači s pragom osjetljivosti  $E_0$ , dobije se ona granična udaljenost  $L$  iza koje se svjetlo više neće vidjeti, pa se vidljivost određuje iz relacije

$$E_0 = \frac{I}{L^2} e^{-\alpha L}. \quad (44)$$

Uzme li se za  $E_0$  vrijednost  $2 \cdot 10^{-7}$  lx, uz poznatu vrijednost jakosti svjetla  $I$  i nađe li se iz motrenja vrijednost  $L$ , može se odrediti  $p$ , a iz formule  $p^l = e^{-\alpha l}$  i veličina  $\alpha$ , koja određuje meteorološku vidljivost  $S_{\text{met}}$ . Tako npr. za žarulju snage 200 W, za koju je u danjoj situaciji određena vidljivost noću 2000 m, dobiva se odgovarajuća dnevna vidljivost 1300 m. Obično se za preračunavanje upotrebljavaju nomogrami.

LIT.: J. M. Pertner, F. M. Exner, Meteorologische Optik. Wilhelm Braumüller, Wien-Leipzig 1922. — П. И. Тверской, Курс метеорологии. Гидрометеоздат, Ленинград 1962. — E. Palmén, C. W. Newton, Atmospheric circulation systems. Academic Press, New York 1969. — Đ. Radinović, Analiza vremena. Zavod za izdavanje udžbenika SRS, Beograd 1969. — J. R. Holton, An introduction to dynamic meteorology. Academic Press, New York 1972. — M. Čadež, Meteorologija. Beogradski izdavački grafički zavod, Beograd 1973. — G. H. Liljequist, Allgemeine Meteorologie. Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig 1974. — Л. Т. Мамсеев, Курс общей метеорологии. Гидрометеоздат, Ленинград 1976. — F. Mesinger, Dinamička meteorologija. Građevinska knjiga, Beograd 1976. — E. J. McCartney, Optics of the atmosphere. John Wiley and Sons, New York 1977. — A. С. Зверев, Синоптическая метеорология. Гидрометеоздат, Ленинград 1977. — А. Х. Хрпан, Физика атмосферы, том I и II. Гидрометеоздат, Ленинград 1978. — Đ. Radinović, Prognoza vremena. IŠRO Privredno finansijski vodič, Beograd 1979.

D. Poje

**METEOROLOŠKI UREĐAJI** služe za opažanje, mjerenje i registriranje atmosferskih pojava. Atmosfera je vrlo složen fluid kojemu se stanje neprestano mijenja. Jedan je od osnovnih zadataka meteorologije da utvrdi i definira stanje atmosfere mjerenjem i opažanjem diljem Zemljine kugle, kako uz površinu tla tako i na različitim visinama u atmosferi. Osnovni je cilj tih mjerenja što potpunije razumijevanje fizikalnih uzroka promjena vremena i klime, a time i njihova prognoziranja.

Stanje atmosfere određuje se u osnovi na dva načina: motrenjem (vizuelnim promatranjem i ocjenjivanjem, npr. različitih pojava, vrsta oborine, količine i vrste naoblake i dr.) i instrumentalnim mjerenjem različitih meteoroloških elemenata (temperature, vlage, tlaka i dr.). Mjerenjem se dobivaju kvantitativne vrijednosti osnovnih parametara, njihovi intenziteti, te promjene u vremenu i prostoru.

Instrumentalna meteorološka mjerenja započinjaju u XVII stoljeću kad je E. Torricelli (1608–1647) pronašao 1643. godine barometar za mjerenje tlaka zraka. Iako je G. Galilei (1564–1642) izumio 1593. godine tzv. termoskop, koji je reagirao na promjene temperature zraka, tek su sredinom XVII stoljeća po prvi put u Firenci uvedeni stakleni termometri s ljestvicom. Prvi instrument za mjerenje vlage, higrometar, vjerojatno je izumio Leonardo da Vinci (1452–1519). Kao dio osjetljiv na promjene vlage upotrebljavane su u XVII stoljeću čovječje vlasi. Mjerenje vlage na principu isparivanja vlažnih površina (psihrometar) započelo je 1655. u Toskani.

Iako je grubo mjerenje vjetra započelo već u staroj Grčkoj, instrumenti za mjerenje brzine i smjera vjetra izumljeni su tek u XVII stoljeću (Francuska). Mjerenje oborina ima također dugu povijest; grubo mjerenje oborina započelo je u Indiji još 400. godine, no tek se u XVII stoljeću uvode u zapadnoj Evropi registratori za oborine. Instrumenti za mjerenje ostalih meteoroloških elemenata izumljeni su i uvedeni u praksu meteoroloških stanica u XIX i XX stoljeću, kad je to omogućio brzi razvoj instrumentalne tehnike mjerenja, radio-tehnike i elektronike.

**Osnovna podjela meteoroloških mjerenja.** Meteorološka mjerenja i opažanja mogu biti *prizemna* ili *visinska*, već prema tome da li se izvode uz površinu Zemlje ili u višim slojevima atmosfere. U prizemna se ubrajaju i mjerenja i motrenja na moru (na brodovima).

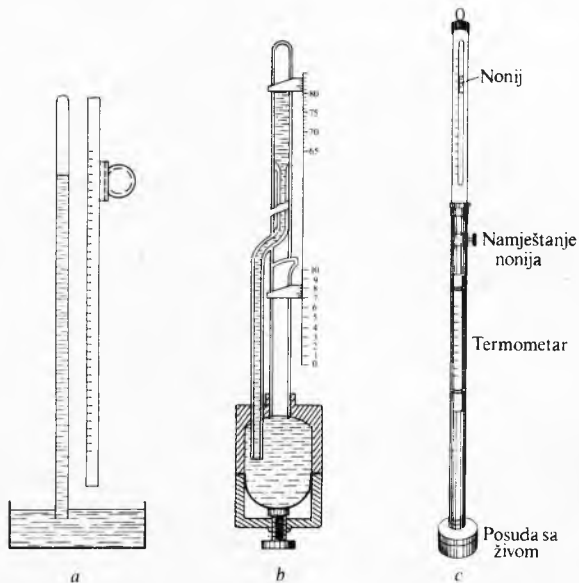
Osnovni uvjeti kojima treba da udovoljavaju meteorološki instrumenti jesu: točnost i pouzdanost, jednostavna konstrukcija te relativno niska cijena. Osim toga, instrumenti koji se upotrebljavaju u većini meteoroloških stanica treba da budu dovoljno robusni i trajni, te da njima mogu rukovati i nestručne osobe.

Meteorološki uređaji razvrstavaju se na naprave, sustave i autografe. *Naprave* ili instrumenti pomoću senzora (dijela osjetljiva na promjene) direktno mjere ili registriraju određeni meteorološki element. *Sustav* je skup instrumenata s više senzora koji određuju nekoliko meteoroloških elemenata (npr. radio-sonda). *Autografi* su uređaji koji neprekidno bilježe stanje određenog meteorološkog elementa.

**PRIZEMNA MJERENJA I OPAŽANJA**

**Tlak zraka.** Instrumenti za mjerenje tlaka zraka nazivaju se *barometrima*, a pripadni autografi *barografima*. Mjerenje tlaka zraka sastoji se ili u mjerenju visine stupca žive, ili u mjerenju deformacija nekog elastičnog tijela, ili u određivanju temperature vrelišta vode.

**Barometar.** Najstariji tip barometra je *barometar sa živom* (sl. 1a). U metalnu posudu napunjenu živom uronjen je donji kraj okomite, tanke staklene cijevi. Cijev je duga 1 m, djelomice je ispunjena živom, a na vrhu zatvorena tako da se u dijelu iznad stupca žive nalazi zrakoprazan prostor. Na površinu žive u posudi djeluje vanjski tlak zraka, zbog čega se razina u posudi diže ili spušta prema vanjskom tlaku, a time se mijenja i visina stupca žive u okomitoj cijevi. To znači da je visina stupca žive direktno proporcionalna tlaku zraka, pa se tlak može očitati na kalibriranoj skali postavljenoj uz cijev. Prema konstrukciji posude sa živom razlikuju se dva osnovna tipa živina barometra: barometar s pomičnim dnom i barometar s reduciranom skalom.



Sl. 1. Barometar sa živom. a osnovna shema živinog barometra, b barometar s pomičnim dnom, c stanični barometar

*Barometar s pomičnim dnom* (sl. 1b) ima posudu sa živom tako napravljenu da se visina i oblik dna posude mogu podešavati pomoću vijka. Podešavanjem oblika dna mijenja se volumen posude, pa se tako na jednostavan način može razina žive u posudi postaviti na nulti položaj i na skali cjevčice očitati visina živina stupca, tj. vrijednost zračnog tlaka.

*Barometar s reduciranom skalom* (sl. 1c) ima krutu posudu sa živom. Na posudi je mali otvor kroz koji vanjski tlak djeluje na površinu žive u posudi. Posuda sa živom i okomita cijev nalaze se u zajedničkom kućištu, koje na donjem dijelu nosi termometar, a na gornjem dijelu pomični prsten s nonijem. Skala je za očitavanje stupca žive nepomična i podijeljena na milimetre ili milibare. Pri očitavanju pomični prsten namjesti se tako da njegov donji rub tangira zaobljeni vrh (meniskus) stupca žive i prema oznaci na prstenu odredi se na skali visina stupca. Desetinke dijelova osnovne podjele skale određene su pomoću nonija. Površina presjeka posude je znatno veća od površine presjeka žive u cijevi, pa svakoj promjeni visine žive u posudi odgovara srazmjerno znatno veća promjena visine žive u cijevi. U ovom tipu barometra razina žive u posudi ne može se podesiti da dođe u nulti položaj, pa je stoga skala na cijevi barometra reducirana tako da je svaki dio skale nešto kraći od jednog milimetra. Redukcija skale ovisi o omjeru površina presjeka cijevi i posude, tj. o odnosu između pomaka žive u cijevi i posudi. Redukcijom je skale postignuto da se na skali očita točna visina tlaka zraka iako razina žive u posudi nije dovedena na nulu.

*Brodski barometar* je učvršćen kardanskim zglobovom tako da je cijev uvijek okomita, bez obzira na nagib broda. Osim toga, cijev je na jednom mjestu sužena da bi se smanjile oscilacije žive u cijevi uzrokovane ljuľljanjem broda.

**Korekcije stanja barometra.** Zbog rastezanja stupca žive uslijed porasta temperature, dogovoreno je da se uvijek visina stupca žive svede na onu kakva bi bila pri temperaturi od 0°C. Na očitano visinu stupca žive *b* dodaje se korekcija  $c_1 = -kbt$ , gdje je *k* konstanta ovisna o tipu barometra i o vrsti materijala od kojeg je izrađena njegova vanjska cijev, a *t* temperatura žive u °C za vrijeme očitavanja. Ako se stanica ne nalazi na 45° geografske širine, dodaje se na očitano stanje i korekcija  $c_2 = -0,00259b \cos 2\varphi$ , gdje je  $\varphi$  geografska širina mjesta. Na stanicama koje se nalaze iznad 500 m nadmorske visine treba pri korekciji barometarskog stanja uzeti u obzir i promjenu sile teže s visinom.

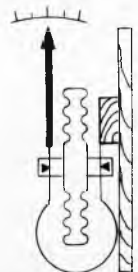
**Redukcija tlaka na morsku razinu.** Na sinoptičkim kartama (v. *Meteorologija*) označena je razdioba tlaka zraka na razini mora. Budući da tlak zraka opada s nadmorskom visinom, to će mjesta na različitoj nadmorskoj visini i uz inače iste vremenske uvjete imati različite vrijednosti tlaka. Da bi se izmjereni tlakovi mogli međusobno uspoređivati, treba da budu reducirani na morsku razinu. Korekcija je tlaka

$$\Delta p = kp, \tag{1}$$

ovdje je  $k = \exp\left(\frac{hg}{RT}\right) - 1$ , gdje je *h* nadmorska visina stanice, *g* akceleracija sile teže, *R* plinska konstanta, a *T* srednja apsolutna temperatura sloja zraka između stanice i morske razine.



Sl. 2. Aneroid



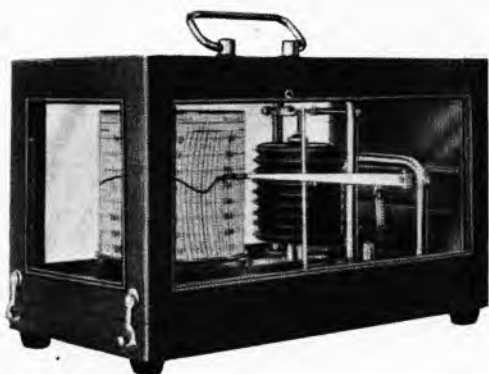
Sl. 3. Shema djelovanja aneroida

U praksi za tu redukciju služe priručne tablice, a srednja apsolutna temperatura odredi se tako da se temperaturi zraka na stanici doda  $0,5^{\circ}\text{C}$  za svakih 100 m nadmorske visine stanice.

*Aneroid* (sl. 2) vrsta je barometra kojemu je senzor najčešće tzv. Vidieova kutija. To je cilindrična kutija od tankoga valovitog lima, obično od legure berilija i bakra. Iz kutije je djelomice isisan zrak, pa jedna opruga sprečava da se kutija spljošti pod djelovanjem tlaka zraka. Sustavom poluga prenose se mali pomaci kutije na kazaljku koja na kružnoj skali pokazuje tlak zraka u milimetrima stupca žive ili u milibarima (sl. 3). Zbog trenja i utjecaja temperature aneroidi su manje točni od živinog barometra, ali im je prednost da se lako prenose i da su jeftiniji.

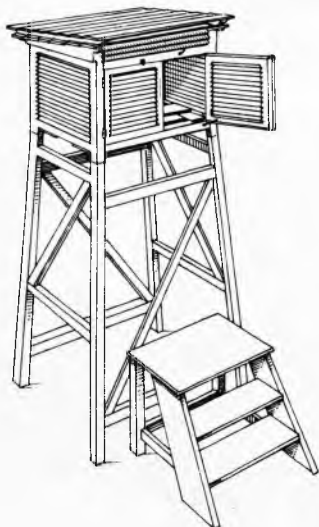
*Visinomjeri* (*altimetri*) su vrsta aneroida koji služe za mjerenje visina. Skala im je podijeljena u jedinicama visine, a mogu se namjestiti prema tlaku zraka na morskoj razini ili na stanici. Altimetri su temperaturno kompenzirani. Upotrebljavaju se i za terenska mjerenja tlaka zraka, na avionima i drugim letjelicama.

*Barograf* (sl. 4) je autograf za kontinuirano registriranje tlaka zraka. Sastoji se od skupa Vidieovih kutija međusobno spojenih radi povećanja malih pomaka. Sustav poluga prenosi pomake na kazaljku s perom, koja piše po traci omotanoj oko valjka što ga pokreće satni mehanizam. Valjak napravi puni okret tokom 24 sata ili jednom u tjedan dana.



Sl. 4. Barograf

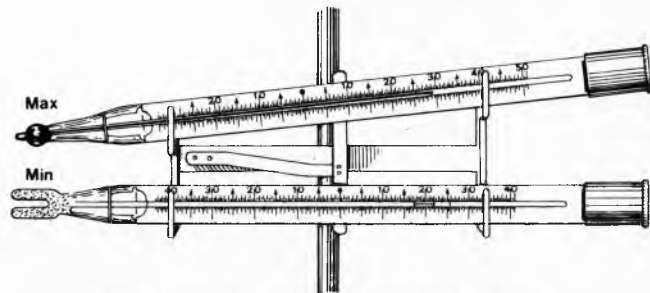
**Temperatura zraka.** Radi zaštite od neposrednog Sunčeva zračenja i topline koju isijava tlo, termometri za mjerenje temperature zraka na meteorološkim stanicama smješteni su u tzv. *termometrijskoj kućici* ili *zaklonu*. Termometrijska kućica (sl. 5) postavlja se na slobodnom prostoru, ~2 m iznad tla.



Sl. 5. Termometrijska kućica

Kućica je napravljena od drveta, sa stijenama od žaluzija koje omogućuju slobodnu cirkulaciju zraka, a vrata su kućice okrenuta prema sjeveru. Pored tzv. suhog termometra, mokrog termometra, maksimum-termometra i minimum-termometra, u termometrijsku kućicu redovito se stavljaju termograf i higrograf, a ponegdje i uređaj za mjerenje vlage (higrometar), te uređaj za mjerenje isparivanja (isparitelj).

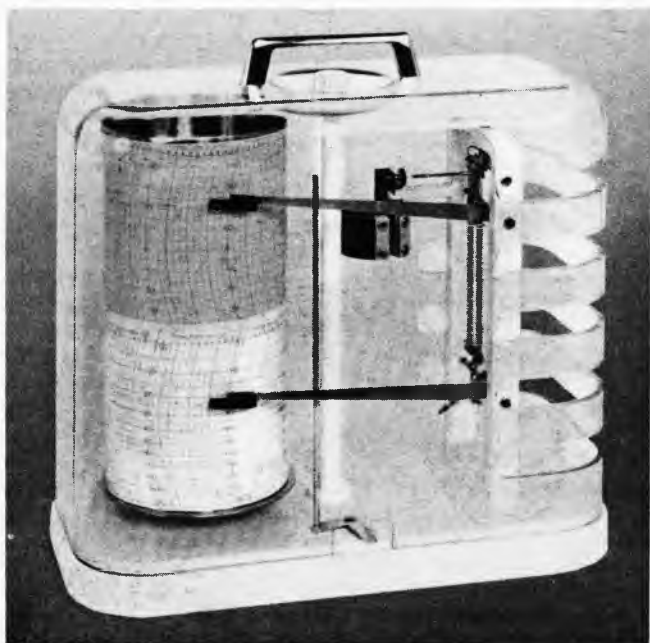
Meteorološki termometri mjere temperaturu zraka s točnošću do  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Staklena kapilara sa živom smještena je unutar zaštitne staklene cijevi koja sadrži i temperaturnu skalu. Mjerno je područje termometra obično od  $-35$  do  $+50^{\circ}\text{C}$ , a termometar se mora postaviti okomito.



Sl. 6. Maksimum-termometar i minimum-termometar

*Maksimum-termometar* (sl. 6) služi za određivanje maksimalne temperature u razdoblju od 24 sata. Konstruiran je tako da kapilara na mjestu gdje izlazi iz posudice sa živom, ima suženo mjesto, što onemogućuje da se živa vrati natrag u posudicu kad padne temperatura. Stresanjem termometra živa se vraća u posudicu. *Minimum-termometar* (sl. 6) služi za određivanje minimalne temperature zraka u razdoblju od 24 sata. Postavljen je vodoravno, a kapilara mu je ispunjena alkoholom. U kapilari pliva štapić, koji se ne pomiče pri porastu temperature, a kad temperatura padne, napetost površine alkohola pomiče štapić prema posudici, pa desni kraj štapića pokazuje najnižu temperaturu. Prije mjerenja termometar treba tako nagnuti da štapić sklizne i dođe do meniskusa.

*Termograf* (sl. 7) ima za senzor najčešće bimetalni prsten, koji je jednim krajem čvrsto vezan za kućište, dok se gibanje drugog kraja prenosi preko sustava poluga i povećano registrira na traci omotanoj oko valjka sa satnim mehanizmom. Bimetalni prsten izrađen je od dviju međusobno zavarenih metalnih traka različitih koeficijenata rastezanja (npr. invar i čelik).



Sl. 7. Termohigrograf s bimetalnim prstenom i snopom vlasi

Zbog toga se s promjenom temperature prsten nejednako širi, što se iskorišćuje za mjerenje, odnosno registriranje temperature.

U meteorologiji se živini termometri upotrebljavaju i za mjerenje temperature tla (tzv. *geotermometri*), za mjerenje temperature vode jezera, rijeka i mora (staklena cijev smještena je u posebno metalno kućište — crpku s gumenom oblogom).

Električni termometri odlikuju se velikom osjetljivošću, a senzori su im vrlo tanka platinska žica (platinski termometri) ili termoelementi. Platinski termometar djeluje na principu promjene električnog otpora platinske žice zbog promjene temperature. Promjena električnog otpora žice mjeri se galvanometrom baždarenim u Celzijevim stupnjevima. Termometri s termoelementima mjere galvanometrom elektromotornu silu koja nastaje kad postoji razlika u temperaturi između dvaju spojišta termoelementa (v. *Električna mjerenja*, TE 3, str. 641).

**Vlaga zraka.** Za mjerenje vlage zraka najčešće se upotrebljavaju psihometri i higrometri. *Psihrometar* se sastoji od dva potpuno jednaka termometra, od kojih se desni, mokri, termometar razlikuje od lijevoga, suhog, samo po tome što mu je posudica sa živom obvijena tankom krpicom od muselina.



Sl. 8. Assmannov aspiracijski psihrometar



Sl. 9. Higrometar

Ako se krpica nakvasi destiliranom vodom, voda će se isparivati i zbog toga će se postepeno snižavati temperatura mokrog termometra. Živa će se u kapilari zaustaviti kad se uspostavi ravnoteža između topline koju termometar prima iz okolice i topline koju troši na isparivanje vode s krpice, tj. kad se za isparivanje vode s krpice utroši toliko topline koliko je potrebno da se zrak zasiti vodenom parom. Razlika između tada izmjerenih temperatura suhog i mokrog termometra mjera je za vlagu zraka. Postoji nekoliko tipova psihrometra: tzv. *aspiracijski psihrometar s aspiratorom* (ventilatorom), koji konstantnom brzinom tjera zrak preko posudica termometra, te *Augustov psihrometar bez aspiratora*, gdje stijenj povezuje mokri termometar s posudicom vode. *Assmannov psihrometar* (sl. 8) ima termometre smještene u metalno kućište radi zaštite od toplinskog zračenja okolice. Upotrebljava se za terenska mjerenja jer je lako prenosiv.

Za aspiracijski psihrometar vrijedi da je tlak vodene pare  $e$ :

$$e = E' - A(t_s - t_m)b, \quad (2)$$

gdje je  $E'$  tlak zasićene vodene pare pri temperaturi  $t_m$ ,  $A$  konstanta ovisna o brzini ventilacije, a  $b$  stanje barometra. Vrijednosti tlaka pare  $e$  i relativne vlage  $U$  nađu se u posebnim tablicama kao funkcije očitavanja suhog i mokrog termometra. Pri pozitivnim temperaturama određivanje vlage Assmannovim psihrometrom daje najtočnije rezultate.

*Higrometar* (sl. 9) ima za senzor snop vlasi očišćenih od masnoća. Snop vlasi je učvršćen na jednom kraju, a na drugom je kraju vezan za prijenosni sustav i kazaljku. Povećanjem vlage u zraku vlasi se rastežu, pa se na baždarenoj skali higrometra može očitati relativna vlaga. Rastezanje vlasi treba povremeno kontrolirati aspiracijskim psihrometrom. Pri temperaturama nižim od  $0^\circ\text{C}$ , određivanje relativne vlage higrometrom daje točnije rezultate od psihrometra.

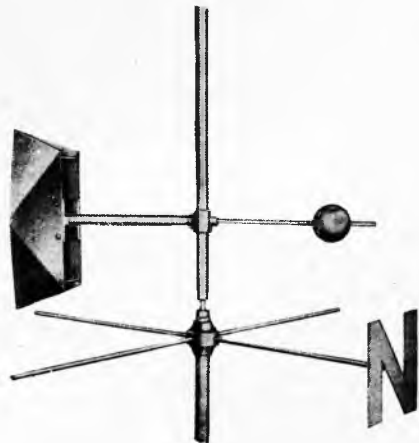
*Higrograf* je vrsta autografa koji kontinuirano registrira relativnu vlagu. I tu kao senzor služi snop vlasi, pa se promjena duljine vlasi prenosi polugama na pisaljku, koja na traci bilježi krivulju relativne vlage.

**Vjetar.** U meteorologiji se pod vjetrom podrazumijeva horizontalno strujanje zraka koje je jednoznačno određeno svojim smjerom i brzinom, pa je stoga vjetar vektorska veličina. Pod smjerom vjetra podrazumijeva se strana svijeta odakle vjetar puše. Obično se ne određuje momentani nego srednji smjer vjetra za određeno vremensko razdoblje (najčešće 10 minuta). Uobičajeno je da se smjer vjetra definira stranom svijeta, koja se računa prema geografskom sjeveru, i to bilo po skali od  $360^\circ$ , bilo po skali od 16, odnosno 32 smjera (glavni i međusmjerni vjetra, sl. 10).

Za određivanje smjera vjetra služi *vjetrulja* (sl. 11). To je jednostavan instrument, učvršćen na vertikalnoj osovini oko koje se može slobodno okretati. Vjetrulja je nesimetrična; na jednom kraju ima rep, a na drugom strelicu, pa se zbog djelovanja vjetra sama postavi u smjer vjetra. Ispod vjetrulje je križ s oznakom četiriju glavnih strana svijeta. Smjer vjetra odredi se prema položaju koji strelica vjetrulje zauzme s obzirom na oznake glavnih strana svijeta.

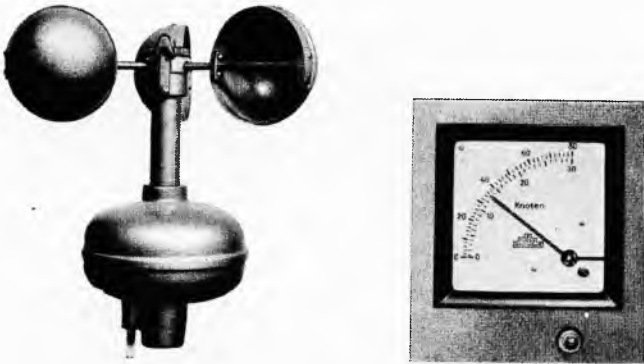


Sl. 10. Skala smjerova vjetra



Sl. 11. Vjetrulja

Brzina vjetra mjeri se *anemometrima*, koji se razvrstavaju u skupine prema tome da li mjere trenutne ili srednje brzine vjetra, da li su za ručnu (prijenosnu) upotrebu ili su stalno postavljeni (obično uz vjetrovnu na visini od 10 m nad tlom). Svaki anemometar ima senzor i pokazivalo brzine. Najrašireniji oblik anemometra ima senzor u obliku 3 ili 4 čašice (šuplje polukugle, tzv. Robinsonov križ), koje su simetrično učvršćene kracima na vertikalnu os oko koje *rotiraju* (sl. 12).



Sl. 12. Anemometar s Robinsonovim križem i daljinskim pokazivalom

U svakom trenutku jedna od čašica pruža najveći otpor strujanju zraka, pa nastala vrtnja pobuđuje električni napon, koji se mjeri voltmetrom baždarenim u nekoj od jedinica brzine vjetra. Anemometri rotacijskog tipa imaju različite sustave brojenja prijeđenog puta vjetra. U mehaničkim se tipovima okretanje čašica prenosi na vijak, a broj okretaja može se pročitati na brojilima (sl. 13). Mjerenjem pripadnog vremena može se računski odrediti i srednja brzina vjetra.

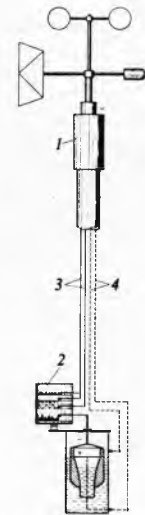
Suvremeni rotacijski anemometri rade na *optoelektroničkom* principu: u kućištu anemometra na istoj osi okreće se i pločica s rupicama kojoj se brzina okretanja mjeri elektronički, pa se na digitalnim pokazivalima može dobiti ne samo trenutna već i srednja brzina za pogodno dugo razdoblje (obično 1 min, 10 min, 30 min ili 1 sat).

Za određivanje trenutne brzine vjetra služe i anemometri na principu *Prandtlove cijevi*, koja trenutnu brzinu određuje razlikom dinamičkog i statičkog tlaka vjetra. Takav tip anemometra mehanički je vezan na vjetrovnu da bi uvijek bio u smjeru odakle puše vjetar. Anemometar na *tenzometrijskom* principu vrlo je podesan za mjerenje vrlo kratkih oscilacija vjetra. Na gornjem je kraju tanke cijevi učvršćeno 10–12 jednako postavljenih čašica. Zbog djelovanja vjetra cijev se deformira, a veličina je deformacije proporcionalna kvadratu brzine vjetra. Deformacija cijevi mjeri se tenzometrom. Za istraživačke svrhe služe anemometri s *vrućom žicom*, koji su osobito podesni za mjerenje malih brzina vjetra. Temelje se na mjerenju utjecaja vjetra na posve tanku žicu od platine, zagrijanu na ~100 °C. Iz mjerenja jakosti struje, koja je potrebna da bi se žica zadržala na odabranoj temperaturi, može se proračunati brzina vjetra. *Sonični* anemometri omogućuju znatno preciznije mjerenje brzine vjetra nego klasični anemometri. Osnivaju se na mjerenju ultrazvučnih valova usmjerenih okomito na plohu senzora.

*Anemografi* služe za kontinuiranu registraciju smjera i brzine vjetra. Mogu biti mehanički i električni. Od mehaničkih najpoznatiji je *univerzalni anemograf* (sl. 14), koji registrira smjer, prijeđeni put i trenutnu brzinu vjetra. Na vertikalnoj osi učvršćena je vjetrovna i tri rotirajuće šalice, koje određuju prevaljeni put vjetra. Okretanje vjetrovne prenosi se dvjema osovinama na posebni mehanizam, vezan za pera koja pišu smjer vjetra na valjku sa satnim mehanizmom. Prandtlova cijev montirana je na tijelo vjetrovne, pa se tlakovi prenose sustavom cijevi na posebnu napravu u obliku obrnutog zvona koje pliva u cilindru ispunjenju tekućinom. Gibanje zvona proporcionalno je razlici dinamičkog i statičkog tlaka, a to se gibanje preko jedne poluge prenosi na pero koje bilježi trenutnu brzinu vjetra.



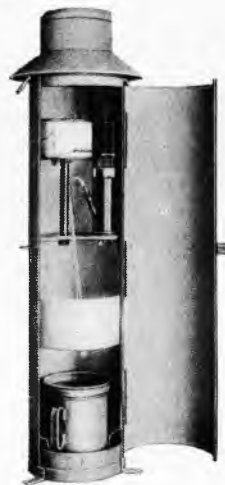
Sl. 13. Ručni anemometar sa tri kazaljke



Sl. 14. Shema univerzalnog anemografa. 1 davač, 2 registrotor, 3 šipke za prijenos smjera, 4 cijevi za prijenos tlaka



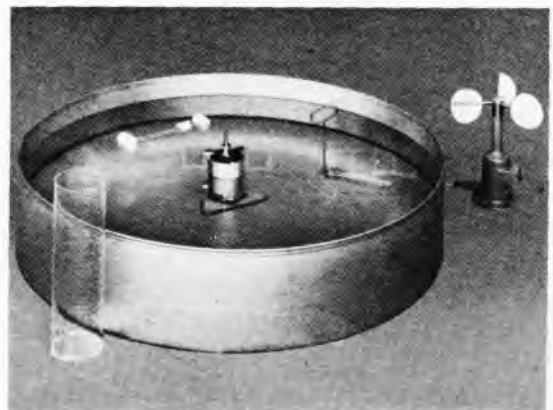
Sl. 15. Kišomjer



Sl. 16. Ombrograf



Sl. 17. Pichéov isparitelj



Sl. 18. Isparitelj klase A

*Električni anemografi* imaju Robinsonov križ, vjetrovnu, te registracijski dio. Trenutne brzine vjetra srazmjerne su veličini inducirane električne struje u generatoru ispod Robinsonova križa. Te se struje odvođe na registrotor, a srednja brzina vjetra (najčešće za razdoblje od 10 min) dobiva se kontaktnim uređajem, koji nakon određenog puta daje električne impulse. Impulsi se na registracijskom uređaju zbrajaju, a pisalo se nakon

10 minuta vraća u početni položaj. Moderni uređaji integriraju trenutne brzine vjetra u izabranom razdoblju pomoću mikroprocesora, pa se na registratoru dobivaju srednje vrijednosti za čitavo razdoblje. Analognom integracijom dobiva se i srednji smjer vjetra. Anemografi starije izvedbe imaju prijenos trenutnog položaja vjetrulje kontaktnim biračima, kliznim otpornicima ili selsinskim motorima (v. *Električna mjerenja*, TE 3, str. 638; *Električni strojevi*, TE 4, str. 222).

**Mjerenje oborina.** U pravilu se mjeri količina tekućih ili krutih oborina koje padnu u kišomjer tokom 24 sata. *Kišomjer* (sl. 15) je cilindrična posuda, s otvorom na vrhu. U posudi se voda slijeva kroz lijevak u kanticu smještenu u donjem dijelu. Kišomjer se postavlja na stup tako da je njegovo zjalo visoko 1 m nad tlom (u brdima 2 m). Oborine sakupljene u kantici izmjere se pomoću menzure baždarene u milimetrima. Svaki milimetar oborina odgovara visini stupca vode od 1 mm na površini od 1 m<sup>2</sup>, odnosno količini od 1 litre na m<sup>2</sup>. Za mjerenje količine oborina u planinskim predjelima postavljaju se tzv. *totalizatori*, u kojima se oborina skuplja kroz duže razdoblje u većoj posudi.

*Ombrografi* (sl. 16) služe za kontinuirano registriranje količine oborina, a i za određivanje intenziteta oborina. Oborinska voda slijeva se u cilindričnu posudu i u njoj podiže plovak. Podizanje plovka, tj. količina oborina sakupljena u cilindru, registrira se na bubnju što ga pokreće satni mehanizam. Prema nagibu zabilježene krivulje može se odrediti intenzitet oborina u određenom razdoblju (5, 10, 30, 60, 120 min). Kad se cilindar napuni vodom, automatski se isprazni, pa se plovak i pisaljka vrate na nulti položaj, pri čemu pisaljka zabilježi vertikalnu liniju. Zimi se ombrografi griju, ali ispravne registracije snježnih oborina dobivaju se tzv. *nifografima*, koji registriraju težinu palog snijega.

Mjerenje snijega svodi se na određivanje visine snježnog pokrivača i na mjerenje gustoće snijega. Visina snijega određuje se snjegomjernom letvom i izražava u centimetrima, dok se gustoća snijega mjeri tzv. *snjegomjernom vagom* i izražava u g cm<sup>-3</sup>. Snijeg i oborine mjere se obično svaki dan u 7 sati jutro, a gustoća snijega svakog petog dana u mjesecu.

**Isparivanje.** Za određivanje količine vode, koja ispari sa slobodne površine tla, odnosno vodenih površina, služe *isparitelji* ili *evaporimetri*. Veličina isparivanja izražava se u milimetrima i odnosi se na vremensko razdoblje od 24 sata ili jednog sata, a preračunava se na jedinicu površine.

*Wildov isparitelj* izrađen je na principu vage koja ima na jednoj strani posudu s vodom, a na drugoj strani tešku kazaljku koja održava ravnotežu u posudi. Kazaljka pokazuje na skali težinu posude s vodom. Isparivanje vode je jednako razlici težine između dva motrenja. Isparitelj se drži u termometrijskoj kućici. Kombinacija takva isparitelja s autografom jest *evaporigraf*.

*Pichéov isparitelj* (sl. 17) sastoji se od staklene graduirane cijevi s otvorom na jednom kraju. Cijev se napuni vodom, poklopi filter-papirom ili bugaćicom, pa se obrne. Filter-papir sprečava da voda isteče iz cijevi, ali se s njega voda isparuje, pa se smanjuje visina vode u cijevi. Vrijednost se isparivanja na skali direktno očitava u milimetrima. I taj se isparitelj postavlja u termometrijsku kućicu.

Na meteorološkim stanicama najčešće se upotrebljava tzv. *isparitelj klase A* (sl. 18). Posuda iz pocinčanog lima, promjera 120 cm i visine 25 cm, ispunjena je vodom te postavljena na otvorenu nezasijsenu površinu tla. Osim temperature vode u posudi, redovno se mjeri i brzina vjetra na 2 m visine, jer isparivanje ovisi o ta dva faktora. Veličina isparivanja odredi se mjerenjem razlika razine vode u posudi kroz određeno razdoblje. Za mjerenje isparivanja na jezerima isparitelj se postavlja na usidrenu splav.

Sva mjerenja pomoću isparitelja ne odgovaraju potpuno prirodni uvjetima i imaju samo relativnu vrijednost, jer se mogu usporediti mjerni podaci samo istih instrumenata.

*Lizimetri* su uređaji za mjerenje isparivanja neposredno s tla. To su veliki otvoreni sanduci, površine nekoliko m<sup>2</sup>, napunjeni zemljom s vegetacijom. Isparivanje se odredi mjerenjem težine

sanduka pomoću osjetljive vage. Pri tom se uzimaju u obzir i pale oborine kao i otecanje s dna sanduka.

**Mjerenje Sunčeva zračenja.** Mjerenje Sunčeva zračenja obuhvaća kratkovalno zračenje koje dolazi u atmosferu kao direktno ili difuzno zračenje, te dugovalno zračenje Zemlje i atmosfere.

Za mjerenje direktnog Sunčeva zračenja koje pada na plihu okomitu na Sunčeve zrake, služe *pirheliometri* (apsolutni instrumenti) i *aktinometri* (relativni instrumenti koji se moraju baždariti pirheliometrima). *Ångströmov pirheliometar* radi na principu električne kompenzacije: dvije su tanke crne lamele od manganina, od kojih se jedna grije električki dok ne postigne istu temperaturu kao druga lamela koja je izložena Sunčevim zrakama. U normalnim uvjetima (mirno i vedro vrijeme) količina energije potrebne za električno grijanje jednaka je količini energije koju apsorbira izložena lamela.

*Linke-Feussnerov aktinometar* (sl. 19) ima kao senzor Mollovu termobateriju u kojoj upadne Sunčeve zrake pobuđuju termostruju, proporcionalnu jačini Sunčeva zračenja. Taj instrument može mjeriti primjenom filtra intenzitet Sunčeva zračenja u različitim dijelovima njegova spektra.



Sl. 19. Linke-Feussnerov aktinometar



Sl. 20. Solarimetar Moll-Gorczynskoga

Za mjerenje kratkovalnih komponenata Sunčeva zračenja služe tzv. *piranometri*. Prema namjeni kojoj služe, pojedine vrste piranometara imaju posebne nazive. Za globalno zračenje na horizontalnu površinu (direktno i difuzno zračenje) služe *solarimetri*, za difuzno zračenje *difuzometri*, a za odbijeno globalno zračenje od Zemljine površine *solarimetri* — *albedometri*. Najpoznatiji je i najčešće se upotrebljava *solarimetar Moll-Gorczynskoga*, koji za senzor ima Mollovu termobateriju, pokrivenu dvjema staklenim kupolama radi zaštite od vjetra i kiše (sl. 20). Oko prijemnog dijela nalazi se povećala, bijelo lakirana, limena ploča da štiti ostale dijelove instrumenta od direktnog Sunčeva zračenja. Solarimetar može biti električki povezan s pisalom, odnosno integratorom (*solarigraf*). Integratorom se dobivaju satne ili dnevne količine zračenja

(elektronsko integriranje impulsa solarimetra). Pomoću višekanalnih registarskih pisala vezanih na više solarimetara, moguće je registrirati više komponenata Sunčeva zračenja. Da bi se moglo mjeriti difuzno zračenje, postavlja se oko senzora solarimetra pomični metalni prsten koji, ispravno namješten, štiti senzor od direktnih Sunčevih zraka. Solarimetre valja baždariti normalnim instrumentom.

*Robitschev bimetalni piranometar (aktinograf)* ima kao senzor tri međusobno vezane bimetalne pločice, od kojih je jedna crna, a dvije bijele. Pod djelovanjem Sunčevih zraka raznobojne se pločice nejednako zagriju i različito deformiraju. Deformacija je sustava bimetalnih pločica proporcionalna Sunčevu zračenju, a registrira se pomoću sustava poluga i pisaljke na papirnoj traci (sl. 21). Instrument nije, međutim, dovoljno točan i pogodan je jedino za mjerenje dnevnih suma globalnog zračenja.



Sl. 21. Robitschev aktinograf



Sl. 22. Campbell-Stokesov heliograf

*Radiometri* služe za mjerenje protuzračenja atmosfere te izjarivanja podloge u dugovalnom području ( $4 \cdot 100 \mu\text{m}$ ). *Schulzeov neto pirradiometar — bilansmetar* mjeri dolazno i odlazno zračenje, razliku ovih zračenja i temperaturu instrumenta. Računski je moguće odvojiti dugovalno zračenje atmosfere i izjarivanje Zemlje od kratkovalnih komponenata Sunčeva zračenja.

*Trajanje sisanja Sunca.* Za mjerenje trajanja sisanja Sunca služe *heliografi*, od kojih je u najširoj upotrebi *Campbell-Stokesov heliograf*. Sastoji se od staklene kugle promjera  $\sim 10 \text{ cm}$ , učvršćene na metalnom stalku (sl. 22). Sunčeve zrake sakupljaju se u fokusu iza kugle, i to na papirnoj traci, pričvršćenoj u žlijebu metalnog stalka. Heliograf je postavljen tako da u pravo Sunčevo podne fokus kugle pokazuje smjer geografskog sjevera. Papirna traka je tamne boje i preparirana tako da Sunčeva zraka na papiru ostavlja izgorjeli trag. Traka ima vremensku skalu, pa je moguće prema dužini ispaljenog traga odrediti trajanje sisanja Sunca.

**Naoblaka.** U meteorologiji se vizuelno ocjenjuje količina i vrsta naoblake, a instrumentalno (i vizuelno) visina podnice oblaka te smjer i brzina gibanja oblaka. Tipovi i vrste oblaka određuju se prema definicijama u Atlasu oblaka Svjetske meteorološke organizacije (v. *Meteorologija*).

Pod naoblakom se podrazumijeva stupanj naoblačenja ili pokrivenosti neba oblacima. Naoblaka se izražava u desetinama i bilježi u cijelim brojevima 0-10. Tako npr. naoblaka 0 znači potpuno vedro nebo, a naoblaka 3 da su tri desetine neba pokrivene oblacima. Za potrebe sinoptičke meteorologije naoblaka se izražava u osminama.

Visina podnice oblaka najčešće se određuje vizuelno prema veličini oblačnih elemenata, odnosno prema visokim objektima i brdima u bližoj i daljoj okolici motritelja. Instrumentalno mjerenje podnice oblaka obuhvaća mjerenje pomoću malih (plafonskih) balona, mjerenje odraza snopa svjetlosti od oblaka i mjerenje radarom. U prvom slučaju mjeri se vrijeme potrebno da balon poznate brzine dizanja (obično  $100 \text{ m min}^{-1}$ ) dosegne podnicu oblaka. Telemetri mjere vrijeme dok vertikalno usmjereni kratkotrajni snop svjetlosti dosegne podnicu oblaka i dok se njegov odraz vrati na osjetljivu fotočeliju. Najmodernije izvedbe takvih instrumenata koriste se laserskim zrakama, a visina se podnice oblaka registrira na pisalu i pokazuje na digitalnom pokazivalu.

Za mjerenje smjera i brzine gibanja oblaka služe nefoskopi. To su ravna ogledala, promjera dvadesetak centimetara, s ugraviranim podjelom na koncentrične krugove. Mjerenjem pomaka slike dijela oblaka od jednog do drugog kruga u ogledalu ocjenjuje se ne samo smjer gibanja oblaka već i njegova relativna brzina.

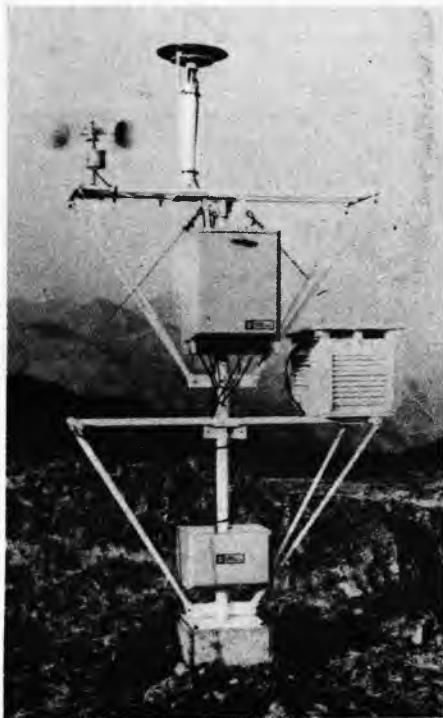
**Vidljivost.** Za razliku od općeg pojma vidljivosti, pod kojim se podrazumijeva prozirnost atmosfere, u meteorologiji se pod vidljivosti podrazumijeva ona najveća udaljenost na kojoj motritelj normalnog vida može uz postojeću prozirnost atmosfere vidjeti i raspoznati taman predmet (reper) odgovarajuće veličine, istaknut prema nebu iznad horizonta. Vidljivost se određuje u horizontalnom, ili približno horizontalnom smjeru (horizontalna vidljivost). Na aerodromima se određuje i vertikalna i kosa vidljivost. U noći vidljivost nekog predmeta ovisi kako je on osvijetljen, pa kao reperi služe svjetleća tijela (žarulje). Procijenjena noćna vidljivost preračunava se na odgovarajuću dnevnu vidljivost. Vidljivost se izražava u kilometrima.

*Vizibilimetri* su instrumenti za mjerenje vidljivosti. Najčešće se upotrebljavaju na aerodromima, a sastoje se od davača izvora svjetlosti i niza reflektora postavljenih na različitim udaljenostima od mjesta opažanja. Moderne izvedbe vizibilimetara koriste se laserskim zrakama, a vrijednosti vidljivosti pokazuju se na digitalnim pokazivalima ili se zapisuju na pisalu.

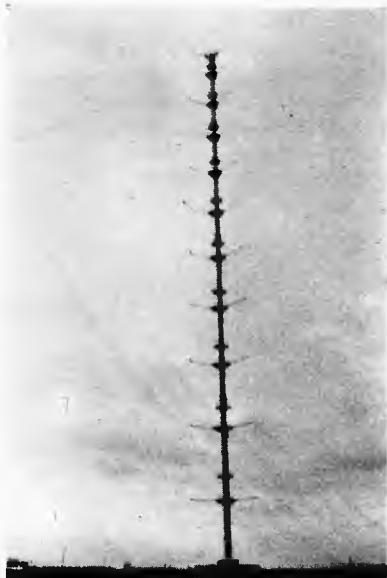
**Automatske meteorološke stanice.** Za mjerenje osnovnih meteoroloških elemenata na teško pristupačnim i nenaseljenim mjestima, na aerodromima, nuklearnim elektranama i bovima služe automatski telemetrijski sustavi.

Automatske meteorološke stanice sada se grade u modularnom sustavu tako da se nizom senzora za glavne meteorološke elemente (vjetar, temperatura, vlaga i tlak zraka, zračenje, podnica oblaka, vidljivost, globalno zračenje, vodostaj, temperatura tla i površine vode) pomoću uređaja za kondicioniranje signala, kontrolnih jedinica i mikroprocesora neposredno dobivaju izmjerene vrijednosti i iz njih izvedene veličine (sl. 23). Ti se podaci, u obliku depeša standardnog oblika ili kodi-

ranih signala, prenose radijem ili telefonskim linijama u centralnu jedinicu, i to ili na poziv ili kontinuirano, a najčešće u određenim vremenskim razmacima. Za pogon automatskih stanica služe sklop baterija ili akumulatora, struja iz gradske mreže ili generator s pogonom na vjetar.



Sl. 23. Automatska meteorološka stanica (Plessey)



Sl. 24. Meteorološki toranj kod mjesta Cabauw (Nizozemska), visok 200 m, sa deset razina za mjerenje meteoroloških elemenata

Na automatskoj meteorološkoj stanici podaci mjerenja najčešće se bilježe na samome mjestu na magnetnu ili bušenu traku. Ovi se zapisi kasnije obrađuju za posebne namjene i istraživačke svrhe, ali gdje je god moguće postavljaju se i klasična pisala na papirnu traku. U nuklearnim centralama senzori su postavljeni na mjerni toranj ili stup visine i 200-300 m, na kojem se na različitim visinama mjeri temperatura, vlaga, vjetar i različiti drugi meteorološki elementi (sl. 24).

Automatske meteorološke stanice postavljaju se na morima na bove. One mjere, uz osnovne meteorološke parametre, i temperaturu mora, morske struje, visinu valova i njihov period. U sinoptičkim terminima ove stanice predaju radijem podatke kopnenim stanicama direktno ili preko satelita.

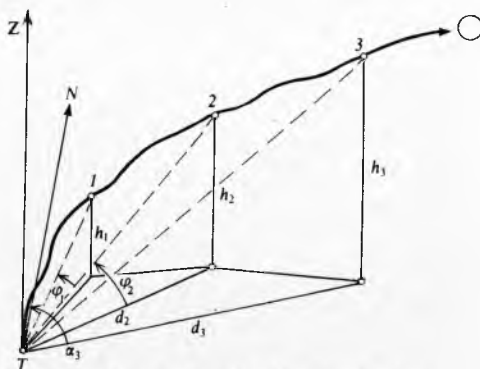
Rad automatskih meteoroloških stanica koje su daleko od naseljenih mjesta veoma je težak. Pored osnovnog problema napajanja stanice energijom, rad često otežavaju teški klimatski uvjeti i nemogućnost da se odmah uklone kvarovi na uređajima. Zahtjevi za takvim stanicama su sve veći ne samo u polarnim predjelima i na oceanima već i u razvijenim zemljama, gdje je zbog pomanjkanja osoblja sve teže održavati i obične stanice. U Švicarskoj već postoji mreža automatskih meteoroloških stanica. Više desetaka takvih stanica je u pogonu na Grenlandu, u Švedskoj i u drugim zemljama i na morima, a ubrzani razvoj elektronike doprinijet će daljem povećanju njihova broja.

### VISINSKA MJERENJA

Visinskim mjerenjima određuje se stanje slobodne atmosfere (v. *Meteorologija*) pomoću uređaja stacioniranih na tlu (radar, uređaj za sferike itd.), instrumenata i sustava upućenih u atmosferu avionom, balonom, zmajem ili raketom (meteorografi, radio-sonde, instrumenti na avionu), te instrumenata na umjetnim satelitima Zemlje.

Sva ta mjerenja vremenski su i prostorno mnogo rjeđa nego ona koja se provode u mreži prizemnih stanica, a neka od tih mjerenja (akustički i svjetlosni radari) služe za istraživačke svrhe u ograničenom opsegu. Rutinska mjerenja obuhvaćaju pilot-balonska i radio-sondažna mjerenja. Podaci o stanju oblaka određuju se avionima, radarima i satelitima, a za istraživačke svrhe upotrebljavaju se i uređaji za mjerenje kondenzacijskih i sublimacijskih jezgara, čestica oblaka, vodnosti oblaka itd.

**Pilot-balonska mjerenja.** Pilot-balonska mjerenja su najjednostavnija metoda mjerenja vjetra u slobodnoj atmosferi. Manji baloni od prirodne ili umjetne gume (prosječne mase 20, 30 ili 100 grama), napunjeni određenom količinom vodika, dižu se praktički konstantnom brzinom i otklanjaju od okomice ustranu, kamo ih zanosi vjetar. Balon se prati optičkim teodolitom. U jednakim vremenskim razmacima očitavaju se kutovi nagiba  $\varphi$  (elevacije) pod kojim se balon vidi prema horizontu, te kut azimuta  $\alpha$  (kut balona prema geografskom sjeveru). Pomoću izmjerenih kutova i poznatih visina balona  $h$  u uzastopnim minutama mogu se trigonometrijski proračunati horizontalne projekcije putanje balona  $d$ , a odatle i smjer i brzina vjetra u sloju atmosfere između uzastopnih visina mjerenja (sl. 25).



Sl. 25. Princip pilot-balonskih mjerenja vjetra

Upotreba pilot-balona ograničena je na povoljne vremenske prilike, a pretpostavlja konstantnu brzinu dizanja balona, što ponekad nije slučaj. Da bi se taj nedostatak uklonio, za istraživačke svrhe služe dva teodolita, smještena na kraju baze dovoljne dužine (bazisna mjerenja). Istodobno očitavanje kutova pod kojima se vidi balon s oba kraja baze omogućuje da se trigonometrijskim relacijama odredi položaj balona u atmosferi bez prethodnog poznavanja visine balona, pa se time može odrediti i smjer i brzina vjetra.

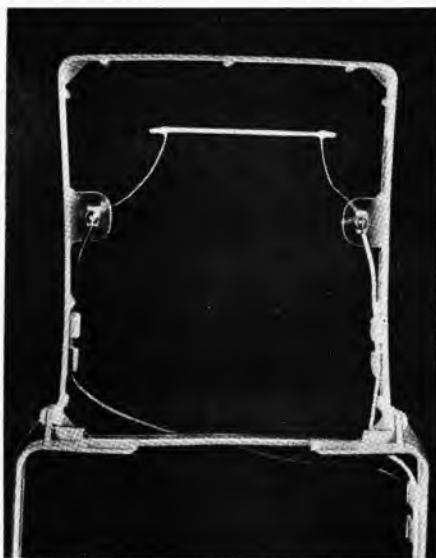


**Radio-sondažna mjerenja.** *Radio-sonda* (sl. 26) je uređaj za mjerenje temperature, vlage, tlaka zraka i vjetra (rutinska mjerenja), te drugih veličina kao što su ozon, gradijent električnog polja i radioaktivnost atmosfere. Instrument se sastoji od meteoroloških senzora, radio-odašiljača s baterijom, te uređaja koji promjene meteoroloških veličina pretvara u električne veličine. Radio-sonda je obješena na dužoj uzici o veliki balon napunjen vodikom, koji se podiže uvis dok ne pukne, a potom se radio-sonda malim padobranom spušta na zemlju. Radio-sonda se prati prijamnim uređajem za vrijeme čitave sondaže. Redovito sonda mjeri više od jednog elementa tokom svakog ciklusa mjerenja, pa stoga posebna naprava prebacuje ciklički jedan senzor za drugim u električni krug odašiljača. Većina radio-sondi radi na frekvenciji 25...100 MHz, neke na ~400 MHz, a da bi mogle mjeriti i visinski vjetar, moderne radio-sonde rade na frekvenciji 1680...1700 MHz.



Sl. 26. Američka radio-sonda, tip 1190.  
1 senzor za temperaturu, 2 senzor za vlagu, 3 spremište za bateriju, 4 radio-davač

**Senzori.** Za mjerenje tlaka gotovo sve sonde imaju aneroidne doze koje su prethodno baždarene barometrom, u rasponu 1050...10 mbar, s točnošću mjerenja od nekoliko milibara. Radio-sonde za visine iznad 26...28 km upotrebljavaju tzv. hipsometre, kojima osjetljivost raste s porastom visine. Hipsometar



Sl. 27. Temperaturni senzor (termistor) radio-sonde

djeluje na osnovi promjene vrelišta ugljik-disulfida s promjenom tlaka zraka. Prema vrelištu, izmjerenom osjetljivim termometrom, odredi se tlak zraka.

Radio-sondažni *temperaturni* senzori su ili bimetalni prsten ili pak element u kojem promjene temperature pobuđuju promjene električnog otpora. Za tu svrhu služe keramički poluvodiči (npr. *termistori*, sl. 27).

Postoje dva osnovna tipa senzora za *vlagu*: prvi se koristi utjecajem vlage na dimenzije nekih materijala kao što su vlasi ili tanka opna volovskog crijeva, dok se drugim tipom mjere promjene električnog otpora nastale zbog promjene vlage tankog filma higroskopičnog materijala (litij-klorid ili čestica ugljena na plastičnoj podlozi). Mjerenje vlage ograničeno je na temperature iznad  $-40^{\circ}\text{C}$ .

*Prijamni radio-uređaj* prima i registrira signale sonde dok se ona diže, pa se na temelju krivulja baždarenja pojedinih senzora mogu jednoznačno odrediti vrijednosti svakog pojedinog elementa. Većina današnjih uređaja ima automatski zapis signala, a konstrukcija uređaja ovisi o tipu sonde (samo u Evropi danas je u upotrebi više od 10 tipova sonda). Najčešći je prijamni uređaj radio-teodolit, koji prima signal radio-sonde i automatski je prati u svim vremenskim prilikama, tako da je u svakom trenutku poznat položaj sonde u prostoru. Za razliku od radara, radio-teodoliti ne mjere direktne udaljenosti sonde, već samo kutove, dok se visina sonde određuje iz barometarske formule visine (v. *Meteorologija*) na temelju vrijednosti meteoroloških elemenata koje radio-sonda mjeri. U Jugoslaviji je u upotrebi radio-teodolit tipa GMD-1A (sl. 28), koji prima signale na frekvenciji 1680 MHz radio-sonde tipa AMT-4.



Sl. 28. Elektronski teodolit GMD-1A

Moderni radio-sondažni sustavi (sustav OMEGA i LORAN) koriste se modificiranim radio-goniometarskim sustavom koji utvrđuje poziciju sonde na temelju faznih razlika niskofrekventnih radio-signala, odaslanih s nekoliko jakih radio-stanica smještenih na međusobno velikim udaljenostima. Podaci tih radio-sondažnih sustava, a djelomično i već prije spomenutih sustava, automatski se obrađuju elektronskim računalima.

*Meteorografi* su autografi za registraciju temperature, vlage i tlaka zraka. Njihovi su senzori mehanički vezani za registrator postavljen u zajedničkom kućištu. Stavljaju se na avione ili zmajeve u istraživačke svrhe. Danas se rijetko upotrebljavaju.

**Meteorološki radari.** Meteorološki radari služe za dvije glavne namjene: utvrđivanje osnovnih karakteristika sustava oblaka, te mjerenje visinskog vjetra. Položaj nekog objekta

radari određuju pomoću radio-valova, i to tzv. primarni radari koriste se reflektiranim i raspršenim radio-valovima, a tzv. sekundarni radari retransmitiranim valovima koje šalje posebni uređaj, tzv. *responder* ili *transponder*.

Za određivanje visinskog vjetrova odašiljači radara imaju snagu impulsa 250...300 kW i valnu duljinu od 10 cm (sl. 29). Radar automatski prati reflektor — metu, koju nosi uvis poveći balon napunjen vodikom. Meta se sastoji od međusobno okomitih ploha u obliku dvostrukog tetraedra, prevučene tankom metalnom folijom. Na radarskom prijammniku može se kontinuirano pratiti jačina signala, direktna udaljenost mete od radara, tzv. kosa udaljenost, te kutovi azimuta i nagiba. Pomoću primarnog radara kosa udaljenost se određuje mjerenjem vremena potrebnog da radarski signal dođe do radarske mete.



Sl. 29. Radar za mjerenje visinskog vjetra (Plessey WF3)



Sl. 30. Meteorološki radar (Plessey 43S)

Određivanje visinskog vjetra nije praktički ovisno o vremenskim prilikama, a za direktno računanje karakteristika vjetra upotrebljavaju se bilo grafička pomagala bilo elektroničko mikro-računalo.

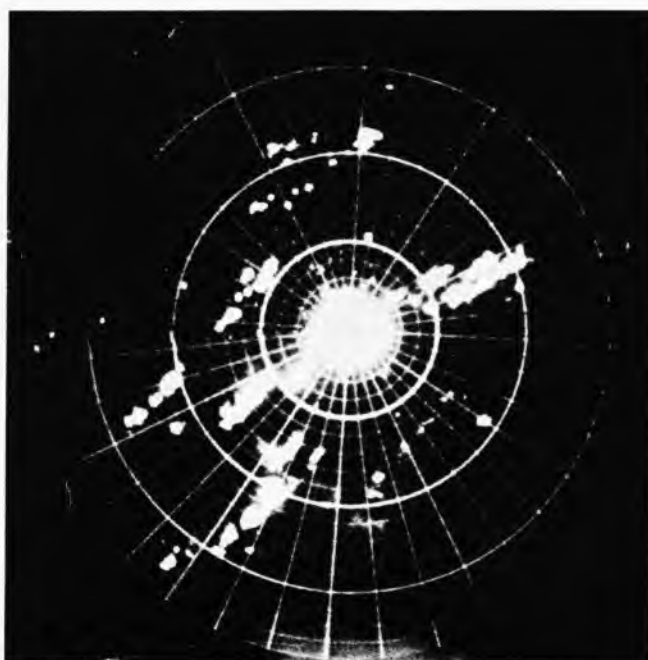
Meteorološki radari za određivanje mikrofizičkih karakteristika oblaka i oborina osnivaju se na pojavi da kapljice u oblacima, kišne kapi, ledeni kristali i zrna, tuča i snježne pahulje raspršuju radarske valove i time pobuđuju radarske odjeke. Funkcija raspršivanja  $S$  od čestica promjera  $D$  u smjeru izvora energije za valnu duljinu  $\lambda$  radarskog zračenja jest:

$$S = \frac{\pi^5 D^6 |k|^2}{\lambda^4}, \quad (3)$$

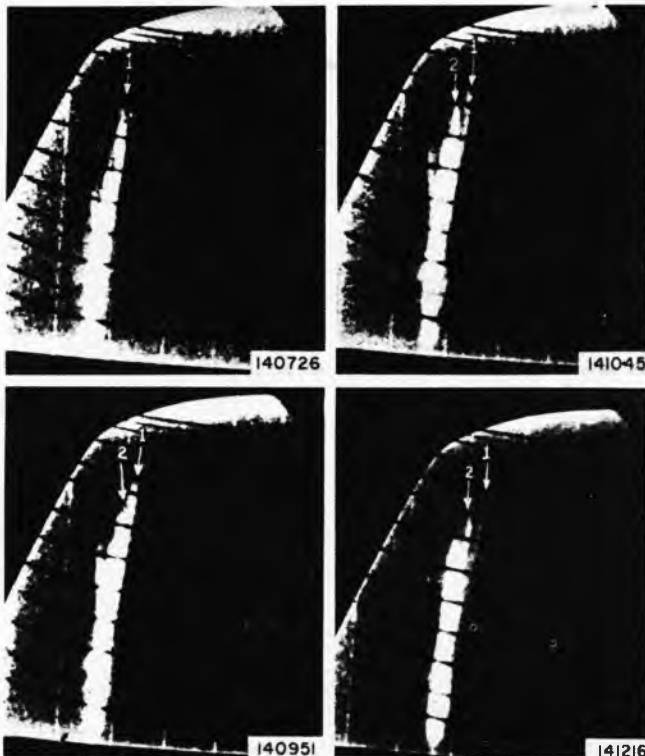
gdje je  $k$  kompleksna dielektričnost. Reflektirana energija je to veća što je valna duljina radarskog zračenja manja: radarom sa  $\lambda \leq 1,25$  cm mogu se otkrivati konture oblaka, dok radarom sa  $\lambda \approx 10$  cm samo oni dijelovi dobro razvijenih oblaka koji su sastavljeni od relativno većih vodenih ili ledenih čestica. Meteorološki radari novijih izvedbi imaju dvije valne duljine, pa mogu poslužiti za obje namjene (sl. 30). Općenito uzevši, radari se mogu upotrijebiti za određivanje horizontalnog i vertikalnog prostiranja oblačnih i oborinskih područja. Za tu svrhu radari imaju tri ekrana: panoramski, ekran vertikalnog presjeka i amplitudni. Na *panoramskom ekranu* (tzv. PPI — Plain Position Indicator, sl. 31) mogu se pratiti raspored oblaka i zone oborina u horizontalnoj ravnini na različitim udaljenostima. Na kružnom se ekranu, osim rotirajuće zrake, pojavljuju i područja odraza od oblačnih sustava i oborina te niz koncentričnih krugova koji označuju udaljenosti od lokacije radara. Budući da čestice oblaka i oborina (pa i

aerosola) oslabljuju energiju radarskog snopa, dolazi do tzv. atenuacije, koja se izražava u decibelima. Atenuacija je funkcija veličine čestica, a za magle i oblake iz kojih ne pada kiša obrnuto je proporcionalna valnoj duljini radarske zrake. Atenuatori na meteorološkim radarima omogućuju da se postepeno mijenja atenuacija radarske zrake u oblaku, pa se na taj način mogu lako odrediti područja povećane akumulacije vodenih i ledenih kapljica.

Za proučavanje vertikalnog razvoja oblaka služi *ekran vertikalnog presjeka* (tzv. RHI — Range-Height Indicator, sl. 32). Za vrijeme promatranja ovog ekrana antena je radara fiksirana na određeni azimut i pomiče se samo u vertikalnoj ravnini. Ekran ima podjelu s horizontalnim (visine nad tlom) i vertikalnim (udaljenosti) linijama, pa se može locirati gornja



Sl. 31. Radarski panoramski ekran s koncentričnim krugovima koji označuju udaljenost od radara u km



Sl. 32. Slike radarskog ekrana vertikalnog presjeka s linijama koje označuju vertikalne udaljenosti; brojke u donjem uglu pokazuju datum, sat i minutu snimke

i donja granica oblaka, oblak u vertikalnom presjeku i područje oborina u oblaku. I na tom ekranu intenzitet je proporcionalan snazi reflektiranog signala.

*Amplitudni ekran* (tzv. ekran A) pokazuje osim primarnog emitiranog signala i veličinu i udaljenost reflektiranog signala, odnosno odjeka. Tim se ekranom, u kombinaciji s ostala dva ekrana, može pratiti razvoj sustava oblaka.

Analizom odraza na radarskim ekranima moguće je ustanoviti ne samo vrstu oblaka i njihov sastav već i intenzitet oborina nad nekim područjem, područje atmosferskih fronta, tropskih ciklona itd.

Posljednjih godina razvijen je poseban tip radara tzv. *Dopplerov radar* koji upotrebom vertikalnog snopa određuje brzinu pada oborinskih čestica, a u određenim uvjetima i spektar njihova promjera. Obrnuto, ako su poznate brzine padanja čestica, tada se brzine izmjerene Dopplerovim radarom mogu korigirati da bi se dobili iznosi vertikalnih gibanja u oblaku. Kombinacijom dvaju Dopplerovih radara i dvaju radara s ekranima RHI mogu se ustanoviti dvodimenzijski oblici horizontalnih i vertikalnih gibanja zraka. Dopplerov radar služi i za mjerenje vjetrova unutar oblaka.

**Mjerenje sferika.** Pod sferikom ili atmosferikom podrazumijeva se stvaranje elektromagnetskih valova koji nastaju električnim pražnjenjem (munja) iz grmljavinskih oblaka. Ovi radio-valovi mogu se otkriti i na udaljenostima od više tisuća kilometara, a sferik-uređajima se odredi položaj njihova izvora. Za tu svrhu služi radio-goniometarski uređaj, koji na katodnoj cijevi pokazuje smjer odakle je došao sferik-signal. Sastavni dio uređaja su dvije antene namještene pod pravim kutom, a orijentirane u smjeru sjever—jug, odnosno istok—zapad. Prijamnik radi na frekvenciji 10 kHz, a pri svakom tragu sferika na ekranu dobiva se i zvučni signal, koji se telefonom prenosi u susjednu stanicu uključenu u mrežu sferika. Zvučni signal traje dovoljno dugo da i susjedna stanica može očitati azimut signala. U mreži sferik-stanica rade obično dvije do četiri stanice međusobno udaljene 500–1000 km, pa se istodobnim očitavanjem signala udaljene grmljavine, jednostavnim presjecanjem pravaca na geografskoj karti, može odrediti mjesto izvora sferika. Kad grmi, sferik-stanice rade obično 10 minuta prije svakog punog sata.

**Meteorološki sateliti.** U novijoj historiji meteorologije može se izbacivanje prvog meteorološkog satelita TIROS 1 (1. IV. 1960) smatrati revolucionarnim događajem. Po prvi put dobiveni su podaci o opažanjima atmosfere iz svemira, i to toliko jasni i precizni kao nikada do tada. TIROS 1 bio je prethodnik serija satelita koji se sve više upotrebljavaju za analizu i prognozu vremena, upozorenja od opasnih vremenskih pojava i za istraživanja.

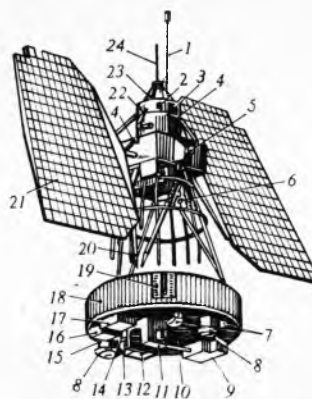
Izvor meteoroloških informacija pri promatranju Zemlje iz svemira jesu prostorne, vremenske i kutne varijacije intenzivnosti elektromagnetskih valova, reflektiranih ili emitiranih u sustavu atmosfera—Zemlja u različitim dijelovima spektra.

Dok su prvi sateliti serije TIROS, početkom šezdesetih godina, imali samo televizijske kamere za snimanje oblaka, u slijedećim godinama došlo je do burnog i brzog razvoja instrumentalne tehnike na satelitima. Tako su bili razvijeni novi tipovi instrumenata, kao što su poboljšani sustavi kamera, širokokutni uređaji za mjerenje zračenja, tzv. radiometri, skannerski radiometri, uređaji za kvantitativno sondiranje atmosfere, instrumenti za mjerenje ultraljubičastog zračenja Sunca, sustavi za sakupljanje i dostavljanje mjernih podataka stanicama na Zemlji, instrumenti za mjerenje fluksa elektrona i protona sa Sunca itd.

SAD su uvele dva osnovna sustava satelita, od kojih se jedan koristi satelitima u polarnoj orbiti, a drugi geostacio-



Sl. 33. Meteorološki satelit KOSMOS-144. 1 mehanizam za orijentaciju sunčanih baterija, 2 ploče sunčanih baterija, 3 uređaj za kontrolu orbite, 4 antene, 5 televizijske kamere, 6 magnetni davač, 7 aktinometrijski uređaj, 8 prijamnik infracrvenog zračenja



Sl. 34. Meteorološki satelit NIMBUS-4. 1 osovina gravitacijskog sustava orijentacije i stabilizacije, 2 ispust pneumatičkog sustava, 3 mlaznica za orijentaciju prema kutu leta, 4 prednji senzor visine Sunca, 5 prednji senzor položaja horizonta, 6 razvodna ploča, 7 radiometri za određivanje temperaturnog profila atmosfere u sloju 0–64 km, 8 širokopojasna antena, 9 infracrveni spektrometar za istraživanje vertikalne raspodjele temperature, sadržaja vodene pare i ozona u atmosferi, 10 antena infracrvenog spektrometra, 11 radiometar, 12 spektrometar za istraživanje vertikalnog temperaturnog profila i temperature Zemljine površine, 13 spektrometar za istraživanje globalne raspodjele ozona u atmosferi, 14 televizijska kamera za kontinuirane dnevne snimke, 15 detektor ultraljubičastog zračenja, 16 izvor ultraljubičastog zračenja za radiometar, 17 spektrometar za određivanje globalne raspodjele vodene pare u atmosferi, 18 spremnik mjernih instrumenata i televizijska kamera, 19 antene radio-fara, 20 nosači konstrukcijski elementi, 21 sunčane baterije, 22 mlaznica za korigiranje orijentacije satelita, 23 mlaznica za orijentaciju satelita prema kutu nagiba, 24 antena upravljačkog sustava

namnim satelitima. Prvi je tzv. sustav ITOS (Improved TIROS Operational Satellite System — Poboljšani operativni sustav TIROS satelita). Ovi sateliti nose brojeve serije NOAA (National Oceanic and Atmosphere Administration — Nacionalna oceanska i atmosferska uprava, SAD). Orbita je satelita relativno niska (1432...1472 km), položena gotovo polarno s nagibom prema ekvatoru  $105^\circ$  i sinhrona prema Suncu. Sateliti sustava ITOS opremljeni su dvjema kamerama za automatsko odašiljanje snimki (Automatic Picture Transmission, APT). Te snimke na površini Zemlje direktno prima više od 800 relativno jednostavnih APT-stanica, raspoređenih u sedamdesetak država, pa se jedna takva prijamna stanica nalazi i u Beogradu. Ovi sateliti za snimku globalne mape oblaka trebaju samo 12 sati. Od ostalih mjernih uređaja, sateliti sustava ITOS imaju radiometar za mjerenje toplinskog balansa Zemlje i instrumente za mjerenje Sunčeva fluksa protona.

Drugi sustav sastoji se od geostacionarnih meteoroloških satelita SMS (Synchronous Meteorological Satellite) i GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite), koji se nalaze iznad određenih točaka u blizini ekvatora na visini ~ 36000 km. Taj sustav je dio svjetskog programa istraživanja atmosfere (Global Atmospheric Research Programme, GARP, v. *Meteorologija*) pod pokroviteljstvom Ujedinjenih naroda, a uključuje i geostacionarne satelite nekih drugih zemalja (evropski Meteosat, SSSR, Japan).

Na slici u slikovnom prilogu prikazane su snimke primljene 21. ožujka 1978. s geostacionarnog meteorološkog satelita *Meteosat* koji se nalazi 36 000 km iznad ekvatora na  $0^\circ$  geografske dužine.

Prva snimka učinjena je u vidljivom dijelu spektra ( $0,4\text{--}1,1\ \mu\text{m}$ ). Najzanimljivija pojedinost što se razabire na toj snimci jest pješčana oluja iznad sjeverne Afrike, pa je i obalna područje sjeverno od Dakara prekriveno oblakom prašine i pijeska. Obalna područja Liberije i Obale Slonovače jasno su ocrtna konvektivnim oblacima nastalim uslijed blagih strujanja zraka s morske strane. Neposredno sjeverno od ekvatora proteže se preko Atlantika, od afričke obale pa sve do Venezuele, oblaci koji označava intertropsku zonu konfluencije. Iznad sjevernog Atlantika vidljiv je veliki oblaci vrtlog ciklona, a i sjeverno od Madagaskara nalazi se oblaci vrtlog srednje veličine.

Druga je snimljena u infracrvenom »prozoru« spektra ( $10,5\text{--}12,5\ \mu\text{m}$ ). Na toj snimci nijanse sive boje označavaju različite stupnjeve temperature isijavanja Zemljine površine. Tamni dijelovi predstavljaju topla područja, kao npr. Saharu i pustinju Kalahari, a bijele površine su hladni visoki oblaci. Sjajno bijelo oblaci područje iznad Sahare je znatno jasnije definirano nego na snimci napravljenoj u vidljivom dijelu spektra. Trag tog oblaci područja proteže se prema istoku sve do oblaci zone iznad Srednjeg istoka. Visoki oblaci intertropske zone konfluencije i oblaci vrtlog sjeverno od Madagaskara također su jasno ocrtni. Sivo područje iznad južnog Atlantika predstavlja tanke niske oblaci suprotropske anticiklone.

Treća snimka snimljena je u apsorpcijskom pojasu vodene pare ( $5,7\text{--}7,1\ \mu\text{m}$ ). Bjeline na snimci označuju visoku vlagu u srednjem dijelu atmosfere ( $5\text{--}10\ \text{km}$ ), a tamna područja odgovaraju suhom zraku na tim istim visinama. Svijetlo područje iznad Sahare pokazuje jaku vlažnost visokih oblaka koji su vidljivi i na infracrvenoj snimci. Na snimci se vidi da je u oblaci vrtlogu sjeverno od Madagaskara vlažnost raspoređena u obliku spirale. Tamno područje iznad južnog Atlantika odgovara suhom zraku suprotropske anticiklone površ sloja niskih tankih oblaka.

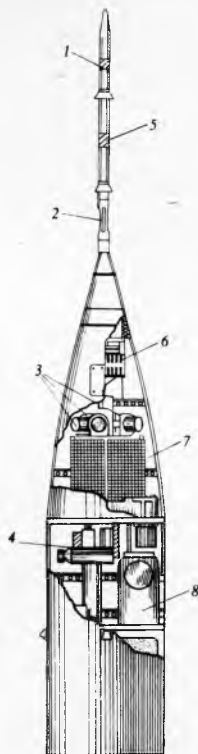
Sateliti SMS imaju teleskop-radiometar za infracrvenu i vidljivu fotografiju visokog razlučivanja, te komunikacijski sustav za sakupljanje i odašiljanje podataka. Sateliti GOES su im slični, a razlikuju se uglavnom u poboljšanim komunikacijskim uređajima. Geostacionarni sateliti tog sustava omogućuju kontinuirano promatranje oblaci pokrivača Zemlje na velikom prostoru po danu i noći, mjerenje visine i debljine oblaka, određivanje brzine vjetera na osnovi brzine kretanja oblaka, određivanje temperature površine Zemljina tla i od tla reflektirane kratkovalne energije, te dobivanje podataka o radijacijskom balansu sustava Zemlja—atmosfera.

Nakon izbacivanja prvog meteorološkog satelita 1960. godine u orbitama oko Zemlje nalazilo se, ili se još nalaze, deseci meteoroloških satelita. Noviji sateliti u polarnoj putanji nose radiometar, koji otkriva i objekte manje od 1 km. Uređaj za primanje na tlu je znatno kompliciraniji i skuplji od APT-stanice, a podaci su toliko raznovrsni da služe ne samo u meteorologiji već i hidrologiji i oceanografiji. Sada je moguće pratiti položaj Goflške struje, priobalnih voda, ledenih polja Arktika i Antarktika, stvaranje ledenih bregova i rasprostranjenost snijega i glečera u planinama, što je osobito važno za dobivanje točnog uvida u raspoložive količine vode.

Razvoj je satelitske meteorologije sve više usmjeren automatskoj obradi podataka i odašiljanju podataka u digitalnom obliku. To je i osnovni razlog da se na satelitima napuštaju televizijski sustavi za praćenje oblaka i da se prelazi na skenerske radiometre. U okviru globalnog istraživanja atmosfere (GARP) sateliti će biti veoma važni u prijemu i prijenosu podataka s balonskih sonda, morskih bova i automatskih meteoroloških stanica.

**Raketna mjerenja.** Radio-sondažna mjerenja redovito ne prelaze visinu 30...35 km, pa se za veće visine (do nekih 400...500 km) upotrebljavaju meteorološke, odnosno geofizičke rakete.

Istraživačke meteorološke rakete nose u prednjem dijelu mjerne instrumente i telemetrijske uređaje, a u stražnjem dijelu rezervoar s gorivom i komoru za izgaranje. Raketa se obično ispaljuje gotovo vertikalno s brzinom od 5...6 maha. Sovjetska meteorološka raketa (sl. 35) ima u šiljku nosa elektronske termometre, manometre, instrumente za mjerenje Sunčeve radijacije, fotografski aparat i telemetrijski uređaj za prijenos



Sl. 35. Razmještaj mjernih uređaja na meteorološkoj raketi SSSR. 1 toplinski manometar, 2 bolometar za mjerenje Sunčeva zračenja, 3 manometar s membranom, 4 akumulator, 5 elektronski termometar (termistor), 6 komutator telemetrijskog sustava, 7 radio-odašiljač, 8 fotografski aparat

podataka na Zemlju. U SAD glavna pažnja nije posvećena direktnom mjerenju temperature, koja je funkcija mnogih faktora, već mjerenju tlaka ili gustoće zraka, pa se iz tih podataka proračuna temperatura zraka. S raketa se mogu izbaciti na različitim visinama, obično u razmacima od po 5 km, male granate, kojima se eksplozije registriraju na Zemlji. Iz razlike vremena proteklog između eksplozije i nadolaska zvučnog vala na Zemlju određuje se brzina zvuka, a odatle srednja temperatura i srednji vjetar u sloju između tla i razine eksplozije granate. Učinci vjetera i temperature mogu se međusobno razlučiti, pa se vjetar i temperatura zasebno određuju. Za mezosferu (v. *Meteorologija*) dobivaju se ovom metodom relativno točni podaci ( $\pm 10^\circ\text{C}$  i  $\pm 5\ \text{ms}^{-1}$ ).

Druga je metoda mjerenja da se na visini 120...150 km iz rakete automatski izbacuju kugle od metalizirane polietilenske folije debljine  $12\ \mu\text{m}$ . Odmah nakon izbacivanja kugla se napuni malom količinom plina od promjera 2 m. Vertikalna brzina  $v_z$  i akceleracija kugle u padanju  $dv_z/dt$  određuju se pomoću radara, pa se gustoća zraka na visini  $z$  određuje iz formule

$$\rho_z = \frac{2m \left( \frac{dv_z}{dt} - g_z \right)}{v^2 s c_x}, \quad (4)$$

gdje je  $g_z$  akceleracija sile teže na visini  $z$ ,  $s$  poprečni presjek kugle,  $c_x$  bezdimenzijski koeficijent, a  $m$  masa kugle. Ta metoda daje zadovoljavajuće rezultate na visinama od 75...100 km. Postoji i tip manjih kugla, promjera 15 cm, opremljenih akcelerometrom i telemetrijskim uređajem, koji služe za određivanje gustoće atmosfere. Za vrijeme pada rakete su obješene na metalizirani padobran, pa se iz gibanja padobrana pomoću radara određuje smjer i brzina vjetra.

Vjetar se može mjeriti i pomoću finih tankih žičica izbačenih iz rakete. Praćenjem žičica radarom dobivaju se pouzdani podaci o vjetru u sloju od 65...90 km.

LIT.: Guide to meteorological instrument and observing practice. WMO, Ženeva 1971. — Handbook of meteorological instruments, I i II dio. HMSO, London 1963. — Uputstvo za osmatranja i mjerenja na glavnim meteorološkim stanicama. SHZ, Beograd 1974. — М. А. Герман, Спутникова метеорологија. Гидрометеиздат, Ленинград 1975. — E. Barrett, L. Curtis, Environmental remote sensing. Bristol 1974. — COST 72: Technical conference on automatic weather stations, Vol. II. Bruxelles 1976.

#### D. Poje

**METROLOGIJA, ZAKONSKA** (mjeriteljstvo, zakonsko), dio metrologije kojim država osigurava potrebnu razinu mjernog jedinstva i time svoje građane štiti od opasnih, lažnih, neispravnih i nedovoljno točnih mjernih rezultata. Pogibeljni mjeriteljski utjecaji mogu nastati, npr., u zdravstvu, ljekarništvu, prehrani, poljoprivredi, zaštiti okoliša, prometu itd., a ostali nepovoljni mjeriteljski utjecaji mogući su u svim ljudskim djelatnostima. Svojim propisima i ispitno-nadzornim stanicama zakonska metrologija utječe na poljoprivrednu i industrijsku proizvodnju, trgovinu, međunarodnu trgovinu, školstvo, znanost i druge djelatnosti time što: a) propisuje zakonite mjerne jedinice i način njihove primjene; b) određuje koja se mjerila (mjerne sprave, uređaji, instrumenti, sustavi), kojom točnošću i u kojim rokovima moraju stručnim pregledom provjeravati i ovjeravati; u pravilu se mora ovjeriti svako mjerilo u javnom prometu; c) pregledava i ovjerava mjerila da bi se potvrdila njihova ispravnost; taj se posao većinom sastoji od niza tehničkih ispitivanja i baždarenja (umjeravanja), a završava se ovjeravanjem (žigosanjem), tj. označivanjem ili pismenim iskazivanjem da mjerilo udovoljava propisanim uvjetima; d) nadzire da li se provode mjeriteljski propisi i prijavljuju prekršitelji za kažnjavanje.

**Mjerno jedinstvo** takvo je stanje metrologije u kojemu su mjerni rezultati izraženi zakonitim jedinicama, a mjerne nesigurnosti poznate s iskazanom vjerojatnošću. Drugim riječima: na svom je području mjeriteljska služba ostvarila mjerno jedinstvo onda kad je u svako doba pod različitim okolnostima sposobna različitim postupcima i mjerilima proizvesti mjerne informacije naznačene nesigurnosti (v. *Mjerna nesigurnost*). Brojne su fizikalne veličine za koje postoji društvena i privredna potreba održavanja mjernog jedinstva na utanačenoj, odnosno ekonomski opravdanoj razini nesigurnosti (točnosti) i u potrebnim vrijednosnim rasponima. Tri su glavne skupine tih veličina: a) duljina, ploština, obujam, masa, gustoća i udjel čvrste tvari, tekućine i plina, temperatura, vrijeme, obujam i protok, tlak, električna i toplinska energija itd.; b) vlažnost žitarica, uljarica i masnoća, udjel masnoća u mlijeku i mliječnim proizvodima, udjel škroba u krumpiru i drugim gomoljima, etanolni (alkoholni) udjel u pićima, udjel nečistoća u poljoprivrednim proizvodima itd.; c) fizikalne veličine radiološke zaštite i veličine bitne u medicini, proizvodnji lijekova, prehrambenoj industriji, zaštiti okoliša itd.

Mjerno se jedinstvo uspostavlja, održava i unapređuje provođenjem planova koji se odnose na specificirana područja društvenog djelovanja, a unutar njih na pojedine fizikalne veličine i njihove vrijednosne raspone. Ti su rasponi vrlo različiti, npr. pri mjerenju gustoće morske vode raspon je svega nekoliko postotaka, a pri mjerenju tlaka raspon je mnogo veći,  $10^{-15}$ ... $10^5$  bar ( $10^{-10}$ ... $10^{10}$  Pa). Bitne razlike postoje i u razini točnosti, npr. u tvornici alata razina mjernog jedin-

stva na području mjerenja duljine mora biti mnogo viša nego u tvornici drvenog namještaja ili u prometu drva.

Temeljna je zadaća planiranja mjernog jedinstva na nekom području, pa tako i na području države, što bolje uskladiti i međusobno prilagoditi dosadašnja i planirana stanja mjernog jedinstva pojedinih radnih organizacija, tehničkih sustava (elektroprivreda, televizija itd.) i gospodarskih grana (proizvodnja žitarica, vinarstvo itd.). Pri tom valja poštovati načelo nacionalnog mjeriteljskog djelovanja, a to je: uspostavljanje i održavanje mjernog jedinstva na području čitave države s najmanje stručnjaka i s najmanje troškova za mjernu opremu, prostor i pripadne instalacije.

Najlakši je dio posla pri uspostavljanju i održavanju mjernog jedinstva propisivanje zakonitih jedinica; država to povremeno čini zakonima i drugim propisima, obično u skladu s međunarodnim dogovorima. Najteži, pak, i trajni dio posla je pregledanje i ovjeravanje mjerila; to se obavlja u državnim nadzornim stanicama i od države ovlaštenim stanicama. S tim u vezi nastaju snažne kadrovske i ekonomske posljedice državnih propisa o tome koja se mjerila, u kojim rokovima, pod kojim uvjetima i kako moraju pregledati i ovjeravati.

Pretežni dio tih državnih propisa odnosi se na mjeriteljska i tehnička svojstva mjerila te na postupak njihova ispitivanja i ovjeravanja. U razvijenim se zemljama takvi mjeriteljski propisi odnose na dvadesetak skupina mjerila. To su: trgovački duljinomjeri, precizne duljinske mjere, strojevi za mjerenje duljine; mjerila ploštine; mjerila obujma čvrstih tijela; mjerila obujma tekućina u mirovanju; mjerila proteklog obujma vode; mjerila proteklog obujma ili mase ostalih tekućina; plinomjeri; utezi; neautomatske vage; automatske vage, konvejerne vage, automatske sortirne vage, strojevi za sortiranje jaja; mjerila zrnatih kultura; laboratorijska mjerila obujma; mjerila gustoće; tehnički termometri; medicinska mjerila; tehnički tlakomjeri; mjerila za mljekarstvo; mjerila u uličnom prometu; brojila vremena; električna mjerila; akustička mjerila; mjerila topline; radiološka mjerila i tome slično.

**Svjetsko mjerno jedinstvo.** Mjerno jedinstvo u grupi država, državi, grani, tehničkom sustavu itd. zapravo su dijelovi svjetskog mjernog jedinstva koje se ostvaruje trgovačkim poslovima, vojnim sporukama, međunarodnim konvencijama, stručnim i znanstvenim dodirima itd. Evo nekoliko vrlo grubih, ali posve svakodnevnih primjera postojanja tog svjetskog jedinstva. Između Zagreba i Tokija postoji mjerno jedinstvo krvnog tlaka kad na temelju nalaza zagrebačkog liječnika japanski liječnik može bolesniku bez daljega propisati liječenje. Između zagrebačke Plive i švicarske Cibe postoji ljekarničko mjerno jedinstvo kad se unutar mjerne nesigurnosti podudara rezultati ispitivanja nekog lijeka. Postoji neko bakteriološko mjerno jedinstvo između njemačkog kupca i jugoslavenskog izvoznika kad ispitivanje mesne konzerve u Zagrebu i Hamburgu daje podudarne rezultate. Unutar Vijeća uzajamne gospodarske pomoći (SEV) postoji mjerno jedinstvo vlažnosti žita kad se rezultati mjerenja vlažnosti na istom žitnom uzorku ne razlikuju više nego što je prethodno utanačeno. Bezbrojni su primjeri postojanja čvršćeg ili labavijeg svjetskog mjernog jedinstva u kemijskoj tehnologiji, graditeljstvu, prometu, brodarstvu, poljoprivredi, vinarstvu, meteorologiji itd.

Što se tiče mjernih jedinica, postignuto je potpuno svjetsko jedinstvo. Praktički su, naime, sve zakonite jedinice svijeta međunarodno dogovoreni i nacionalnim zakonima propisani *višekratnici* sedam osnovnih jedinica Međunarodnog sustava jedinica (SI), odnosno *višekratnici* umnožaka nekih osnovnih jedinica SI. I angloameričke su jedinice samo propisane *višekratnici* jedinica Međunarodnog sustava koji je uspostavljen 1960. godine.

Taj dogovor o jedinstvu mjernih jedinica proizlazi iz Konvencije o metru (*Convention du Mètre*), kojoj su osnivačke države pristupile na Diplomatskoj konferenciji o metru 20. svibnja 1875. godine, a ostale države još prilaze i u naše vrijeme. Ta kratka konvencija od svega 14 članova prilagođena je novim vremenima 6. listopada 1921. godine. Predratna Jugoslavija ratificirala je Konvenciju 1929. godine (Službene novine 1929, br. 302, 25. decembra 1929).