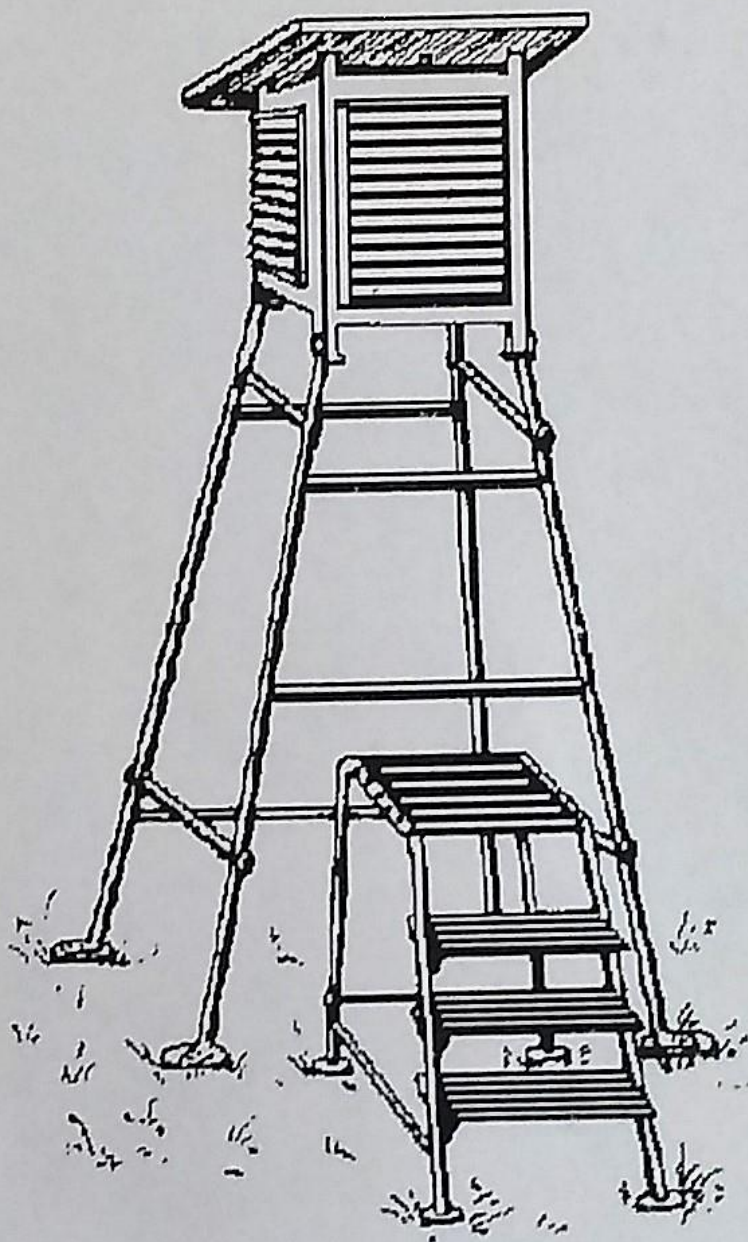


Gintaras Valiuškevičius

**M
E
T
E
O
M
E
T
R
I
J
A**



Vilnius 1999

VILNIAUS UNIVERSITETAS



Gintaras Valiuškevičius

METEOMETRIJA

Mokymo priemonė

Vilnius 1999

Apsvarstė ir rekomendavo spausdinti VU Gamtos mokslų fakulteto taryba (1999 06 ; protokolo Nr.)

Recenzavo:

doc. dr. Arūnas Bukantis;
dr. Egidijus Rimkus

Redagavo:

Jūratė Pajėdienė

© Gintaras Valiuškevičius, 1999

TURINYS

Įvadas.....	
1. Meteorologinė informacija ir meteorologinių stebėjimų organizavimas.....	
2. Temperatūros matavimai.....	
3. Oro drėgnumo matavimai.....	
4. Atmosferos slėgio matavimai.....	
5. Vėjo parametrų matavimai.....	
6. Kritulių ir garavimo matavimai.....	
7. Spindulinės energijos matavimai (aktinometrija).....	
8. Meteorologinio matavimo nuotolio, debesų ir atmosferos reiškinių stebėjimai.....	
9. Aerologiniai ir radiolokaciniai atmosferos tyrimai.....	
10. Automatinės ir distancinės meteorologijos stotys.....	
Priedai.....	

IVADAS

Meteorologiniai matavimai – viena iš svarbiausių aplinkos monitoringo dalių. Jie domina ne tik hidrometeorologus, bet ir geografus, biologus, aplinkos inžinierius, daugelio kitų sričių specialistus. Pirmieji prietaisai, kuriais galima gana tiksliai įvertinti atskirus meteorologinius elementus sukurti dar XVI – XVII a. Maždaug tuo metu pradėti ir pastovūs meteorologiniai stebėjimai. Bėgant laikui meteorologinių matavimų metodika ir jiems skirti prietaisai nuolat tobulėjo. Dabar meteorologiniai stebėjimai atliekami daugeliu įvairių metodų skirtingose pasaulio vietose. Meteorologinė informacija gaunama sausumoje, vandenyuose, įvairiuose atmosferos sluoksniuose ir net kosminėje erdvėje. Susikūrė globali ir pasauliniu mastu organizuota meteorologinių stebėjimų sistema.

Taip išsivysčius meteorologiniams matavimams ir stebėjimams, susikūrė ir mokslas apie juos – meteometrija. Nuo XIX a. pabaigos įvairiose šalyse išleistas ne vienas meteometrijos vadovėlis. Nemažai leidinių, kuriuose vienaip ar kitaip liečiami meteorologiniai matavimai, prietaisai, matavimų atlikimimo metodika, būta ir Lietuvoje. Dauguma jų buvo specifiniai, aptariantys tik atskirų meteorologinių elementų grupių matavimus. Be to, per kelis pastaruosius dešimtmečius meteorologinių stebėjimų sistemos struktūra, jos organizavimo principai smarkiai pasikeitė. Ypač dideli pakitimai vyko matavimų automatizavimo bei jos pateikimo vartotojams srityse. Leidžiant šią knygelę tikimasi bent iš dalies užpildyti susidariusias spragas.

Atsižvelgiant į labai sparčią meteorologiniams matavimams skirtų prietaisų konstrukcijos kaitą, šioje mokymo priemonėje daugiau dėmesio skiriama matavimų organizavimo bei atlikimo metodikai. Siekiant kuo išsamiau apibūdinti atskirų meteorologinių elementų matavimo tikslumą, atskirame skyrelyje supažindinama su meteorologijos pagrindais. Aptariant prietaisus, labiausiai stengiamasi supažindinti su jų veikimo principais. Todėl prietaisų konstrukcijos aprašyme detaliau supažindinama su daviklių sandara. Labiau kaičios prietaisų konstrukcinės dalys aprašomos trumpai, išdėstant galimus jų parinkimo variantus. Visais atvejais (tiek aprašant

matavimų metodiką, tiek prietaisus) stengtasi laikytis Pasaulinės meteorologijos organizacijos šiuo metu siūlomų standartų.

Knyga pirmiausiai skiriama Vilniaus universiteto hidrologijos ir meteorologijos specialybės studentams, kuriems dėstoma meteometrijos disciplina. Todėl orientuotasi į skaitytoją, jau susipažinusį su meteorologijos pagrindais, gerai žinantį pagrindinius fizikos dėsnius. Kita vertus, manytina, kad knyga bus naudinga ir kitų sričių specialistams, besidomintiems meteorologiniais matavimais.

Autorius dėkingas knygą recenzavusiems docentui daktarui Arūnui Bukančiui bei daktarui Egidijui Rimkui už vertingas pastabas ir patarimus, taip pat visiems padėjusiems rengiant spaudai šį leidinį.

Meteometrija – mokslas apie meteorologinius matavimus. Ji apima atmosferos rodiklių matavimo metodų bei prietaisų kūrimą, o taip pat šių metodų taikymo ir prietaisų naudojimo sąlygas.

1. METEOROLOGINĖ INFORMACIJA IR METEOROLOGINIŲ STEBĖJIMŲ ORGANIZAVIMAS

1.1. Pradinė meteorologinė informacija

Atmosferos fizinę būklę ir jos kaitą galima objektyviai pažinti bei įvertinti tik remiantis atskirais meteorologiniais rodikliais. Šie duomenys ypač svarbūs tiriant meteorologinių reiškinių ir procesų genezę, numatant jų vystymąsi, bei prognozuojant orus. Tokiems tyrimams būtinų oro, vandens ir žemės paviršiaus fizinių parametru visuma sudaro *pradinę meteorologinę informaciją*. Skirtingose šalyse pradinei meteorologinei informacijai priskiriamas įvairus atskirus parametrus apibūdinančių charakteristikų skaičius. Tradiciškai ją sudaro šios dalys (skliausteliuose nurodyti rodikliai ne visada priskiriami pradinei meteorologinei informacijai):

- oro, dirvos (jei stebėjimo punkte yra vandens telkinys – ir vandens) temperatūra;
- atmosferos slėgis;
- oro drėgnumas;
- vėjo kryptis ir greitis;
- krituliai, sniego rodikliai (jei vertinamas vandens balansas – ir garavimas);
- meteorologinis matomumas;
- spindulinė energija;
- debesuotumas;
- dirvos paviršiaus būklė;
- atmosferos reiškiniai.

Išvardintų rodiklių matavimo būdai bei prietaisai ir yra svarbiausia meteometrijos interesų sritis. Kartais matuojami ir kiti parametrai, būtini specifinių reiškinių pažinimui. Jie vadinami papildoma meteorologine informacija, kurios tyrimo būdų meteometrija tradiciškai neaptaria.

Kaip matome, pradinę meteorologinę informaciją sudaro aibė meteorologinių elementų. Kiekvienas iš jų dažnai gali būti matuojamas skirtingais metodais bei naudojant skirtingus prietaisus.

Be to, daugumą meteorologinių elementų galima (o neretai ir būtina) apibūdinti ne vienu, bet keliais rodikliais. Antai, toks meteorologinis elementas kaip oro drėgnumas gali būti matuojamas psichrometriniu, higroskopiniu bei rasos taško metodais, kaskart naudojant tam būtinus skirtingos konstrukcijos prietaisus bei apibūdinamas tokiais rodikliais kaip vandens garų slėgis, santykinis oro drėgnumas, rasos taškas ir taip toliau.

Pradinės meteorologinės informacijos kaupimas yra pagrindinė *meteorologinių matavimų ir stebėjimų sistemos* užduotis. Pradinė meteorologinė informacija, sukaupta visose šios sistemos grandyse, turi būti kompleksiška, trimatė, globali, reguliari, operatyvi ir vieninga. Tik laikantis šių reikalavimų gaunami duomenys, patikimai apibūdinantys atmosferos būklę bei jos kaitą laike.

Todėl informacijos kaupimo procesas visose šalyse turi būti organizuotas pagal vieningą sistemą. Tai būtina dar ir todėl, kad meteorologinė informacija apima tik dalį gamtinę aplinką apibūdinančių parametrų, gaunamų gamtinės aplinkos stebėjimo (monitoringo) sistemoje. Todėl meteorologiniai rodikliai turi būti lengvai palyginami su kitomis aplinką apibūdinančiomis (pirmiausiai, – geofizinėmis ir ekologinėmis) charakteristikomis. Meteorologinių duomenų matavimo, kaupimo, apdorojimo ir pateikimo vartotojui metodikos vieningumu rūpinasi Pasaulinė meteorologijos organizacija. Ji rengia, leidžia ir platina metodinius nurodymus, reglamentuojančius meteorologinių matavimų bei stebėjimų atlikimo ir gautų duomenų apdorojimo tvarką.

Siekiant greitai ir tiksliai pateikti sukauptą informaciją vartotojams sukurta iš kelių rangų organizacijų sudaryta sistema, kurią sudaro:

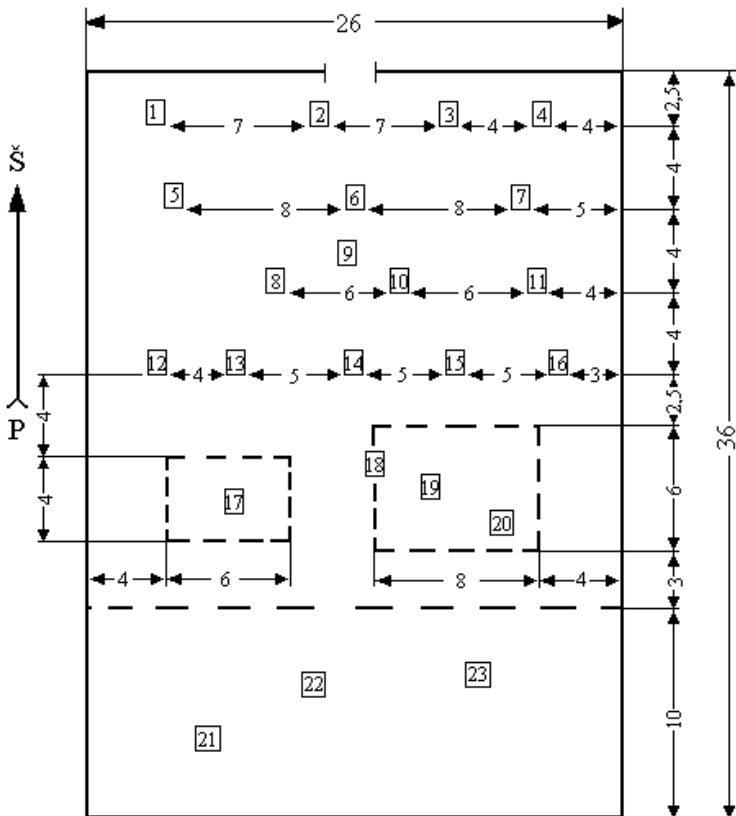
- 1 – duomenų gavimo grandis (stacionarūs meteorologinių stebėjimų punktai sausumoje, laivuose, lėktuvuose, palydovuose);
- 2 – informacijos dorojimo grandis (hidrometeorologinės bei geofizinės observatorijos, tyrimų institutai);
- 3 – informacijos teikimo vartotojams grandis (nacionalinės hidrometeorologinių tarnybų valdybos, regioniniai, nacionaliniai ir tarptautiniai biurai, specializuotos leidyklos bei bibliotekos).

Duomenų gavimo grandis yra svarbiausia, nes būtent šio rango organizacijose kaupiama pradinė meteorologinė informacija. Šią grandį sudaranti stebėjimo punktų sistema paprastai skirstoma į dvi

posistemes: antžeminę ir kosminę. Meteometrija tradiciškai daugiau nagrinėja antžeminėje posistemėje naudojamus metodus ir prietaisus. Šią posistemę sudaro sausumos meteorologijos stotys, laivų meteorologijos stotys, bujų meteorologijos stotys, o taip pat aerologijos bei radiolokacijos stotys. Pagrindinė antžeminės posistemės dalis yra sausumos bei plaukiojančios (laivų, bujų) meteorologijos stotys, todėl jose taikomiems matavimų ir stebėjimų metodams bei naudojamiems prietaisams meteometrija skiria daugiausiai dėmesio. Šiuo metu pasaulyje yra virš 9000 antžeminių meteorologijos stočių (tarp jų apie 800 atlieka ir aerologinius stebėjimus). Meteorologinę informaciją taip pat teikia virš 7000 laivuose ir virš 3000 lėktuvuose įrengtų meteorologinių stebėjimų punktų, virš 600 radiolokacinių meteorologijos stočių ir apie 200 dreifuojančių bei stacionarių bujų. Kosmine posisteme labiau domisi sinoptinė, aviacinė ir palydovinė meteorologija.

1.2. Meteorologijos stotys

Meteorologijos stotys skiriasi pagal jose vykdomos *stebėjimų programos* apimtį. Meteorologinių stebėjimų programos apimtį bei stebėjimų atlikimo terminus kiekvienai stočiai nustato nacionalinės hidrometeorologijos tarnybos. Skiriamos stotys su pilna programa (kai kada literatūroje vadinamos I kategorijos stotimis), stotys su vidutinės apimties programa (atitinkamai – II kategorijos) ir stotys su sutrumpinta programa (III kategorijos). Didžiųjų valstybių meteorologijos tarnybos dažnai steigia ir profilines (aerologijos, jūrų hidrometeorologijos, agrometeorologijos, pelkių hidrometeorologijos ir panašias) stotis. Paprastai visos jos be profilinių stebėjimų atlieka ir tradicinius meteorologinių elementų matavimus, būdingus standartinėms stotims. Lietuvoje iš tokių stočių šiuo metu veikia tik kranto, aviacijos, agrometeorologijos ir aerologijos stotys. Stotyse, vykdančiose pilnos ir vidutinės apimties stebėjimų programą (I ir II kategorijos), paprastai stebima didžioji dalis pradinę meteorologinę informaciją sudarančių elementų. Dauguma Lietuvoje veikiančių meteorologijos stočių – stotys su vidutinės apimties stebėjimų programa. Šiuo metu tik Kauno ir Šilutės meteorologijos stotys matuoja visus pradinės meteorologinės informacijos parametrus.



1 pav. Meteorologijos stoties aikštelės planas. 1 – vėjarodis, 2 – anemorumbometras, 3 – anemorumbografas, 4 – šarnos matuoklė, 5 – psichrometrinis narvelis, 6 – atsarginis narvelis, 7 – narvelis savirašiams, 8 – kritulmatis, 9 – stacionari sniego matuoklė, 10 – pliuiografas, 11 – atsarginis stulpas kritulmačiui, 12 – stacionari sniego matuoklė, 13 – stulpas su teodolitu oro balionų stebėjimui, 14 – heliografas, 15 – rasografas, 16 – dirvožemio garomatis, 17 – termometrai dirvos temperatūrai matuoti (aikštelėje be žolės), 18 – stacionari sniego matuoklė, 19 – termometrai dirvos temperatūrai matuoti (aikštelėje su natūralia žole), 20 – pašalomatis, 21 – stiebai su psichrometrais, 22 – stiebai su anemometrais, 23 – stovas aktinometriniams prietaisams. Atstumai tarp prietaisų ir aikštelės ilgis bei plotis pateikti metrais.

Tuo tarpu meteorologijos stotys su sumažinta stebėjimų programa (III kategorijos arba paprastosios, senesnėje literatūroje dar vadinamos meteorologijos postais) apsiriboja vos kelių

pagrindinių rodiklių (dažniausiai kritulių bei oro temperatūros) matavimais bei atmosferos reiškinių stebėjimais.

Dažnai tokios stotys įrengiamos šalia kitų gamtinės aplinkos monitoringo punktų (pavyzdžiui, – hidrologijos stočių), nes taip lengviau jas aptarnauti. Pagal savo veikimo laiką meteorologijos stotys skirstomos į pastovias, laikinas bei sezonines (Lietuvoje pastaruoju metu visos stotys – pastovios). Kartais steigiamos žinybinės – pavaldžios ne hidrometeorologijos tarnybai – stotys, tačiau dabar visame pasaulyje pastebima tokių stočių mažėjimo tendencija.

Steigiant meteorologinę stotį, svarbu ne tik parinkti jai reprezentatyvią, atspindinčią tam tikram landšafto tipui būdingus meteorologinius duomenis vietą; bet ir išlaikyti optimalų stočių skaičių. Todėl siekiama, kad kiekvienoje stotyje gaunama informacija maksimaliai atitiktų jai keliamus reikalavimus, esant minimaliam stočių skaičiui.

Įrengiant meteorologijos stotis laikomasi standartinių nuostatų. Stotčiai parinkta aikštelė (1 pav.) turi atspindėti būdingą kraštovaizdį, būti atvira ir lygi. Nuo medžių, namų, kalvų ir kitų kliūčių stoties stebėjimų aikštelė turi būti nutolusi atstumu, ne mažiau kaip dešimteriopai viršijančiu kliūčių aukštį. Stebėjimų aikštelės forma – stačiakampė, 26 × 36 m dydžio (nesant galimybės įrengti tokio dydžio aikštelę, išmatavimai sumažinami iki 20 × 16 m). Jos ilgoji kraštinė orientuota Šiaurės – Pietų kryptimi. Aikštelės teritorija turi būti aptverta 1,5 m aukščio tinklo tvora ir padengta natūralia, būdinga regionui, danga (Lietuvoje – apželdinta žole); joje vaikstoma 0,4 m pločio nužymėtais takeliais. Prietaisai išdėstomi taip, kad vieni kitų neužtemdytų: aukščiausi – šiaurinėje, žemiausi – pietinėje aikštelės dalyje. Visi prietaisai statomi standartiniuose aukščiuose (pagal jų pase nurodytus reikalavimus), jų nedarbinės dalys – stovai, dangčiai ir kita – nudažomos baltai. Stoties tarnybinės patalpos, jei tik įmanoma, stengiamasi įrengti ne arčiau kaip 150 m nuo aikštelės. Jose turi būti tikslus laikrodis, žibintas, reikiama metodinė literatūra ir stebėjimų žurnalai, ryšio priemonės ir pan.

1.3. Stebėjimų atlikimo tvarka

Stotyje atliekami *stebėjimai* skirstomi į pagrindinius ir papildomus. Pagrindiniai stebėjimai visose meteorologijos stotyse atliekami *nustatytu laiku*. Pasaulinė meteorologijos organizacija rekomenduoja juos vykdyti 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 ir 21 val. Grinvičo laiku. Žinant vietovės, kurioje yra stotis, laiko juostą ir joje esančio laiko skirtumą nuo Grinvičo galima nustatyti stebėjimo terminus vietiniu laiku (Lietuvoje, atsižvelgiant į itin dažną laiko juostų kaitą, tai tenka daryti gana dažnai). *Pagrindinių stebėjimų* programą sudaro: atmosferos slėgio, vėjo parametrų, meteorologinio matomumo, oro temperatūros ir drėgnumo, dirvos temperatūros bei debesuotumo matavimai. Toliau pateiksime konkrečių matavimų bei stebėjimų atlikimo terminus Grinvičo laiku. 00, 06, 12 ir 18 val. matuojamas kritulių kiekis; o 06 ir 18 val. stebima dirvos paviršiaus būklė. Jei stotis yra prie vandens telkinio, tai 06 ir 18 val. matuojama vandens temperatūra. Garavimas iš dirvos paviršiaus nustatomas 18 val. Žiemą periodiškai atliekamos sniego nuotraukos, o 06 val. stebima sniego danga. Aktinometriniai (spindulinės energijos) matavimai atliekami pagal specialią programą kas valandą arba dar dažniau. Atmosferos reiškiniai stebimi pastoviai (ne tik terminų metu). Kiekvieno stebėjimų termino metu užbrėžiamos visų paros savirašių prietaisų juostelės; savaitiniai savirašiai užbrėžiami du kartus per parą: 00 ir 12 val. *Papildomi* stebėjimai atliekami pagal specialias programas.

Tarptautiniai standartai reguliuoja ir *stebėjimų atlikimo tvarką*. Pasaulinė meteorologijos organizacija rekomenduoja stebėjimus pradėti likus 10 minučių iki nurodyto termino ir baigti lygiai termino metu (pavyzdžiui: jei artėja 12 val. terminas, stebėjimai pradedami 11⁵⁰ ir baigiami 12⁰⁰). Pirmiausiai apžiūrima dirvožemio aikštelė, paskui iš eilės nustatomas meteorologinio matomumo nuotolis, vėjo parametrai, debesuotumas, dirvos temperatūra, oro temperatūra ir drėgnumas, krituliai ir pagaliau – atmosferos slėgis. Visi stebėjimų rezultatai tuoj pat pieštuku užrašomi į žurnalą. Automatinėse meteorologijos stotyse stebėjimų rezultatai dažniausiai registruojami nuolat (ne tik stebėjimo terminų metu) ir kaupiami kompiuterių diskuose.

Kaip minėta, meteorologinės charakteristikos visose stotyse turėtų būti nustatomos *standartiniais prietaisais* ir pagal *standartines metodikas*. Jei šios sąlygos neįmanoma įvykdyti, būtina stengtis naudoti bent jau tos pačios tikslumo klasės prietaisus. Apie Lietuvoje naudojamus meteorologinius prietaisus ir jų standartizaciją bus kalbama konkrečius matavimus aptariančiuose skyriuose.

Pasauliniu mastu meteorologinių stebėjimų tinkle gaunamos informacijos vieningumą užtikrina Pasaulinė Meteorologijos Organizacija. Ji rūpinasi stebėjimų atlikimo bei apdorojimo metodikos vieningumu, operatyvaus meteorologinės informacijos perdavimo formų unifikavimu, o svarbiausia – reguliuoja viso pasaulio meteorologijos tarnybų veiklą. Tarptautinio bendradarbiavimo meteorologijos srityje būtinybė suvokta dar XIX a., 1873 m. įkūrus Tarptautinę Meteorologijos Organizaciją. Jos veiklai palaiapsniui plečiantis 1947 m. ši organizacija buvo reorganizuota į Pasaulinę Meteorologijos Organizaciją (PMO) prie Jungtinių Tautų. Ją sudaro šešios regioninės hidrometeorologijos tarnybų asociacijos turinčios savo regioninius centrus. Dabar pasaulyje yra apie 150 nacionalinių, 27 regioniniai ir specializuoti bei 3 pasauliniai (Maskvos, Melburno ir Vašingtono) meteorologijos centrai. Pačios PMO centras ir sekretoriatas įsikūrę Ženevoje. Pastaruoju metu meteorologinių duomenų kaupimas bei platinimas vykdomas globalinės kompiuterizuotos ryšių sistemos pagalba. Jos sukūrimas ypač palengvino ir pagreitino duomenų pateikimą vartotojams.

1.4. Meteorologinė metrologija

Pradinė meteorologinė informacija yra ne kas kita, kaip eilė fizikinių dydžių, todėl jų matavimai – tai mėginimas įvertinti šiuos parametrus tam tikrais matavimo vienetais. Norint geriau suvokti tokio vertinimo prasmę, būtina susipažinti su meteorologinės metrologijos pagrindais. Metrologija visus *matavimus skirsto* į keturias grupes:

1) tiesioginiai matavimai, kurių metu iš karto nustatoma ieškomo dydžio reikšmė (meteometrijoje tokių matavimų pavyzdžiu – su tam tikromis išlygomis – galima laikyti temperatūros matavimą stikliniu skysčio termometru);

2) netiesioginiai matavimai, kai ieškomo dydžio reikšmė nustatoma remiantis priklausomybe tarp jo ir kito – tiesiogiai matuojamo – dydžio (pavyzdžiui: temperatūros matavimas varžos termometru);

3) visuminiai matavimai, kai ieškomo dydžio reikšmė nustatoma lygčių sistemos pagalba, žinant kitų dydžių reikšmes (pavyzdžiui: garavimo nustatymas pagal vandens balanso lygtį, iš anksto įvertinus kitus jos elementus);

4) bendri vienalaikiai matavimai, kai ieškomo dydžio reikšmė randama pagal priklausomybę tarp keleto kitų, vienu metu išmatuotų dydžių (pavyzdžiui: oro drėgnumo nustatymas psichrometru).

Nepriklausomai nuo matavimo būdo, jo metu nustatyta dydžio reikšmė niekada nėra absoliučiai tiksli. Matavimo tikslumą įprasta apibūdinti jo *paklaida*. Paklaidas sukelia matavimo prietaisų netobulumas ir *matavimo klaidos*, kurios skirstomos į atsitiktines, sisteminės ir grubias. *Atsitiktinės klaidos* gali atsirasti dėl daugelio įvairiausių faktorių, bet jos nėra susijusios tarpusavyje kokiais nors dėsningumais. Atsitiktinės klaidos sukelia tiek teigiamas, tiek neigiamas paklaidas, todėl jų poveikio galima nesunkiai išvengti kartojant matavimą kelis kartus ir išvedant rezultatų vidurkį. *Sisteminės klaidos* daug pavojingesnės, nes sukelia to paties ženklą paklaidas. Taigi, pakartotiniai matavimai nuo jų neapsaugo. Jų galima išvengti pašalinant klaidą sukeliančias priežastis, arba (jei priežasčių pašalinti neįmanoma) įvedant *pataisas*. Detaliau sisteminės klaidos skirstomos į instrumentines (atsirandančias dėl prietaisų savybių) ir metodines (sukeliamas matavimo metodo netobulumo). Paprastai instrumentinių klaidų poveikio išvengiama įvedant prietaiso pase nurodytas pataisas. Metodines klaidas švelninančios pataisos (jei tokios yra žinomos) nurodomos aprašant stebėjimų metodiką. *Grubios klaidos* atsiranda neteisingai atskaičius prietaisų parodymus, neteisingai įrašius rezultatus, staiga sugedus aparatūrai ir pan. Jas nesunku pastebėti pakartojus matavimą, – paprastai su grubią klaida atlikto matavimo rezultatai labai smarkiai skiriasi nuo kitų. Pastebėjus grubią klaidą, matavimo rezultatas iš karto brokuojamas, o matavimas, esant galimybei, atliekamas iš naujo.

Matavimų paklaidos paprastai skirstomos į absoliučias, santykinės, vidutinės aritmetinės, vidutinės kvadratinės, tikimybinės bei ribinės. *Absoliuti* matavimo paklaida nustatoma pagal formulę:

$$\Delta X = X_i - X, \quad (1)$$

kur ΔX – absoliuti paklaida, X_i – matavimo metu nustatyta dydžio reikšmė, o X – reali (faktinė) dydžio reikšmė matavimo metu. Absoliuti paklaida gali nepriklausyti nuo matuojamo dydžio vertės ($\Delta X = \pm a$). Tuomet ji vadinama adityviąja paklaida. Jei paklaida priklauso nuo matuojamo dydžio vertės ($\Delta X = a + bX$), ji vadinama multiplikatyviąja. Norint apibūdinti paklaidos įtaką matavimo tikslumui naudojama *santykinė paklaida*:

$$\Delta X_s = \Delta X / X, \quad (2)$$

kuri gali būti išreikšta procentais arba vieneto dalimis. (2) formulė aprašo tik adityviasias santykinės paklaidas. Multiplikatyviosios paklaidos santykiniais dydžiais išreiškiamos retai. Siekiant eliminuoti atsitiktinių klaidų įtaką dažnai įvedama *vidutinė aritmetinė paklaida*. Tuomet išmatuotu dydžiu, atlikus keletą matavimų, laikomas jų aritmetinis vidurkis:

$$X_{vid.} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (3)$$

čia X_i – i-ojo matavimo rezultato reikšmė, n – matavimų skaičius. Statistikoje $X_{vid.}$ vadinamas matematine atsitiktinio dydžio X viltimi. Vidutinė kvadratinė dydžio X nuokrypos nuo matematinės vilties reikšmė išreiškiamą taip:

$$\sigma(X) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{vid.})^2}{n - 1}}. \quad (4)$$

Metrologijoje šis dydis dažnai vadinamas *vidutine kvadratine paklaida*. Jei paklaidų pasiskirstymo tankis normalus (tai yra, – jos pasiskirstę pagal Gauso dėsnį) tai paklaidos susidarymo atskiro matavimo metu tikimybė neviršija $\pm\sigma$ ir yra lygi 0,68. Šiuo atveju $+\sigma$ ir $-\sigma$ yra taip vadinamo *pasikliaujamojo intervalo*, į kurį su 0,68 tikimybe patenka atsitiktinių paklaidų reikšmės, ribos. Atskirais atvejais pasikliaujamasis intervalas apribojamas *ribinės paklaidos*

(nuo -3σ iki $+3\sigma$). Matavimo rezultatų vidurkio $X_{\text{vid.}}$ paklaidos $\sigma(X_{\text{vid.}})$ taip pat pasiskirsto pagal statistikos dėsnius. *Vidutinė kvadratinė matavimų vidurkio paklaida* lygi

$$\sigma(X_{\text{vid.}}) = \frac{\sigma(X)}{\sqrt{n}}. \quad (5)$$

Taigi, nors tikimybė, jog vidutinės matavimo rezultatų reikšmės paklaida neviršys $\sigma(X_{\text{vid.}})$ taip pat kaip ir σ sudaro 0,68; pasikliaujamasis intervalas susiaurėja. Rezultatas šiuo atveju tampa tikslesnis \sqrt{n} kartų. Pavyzdžiui, rezultato, gauto išvedus vidurkį iš 100 matavimų metu gautų reikšmių, tikslumas 10 karų didesnis nei pavienio matavimo rezultato. Žinant kokiu tikslumu reikia išmatuoti vieną ar kitą dydį, tai leidžia pasirinkti būtina tikslumo užtikrinimui matavimų skaičių.

Metrologija matavimo priemonės skirsto į matavimo prietaisus, matavimo keitiklius, matavimo įrenginius ir informacines matavimo sistemas. *Matavimo prietaisu* vadinama matavimo priemonė, sukurianti lengvai stebėtojiui suvokiamą informacinį signalą, kuris atitinka matavimo rezultatą. Matavimo prietaisai skirstomi į indikavimo, registravimo, signalizavimo ir integravimo prietaisus. Indikavimo prietaisuose informacija apie matuojamą dydį gaunama iš prietaiso skalės ir rodyklės tarpusavio padėties. Geriausias tokio prietaiso pavyzdys meteorologiniuose matavimuose – termometras. Skalė – tai atžymų seka, kur mažiausiąją dydžio vertę atitinka pradžios, o didžiausiąją – galo atžyma. Atstumas tarp greta esančių atžymų vadinamas padala. Skalės būna tolydinės (visos padalos vienodos) ir netolydinės (padalos nevienodos). Registravimo prietaisai pateikia informaciją grafiškai – dažniausiai diagramos pavidalu. Tokiems prietaisams priskiriami visi savirašiai: termografai, barografai ir kiti. Signalizavimo prietaisai pasiekę iš anksto numatytą dydžio vertę generuoja garso, šviesos ar elektros signalą. Meteorologiniuose matavimuose iš tokių prietaisų naudojamas anemorumbometras. Integravimo prietaisai integruoja matuojamąjį dydį pagal laiką (pavyzdžiui: anemometras su skaičiavimo mechanizmu, arba elektrolitinis aktinometrinių stebėjimų integratorius). *Matavimo keitikliu* sukuriamas signalas, tinkantis perduoti informaciją matavimo prietaisui. Jie naudojami sudėtingesniuose prietaisuose, dažniausiai atliekant netiesioginius

matavimus. Matavimo keitikliai skirstomi į pirminius, tarpinius ir siuntimo keitiklius. Pirminiais keitikliais (davikliais) nustatomas matuojamasis parametras. Davikliai tiesiogiai kontaktuoja su matuojamąja aplinka. Tarpiniai keitikliai naudojami signalų stiprinimui, lyginimui, pirminio keitiklio signalo keitimui. Siuntimo keitikliai keičia signalus normuotu signalu, naudojamu distanciniam informacijos siuntimui. *Matavimo įrenginiai* – tai grupė atitinkamai sujungtų matavimo prietaisų, keitiklių ir pagalbinių įtaisų, sudarančių vieningą konstrukciją. *Informacinės matavimo sistemos* – tai visuma matavimo priemonių, ryšio kanalų, taikomų automatizuotam informacijos apdorojimui, siuntimui bei geresniam informacijos suvokimui.

Siekiant, kad gauta informacija būtų palyginama be standartinių matavimo priemonių, naudojamų jos gavimui, būtina ją išreikšti standartiniais vienetais. Šiuo metu pasaulyje populiariausia ir standartizuota tarptautinė vienetų sistema SI (1 priedas).

2. TEMPERATŪROS MATAVIMAI

2.1. Bendros žinios. Skalės. Termometrų tipai

Šiuo metu meteorologijos stotyse matuojamos tokios temperatūros:

- oro temperatūra prie žemės paviršiaus ir įvairiuose aukščiuose;

- dirvos temperatūra paviršiuje ir įvairiuose gyliuose;

- sniego temperatūra paviršiuje ir įvairiuose gyliuose (rajonuose, kur sniego danga vyrauja didžiąją metų dalį);

- vandens temperatūra paviršiuje (jei netoli stoties yra vandens telkinys);

Kai kada pagal šiuos duomenis taip pat apskaičiuojami ir oro, dirvos bei sniego temperatūrų kaitos gradientai.

Temperatūros matavimo vienetai priklauso nuo pasirinktos skalės. Nuo 1598 m., kai G. Galilėjus išrado termometrą, pasiūlyta ne viena temperatūros matavimo skalė. Populiariausios iš jų: Farenheito (sukurta 1715 m.), Reomiūro (1730 m.), Celsijaus (1742 m.), Kelvino (1948 m.). SI sistemoje aprobuota *Kelvino termodinaminė* skalė. Nuo 1968 m. visose meteorologijos stotyse naudojama praktinė *Tarptautinė meteorologinė skalė*, kurioje

temperatūra gali būti matuojama tiek Kelvino, tiek Celsijaus laipsniais (°C arba °K). Lietuvoje naudojama *Celsijaus* skalė. Jos reperiniai taškai yra ledo tirpimo temperatūra (prilyginama 0 °C) ir vandens virimo temperatūra (100 °C).

Temperatūra gali būti matuojama skirtingais termometrais, tarp kurių meteorologiniuose matavimuose šiuo metu labiausiai paplitę tokie:

- *skysčio termometrai* (temperatūra nustatoma pagal termometrinio skysčio tūrio pokytį);

- *deformaciniai termometrai* (temperatūra nustatoma pagal kietų kūnų linijinių parametrų pokytį);

- *varžos termometrai* (temperatūra nustatoma pagal kūnų elektros laidumo pokytį);

- *termoelektriniai termometrai* (temperatūra nustatoma pagal termoelementų elektrovaros jėgos pokytį).

Žymiai rečiau meteometrijoje naudojami *radiaciniai* (temperatūra nustatoma pagal kūnų spinduliavimo intensyvumo pokytį) ir *akustiniai* (temperatūra nustatoma pagal garso sklidimo greičio pokytį) termometrai. Kitokių tipų termometrai meteorologiniams matavimams dabar beveik nenaudojami.

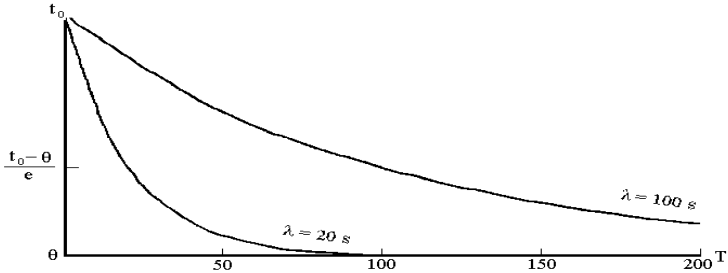
2.2. Termometrų inercija

Visi termometrai, nepriklausomai nuo jų tipo, į aplinkos temperatūros pakitimus visada reaguoja pavėluotai, taigi yra inertiški. Jų inercija dvejojama:

- *šiluminė*, susidaranti dėl to, kad šilumos apykaita tarp aplinkos ir termometro vyksta ribotu greičiu, todėl termometro daviklio temperatūra pakinta tik po tam tikro laiko;

- *mechaninė*, susidaranti dėl to, kad termometro skalės parodymai atsilieka nuo daviklio temperatūros pakitimų (stulpelis ar rodyklė skalėje į juos reaguoja pavėluotai).

Mechaninė inercija gerai sukonstruotame prietaise paprastai yra nežymi, daugeliu atvejų jos įmanoma išvengti laikantis prietaiso pase nurodytos naudojimo instrukcijos.



2 pav. Skirtingos inercijos termometrų reakcija į aplinkos temperatūrą. T – laikas sekundėmis, θ – aplinkos temperatūra, t_0 – pradinė termometro temperatūra.

Todėl plačiau panagrinėsime šiluminę inerciją, labiausiai sąlygojančią termometrų inertiškumą. Termometro daviklio temperatūros kaita priklauso nuo gauto šilumos kiekio, kuris gali būti išreikštas formule:

$$\Delta Q = cm\Delta t ; \quad (6)$$

kur ΔQ – gautas šilumos kiekis, c – medžiagos, iš kurios pagamintas termometras, šiluminis imlumas, m – termometro (daviklio) masė, Δt – termometro temperatūros pokytis. Jei aplinkos temperatūra matavimo metu nekinta, tas pats šilumos kiekis gali būti apskaičiuotas ir pagal formulę:

$$\Delta Q = -hS(t - \theta)\Delta T ; \quad (7)$$

kur ΔQ – vėlgi gautas šilumos kiekis kaip ir (6) formulėje, h – išorinės šilumos apykaitos koeficientas (priklausantis nuo termometro ir aplinkos charakteristikų), S – termometro (daviklio) paviršiaus plotas aktyviai dalyvaujantis šilumos apykaitoje, t – momentinė termometro temperatūra, θ – aplinkos temperatūra (šiuo atveju priimama pastovi), ΔT – matavimo laikas. Esant itin trumpiems laiko tarpams ($\Delta t \rightarrow dt$, $\Delta T \rightarrow dT$, $\Delta Q \rightarrow dQ$), galima teigti, jog pagal (6) ir (7) lygtis apskaičiuotas ΔQ yra vienodas. Tuomet, surašę į vieną formulę (6) ir (7) lygčių dešinėse pusėse

esančius narius bei atlikę keletą aritmetinių supaprastinimų gausime tokią priklausomybę:

$$\frac{\Delta t}{\Delta T} = -\frac{(t - \theta)}{\lambda}; \quad (8)$$

kur $\lambda = m c / h S$. (5) formulė rodo termometro temperatūros kitimo greitį ($\Delta t / \Delta T$). Jis yra atvirkščiai proporcingas *terminės inercijos koeficientui* λ . (8) lygtį išintegruvę, gauname:

$$t - \theta = c e^{-T/\lambda}; \quad (9)$$

kur e – natūrinio logaritmo pagrindas, o c – integravimo konstanta, kuri esant pastoviai temperatūrai apsprendžiama pradinėms sąlygoms: $T = 0$; $t = t_0$ (čia t_0 – pradinė termometro temperatūra). Todėl šiuo atveju $c = t_0 - \theta$. Įstatę šią c reikšmę į (9) lygtį gauname:

$$\frac{(t - \theta)}{(t_0 - \theta)} = e^{-T/\lambda}. \quad (10)$$

Iš (10) lygties matome, kad termometro (daviklio) ir aplinkos temperatūrų skirtumas mažėja tuo greičiau, kuo mažesnis terminės inercijos koeficientas λ . Jei priimtume sąlygą, kad $T = \lambda$, paaiškėtų, jog λ yra laikas, per kurį pradinis temperatūrų skirtumas tarp termometro (daviklio) ir aplinkos sumažėja e kartų (2 pav.) Todėl λ paprastai yra išreiškiamas laiko vienetais (dažniausiai sekundėmis). Koeficientas λ priklauso nuo termometro daviklio masės, ploto bei matavimo aplinkos savybių. Kuo λ didesnis, tuo inertiškesnis yra termometras.

2.2. Stikliniai skysčio termometrai

Kartais šie termometrai vadinami tiesiog skysčio termometrais, tačiau, atsižvelgiant į tai, jog jų korpusas paprastai yra stiklinis, meteorologijoje prigijo stiklinių skysčio termometrų pavadinimas. Skysčio termometrų veikimo principas pagrįstas skysčio tūrio kitimu kintant temperatūrai: pastarajai kylant skystis plečiasi, o krintant – traukiasi. Pagrindinės šių termometrų dalys yra:

- 1) *stiklinis rezervuaras*, užpildytas termometriniu skysčiu;
- 2) *kapiliarinis vamzdelis*, kurio vienas galas sujungtas su rezervuaru, o kitas – užlydytas;
- 3) *skalė* (ji gali būti nupaišyta tiesiog ant kapiliarinio vamzdelio ar ant stiklinio apvalkalo, bet dažniausiai graduojamas atskiras iš

specialios medžiagos pagamintas ir korpuso viduje įtvirtintas įdėklas);

4) *stiklinis apvalkalas*, gaubiantis visą konstrukciją (neretai pastarasis papildomai apsaugomas įdedant į metalinį, plastmasinį ar kitokį *korpusą*).

Populiariausi termometriniai skysčiai yra *etilo spiritas* (jo užšalimo temperatūra $-117,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, o virimo temperatūra $78,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) ir *gyvsidabris* (lydymosi temperatūra $-38,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, virimo temperatūra $356,9\text{ }^{\circ}\text{C}$); kiek rečiau naudojami *bevandenis toluolas* ir *gyvsidabris – talio lydinys*. Termometrų gamybai naudojamas specialus termometrinis stiklas su itin mažu terminio plėtimosi koeficientu (apie 0,000025). Be to, siekiant išvengti deformacijos, termometrinis stiklas specialiai sendinamas – kaitinamas aukštoje temperatūroje. Įvairių konstrukcijų termometrų kapiliaruose virš termometrinio skysčio sudaromas vakuumas arba jį užpildomi azotu ar oru.

Stiklinius skysčio termometrus galima suskirstyti į keletą pagrindinių tipų.

Psichrometriniai termometrai.

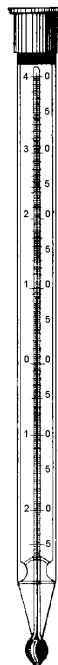
1) *Psichrometrinis termometras* – pagrindinis prietaisas oro temperatūrai matuoti (pagal psichrometrinių termometrų parodymų skirtumus nustatomas ir oro drėgnumas). Kartais šis prietaisas vadinamas dar ir stacionaraus psichrometro termometru (siekiant atskirti nuo aspiracinio psichrometro termometro). Skalės ribos: nuo -35 ° iki $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Padalos vertė $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, termometrinis skystis – gyvsidabris, kapiliaro erdvėje virš gyvsidabrio – azotas. Rezervuaras apvalus (skersmuo 9 – 12 mm). Šiluminės inercijos koeficientas λ – 300 s (ramiame $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ore). Termometras tvirtinamas psichrometriniame narvelyje vertikaliai, taip, kad rezervuaras būtų 2 m aukštyje.

2) *Žemų temperatūrų spirito termometras* skirtas žemesnių nei $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ oro temperatūrų matavimui. Standartinės skalės ribos: nuo -81 ° iki $+11\text{ }^{\circ}\text{C}$, arba nuo -71 ° iki $+21\text{ }^{\circ}\text{C}$. Padalos vertė – $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Termometrinis skystis – etilo spiritas (virš jo – oras), rezervuaras cilindrinis (skersmuo 6 mm), λ – kaitus. Įtaisomas kaip ir psichrometrinis termometras. Žemų temperatūrų spirito termometras statomas šalia psichrometrinio termometro kai oro temperatūra nukrinta žemiau $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Oro temperatūrai kintant -20 ° – $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ intervale matuojama tiek šiuo, tiek psichrometriniu termometru, o esant žemesnėms nei $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūroms – tik žemų temperatūrų spirito termometru (įvedant bendrų matavimų metu apskaičiuotas pataisas).

3) *Psichrometrinis gyvsidabrio – talio termometras* skirtas oro temperatūrų matavimui visame kaitos diapazone. Naudojant šį termometrą galima išmatuoti tiek labai

aukštas, tiek labai žemas temperatūras, todėl jis patogus tuose kraštuose, kur oro temperatūrai būdinga itin didelė metinė kaitos amplitudė (tai leidžia atsisakyti psichrometrinio ir papildomo spirito termometro). Pagrindinis jo skirtumas nuo kitų psichrometrinių termometrų yra ta, jog jame naudojamas retas termometrinis skystis – gyvsidabrio–talio lydinys.

3 pav. Psichrometrinis



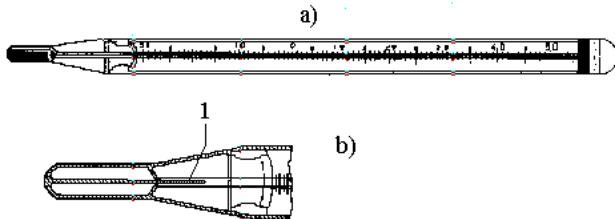
termometras

4) *Aspiracinio psichrometro termometras* skirtas oro temperatūros ir oro drėgnumo matavimui aspiraciniu psichrometru. Naudojamas atliekant stebėjimus pagal specialią programą ir ekspedicinius tyrimus. Nuo paprasto psichrometrinio termometro skiriasi dydžiu ir rezervuaro forma.

Termometrai ekstremalioms temperatūroms matuoti.

1) *Maksimumo termometras* (4 pav.) skirtas tam tikro laikotarpio maksimalioms oro temperatūroms matuoti. Standartinės skalės ribos: nuo -36 iki $+51$ °C, arba nuo -21 ° iki $+71$ °C. Padalos vertė $0,5$ °C.

Naudojamas termometriniu skystis – gyvsidabris, kapiliaro erdvėje virš jo – vakuumas, rezervuaras cilindrinis (skersmuo 8 mm). Šis prietaisas įtaisomas narvelyje arba ant žemės paviršiaus beveik gulsčiai (rezervuaras kiek žemiau). Prieš padedant termometrą į matavimo vietą jį būtina nukrėsti. Termometras rodo maksimalią tam tikro laikotarpio temperatūrą, nes prie jo rezervuaro dugno prilydyta speciali stiklinė adatėlė, kurios viršutinis (siaurasis) galas įeina į kapiliarą, palikdamas kapiliaro pradžioje tik siaurą žiedo formos angą.

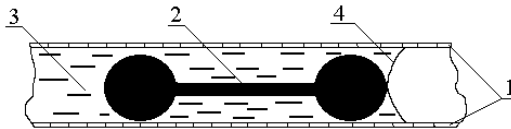


4 pav. Maksimumo termometras: a) bendras vaizdas, b) rezervuaro ir kapiliaro sujungimo sandara. 1 – stiklinė adatėlė.

Kylant temperatūrai šis susiaurėjimas, nepaisant didelės trinties, leidžia iš rezervuaro į kapiliarą patekti plėtimosi jėgos stumiamam gyvsidabriui. Tačiau temperatūrai krintant ir gyvsidabrio tūriui mažėjant gyvsidabris nebegali sutekėti atgal, nes jį į rezervuarą traukiančios jėgos yra nedidelės. Be to gyvsidabrio sukibimo jėgos žymiai menkesnės už trintį, kylančią gyvsidabriui tekant per susiaurėjimą. Todėl temperatūrai pradėjus kristi kapiliariniame vamzdelyje esanti gyvsidabrio dalis atitrūksta nuo

rezervuaro ir gyvsidabrio menisko padėtis rodo maksimalią temperatūrą, buvusią per laikotarpį po paskutinio termometro nukratymo.

2) *Minimumo termometras* skirtas tam tikro laikotarpio minimalioms oro temperatūroms matuoti. Standartinės skalės ribos: nuo -75° iki $+21^{\circ}$ C, arba nuo -41° iki $+30^{\circ}$ C. Padalos vertė 0,5 C. Termometrinis skystis – spiritas, kapiliaro erdvėje virš jo – oras, įleistas žemoje temperatūroje, rezervuaras cilindrinis (skersmuo 7–10 mm). Seno tipo minimumo termometrų rezervuaras dvišakis. Įtaisomas psichrometriniame narvelyje arba ant žemės paviršiaus horizontaliai.



5 pav. Minimumo termometro kapiliaro sandara. 1 – kapiliaro sienelės, 2 – vinilinė adatėlė, 3 – spiritas, 4 – spirito meniskas.

Kapiliare esančiame spirite plaukioja tamsi vinilinė arba stiklinė adatėlė (5 pav.), kuri temperatūrai kylant leidžia spiritui tekėti kapiliaro viršutinės dalies link, pati likdama vietoje; o jai krintant, spirito menisko paviršiaus įtempimo veikiama, juda kartu su juo link rezervuaro. Taip yra dėl to, kad spiritui plečiantis jis laisvai apteka adatėlę negalėdamas pajudinti jos dėl stiprios adatėlės galų trinties į kapiliaro sieneles. Tuo tarpu jam traukiantis adatėlė juda kartu nuo to momento, kai jos viršutinį galą pasieks spirito menisko paviršius, nes trinties jėgos šiuo atveju žymiai silpnesnės nei spirito paviršiaus įtempimas. Todėl, prieš padedant termometrą, pakėlus jo rezervuarą kiek aukšty, adatėlę būtina atplukdyti prie menisko. Matavimo metu pagal adatėlės viršutinį (labiau nuo rezervuaro nutolusį) galą galima nustatyti minimalią temperatūrą po paskutinio matavimo.

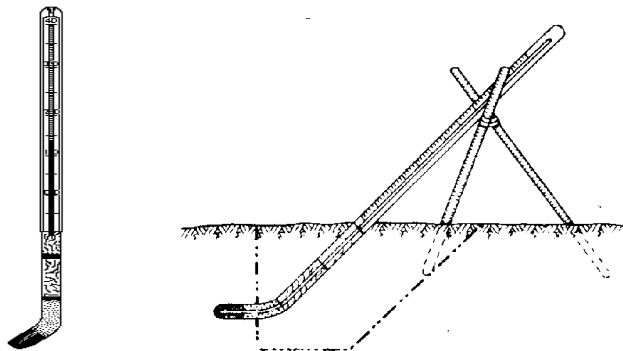
Termometrai paviršinio dirvos sluoksnio temperatūrai matuoti.

1) *Dirvos paviršiaus termometras* skirtas dirvos, sniego dangos paviršių ir vandens temperatūrai matuoti. Standartinės skalės ribos: nuo -35° iki $+60^{\circ}$ C, arba nuo -25° iki $+70^{\circ}$ C (kiek rečiau nuo -10° iki $+85^{\circ}$ C). Padalos vertė 0,5 C. Termometrinis skystis –

gyvsidabris, kapiliaro erdvėje vakuumas, rezervuaras cilindrinis (skersmuo 10 mm), $\lambda - 300$ s. Matuojant dirvos arba sniego paviršiaus temperatūrą, termometras guldomas horizontaliai. Matuojant vandens temperatūrą, įleidžiamas į vandenį specialiamė rėmelyje taip, kad rezervuaras būtų 5 – 10 cm gylyje.

1) *Smaiginis (Šochino) termometras* naudojamas dirvos temperatūrai 3 – 40 cm gyliuose matuoti. Skalės ribos: nuo 0 ° iki + 60 °C. Padalos vertė 1,0 °C, termometriniis skystis – toluolas, kapiliaro erdvėje virš jo oras, rezervuaras netaisyklingos formos. λ skirtingų modifikacijų termometruose svyruoja nuo 360 iki 600 s. Termometras įstatytas į metalinį arba plastmasinį korpusą su smaigo formos antgaliu, kurį galima įsmeigti į žemę iki norimo gylio. Kapiliaro dalis tarp rezervuaro ir skalės įstatyta į termoizoliacinį vamzdelį (kad matuotų dirvos temperatūrą tame gylyje, kuriame yra rezervuaras ir nereaguotų į aukščiau esančio dirvos sluoksnio temperatūrą). Erdvė tarp rezervuaro ir korpuso antgalio užpildyta vario arba žalvario drožlėmis (tai padidina jos šiluminį laidumą). Paprastai naudojamas ariamojo dirvos sluoksnio temperatūrai matuoti, įsmeigiant į žemę vertikaliai. Dėl didelės inercijos matavimas atliekamas praėjus po įsmeigimo į dirvą ne mažiau 6 minučių.

2) *Alkūninis (Savinovo) termometras* (6 pav.) skirtas ariamojo dirvos sluoksnio temperatūrai matuoti. Standartinės skalės ribos: nuo –20 ° iki +40 °C. Padalos vertė 0,5 °C, termometriniis skystis – gyvsidabris, kapiliaro erdvėje oras, rezervuaras cilindrinis (skersmuo 8 mm), $\lambda - 270$ s. Kiek aukščiau rezervuaro termometras išlenktas 135 ° kampu. Kapiliaro dalis tarp rezervuaro ir skalės apvyniota termoizoliacine medžiaga (kad fiksuotų dirvos temperatūrą tame gylyje, kuriame yra rezervuaras). Gaminami ir naudojami komplektai iš 4 skirtingo ilgio termometrų: kiekvienas skirtas matuoti dirvos temperatūrai konkrečiame (5, 10, 15 ir 20 cm) gylyje. Termometrai įkasami specialiai supurentame dirvos sklypelyje taip, kad rezervuaras būtų reikiamame gylyje horizontalioje padėtyje.



6 pav. Alkūninis (Savinovo) termometras ir jo tvirtinimas dirvoje.

Giluminiai termometrai.

1) *Dirvožemio giluminis termometras* skirtas dirvos ir grunto temperatūrai nuo 20 iki 320 cm gyliuose matuoti (6 pav.). Standartinės skalės ribos: nuo -20° iki $+30^{\circ}$ arba nuo -5° iki $+40^{\circ}$ °C. Padalos vertė $0,2^{\circ}$ °C, termometriniu skystis – gyvsidabris, λ daugiau nei 600 s. Termometras patalpintas plastmasiniame korpuse su metaliniu galu, į kurį įpilta stambių vario drožlių (jos būtinos inercijai padidinti, kad traukiant termometrą iš jo patalpinimo gylio į žemės paviršių kuo mažiau pakistų parodymai). Visa konstrukcija įleidžiama į vertikaliai žemėje iki atitinkamo gylio įgręžtą ebonitinį vamzdelį su metaliniu galu. Virš žemės paviršiaus kyšo 40 cm ilgio vamzdelio dalis. Matavimų metu termometras iš vamzdelio atsargiai ištraukiamas. Paprastai naudojami penkių ar septynių skirtingo (iki 320 cm) ilgio termometrų komplektai.

Matuojant temperatūrą stikliniais skysčio termometrais, būtina laikytis šių pagrindinių taisyklių:

a) nepriklausomai nuo termometro padalos vertės, temperatūra matuojama $0,1^{\circ}$ °C tikslumu (jei padalos vertė didesnė nei $0,1^{\circ}$ °C, dešimtosios laipsnio dalys atskaitomos iš akies);

b) atliekant matavimą, į termometrą žiūrima taip, kad akių vizavimo linija būtų statmena kapiliarui ir kirstų jį ties termometrinio skysčio menisko viršūne (griežtai draudžiama matuoti žiūrint į termometrą iš apačios arba iš viršaus);

c) pirma atskaitomos dešimtosios laipsnio dalys, o po to - sveiki laipsniai (tai ypač svarbu dirbant su psichrometriniais termometrais, nes atidarius psichrometrinį narvelį termometro parodymai gali pakisti keliomis dešimtosiomis laipsnio dalimis labai greitai);

d) atlikus matavimą visada įvedama instrumentinė pataisa, nurodyta termometro pase.

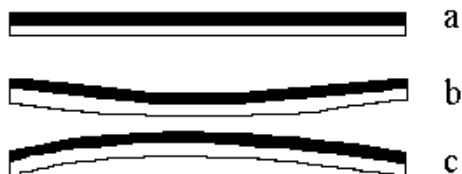
2.4. Deformaciniai termometrai

Deformacinių termometrų veikimo principas pagrįstas kietųjų kūnų savybe keisti savo linijinius parametrus kintant temperatūrai. Išmatavus šių parametų pokytį galima įvertinti ir kietojo kūno (o kartu ir terpės, kurioje patalpintas kūnas) temperatūrą. Meteorologiniuose matavimuose naudojami tik *bimetaliniai deformaciniai termometrai*. Jų jautrusis elementas (daviklis) yra bimetalinė plokštelė (7 pav.), sudaryta iš dviejų, skirtingais terminio linijinio plėtimosi koeficientais pasižyminčių, lydinių. Plokštelės dalis, kurios terminio plėtimosi koeficientas mažesnis (paprastai gaminama iš invario: vario ir plieno lydinio), vadinama pasyviaja; o dalis su didesniu terminio plėtimosi koeficientu (dažniausiai – iš nemagnetinio plieno) – aktyviaja. Todėl, kintant temperatūrai, bimetalinė plokštelė išsilenkia. Jei vieną plokštelės galą pritvirtintume nejudamai, tai antrasis, kintant temperatūrai – judėtų. Šio judėjimo amplitudę aprašo formulė:

$$\Delta x = \frac{3(\alpha_1 - \alpha_2)L^2}{4h} \Delta T ; \quad (11)$$

kur Δx – judėjimo amplitudė, α_1 ir α_2 – metalų linijinio plėtimosi koeficientai, L – plokštelės ilgis, h – plokštelės storis, ΔT – temperatūros pokytis. Taigi, judėjimo amplitudė proporcinga temperatūrai ir, išmatavus amplitudę, galima nustatyti daviklio temperatūrą. Beje, temperatūrai kylant, plokštelė išsilenks taip, jog

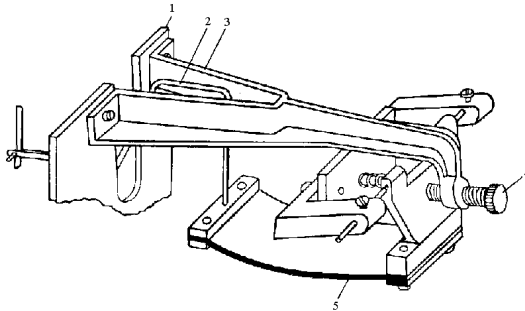
jos pasyvioji dalis atsidurs įgaubtoje pusėje (7 pav., b), o temperatūrai leidžiantis – išgaubtoje (7 pav., c). Bimetalinės plokštelės dažniausiai naudojamos savirašiuose bei pusiau automatiniuose temperatūros matavimo prietaisuose (termografuose, radiozondų, dreifuojančių radiometrinių stočių davikliuose ir pan.).



7 pav. Bimetalinė plokštelė ir jos deformacijos kintant temperatūrai. Juodai nuspalvinta pasyvioji, baltai – aktyvioji plokštelės dalis.

Dažniausiai naudojamas prietaisas, turintis bimetalinį daviklį, yra *termografas*. Jis skirtas nenutrūkstamam oro temperatūros registravimui. Dabar Lietuvoje dažniausiai naudojamų termografų juostos gali registruoti temperatūrą šiuose diapazonuose: nuo -45° iki $+35^{\circ}$; nuo -35° iki $+45^{\circ}$ ir nuo -25° iki $+55^{\circ}$ C. Bimetalinės plokštelės laisvasis galas šiuose termografuose pasvarų sistema sujungtas su rodykle, besibaigiančia plunksnele (8 pav.). Rašalo pripildyta plunksnelė liečia ant besisukančio būgno apvyniotą juostą ir braižo ant jos temperatūros kaitos kreivę (termogramą). Kaip ir dauguma savirašių meteorologinių prietaisų termografai gali būti paros ir savaitės. Dažnesni *paros termografai*, kuriuose laikrodis mechanizmas apsuka būgną per 26 val. Jų juostose vertikalios (temperatūrų) skalės padalos vertė 1° C, o horizontalios (laiko) skalės padalos vertė 5 min. Kadangi dėl mechanizmo netikslumo termograma neatitinka tikrosios temperatūros kaitos, ją būtina apdoroti. Tuo tikslu kas 3 valandos (pagrindinių matavimo terminų metu) juostoje padaromi užbrėžimai, kas leidžia palyginti konkrečių valandų termografo ir sausojo psichrometrinio termometro parodymus. Tuo remiantis kiekvienos valandos termogramos parodymams apskaičiuojamos ir įvedamos pataisos, leidžiančios

sužinoti tikrąją kiekvienos valandos temperatūrą. Kiek rečiau naudojami savaitiniai termografai.

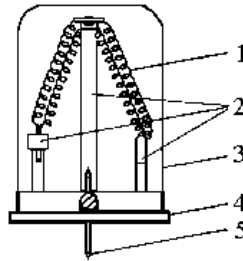


8 pav. Termografo daviklio mechanizmas (1 ir 3 – gembė, 2 – stūmoklis, perduodantis judesį rodyklei su plunksnele, 4 – sraigtas plunksnelės padėčiai reguliuoti, 5 – bimetalinė plokštelė).

Deformacinių termometrų kategorijai priskiriami ir kiek rečiau meteorologiniuose matavimuose naudojami *manometriniai termometrai*. Jų veikimas pagrįstas uždaroje ertmėje esančių dujų arba skysčio slėgio priklausomybe nuo temperatūros. Klasikiniai manometriniai termometrai sudaryti iš termobaliono, kapiliariniu vamzdeliu sujungto su manometru. Matavimo metu termobalionas panardinamas į terpę, kurios temperatūra matuojama, o manometru įvertinamas slėgio pokytis juose. Kadangi slėgio pokytis termobalione priklauso nuo temperatūros pokyčio, pagal jį galima nustatyti matuojamos terpės temperatūrą. Manometriniai termometrai pasižymi ypač dideliu inertiškumu, todėl gali būti naudojami tik labai lėtai kintančių temperatūrų matavimui.

2.5. Varžos termometrai

Šių termometrų veikimas pagrįstas laidininkų ir puslaidininkų savybe keisti elektrinę varžą kintant temperatūrai. Varžos termometrų davikliai paprastai yra metalinės vielos arba puslaidininkų *termorezistoriai*. Termorezistorių varžos priklausomybė nuo temperatūros sudėtinga ir aprašyti ją matematiškai galima tik kai kurioms medžiagoms. Todėl varžos termometrams gaminti tinka nedaug metalų ir puslaidininkų.



9 pav. Varžos termometro su maža termine inercija daviklis. 1 – viela, 2 – izoliaciniai strypai, 3 – apsauginis dangtelis, 4 – pagrindas, 5 – kontaktai.

Metolinių termorezistorių varžos priklausomybę nuo temperatūros aprašo formulė:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t); \quad (12)$$

kur R_t – varža esant temperatūrai t , R_0 – varža esant $0\text{ }^\circ\text{C}$ temperatūrai, o α – konkretaus metalo temperatūrinis varžos koeficientas (pavyzdžiui vario $\alpha = 0,0043$). Meteorologiniams matavimams naudojamų varžos termometrų metaliniai termorezistoriai dažniausiai gaminami iš platinos arba vario vielos, nes šiuos metalus nesunku pagaminti chemiškai grynus, o net ir menkas priemaišų kiekis labai sumažina α . Kadangi platinos ir vario varžos koeficientai α yra teigiami, tai kylant temperatūrai metalinių termorezistorių varža didėja. Populiariausias šiuo metu naudojamų varžos termometrų daviklis pavaizduotas 9 pav. Jį sudaro prie izoliacinės medžiagos strypų pritvirtinta plonos vielos spiralė. Visa konstrukcija, sumontuota ant kieto nelaidaus elektrai pagrindo, transportuojant prietaisą uždengiama dangteliu. Tokia daviklio, kurio masė itin maža, o paviršiaus per kurį vyksta šilumos apykaita plotas santykinai didelis, konstrukcija labai sumažina termometro inerciją. Tačiau, šis daviklis iš esmės tinka tik oro temperatūrai matuoti. Matuojant vandens bei dirvos temperatūrą dažniau naudojamos metalinių daviklių konstrukcijos, kuriose viela kietai apvyniojama apie izoliacinį strypą, o šios ritės paviršius taip pat padengiamas izoliacine medžiaga. Viskas patalpinama metalinėje gilžėje. Toks daviklis labiau inertiškas, tačiau nebijo mechaninių

pažeidimų, nes apvijos tiesiogiai nekontaktuoja su terpe, kurios temperatūra matuojama.

Puslaidininkių termorezistoriai (termistoriai) dažniausiai gaminami iš medžiagų pasižyminčių dideliais temperatūriniais koeficientais: urano, mangano, magnio, vario bei geležies oksidų. Puslaidininkių termorezistorių varžos R priklausomybė nuo temperatūros – atvirkštinė, tai yra temperatūrai kylant varža mažėja:

$$R = Ae^{B/T}; \quad (13)$$

kur T – absoliuti temperatūra, e – natūrinio logaritmo pagrindas, A ir B – konstantos apibūdinančios konkretų puslaidininkį. Termistorių temperatūrinės varžos koeficientas α kaitus ir priklauso nuo temperatūros:

$$\alpha = -B/T; \quad (14)$$

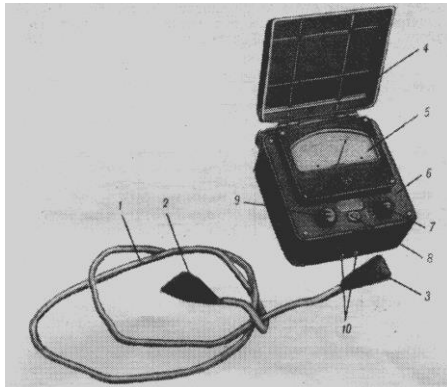
kur B ir T – kaip ir (10) lygtyje. Puslaidininkių α vidutiniškai apie 10 kartų didesnis nei metalų, todėl puslaidininkių termorezistoriai žymiai jautresni. Tačiau jų panaudojimą praktikoje itin ap sunkina netiesinis varžos priklausomybės nuo temperatūros pobūdis.

Be skirtingų daviklių konstrukcijų varžos termometruose naudojamos ir skirtingos daviklių pajungimo prie matavimo pultų schemas. Meteorologiniams matavimams naudojamuose termometruose varžos matavimo prietaisai jungiami į subalansuotus arba nesubalansuotus tiltelius. Tiek vienu, tiek kitu atveju prijungus tiltelį su termorezistoriumi prie maitinimo šaltinio, terpės, į kurią patalpintas termorezistorius, temperatūrą galima įvertinti galvanometru matuojant per termorezistorių pratekėjusios (taigi, dėl jo temperatūros atitinkamai pakitusios) srovės stiprumą. Subalansuotuose tilteliuose temperatūros pokytis įvertinamas pagal varžos pokytį viename iš tiltelio pečių, kuris, atitinkamai, nustatomas reostatu reguliuojant kito peties varžą. Nesubalansuotuose tilteliuose pro termorezistorių pratekėjusios srovės pokytis tiesiogiai proporcingas jo temperatūros pokyčiui. Nesubalansuotų tiltelių pagrindu sukonstruoti varžos termometrai yra patogesni ir meteorologiniuose matavimuose naudojami dažniau.

Lyginant su skysčio termometrais, varžos termometrai yra pranašesni dėl:

- 1) mažesnės terminės inercijos;
- 2) galimybės atlikti distancinius matavimus;
- 3) platesnio matuojamos temperatūros diapazono.

Pagrindinis varžos termometrų trūkumas – nepakankamas jų tikslumas. Tikslumą padidinti labiausiai trukdo tai, kad, kintant temperatūrai, keičiasi ne tik daviklio varža, bet ir jo linijiniai parametrai, savo ruožtu taip pat keičiantys jo varžą. Varžos termometrai dažniausiai naudojami giluminiams dirvos ir vandens bei kitokiems distanciniams temperatūros matavimams.



10 pav. Dirvos paviršiaus temperatūros matavimams skirtas varžos termometras (1 – kabelis, 2 – daviklio korpusas, 3 – šakutė, 4 – matavimų pulto dangtelis, 5 – skalė, 6 – matavimų pulto korpusas, 7 – jungiklis, 8 – diapazonų keitimo jungiklis, 9 – reostato rankenėlė, 10 – daviklio rozetė).

1) *Dirvos paviršiaus termometras* skirtas paviršinio (iki 2 – 5 cm gylio) dirvos sluoksnio temperatūrai matuoti (10 pav.). Tai nesubalansuotas varžos termometras, kurio davikliai (paprastai jų būna 10 vnt.) pagaminti iš varinės vielos. Matavimo pultas – mikroampermetras. Temperatūros matavimų diapazonas: nuo -30° iki $+45^{\circ}$ C; tikslumas $\pm 1^{\circ}$ C. Matuojant, pirmiausia patikrinama tiltelio maitinimo įtampa, kuri turi būti pastovi ir reguliuojama

reostatu, tada įjungiamas daviklio rezistorius ir matuojama dirvos temperatūra.

2) *Distancinis giluminis dirvos termometras* skirtas distanciniams dirvos temperatūros matavimams įvairiuose gyliuose (iki 320 cm). Matavimų diapazonas: nuo -30 iki $+50$ °C, tikslumas ± 1 °C. Paprastai turi 10 daviklių, esančių skirtinguose gyliuose. Sandara ir matavimų būdas – kaip ir aukščiau aptarto termometro. Išskirtinė šio prietaiso savybė – itin ilgas (iki 120 m) kabelis, jungiantis daviklius su matavimo pultu; todėl termometrą patogiu naudoti atliekant specialius matavimus (pavyzdžiui, kai stebėjimų aikštelė įrengta sunkiai prieinamoje ar pavojingoje vietoje).

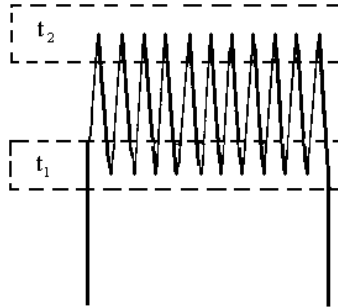
3) *Varžos termometras oro temperatūros matavimams* skirtas oro temperatūrai distanciniu būdu matuoti. Tai nesubalansuotas termometras su varinės vielos davikliu. Standartinis matavimų diapazonas: nuo -60 ° iki $+50$ °C; tikslumas ± 1 °C. Matuojama taip pat, kaip ir aukščiau minėtu termometru, tačiau davikliai tvirtinami ore.

2.6. Termoelektriniai termometrai

Šių termometrų veikimas pagrįstas specifine laidininkų savybe: sujungus du skirtingus laidininkus į uždara elektros grandinę, esant skirtingai temperatūrai laidininkų sujungimo vietose (kontaktuose), grandinė ima tekėti elektros srovė. Be to, elektrovaros jėga grandinėje yra tuo didesnė, kuo didesnis kontaktų temperatūros skirtumas. Paprasčiausias termoelektrinis termometras yra *termopora*. Sujungus į elektros grandinę kelias termoporas, gautume *termobateriją* (11 pav.) Termobaterijos kontaktų temperatūros skirtumas yra proporcingas grandinės elektrovaros jėgai (EVJ):

$$EVJ = e(t_1 - t_2); \quad (15)$$

kur t_1 ir t_2 – kontaktų temperatūros, o e – pastovus (konkretus kiekvienai termoporai) dydis (grandinės elektrovaros jėga, kai $t_1 - t_2 = 1$ °C). Termobaterijos EVJ yra lygi termoporų EVJ sumai.



11 pav. Termobaterija.

Paprastai, naudojant termoelektrinius termometrus, vieni termoporų galai (kontaktai) laikomi pastovioje temperatūroje, o kiti patalpinami į terpę, kurios temperatūra matuojama. Sudarant termoporas, panaudojamos skirtingos atskirų metalų elektringumo savybės, pagal kurias visi laidininkai gali būti išdėstyti į tokią termoelektrinę eilę: (–) → Bi, Co, Ni, K, Pd, Na, Hg, Pt, Al, Mg, Sn, Pb, Cs, Ag, Cu, Zn, Ca, Mo, Fe, Sb, Si → (+). Iš bet kurių dviejų šioje eilėje esančių metalų sudarius termoporą, metalas, esantis arčiau eilės pradžios, įgys teigiamą, o esantis toliau – neigiamą krūvį. Kuo labiau parinktieji metalai termoelektrinėje eilėje nutolę vienas nuo kito, tuo stipresnė bus iš jų sudarytos termoporos EVJ. Dėl technologinių priežasčių termoporos dažniausiai gaminamos ne iš grynų metalų, bet iš jų lydinių (dažniausiai naudojamų lydinių sudėtis pateikiama 2 priede). Populiariausios šios termoporos:

- vario – konstantano ($e = 41 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$);
- manganino – konstantano ($e = 41 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$);
- platinos – konstantano ($e = 34 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$);
- geležies – konstantano ($e = 52 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$);
- konstantano – nichromo ($e = 69 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$).

Termometrai bei termografai su termobaterijomis itin patogūs tais atvejais, kai būtina vienu metu matuoti dviejų terpių temperatūrą ir skaičiuoti jos gradientus. Tačiau oro, dirvos bei vandens temperatūra jais matuojama retai. Dažniausiai meteorologiniuose

matavimuose jie naudojami aktinometriniuose prietaisuose (aktinometruose, albedometruose, balansomačiuose).

2.7. Radiaciniai termometrai

Radiacinių termometrų veikimas pagrįstas kūnų skleidžiamo elektromagnetinio spinduliavimo intensyvumo priklausomybe nuo jų temperatūros. Radiaciniai termometrai naudojami atmosferos ir žemės bei vandens paviršiaus temperatūros nustatymui iš kosmoso. Būtent šio tipo termometrais gaunama didžioji dalis informacijos apie temperatūrą kosminėje meteorologinių stebėjimų posistemėje. Todėl, nors šioje posistemėje naudojami prietaisai nėra klasikinės meteometrijos tyrimo objektai, radiacinių termometrų veikimo principus dera žinoti. Toliau pateikiamas trumpas populiariesnių radiacinių termometrų tipų aprašymas.

Infraraudonasis radiometras matuoja kūno temperatūrą pagal kūno skleidžiamo infraraudonojo spinduliavimo (8 – 12 μm diapazone) intensyvumą. Praktiškai šis prietaisas fotografuoja tiriamą objektą infraraudonojoje spektro dalyje. Objekto spalva nuotraukoje (arba ekrane, – jei prietaisas skirtas nuolatiniam nenutrūkstamam stebėjimui) bus tuo ryškesnė, kuo intensyvesnis jo infraraudonasis spinduliavimas. Taigi, kūno temperatūra šiuo atveju bus proporcinga ryškumui. Be infraraudonojo kartais naudojami ir kitokie radiometrai, matuojantys spinduliavimą tik tam tikrame siaurame spektro diapazone. Visi šio tipo prietaisai gali būti vadinami *monochromatiniais* radiaciniais termometrais.

Be jų kartais naudojami ir radiaciniai termometrai, gebantys matuoti kūnų spinduliavimo intensyvumą įvairiuose spektro diapazonuose, – *spektrometrai*. Taip pat naudojami ir *maksimalaus spinduliavimo termometrai*, matuojantys didžiausią kūnų skleidžiamų bangų ilgį per tam tikrą laiką, kuris, savo ruožtu, priklauso nuo maksimalios kūno temperatūros.

2.8. Akustiniai termometrai

Garso sklidimo tam tikroje terpėje greitis priklauso nuo kelių veiksnių, vienas iš kurių – terpės temperatūra. Ši priklausomybė

naudojama akustiniuose termometruose. Jais galima išmatuoti tik vidutinę tiriamos terpės (pavyzdžiui, oro arba vandens sluoksnio) temperatūrą. Todėl šie prietaisai patogūs tuo atveju, kai mūsų nedomina konkrečios atskirų taškų temperatūros. Paprastai akustiniuose termometruose naudojamas ultragarsas (labai aukšto dažnio akustiniai svyravimai), nes jis sklinda toliau nei žemo dažnio garsai. Be to ultragarsą lengviau išmatuoti, nes jis menkai reaguoja į pašalinius trukdžius.

Paprastai *akustinis termometras* sudarytas iš garso siųstuvo ir imtuvo su elektromagnetiniu oscilografu (jo duomenys gali būti stebimi ekrane, paįšomi juostoje ar kitaip fiksuojami priklausomai nuo prietaiso tipo) garso sklidimo greičiui matuoti. Žinoma, kad oro temperatūrai pakilus $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ garso sklidimo greitis sumažėja keliomis μs . tačiau tiksli greičio sklidimo terpėje greičio pokyčio priklausomybė nuo terpės temperatūros – visada empirinė, nes būtina atsižvelgti į matuojamos terpės judėjimą, tankį bei kitas fizines savybes. Todėl akustinius termometrus prieš kiekvieną matavimą būtina taruoti.

3. ORO DRĖGNUMO MATAVIMAI

3.1. Oro drėgnumą būdinantys rodikliai

Oro drėgnumas priklauso nuo vandens garų kiekio ore. Jį galima įvertinti įvairiais rodikliais, svarbiausi iš kurių yra šie:

1) *absoliutus oro drėgnumas* (a) – vandens garų, esančių tam tikrame oro tūryje masė (vandens garų tankis), g/m^3 ;

2) *dalinis (parcialinis) vandens garų slėgis* e – slėgis, kurį sudarytų ore esantys vandens garai, jei jie vieni užimtų tūrį lygų oro tūriui, esant tokiai pačiai temperatūrai (anksčiau dažnai vadintas vandens garų tamprumu), hPa, mb, mm;

3) *sotinantis vandens garų slėgis* E – maksimalus galimas vandens garų slėgis esant konkrečiai oro temperatūrai, hPa, mb, mm;

4) *santykinis oro drėgnumas* f – ore matavimo metu esančių vandens garų slėgio e ir sotinančio vandens garų slėgio E esamoje temperatūroje santykis, %;

5) oro drėgnumo deficitas (nepriteklus) d – ore esančių vandens garų slėgio e ir sotinančio vandens garų slėgio E , hPa, mb, mm;

6) specifinis oro drėgnumas $q = 622e/(P - 0,378e)$ – vandens garų masė gramais, esanti kilograme drėgno oro, g/kg;

7) mišinio santykis $r = 622e/(P - e)$ – vandens garų masės, esančios kubiniame metre oro, santykis su tame pačiame tūryje esančio sauso oro mase, g/kg;

8) rasos taškas t_d – temperatūra, kurioje ore esantis vandens garų kiekis tampa sotinančiu (nekintant slėgiui), °C.

Be to, kad oro drėgnumą galima apibūdinti įvairiais parametrais, jį galima matuoti ir keliais skirtingais metodais, svarbiausi iš kurių yra psichrometrinis, higroskopinis ir rasos taško.

3.2. Psichrometrinis oro drėgnumo matavimo metodas

Šis metodas paremtas oro ir kūno, nuo kurio paviršiaus garuoja vanduo, temperatūrų palyginimu. Kūno, nuo kurio paviršiaus garuoja vanduo, temperatūra priklauso nuo garavimo intensyvumo, kuris, savo ruožtu, susijęs su drėgnumo deficitu. Garavimas vyksta tuo intensyviau kuo didesnis oro drėgnumo deficitas.

Vandens masė ΔM , išgaruojanti nuo paviršiaus ploto S per laiką ΔT apskaičiuojama pagal Daltono formulę :

$$\Delta M = \frac{cS\Delta T(E - e)}{p}; \quad (16)$$

kur c – proporcingumo koeficientas (priklausantis nuo oro judėjimo greičio aplink paviršių), E – sotinantis vandens garų slėgis, e – ore esantis vandens garų slėgis, p – atmosferos slėgis. Šiai vandens masei išgarinti sunaudotas šilumos kiekis nustatomas taip:

$$\Delta Q_1 = \Delta ML; \quad (17)$$

kur L – specifinė garavimo šiluma. Sunaudojus šilumos kiekį ΔQ_1 , kūno (matavimo atveju kūną galima suvokti kaip termometro daviklį) temperatūra nukrinta ir jis tampa vėsesnis už aplinką. Netrukus kūną pasiekia naujas šilumos srautas iš aplinkos, kuris

stengiasi jį sušildyti. Šio srauto atneštą šilumos kiekį galima apskaičiuoti pagal *Niutono formulę*:

$$\Delta Q_2 = BS\Delta T(t - t'); \quad (18)$$

kur B – išorinės šilumos apykaitos koeficientas, t ir t' atitinkamai: oro ir garuojančio kūno temperatūra, kiti rodikliai analogiškai kaip (16) ir (17) formulėse. Vykstant garavimui, ilgainiui nusistovi procesas, kai $\Delta Q_1 = \Delta Q_2$, tada, pertvarkius (16), (17) ir (18) formules, gauname:

$$\frac{cS\Delta TL(E - e)}{p} = BS\Delta T(t - t'); \quad (19)$$

iš kur:

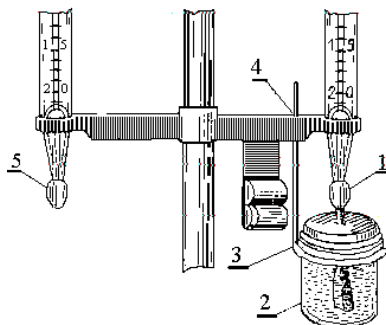
$$e = E - \frac{B}{cL}(t - t')p. \quad (20)$$

Jei (20) formulėje narį B / (c L) pažymėtume A, tai gautume, jog:

$$e = E - pA(t - t'). \quad (21)$$

Ši formulė yra vadinama *psichrometrine formule*, o A – *psichrometriniu koeficientu*. Iš jos matyti, kad, kai kiti rodikliai žinomi, e galima apskaičiuoti pagal A, tai yra, pagal išorinės šilumos apykaitos koeficiento ir specifinės garavimo šilumos santykį.

Praktikoje formulėmis nesinaudojama, – e skaičiuojamas iš psichrometrinių lentelių. Šiose lentelėse visos charakteristikos apskaičiuotos 1000 mb slėgiui. Esant kitokiam atmosferos slėgiui, būtina įvesti pataisas Δe , kurių ženklas ir dydis priklauso nuo atmosferos slėgio bei naudojamo psichometro tipo. Stacionariems psichometrams šios pataisos yra neigiamos kai slėgis >1000 mb ir teigiamos – kai slėgis <1000 mb. Aspiracinių psichometrų Δe pataisos visada teigiamos. Iš psichrometrinių lentelių nustatius e reikšmę, pagal ją galima rasti ir kitus oro drėgnumą apibūdinančius parametrus.

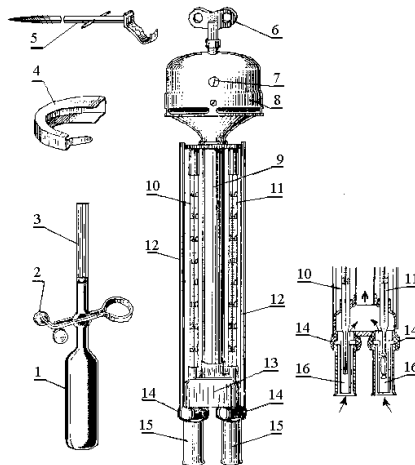


12 pav. Stacionarus psichrometras. 1 – drėgnojo termometro rezervuaras, 2 stiklinė su distiliuotu vandeniu, 3 – stiklinės laikiklis, 4 – stiklinės laikiklio varžtas, 5 – sausojo termometro rezervuaras.

Psichrometriniu principu pagrįstas visų psichrometrų veikimas. Svarbiausias iš jų – *stacionarus psichrometras* (12 pav.). Tai pagrindinis prietaisas, naudojamas meteorologijos stotyse oro drėgnumui matuoti. Jis sudarytas iš dviejų aspiracinių termometrų (jų konstrukcija aptariama 2 skyriuje). Vienas iš jų – sausas ir rodo oro temperatūrą, o kito rezervuaras aprištas batistu (balta medvilninė medžiaga), kurio galas pamerktas į stiklinę su distiliuotu vandeniu. Termometro rezervuaras turi būti 2–3 cm aukščiau vandens lygio stiklinėje. Batistas visuomet turi būti švarus ir drėgnas. Svarbu, kad batistas būtų apvyniotas apie rezervuarą tik vieną kartą. Abu psichrometriniai termometrai turi pasižymėti panašiomis pataisomis, todėl jie dažniausiai komplektuojami poromis.

Stacionarus psichrometras tvirtinamas psichrometriniame žaliuziniame narvelyje taip, kad termometrų rezervuarai būtų 2 metrų aukštyje. Stebėjimo esmę sudaro vienalaikis sauso ir drėgno psichrometrinių termometrų parodymų atskaitymas. Žinant abiejų šių termometrų rodomas temperatūras, galima nustatyti oro drėgnumą. Abiejų termometrų parodymai turi būti atskaityti per kiek įmanoma trumpesnę laiko tarpą. Esant aukštai oro temperatūrai ir mažam drėgnumui batistas kartais būna nevienodai drėgnas – viršutinės jo dalies drėgmė nebepasiekia. Tuomet 10 – 15 min. prieš pradėdant matavimą būtina sudrėkinti rezervuarą, pakeliant stiklinę tiek, kad vanduo jį apsemtų. Oro temperatūrai nukritus žemiau 0 °C,

batisto galas nukerpamas ties rezervuaro apačia, o stiklinė su distiliuotu vandeniu išimama. Likus 30 min. iki stebėjimo pradžios, stiklinė atnešama ir rezervuaras panardinamas į vandenį. Atliekant stebėjimą šaltuoju metų laikotarpiu būtina patikrinti ar batistas sušalęs, ar padengtas peršaldyto vandens sluoksniu. Tai ypač svarbu, nes, esant tai pačiai temperatūrai, vandens garų slėgis virš ledo ir virš peršaldyto vandens paviršiaus skiriasi, taigi būtina naudoti skirtingas psichrometrines formules (ir atitinkamas lenteles). Matavimai stacionariu psichrometru pakankamu tikslumu gali būti atliekami ne žemesnėje kaip $-10 - -15\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūroje.



13 pav. Aspiracinis psichrometras. 1 – guminė kriaušė batistui drėkinti, 2 – sąspauda, 3 – pipetė, 4 – apsauga nuo vėjo, 5 – kablys psichrometru pakabinti, 6 – raktas prisukimui, 7 – langelis, 8 – aspiratoriaus galva, 9 – vamzdelis, 10 – sausas termometras, 11 – vilgomas termometras, 12 – apsauginis rėmelis, 13 – trišakis, 14 – izoliaciniai kaitinai, 15 ir 16 – apsauginiai vamzdeliai.

Dažnai naudojamas ir kitas psichrometriniu principu veikiantis prietaisas – *aspiracinis psichrometras* (13 pav.). Skirtingai nuo stacionaraus psichrometro šis prietaisas turi aspiracinį įrenginį, užtikrinantį oro judėjimą apie termometrų rezervuarus pastoviu 2 m/s greičiu. Aspiracinis įrenginys gali būti varomas spyruoklinio mechanizmo arba elektros variklio. Labiau paplitę aspiraciniai psichrometrai su spyruokliniu mechanizmu.

Meteorologiniuose matavimuose aspiraciniai psichrometrai naudojami ten kur neįmanoma arba neapsimoka naudoti stacionarių psichrometrų. Jie ypač patogūs dirbant ekspedicijose. Prietaisas skirtas dirbti esant santykiniam oro drėgnumui nuo 3 iki 100% bei – 10 – +30 °C temperatūrai. Aspiracinį psichometrą sudaro du specialūs gyvsidabriniai termometrai patalpinti specialiame rėme (13 pav.). Jų rezervuarai paslėpti vamzdeliuose, apsaugančiuose nuo saulės spindulių (vamzdeliai, kad neįkaistų, paprastai padengiami blizgančiu metalu) ir užtikrinančiuose pastovią ventiliaciją. Trečias vamzdelis, esantis tarp jų, eina per visą konstrukciją. Jo viršutinė dalis sujungta su ventiliatoriaus dėžute, o apačia šakojasi link termometrų rezervuarų. Dešiniojo termometro rezervuaras apvyniotas batistu, kurį pro vamzdelio apačią galima sudrėkinti specialios kriaušės pagalba.

Atliekant matavimus, aspiracinis psichrometras kabinamas ant specialaus kablo arba laikomas rankoje už viršutinės dalies. Standartinis rezervuarų aukštis – 2 m, tačiau atliekant specialius matavimus (pavyzdžiui, tiriant mikroklimatinį oro drėgnumo pasiskirstymą) prietaisą galima naudoti ir kituose aukščiuose. Matavimo metu stovima taip, kad vėjas pūstų nuo prietaiso stebėtojo link. Jei matuojant prietaisas laikomas rankoje, ji turi būti ištiesta. Tuo būdu stengiamasi, kad stebėtojo kūno skleidžiamos šilumos įtaka prietaiso parodymams būtų minimali. Kadangi ventiliatoriaus pagalba aplink aspiracinio psichometro termometrų rezervuarus sukliamas pastovus oro judėjimas, drėgnojo termometro parodymai gana greitai kinta. Todėl atliekant oro drėgnumo matavimus šiuo prietaisu svarbu pastoviai stebėti drėgnojo termometro temperatūrą. Ji stebima tol, kol nustoja kristi. Tuomet greitai užsirašoma drėgnojo ir sausojo termometrų temperatūra. Drėgnumo charakteristikos, išmatavus aspiraciniu psichometru sauso ir drėgno termometro parodymų skirtumą, nustatomos iš psichometrinių lentelių skirtų specialiai šiam prietaisui.

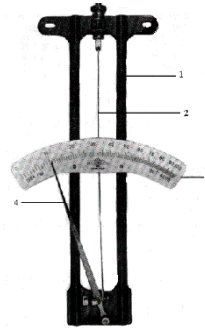
Distancinėse meteorologijos stotyse naudojamas ir *varžos psichrometras*. Varžos psichrometrai dažniausiai sudaryti iš trijų, itin maža inercija pasižyminčių, varžos termometrų (termorezistorių). Tokį prietaisą sudaro dvi pagrindinės dalys.

Vienoje iš jų yra du termorezistoriai: vienas vilgomas, kitas sausas. Šioje dalyje fiksuojamas varžos skirtumas, proporcingas psichrometriniam temperatūrų skirtumui. Kitoje dalyje yra vienas termorezistorius, kurio varžos pokytis proporcingas temperatūros pokyčiui. Todėl pagal abiejų dalių parodymų reikšmes (psichrometrinį temperatūrų skirtumą ir oro temperatūrą) prietaiso matavimo pulte galima nustatyti drėgnumo charakteristikas.

3.3. Higroskopinis (deformacinis) oro drėgnumo matavimo metodas

Šis metodas pagrįstas kai kurių iš organinių medžiagų sudarytų kūnų (plaukų, plėvelių ir pan.) savybe keisti savo linijinius dydžius kintant oro drėgnumui. Tokių savybių šios medžiagos įgyja todėl, kad jose yra labai daug mikroskopinių porų, drėgnoje aplinkoje užsipildančių vandeniu.

Higroskopiniu metodu veikia seniausias oro drėgnumo registravimo prietaisas – *plaukinis higrometras*. Pirmą kartą higrometrą su plauku sukonstravo O. Sosiūras 1783 m. Plaukinio higrometro daviklis – nuriebalintas žmogaus plaukas. Apskaičiuota, kad santykiniam oro drėgnumui pakitus nuo 0 iki 100%, plaukas pailgėja maždaug 2.5%.



14 pav. Plaukinis higrometras (1 – rėmelis, 2 – plaukas, 3 – skalė, 4 – rodyklė).

Šiuolaikiniai plaukiniai higrometrai sudaryti iš rėmelio, prie kurio pritvirtinta skalė ir reguliuojantis varžtas. Prie šio varžto nejudamai pritvirtintas viršutinis plauko galas. Apatinis plauko galas per svirtelę sujungtas su rodykle. Prietaisas nėra labai tikslus, todėl paprastai naudojamas tik tada, kai dėl vienų ar kitų priežasčių neįmanoma naudoti psichrometro. Meteorologijos stotyse jis įtaisomas psichrometriniame narvelyje kai temperatūra nukrinta žemiau 0 °C. Oro temperatūrai svyruojant tarp 0 ir –10 °C, oro drėgnumo stebėjimai atliekami stacionariu psichrometru ir plaukiniu higrometru kartu, kad galima būtų įvertinti pastarojo tikslumą. Esant dideliam nuokrypiui, rodyklė nustatoma reikiamoje padėtyje reguliuojančio varžto pagalba. Vėliau sudaromas ryšio grafikas tarp psichrometro ir higrometro parodymų. Temperatūrai nukritus žemiau –10 °C, drėgnumas matuojamas tik higrometru (psichrometras esant žemai temperatūrai tampa nepakankamai tikslus), bet tikrosios drėgnumo reikšmės nustatomos pagal minėtą psichrometro ir higrometro parodymų ryšio grafiką. Paprastai plaukiniu higrometru matuojamas santykinis oro drėgnumas. Prietaiso skalės diapazonas: nuo 0 iki 100%, tačiau tiksliausi matavimai gaunami, kai rodyklė maždaug ties skalės viduriu; padalos vertė 1%. Matavimų tikslumas taip pat apie 1%. Norint, kad prietaiso paklaida būtų kuo mažesnė būtina saugoti plauką nuo apšalimo ir susiriebalinimo (periodiškai atšildyti ir nuvalyti specialiu tirpalu).

Panašiu principu veikia ir *plėvelinis higrometras*. Jis dažniausiai naudojamas distancinėse meteorologijos stotyse ir radiozonduose. Jo daviklis – membrana iš organinės plėvelės. Naudojant šio tipo daviklį distanciniams matavimams plėvelės kraštai nejudamai pritvirtinami prie metalinio lankelio, o centras siūlu sujungiamas su reostato rodykle. Reostatas reguliuoja įtampą, kuriai kintant, keičiasi radijo arba elektros siųstuvo signalai. Signalus priima ir dešifruoja matavimo pultas. Kartais panašiai naudojamas ir plaukinis higrometras.

Higroskopinis metodas labiausiai iš visų šiuo metu žinomų oro drėgnumo matavimo metodų tinka nuolatiniam oro drėgnumo kaitos registravimui. Populiariausias savirašis prietaisas oro drėgnumo kaitai registruoti – *plaukinis higrografas*. Jo veikimo principas toks pats kaip ir plaukinio higrometro. Lietuvoje šiuo metu dažniausiai naudojamas higrografas, kurio daviklis – 7 – 15 plaukų pluoštas. Pluošto galai pritvirtinti prie gembės, o vidurys užkabintas ant svareliu atsverto kabliuko (todėl plaukai visada įtempti). Kabliukas svirtelėmis sujungtas

su rodykle, ant kurios galo esanti plunksnelė brėžia ant būgno apvyniojtoje juostoje oro drėgnumo kaitos grafiką (higrogramą). Higrogramos parodymai apdorojami, lyginant juos su stacionaraus psichrometro parodymais (tokia pačia tvarka kaip ir termogramos). Toks higrografas gali veikti esant temperatūroms nuo -45 iki $+55$ °C. Jis statomas psichrometriniame narvelyje šalia termografo. Anksčiau buvo naudojami ir pleveliniai higrografai

3.4. Rasos taško metodas

Rasos taškas – tai temperatūra, kurioje tarp vandens garų ir jų kondensato (lašų ar kristalų) nusistovi dinaminė pusiausvyra. Temperatūrai nukritus žemiau rasos taško garai kondensuojasi. Oro drėgnumo matavimas rasos taško metodu pagrįstas rasos taško temperatūros priklausomybe nuo oro drėgnumo (nustatčius rasos tašką galima sužinoti oro drėgnumą).

Šiuo metu tarp rasos taško metodu veikiančių prietaisų populiariausi *kondensaciniai higrometrai*. Jie sudaryti iš metalinio veidrodėlio, į jį nukreipto šviesos šaltinio, fotoelementų, matuojančių veidrodėlio atspindėtos šviesos intensyvumą, ir varžos termometro, skirto veidrodėlio temperatūrai matuoti. Puslaidininkiniais termoelementais šaldant veidrodėlį, jis pasiekia rasos tašką ir ore virš jo esantys vandens garai kondensuojasi ant veidrodėlio paviršiaus, staigiai sumažindami jo spindesį. Šį momentą užfiksuoja atspindėtos šviesos intensyvumą matuojantys fotoelementai ir perduoda signalą varžos termometrui, kuris matavimo pulte parodo veidrodėlio temperatūrą. Ši temperatūra ir laikoma rasos tašku; pagal ją iš psichrometrinių lentelių nustatome oro drėgnumą. Temperatūrai matuoti naudojami itin maži puslaidininkiniai termorezistoriai. Jei veidrodėlis šaldomas eteriu – taip paprastai daroma laboratoriniuose prietaisuose – temperatūra matuojama į eterį panardintu skysčio termometru. Būtina atsižvelgti ir į tai, ar ant veidrodėlio kondensuojasi vandens lašai ar ledo kristalai. Metodas (ypač naudojant puslaidininkinius termoelementus, fotodiodus ir automatinius termorezistorius) itin tikslus, todėl kondensaciniai higrometrai dažniausiai naudojami patikros biuruose tikrinant kitais metodais oro drėgnumą matuojančių prietaisų parodymus. Galimos ir kitokios rasos taško metodu veikiančių higrometrų konstrukcijos, tačiau meteorologiniuose matavimuose jos nenaudojamos.

4. ATMOSFEROS SLĖGIO MATAVIMAI

4.1. Bendros žinios. Matavimo vienetai

Atmosferos slėgiu vadinamas slėgis bet kuriame atmosferos taške, kurį sukelia virš to taško esančio oro (kartu su jame esančiomis priemaisomis) sluoksnių spaudimas. Taigi, atmosferos slėgis bet kuriame taške lygus virš jo esančio oro stulpo svoriui. Teoriškai atmosferos slėgio egzistavimą įrodė G. Galilėjus XVII a. pradžioje. Eksperimentiškai tai patvirtino E. Toričelis 1643 m. Jis sukūrė pirmąjį barometrą (Toričelio vamzdelį), kurio sandaros principas iki šiol beveik nepakito.

Kadangi atmosferos slėgis priklauso nuo virš taško esančio oro stulpo masės, tai kylant į viršų jis mažėja (pavyzdžiui, 5 km aukštyje atmosferos slėgis maždaug 2 kartus mažesnis nei jūros lygyje). Todėl, matuojant slėgį skirtinguose aukščiuose, gaunami nehomogeniški matavimų rezultatai. Siekiant juos suvienodinti, būtina visus matavimų rezultatus perskaičiuoti jūros lygiui. Teoriškai slėgio priklausomybė nuo aukščio išreiškiama *Laplaso formulė*:

$$h = 18401,2 \lg \frac{p_0}{p_h} (1 + \alpha) \left(1 + 0,378 \frac{e}{p} \right) (1 + 0,0026 \cos 2\varphi) (1 + \beta_x); \quad (22)$$

čia h – aukščių skirtumas tarp matavimo taškų, m; p_0 – slėgis apatiniame taške; p_h – slėgis viršutiniame taške; α – temperatūrinis oro plėtimosi koeficientas, lygus 0,00366; t – vidutinė oro sluoksnio temperatūra tarp viršutinio ir apatinio matavimo taškų; e – vidutinis vandens garų slėgis tarp viršutinio ir apatinio matavimo taškų; p – vidutinis atmosferos slėgis tarp viršutinio ir apatinio matavimo taškų; φ – matavimo taško plotuma; β – koeficientas, lygus $0,196 \times 10^{-6}$; $z = (z_0 + z_h)/2$ (čia z_0 – apatinio, o z_h – viršutinio taško aukštis virš jūros lygio).

Laplaso formulė gana sudėtinga, todėl perskaičiuojant slėgį jūros lygiui, dažniausiai naudojama paprastesnė *Babine formulė*:

$$P_o = P_h \frac{15982 + h(1 + \alpha)}{15982 - h(1 + \alpha)}; \quad (23)$$

čia p_0 – slėgis jūros lygyje, p_h – slėgis stotyje (kurios aukštis virš jūros lygio – h), α – temperatūrinis oro plėtimosi koeficientas, o t – virtuali temperatūra tarp apatinio ir viršutinio slėgio matavimo

punktų. Nežinant tikro temperatūros pasiskirstymo šiame sluoksnyje vietoj virtualios temperatūros dažniausiai naudojama vidutinė sluoksniu temperatūra, apskaičiuojama pagal formulę

$$t = \frac{t_0 + t_h}{2}; \quad (24)$$

čia t_0 – oro temperatūra jūros lygyje, t_h – oro temperatūra stotyje. Pagal (23) formulę perskaičiuotus slėgius jau galima lyginti tarpusavyje. Jūros lygyje slėgis gali svyruoti nuo 885 mb iki 1080 mb.

SI sistemoje slėgio matavimo vienetas – paskalis (Pa). Taip pat dažnai naudojami kiti vienetai: milibarai (mb), gyvsidabrio stulpelio milimetrai (mm Hg st.). Tarp visų šių vienetų egzistuoja toks ryšys: 100 Pa = 1 hPa = 1 mb = 0,75 mm Hg st. Ir atvirkščiai: 1 mm Hg st. = 1,33 mb = 1,33 hPa = 133 Pa. Atmosferos slėgis priskiriamas pradinei meteorologinei informacijai ir yra matuojamas kas 3 valandas (pagrindinių stebėjimų terminų metu). Tuomet meteorologijos stotyse matuojamos absoliučios slėgio reikšmės bei nustatoma per laikotarpį nuo paskutinio matavimo susidariusi barometrinė tendencija (slėgio kaitos pobūdis).

Meteorologiniuose matavimuose atmosferos slėgis šiuo metu dažniausiai įvertinamas naudojant šiuos prietaisus:

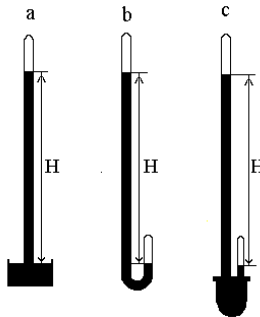
- 1) skysčio (gyvsidabrinis) barometrus;
- 2) deformacinius barometrus;
- 3) hipsotermometrus (kartais vadinamus termobarometrais).

4.2. Gyvsidabrio barometrai

Gyvsidabrio barometrai kartais vadinami skysčio barometrais, nes teoriškai juose galima naudoti ne tik gyvsidabrį, o ir bet kurį kitą skystį. Šių prietaisų veikimas pagrįstas skysčio lygio susisiekančiuose induose priklausomybe nuo slėgio. Jei į vamzdį, kurio vienas galas užlydytas, pripiltume skysčio, o vėliau tokią vamzdį apverstume, jo atvirąjį galą panardindami į atvirą indą, tai iš vamzdžio išbėgtų tik dalis jame buvusio skysčio. Vamzdyje likusi skysčio dalis negali iš jo išbėgti, nes susisiečia su inde esančiu skysčiu, kurį slepia virš jo esančios atmosferos stulpas. Taigi, skystis nustoja bėgti iš vamzdžio į indą tada, kai likusio vamzdyje skysčio stulpelio slėgis susilygina su atmosferos slėgiu į skysčio paviršių inde. Šiuo principu pagrįstas visų skysčio barometrų veikimas.

Barometruose dažniausiai naudojamas gyvsidabris, nes dėl didelio tankumo jo stulpelis, atsveriantis atmosferos slėgį, būna neaukštas. Tai leidžia sukurti nedidelį gabaritų barometrus. Naudojant ne tokius tankius skysčius, stulpelis būtų žymiai ilgesnis (pavyzdžiui, pagaminus barometrą su vandeniu, stulpelio aukštis viršytų 10 m.). Pagal konstrukcinius ypatumus skiriami trys gyvsidabriniai barometrų tipai: *puodeliniai, sifoniniai ir sifoniniai – puodeliniai barometrai* (15 pav.). Puodeliniuose barometruose atmosferos stulpas slekia puodelį, sifoniniuose barometruose puodelį atstoja užlenktas to paties vamzdelio galas. Sifoniniai puodeliniai barometrai turi puodelį, kuriame įtvirtinti tokio pat skersmens, bet skirtingo ilgio barometrinis ir sifoninis vamzdeliai.

15 pav. Gyvsidabrio barometrai: a – puodelinis, b – sifoninis, c – sifoninis–



puodelinis.

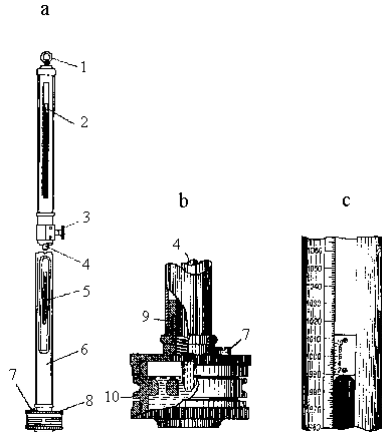
Kadangi vamzdelyje esančio gyvsidabrio slėgis lygus atmosferos slėgiui, tai atmosferos slėgį galima nustatyti apskaičiavus vamzdelyje likusio gyvsidabrio stulpelio slėgį. Bet kurio skysčio stulpelio slėgis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$p = H\rho g ; \quad (25)$$

kur p – stulpelio slėgis, H – stulpelio aukštis, ρ – skysčio tankis, g – laisvo kritimo pagreitis. Kadangi ρ ir g , esant standartinėms sąlygoms, yra pastovūs dydžiai (gyvsidabrio ρ yra lygus $13,5951 \text{ g/cm}^3$, o g – maždaug $9,8 \text{ m/s}^2$) o tai p – proporcingas h . Vadinasi vamzdelyje esančio gyvsidabrio, o kartu ir atmosferos, slėgį galima nustatyti pagal vamzdelyje esančio gyvsidabrio stulpelio aukštį. Būtent dėl šios priežasties atmosferos slėgis ilgą laiką buvo

matuojamas tokiais nestandartiniais matavimo vienetais kaip mm Hg st. Pastaruoju metu barometrų skalės dažniausiai graduojamos milibaraais.

Anksčiausiai sukurti ir iki šiol dažniausiai meteorologiniuose matavimuose naudojami puodeliniai barometrai. Lietuvoje iš šio tipo barometrų populiariausi *stoties puodeliniai barometrai su kompensacine skale* (16 pav.). Skiriamos dvi šių barometrų modifikacijos su skirtingais skalių diapazonais (atitinkamai: nuo 810 iki 1070 ir nuo 680 iki 1070 mb). Barometras sudarytas iš 80 cm ilgio ir 7.2 mm skersmens stiklinio vamzdelio užlydytu galu. Atvirasis barometrinių vamzdelių galas panardintas į plastmasinį arba ketaus puodelį. Pats puodelis sudedamas iš trijų, viena į kitą įsukamų dalių. Vidurinioji puodelio dalis turi diafragmą (susiaurėjimą arba plokštelę su skylutėmis), būtiną tam, kad puodelyje esantis gyvsidabris nesiplaktų ir į barometrinių vamzdelių nepapultų oro, sukeliančio sistemines paklaidas. Su atmosfera puodelis susisiekiama per srieginę angą, užsukamą varžtu. Barometrui kabant matavimo vietoje varžtas visada turi būti kiek atleistas (užsuktas ne iki galo); jis visiškai užsukamas tik transportuojant barometrą. Vamzdelis patalpintas metaliniame korpuse ant kurio yra skalė su 1 mb padalos verte. Viršutinėje vamzdelio dalyje yra nonijus, kuriuo nustatomos dešimtosios milibarų dalys. Matavimo metu nonijų būtina nustatyti taip, kad jo apatinis kraštas sutaptų su gyvsidabrio menisko viršūne. Svarbu, kad, nustatant nonijų, stebėtojo vizavimo ašis būtų statmena barometriniams vamzdeliui. Todėl nonijus yra žiedo formos, o abiejose barometro korpuso pusėse ties skale yra išpjovos. Tai leidžia stebėtojui matyti ne tik priekinę, artimąją, bet ir tolimąją, anapus barometrinių vamzdelių esančią, nonijaus žiedo pusę ir vizuoti savo žvilgsnį statmenai gyvsidabrio stulpeliui. Apatinėje vamzdelio dalyje pritvirtintas termometras. Barometras specialiais kabliais tvirtinamas spintelėje prie sienos taip, kad jo viršutinė dalis būtų nejudama, o apačia laisvai judėtų, leisdamas barometrui išsilaikyti vertikaloje padėtyje.



16 pav. Stoties puodelinis barometras: a – bendras vaizdas, b – puodelio pjūvis, c – nonijaus padėtis matuojant slėgį. 1 – žiedas barometrui pakabinti, 2 – nonijus, 3 – rankenėlė nonijui reguliuoti, 4 – barometrinis vamzdelis, 5 – termometras, 6 – vamzdelį saugantis dėklas, 7 – varžtas orui įeiti, 8 – puodelis, 9 – vamzdelio tvirtinimo sriegis, 10 – diafragma.

Matavimai stoties puodeliniu barometru atliekami taip:

1. Atskaitomi termometro parodymai (0,1 °C tikslumu).
2. Pirštu švelniai pabeldžiama į barometro korpusą, kad nuo barometrinio vamzdelio sienelių atšoktų dėl trinties prilipę menisko kraštai. Po to meniskas įgauna išgaubtą formą.
3. Nustatome nonijaus apačią ties menisko viršūnės plokštuma.
4. Atskaitome barometro parodymus (0.1 mb tikslumu).
5. Įvedame būtinas pataisas.

Maksimali leistina matavimo paklaida, įvedus pataisas, neturi viršyti $\pm 0,5$ mb.

Kintant atmosferos slėgiui, kinta ne tik barometriniame vamzdyje esančio gyvsidabrio stulpelio aukštis, bet ir gyvsidabrio lygis puodelyje. Tačiau, matuojant slėgį, į tai neatsižvelgiame ir atskaitome tik gyvsidabrio stulpelio aukštį. Taip yra todėl, kad puodelinio barometro skalė – kompensacinė (ji kompensuoja gyvsidabrio lygio pasikeitimą puodelyje). Kompensacinės skalės sudarymo principas paremtas vamzdelio ir puodelio skersmens santykiu. Žinoma, kad gyvsidabrio lygių puodelyje ir vamzdyje santykis yra proporcingas vamzdelio ir puodelio skersmens

santykiui. Aptariamuose rusiškos konstrukcijos barometruose šis santykis – standartinis ir lygus 0,02. Taigi, atmosferos slėgiui pakitus 1 mm, gyvsidabrio lygis puodelyje pakinta 0,02 mm, o vamzdyje – 0,98 mm (dirbant uždaroje patalpoje ir esant temperatūrai nuo -15° iki $+45^{\circ}$ °C). Todėl, jei barometro skalė sugraduota milimetrais, tai 1 gyvsidabrio stulpelio milimetras skalėje iš tikrųjų atitinka 0,98 mm.

Atskira puodelinių barometrų atmaina yra kalnų barometrai. Jie skirti slėgio matavimui dideliuose aukščiuose. Pagrindiniai skirtumai šie: trumpesnis barometrinis vamzdelis; skalės diapazonas: 500 – 870 mb.

Iš sifoninių – puodelinių barometrų naudojamų Lietuvoje meteorologiniuose matavimuose naudojami *kontroliniai ir inspekciniai barometrai*. Šie prietaisai pasižymi didesniu tikslumu, sudėtingesne vamzdelio konstrukcija ir tuo, kad specialiu varžtu gali būti reguliuojamas puodelio dugno aukštis (kartu ir gyvsidabrio lygis). Inspekcinis barometras labiausiai tinkamas pervežimui, todėl naudojamas stotyse esančių barometrų inspektavimui. Kontrolinis barometras nepritaikytas transportavimui ir naudojamas patikros biuruose kitiems barometrams tikrinti. Atsižvelgdami į tai, jog šie prietaisai naudojami retai, jų konstrukcijos detaliau neaptarsime.

4.3. Pataisos, įvedamos matuojant slėgį gyvsidabrio barometrais

Kalbėdami apie gyvsidabrinį barometrų veikimo principą minėjome, jog atmosferos slėgis proporcingas gyvsidabrio stulpelio aukščiui. Tačiau ši taisyklė galioja tik tuo atveju, jei gyvsidabrio tankis ρ ir laisvo kritimo pagreitis g – nekinta. Tuomet tarp gyvsidabrio stulpelio aukščio ir atmosferos slėgio egzistuojantis tiesinis ryšys, pertvarkius (25) formulę, gali būti išreikštas taip:

$$H = \frac{P}{\rho g} . \quad (26)$$

Tačiau h reikšmė, esant tam pačiam slėgiui, gali kisti priklausomai nuo g (kurį sąlygoja vietos geografinė platumas ir aukštis virš jūros lygio) ir nuo ρ (kurį sąlygoja oro temperatūra). Todėl skirtingomis sąlygomis gyvsidabrio barometru išmatuotas slėgis visada daugiau ar mažiau skirsis nuo tikrojo. Tai sisteminės slėgio matavimo

paklaidos, kurių galima išvengti įvedant pataisas (perskaičiuojant slėgį “normalioms” sąlygoms).

Temperatūrinė pataisa priklauso nuo gyvsidabrio tankio ρ kitimo dėl temperatūros. Kylant oro temperatūrai, gyvsidabrio tūris didėja (tankis atitinkamai mažėja) ir atvirkščiai. Tankio priklausomybė nuo temperatūros išreiškiama taip:

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + \alpha T}; \quad (27)$$

čia ρ – tankis, esant temperatūrai T ; ρ_0 – tankis, esant nulinei temperatūrai; α – temperatūrinio plėtimosi koeficientas. Gyvsidabrio stulpelio aukštis, esant 0°C temperatūrai apskaičiuojamas pagal formulę:

$$H_0 = \frac{HT}{1 + \alpha T}; \quad (28)$$

čia H_0 – gyvsidabrio stulpelio aukštis 0°C temperatūroje; H – jo aukštis, esant temperatūrai T ; kiti simboliai kaip ir (27) formulėje.

Todėl visi barometro parodymai perskaičiuojami 0°C temperatūrai. Kai temperatūra > 0 , pataisa – neigiama, kai temperatūra $< 0^\circ\text{C}$ – teigiama. Kadangi gyvsidabriniai barometrai dažniausiai laikomi šildomose patalpose, temperatūrinė pataisa dauguma atvejų – neigiama.

Svorio (sunkio) jėgos pataisa priklauso nuo laisvo kritimo pagreičio pakitimų. Jis, savo ruožtu, gali kisti priklausomai nuo vietovės geografinės platumos ir aukščio virš jūros lygio. Šie g reikšmės pakitimai apspręsti Žemės sukimosi išcentrinės jėgos pokyčių. Pastaroji didžiausia ties pusiauju (ten g, atitinkamai, mažiausias ir lygus $9,7805\dots \text{m/s}^2$) ir lygi nuliui ašigaliuose (kur $g = 9,8325\dots \text{m/s}^2$); be to ji didėja ir didėjant vietovės aukščiui virš jūros lygio. Priklausomai nuo g pokyčių, keičiasi ir gyvsidabrio stulpelio aukštis, esant tam pačiam slėgiui. Todėl gyvsidabrio barometrų parodymus būtina perskaičiuoti “normaliai” svorio jėgai. Tokia priimta laikyti svorio jėgą, egzistuojančią jūros lygyje 45° platumoje (tokiose sąlygose $g = 9.8067\text{m/s}^2$). Sunkio jėgos pataisą sudaro dvi dalys: pataisa dėl geografinės platumos ir pataisa dėl vietovės aukščio. *Dėl geografinės platumos įvedama pataisa* nuo 0° iki 45° esančiose platumose – neigiama, o $45^\circ - 90^\circ$ platumose – teigiama. Taigi, *Lietuvoje ši pataisa visada teigiama. Dėl vietovės*

aukščio įvedama pataisa beveik visada neigiama (jei stotis – aukščiau jūros lygio), nes traukos jėga, didėjant aukščiui, mažėja. Ji apytikriai lygi 0,1 mb / 400 m. Tiek temperatūrinės, tiek sunkio jėgos pataisos konkrečios reikšmės randamos specialiose lentelėse.

Be minėtų sisteminių paklaidų, kiekvienas barometras turi ir *instrumentinę paklaidą*, atsirandančią dėl to, kad barometriniame vamzdyje (virš menisko) visada yra tam tikras kiekis gyvsidabrio garų. Garų slėgis nukreiptas prieš atmosferos slėgį ir sukelia gyvsidabrio stulpelio sutrumpėjimą. Didėjant oro temperatūrai, gyvsidabrio garų daugėja, taigi ši paklaida priklauso nuo oro temperatūros. Be to virš gyvsidabrio menisko barometriniame vamzdyje gali būti ir oro, kas taip pat sukelia instrumentinę paklaidą. Visos šios paklaidos ištaisomos *instrumentine pataisa*, randama iš prietaiso paso.

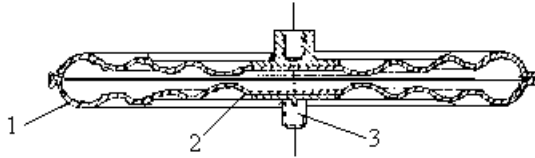
Įvedus visas minėtas pataisas (prieš tai jas aritmetiškai sudėjus), būtina perskaičiuoti pataisytą slėgį jūros lygiui. Kitaip išmatuotos slėgio reikšmės yra nepalyginamos tarpusavyje. Tai atliekama specialių lentelių (sudarytų pagal 4 skyriaus pradžioje aptartą metodiką) pagalba.

Dirbant su gyvsidabrio barometrais būtina vengti ir grubių bei atsitiktinių klaidų: prietaisas turi kabėti vertikaliai, parodymai atskaitomi statmenai gyvsidabrio stulpeliui (lygiagrečiai menisko plokštumai) ir taip toliau.

4.4. Deformaciniai barometrai

Jų veikimo principas pagrįstas tamprųjų kietųjų kūnų deformacijos dydžio priklausomybe nuo juos veikiančio slėgio jėgos. Labiausiai paplitę deformaciniai barometrai, kurių daviklis – *vakuuminė membraninė dėžutė* (17 pav.). Ji sudaryta iš dviejų apvalių spyruokliuojančios medžiagos membranų, kurių kraštai suvirinti. Dėžutės viduje – vakuumas. Dėžutės tamprumo jėga atsveria atmosferos slėgį. Todėl, kintant atmosferos slėgiui, kinta ir dėžutės linijiniai parametrai. Dėžutės dažniausiai gaminamos iš bronzos arba plieno. Jei nepakanka tamprumo, dėžutės viduje įstatoma spyruoklė. Kelios vertikaliai sujungtos dėžutės sudaro *barobloką*. Viena dėžutės (barobloko) pusė paprastai nejudamai pritvirtinama prie prietaiso korpuso, o antra per svirtelių sistemą sujungiama su

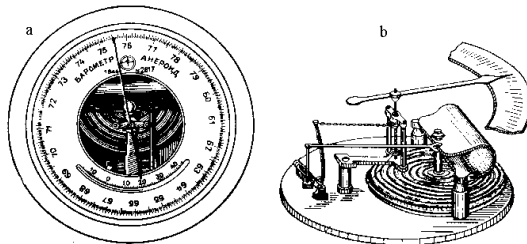
rodykle ir suteikia jai kampinį judesį. Šiuo principu pagrįstas daugelio slėgio matavimų prietaisų veikimas.



17 pav. Vakuuminė membraninė dėžutė (pjūvis). 1 – membranos, 2 – centrinės membranų plokštumos, 3 – membranų tvirtinimo ašis.

Vieni iš dažniausiai naudojamų šiuo principu veikiančių prietaisų – *barometrai aneroidai* (18 pav.). Trumpai aptarsime keletą meteorologiniuose matavimuose dažniausiai naudojamų aneroidų.

Barometras aneroidas. Daviklis – trijų membraninių dėžučių blokas. Matavimų diapazonas: 600 – 800 mm Hg st. (800 – 1060 mb). Padalos vertė – 1 mm, paklaida ± 1.5 mm. Vienas barobloko galas pritvirtintas prie korpuso, antras plaukine spyruokle sujungtas su rodykle. Skirtas darbui uždaroje patalpoje, esant -10° – $+40^{\circ}$ C oro temperatūrai.



18 pav. Barometras aneroidas: a – bendras vaizdas, b – principinė sandaros schema

Ekspedicinis barometras aneroidas. Daviklis – 4 membraninių dėžučių blokas. Matavimų diapazonas: 610 – 790 mm Hg st. Padalos vertė – 1 mm, paklaida ± 0.8 mm. Vienas barobloko galas pritvirtintas prie korpuso, antras plaukine spyruokle sujungtas su rodykle. Korpusas pakabintas specialioje dėžutėje ant spyruoklių, todėl prietaisą patogiu transportuoti. Skirtas darbui atviroje ore, esant -40° – $+40^{\circ}$ C oro temperatūrai.

Mikrobarometras. Skirtas slėgio matavimams vykdant barometrinę niveliaciją. Daviklis sudarytas iš dviejų baroblokų. Matavimų diapazonas: 630 – 1300 mb. Padalos vertė – 1 Pa, paklaida $\pm 0,015$ mb. Turi elektrinį termometrą. Maitinamas galvaniniais elementais. Baroblokų judesys perduodamas rodyklei juostinės spyruoklės pagalba. Skirtas darbui atvirame ore, esant -45° – $+45^{\circ}$ C temperatūrai.



19 pav. Barografas.

Deformaciniu principu veikia ir *barografai*. Lietuvoje šiuo metu dažniausiai naudojamas *meteorologinis barografas* (19 pav.). Skirtas registruoti atmosferos slėgio pasikeitimams. Kaip ir visi savirašiai, sudarytas iš dviejų pagrindinių dalių: daviklio ir registruojančio mechanizmo. Daviklis – 5 membraninių dėžučių baroblokas. Jo apatinė dalis pritvirtinta prie korpuso per termokompensatorių. Jis reikalingas todėl, kad barobloko dėžučių membranų tamprumas kinta priklausomai nuo oro temperatūros. Kompensatorius sudarytas iš bimetalinės plokštelės, kurios vienas galas pritvirtintas prie korpuso, o kitas sujungtas su barobloko apačia. Tuo būdu jis kompensuoja barobloko tamprumo kaitą dėl temperatūros (barobloko ir termokompensatoriaus judesiai, kintant oro temperatūrai yra priešingi). Pavyzdžiui: temperatūrai kylant membraninių dėžučių tamprumas mažėja ir baroblokas traukiasi, o bimetalinė plokštelė tiesinasi ir kompensuoja jo susitraukimą. Jei termokompensatoriaus parametrai teisingai parinkti, barografui nereikia įvedinėti papildomų temperatūrinių pataisų. Barobloko

viršutinė dalis per svirtelių sistemą perduoda jo judėjimą ant besisukančio būgno rašančiai plunksnei. Pagal laikrodinių mechanizmą barografski skirstomi į paros ir savaitinius. Dažniausiai naudojami barografski, kurių matavimo diapazonas: 780 – 1060 mb. Maksimali leistina paklaida ± 2 mb. Prietaisas pritaikytas darbu uždaroje patalpoje, esant -10° – $+45^{\circ}$ C temperatūrai. Pagrindinė jo paskirtis – barometrinės tendencijos pobūdžio nustatymas, todėl barogramos (skirtingai nuo kitų savirašių diagramų) paprastai papildomai neapdorojamos.

Barometrai aneroidai meteorologinėse stotyse paprastai nenaudojami (tik kartais kaip pagalbiniai prietaisai aukštikalnių stotyse). Dažniausiai jais naudojamosi ekspediciniuose matavimuose. Mikrobarometras skirtas barometrinei niveliacijai atlikti (naudojamas kalnuose, kur neįmanoma atlikti niveliacijos kitais metodais). Barografski ir barometrai aneroidai (jei naudojami postuose) statomi ant lentynėlės šalia stebėtojo stalo. Matuojant slėgį deformaciniais barometrais, matavimų rezultatus gali iškreipti dvejopos paklaidos:

1) temperatūrinė (atsirandanti dėl to, kad, kylant oro temperatūrai, mažėja barodėžučių tamprumas);

2) instrumentinė (atsirandanti dėl prietaiso konstrukcinių ypatumų: trinties antriniame keitiklyje ir panašiai).

Pirmosios išvengiama paliekant barodėžutėse dalį oro arba įtaisant termokompensatorių. Pataisų dėl šios paklaidos įvesti nereikia. Antroji ištaisoma įvedant patikros metu nustatytą ir prietaiso pase įrašytą *instrumentinę pataisą*. Aneroidų, taip pat kaip ir gyvsidabrio barometrų rodomą slėgį, įvedus reikiamas pataisas, būtina perskaičiuoti į slėgį jūros lygyje.

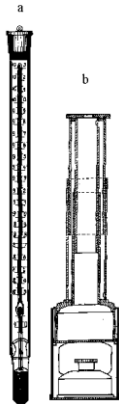
4.5. Hipsotermometrai (termobarometrai)

Tai grupė prietaisų, kurių veikimas pagrįstas vandens (arba kito skysčio) virimo temperatūros priklausomybe nuo atmosferos slėgio. Skystis užverda esant tokiai temperatūrai, prie kurios viso skysčio sluoksnio (ne tik jo paviršiaus!) garų slėgis susilygina su išoriniu slėgiu į skysčio paviršių. Todėl, esant aukštesniam atmosferos slėgiui, virimas prasideda aukštesnėje; o esant žemesniam – žemesnėje temperatūroje. Tarp slėgio ir skysčio virimo temperatūros egzistuoja parabolinis ryšys. Tai leidžia nustatyti slėgį pagal skysčio

virimo temperatūrą. Kadangi natūraliose sąlygose atmosferos slėgio kitimo diapazonas nėra didelis, parabolės lygtis pakeičiama empirine (tik tam diapazonui galiojančia) formule. Ji apibūdina vandens virimo temperatūros priklausomybę nuo slėgio 715 – 775 mm Hg st. diapazone:

$$p = 760 + \frac{t - 100}{0,375}; \quad (29)$$

kur t – verdančio vandens garų temperatūra, esant slėgiui p . Dirbant hipsotermometru dažniausiai naudojamos šios formulės pagrindu sudarytomis lentelėmis.



20 pav. Hipsotermometras (laboratorinis variantas): a – termometras vandens temperatūrai matuoti, b – indas vandeniui virinti.

Pats *hipsotermometras* sudarytas iš specialaus itin jautraus gyvsidabrio termometro verdančio vandens temperatūrai matuoti ir indo vandeniui virinti (20 pav.).

Termometro jautrumą garantuoja didelis rezervuaras ir mažas kapiliarinio vamzdelio skersmuo. Termometro skalė kartais sugraduojama ne laipsniais, bet slėgio matavimo vienetais, todėl jis iš karto rodo slėgį.

Naujesniuose prietaisuose naudojami ir varžos termometrai.

Hipsotermometras yra itin patogus ir patikimas naudoti ekspedicijose (nebijo vibracijos; galima vežti išrinktą).

5. VĖJO PARAMETRŲ MATAVIMAI

5.1. Meteorologijos stotyse matuojami vėjo rodikliai

Vėjas - horizontalus oro judėjimas Žemės paviršiaus atžvilgiu. Jį apibūdina du parametrai: *kryptis* ir *greitis*. Svarbiausios vėjo krypties ir greičio charakteristikos, matuojamos meteorologijos stotyse, yra šios:

- 1) vidutinis vėjo greitis per 10 min. laikotarpį (m/s);
- 2) maksimalus (gūsių) greitis stebėjimo metu (m/s);
- 3) maksimalus (gūsių) greitis tarp stebėjimų (m/s);
- 4) vidutinė vėjo kryptis per 2 min. laikotarpį (laipsniais arba rumbais).

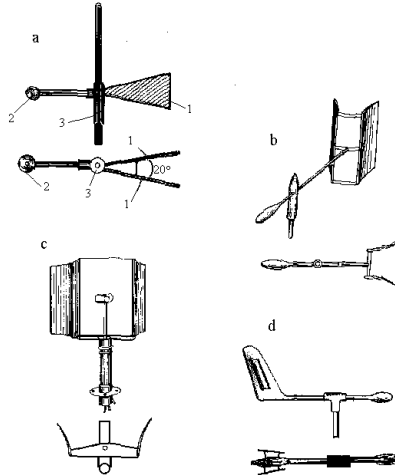
Tiek vėjo kryptis, tiek greitis meteorologijos stotyse paprastai matuojami 10 - 12 m aukštyje. Krypties laipsniai (jų yra 360) arba rumbai (jų gali būti 8 arba 16) skaičiuojami pagal laikrodžio rodyklę pradedant nuo šiaurės krypties, kuri atitinka šiaurinį rumbą arba 0 laipsnių.

5.2. Vėjo krypties davikliai

Labiausiai paplitę vėjo krypties matavimai naudojant *vėtrunges* (21 pav.). Jos sudarytos iš stabilizatoriaus – uodegos (paprastai ji būna dviejų plokštelių) ir atsvaro. Visa ši konstrukcija savo svorio centro vietoje pritvirtinta prie vertikalios ašies aplink kurią gali sukrotis. Pučiant vėjui, stabilizatorių spaudžianti oro judėjimo jėga verčia vėtrungę sukrtis apie vertikalią ašį tol, kol atsvaras atsisuka prieš vėją. Tada pagal prie tos pačios vertikalios ašies pritvirtintas pasaulio šalių rodykles galima nustatyti vėjo kryptį. Vėtrungės gali būti labai įvairios: pirmiausiai jos skiriasi stabilizatoriaus forma, jo dydžiu ir plokštelių skaičiumi. Vėtrungės – pagrindinis meteorologijos stotyse naudojamas vėjo krypties nustatymo daviklis. Tačiau vien vėtrungės kaip atskiras prietaisas naudojamos itin retai, – dažniausiai jos tēra tik kompleksinių prietaisų, įvertinančių ir vėjo kryptį ir greitį dalis.

Vizualiam vėjo krypties nustatymui gali būti naudojami paprastesni prietaisai. Aerouostuose, taip pat ant tiltų, viadukų ir panašiose vietose kartais naudojami *vėjo kūgiai*. Tai kiura medžiaginė rankovė, plačiuoju galu užmauta ant aplink vertikalią ašį besisukančio žiedo. Ekspedicijose vėjo kryptį galima nustatyti ir

gairele – prie vertikalaus stiebo plačiuoju galu pritvirtinta trikampė medžiagos skiaute. Laiduose, lėktuvuose, aerostatuose ir kitur, kai vėjo kryptis matuojama iš judančio objekto, kartais naudojami ir sudėtingesni vėjo krypties nustatymo davikliai.

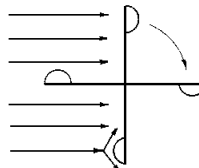


21 pav. Įvairių tipų (a, b, c, d) vėtrungės (viršuje – vaizdas iš šono, apačioje – iš viršaus). 1 – stabilizatoriaus sparnai, 2 – atsvaras, 3 – vėtrungės ašis.

5.3. Vėjo greičio davikliai

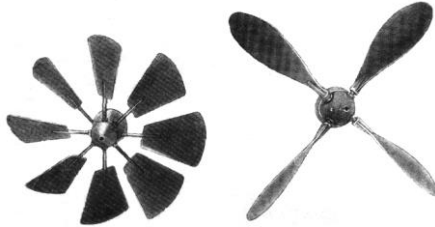
Šiuo metu tarp vėjo greičio nustatymo daviklių populiariausios konstrukcijos, paverčiančios vėjo greitį daviklio *mechaniniu judesiu*. Šiuo principu veikia:

- 1) taurelių malūnėliai;
- 2) orasraigčiai;
- 3) kabančios plokštelės.



22 pav. Taurelių malūnėlio veikimo principas.

Taurelių malūnėliai sudaryti iš 3–4 apie ašį (dažniausiai vertikalią) besisukančių taurelių. Slėgis į įgaubtą taurelių pusę didesnis nei į išgaubtą, todėl, nepaisant vėjo krypties šie davikliai gali sukintis tik į vieną pusę (22 pav.).



23 pav. Orasraigčiai.

Orasraigčiai (23 pav.) paprastai sudaryti iš sparnuoto rotoriaus (klasikinės konstrukcijos – ne mažiau kaip trijų sparnelių). Žymiai retesni – mentiniai, kuriuose vietoj paskirų sparnelių naudojama vientisa mentė. Norint, kad rotorius sukėtųsi, jis, skirtingai nuo taurelių malūnėlio, turi būti orientuotas prieš vėją. Todėl paprastai montuojamas kartu su vėtrunge. Oro srauto poveikis orasraigčio sukimuisi priklauso nuo sparnelių dydžio, formos bei to, iš kokios medžiagos jie padaryti. Dažniausiai gaminami metaliniai ir plastmasiniai rotoriai. Tiek taurelių malūnėliai, tiek orasraigčiai transformuoja vėjo greitį į daviklio sukimosi greitį.

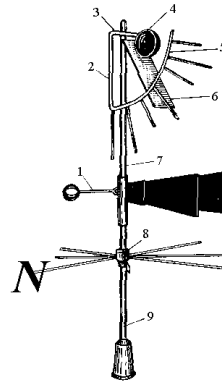
Kitais veikia *kabančios plokštelės*. Tai – ant horizontalios ašies vienu galu pakabinta ir apie ją svyruojanti plokštelė. Kai vėjo nėra (štilis) – plokštelė kabo vertikaliai. Pučiant vėjui ji nuo vertikalaus padėties atsilenkia kampu α , kuris priklauso nuo vėjo greičio ir sunkio jėgos santykio. Kadangi šio kampo priklausomybė nuo vėjo greičio nelinijinė, plokštelės atsilenkimui įvertinti tenka naudoti netolydinę skalę. Kabančiosios plokštelės plokštuma matavimo metu turi būti statmena oro srautui, todėl šis daviklis montuojamas kartu su vėtrunge (24 pav.).

Žymiai rečiau naudojami davikliai, kurių veikimas pagrįstas vėjo greičio poveikiu įvairioms kūnų savybėms: termoanemometrai, akustiniai anemometrai, jonizaciniai anemometrai, katatermometrai ir kiti. Jie dažniausiai naudojami specifinėse sąlygose arba atliekant specialius tyrimus.

Populiariausias šių prietaisų tarpe – *katatermometras*. Tai prietaisas, skirtas itin mažiems (nuo 0,048 iki 2 m/s) vėjo greičiams matuoti, kurio veikimas pagrįstas įšildyto kūno atvėsimo greičio priklausomybe nuo oro judėjimo aplink jį. Dažniausiai gaminami katatermometrai savo konstrukcija identiški kitiems skysčio termometrams, bet išsiskiriantys itin dideliu rezervuaru ir siauru matavimo skalės diapazonu. Didelis rezervuaras būtinas tam, kad judantis oras galėtų aušinti didesnę termometrinio stiklo (o per jį ir termometrinio skysčio) plotą, o siauras skalės diapazonas leidžia pastebėti net ir nedidelius skysčio temperatūros pakitimus, tuo būdu išmatuojant mažus vėjo greičius. Aušinant įšildytą katatermometrą, pagal jo vėsimo greitį nustatomas vėjo greitis (be to būtina atsižvelgti į aplinkos temperatūros pokytį matavimo metu).

5.4. Vietinio veikimo vėjo matavimo prietaisai

Vėjarodis (fliugeris) – skirtas maksimaliam ir vidutiniam vėjo greičiui bei vėjo kryptčiai matuoti (24 pav.). Tai vienas pagrindinių vėjo matavimo prietaisų, esantis visose meteorologijos stotyse. Vėjo kryptties daviklis vėjarodyje – plieninė vėtrungė su dviejų plokštumų stabilizatoriumi; vėjo greičio – kabanti plokštelė. Pagal kabančios metalinės plokštelės svorį skiriamos dvi modifikacijos: 1) vėjarodis su lengva (200 g) plokštele; 2) vėjarodis su sunkia (800 g) plokštele.



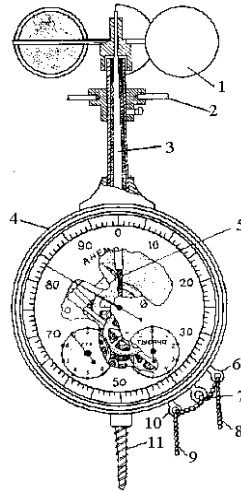
24 pav. Vėjarodis. 1 – vėtrungė su atsvaru, 2 – vėjo greičio matavimo skalės rėmas, 3 – horizontali ašis, 4 – atsvaras, 5 – vėjo greičio matavimo skalė, 6 – kabanti plokštelė, 7 – vėtrungės tvirtinimo strypas, 8 – mova su krypties matavimo skale, 9 – vertikali ašis.

Prietaisas tvirtinamas ant vertikalios ašies prie kurios nejudamai prijungiamos teisingai pagal pasaulio šalis orientuotos kryptčių rodyklės. Standartinis stiebo aukštis 10 - 12 m (netoli stoties esant vėją užstojančioms kliūtims stiebas gali būti paaukštintas iki 20 m).

Anemometrai su skaičiavimo mechanizmu (25 pav.) skirti vidutiniam vėjo greičiui per tam tikrą laikotarpį matuoti. Jų daviklis – taurelių malūnėlis, kurio ašis dantračiais sujungta su skaičiavimo mechanizmu (dažniausiai naudojamas mechaninis, o naujesniuose prietaisuose - elektroninis skaitiklis).

Tarp šiuo metu Lietuvoje naudojamų prietaisų populiariausi keturių ir trijų taurelių anemometrai. Keturių taurelių anemometro matavimo diapazonas nuo 1 iki 20 m/s, maksimali leistina paklaida: $\pm (0.3 + 0,06v)$ m/s, kur v – vėjo greitis. Trijų taurelių anemometro matavimo diapazonas nuo 1,5 iki 40 m/s, maksimali leistina paklaida: $\pm (0.5 + 0,05v)$ m/s. Abu šie prietaisai tvirtinami vertikaliai, paprastai 2 m aukštyje. Matavimai, siekiant išvengti vėjo gūsių poveikio rezultatams, turi būti atliekami ne trumpiau kaip 15 – 20 min.

Indukciniai anemometrai skirti vidutiniam (per 2 – 3 s laikotarpį) vėjo greičiui matuoti. Dažniausiai iš šio tipo prietaisų Lietuvoje naudojamas anemometras, kurio daviklis – trijų taurelių malūnėlis, matavimo diapazonas nuo 2 iki 30 m/s. Nuo kitų anemometrų jis skiriasi tuo, kad malūnėlis su greičio registravimo mechanizmu sujungtas per antrinį keitiklį – *magnetinį tachometrą*, todėl šiuo atveju matuojamas ne apsisukimų skaičius (kaip prieš tai aptartuose prietaisuose), o ašies pasisukimo nuo pradinės padėties kampas. Prie ašies prijungta spyruoklė neleidžia rodyklei sukstis aplink ir rodo vidutinį vėjo greitį per 2 – 3 sekundžių trukmės laikotarpį.



25 pav. Anemometras su skaičiavimo mechanizmu. 1 – kaušeliai, 2 – apsauginiai lankeliai, 3 – kaušelių ašis, 4 – korpusas, 5 – sliekinė pavara, 6 ir 10 – žiedai virvei praverti, 7 – įjungimo rankenėlė, 8 ir 9 – virvė distanciniam įjungimui, 11 – anemometro tvirtinimo varžtas.

5.5. Distanciniai vėjo matavimo prietaisai

Šių prietaisų bendra savybė yra tai, kad fiksuojantis mechanizmas atskirtas nuo jų daviklių. Todėl matavimus galima atlikti ir esant toli nuo daviklių bloko įrengimo vietos. Dažniausiai šis principas įgyvendinamas pirminio keitiklio signalus paverčiant elektros impulsais ir sujungiant juos su fiksuojančiu mechanizmu į elektros grandinę. Toliau aptarsime dažniau naudojamus distancinius vėjo matavimo prietaisus.

Kontaktiniai anemometrai skirti ekspediciniams vėjo greičio matavimams. Lietuvoje kartais naudojamas kontaktinis anemometras, kurio daviklis – trijų taurelių malūnėlis, matavimo diapazonas nuo 0,5 iki 35 m/s, paklaida: $\pm (0,1 + 0.03v)$ m/s, pradinis sukimosi greitis 0.4 m/s. Malūnėlio ašies apačioje yra kontaktinis ratukas, kas tam tikrą apsisukimų skaičių perduodantis elektros impulsus. Registruojančioje prietaiso dalyje daviklio siunčiami impulsai skaičiuojami ir taip sužinomas apsisukimų skaičius per sekundę, kuris yra tiesiog proporcingas vėjo greičiui.

Distancinėse ir automatinėse meteorologijos stotyse kartais naudojami *šiluminiai anemometrai*. Jų daviklis specialiais termoelementais šildoma metalinė plokštelė arba spiralė. Vėjo greitis jais nustatomas išmatavus pastovios daviklio temperatūros palaikymui sunaudotos energijos kiekį bei žinant daviklio ir aplinkos temperatūrų skirtumą.

Anemorumbometras – pagrindinis prietaisas naudojamas vėjo rodiklių matavimams meteorologijos stotyse (26 pav.). Jis skirtas momentinio, vidutinio ir maksimalaus vėjo greičio tarp stebėjimų bei vėjo krypties matavimams. Prietaisas sudarytas iš vėjo krypties bei greičio daviklių ir matavimo pulto. Davikliai sumontuoti horizontaliame aptakiame korpuse, kurio viename gale – stabilizatorius, o kitame – sparnuotas (keturių sparnelių) sraigtas, kartu atliekantis ir vėtrungės atsvaro vaidmenį. Šis korpusas laisvai sukasi aplink vertikalią nejudamą 10 – 12 m aukščio stiebo ašį. Matavimo pultas turi autonominius kanalus, skirtus matuoti: 1) vidutiniam per 10 min., 2) momentiniam per 3–5 s (stebėjimo metu) ir maksimaliam (tarp stebėjimų) vėjo greičiui, 3) vėjo kryptčiai. Anemorumbometro matavimo diapazonai: momentinio vėjo greičio nuo 1 iki 60 m/s, maksimalaus vėjo greičio nuo 3 iki 60 m/s,

vidutinio vėjo greičio (per 10 min.) nuo 1 iki 40 m/s, krypties nuo 0 iki 360°. Matavimo paklaidos: greičio $\pm (0,5 + 0,05v)$, krypties $\pm 10^\circ$. Anemorumbometro davikliai tvirtinami ant vertikalios stiebo (galioja tie patys reikalavimai, kaip ir įrengiant vėjarodį), o pultas statomas patalpoje.



26 pav. Anemorumbometras.

Anemorumbometro daviklis, pučiant vėjui, veikia kaip generatorius siunčiantis į matavimų pultą tris impulsų grupes (atraminę, pagrindinę ir perslinktą). Impulsų dažnis, esant tam pačiam vėjo greičiui vienodas, tačiau skiriasi jų fazinis skirtumas. Fazinis skirtumas tarp pagrindinės ir atraminės impulsų grupės lygus vėtrungės nuokrypiui nuo nulinės padėties (šiaurės). Skirtumas tarp perslinktos ir atraminės impulsų grupės sudaro 180°. Matuojant vidutinį vėjo greitį per 10 min. pulte suskaičiuojamas tik atraminės grupės impulsų skaičius. Momentinį vėjo greitį pultas parodo pakeisdamas tik pagrindinės arba pagrindinės ir perslinktos grupės impulsų skaičių jam proporcinga įtampa. Ji matuojama miliampermetru, kurio skalė dažniausiai sugraduota m/s. Kitaip tariant, anemorumbometro *greičio signalas* bet kuriuo atveju priklauso nuo orasraigčio sukimosi greičio (skirtingai sukdamasis pastarasis generuoja skirtingą impulsų skaičių) ir yra tiesiog proporcingas jam bei vėjo greičiui.

Matuojant vėjo kryptį naudojamos visos trys impulsų grupės, nustatant fazinį skirtumą tarp jų. Visas tris impulsų grupes būtina

naudoti todėl, kad fazinis skirtumas tarp jų, vėtrungei su orasraigčių pereinant per 0° ir 180° , kinta šuoliškai. *Krypties signalo* formavimo technologija tokia: prie nejudančios daviklio ašies pritvirtinti du magnetiniai jungikliai (selsinai), o prie korpuso – pastovus magnetas, kuris sukdamasis įjungia vieną ar kitą jungiklį. Todėl matavimų pulte krypties signalas formuojamas dvejose skalėse: $0 - 360^\circ$ ir $180 - 0 - 180^\circ$. Vėjo rodyklei pasisukus nuo 0° padėties, transformatorių gaminamų impulsų dažnio fazė pasikeičia kampu φ , lygiu rodyklės pasisukimo kampui. Matuojant kryptį skalėje $0 - 360^\circ$ naudojami pagrindinės ir atraminės grupių, o skalėje $180 - 0 - 180^\circ$ perslinktos ir atraminės grupių impulsai. Todėl, vėjo kryptčiai artėjant prie 0 arba 180° , itin svarbu žiūrėti kurioje pulso skalėje rodoma kryptis (skalę žymi ties ja užsidegusi lemputė).

Prie anemorumbometro daviklių prijungus specialų fiksavimo mechanizmą, gaunamas prietaisas, nenutrūkstamai fiksuojantis vėjo parametrus – *anemorumbografas*.

6. KRITULIŲ IR GARAVIMO MATAVIMAI

6.1. Bendros žinios apie kritulių matavimą

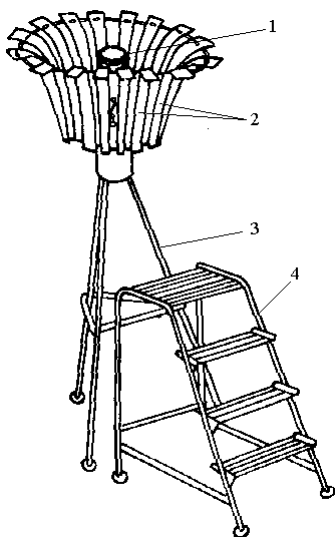
Krituliai tai vanduo, išskrintantis iš debesų ir oro ant žemės paviršiaus ir kitų antžeminių objektų. Pagal fazinę būklę jie skirstomi į kietus, skystus ir mišrios sudėties. Priklausomai nuo sąlygų, kiekvienos fazinės būklės krituliai gali būti kelių tipų. *Kietiems* krituliams priskiriami sniegas, kruša, sniego ar ledo kruopos, sniego grūdai, ledo adatos ir pan.; *skystiems* – lietus ir dulksna; *mišriems* – šlapias sniegas, lietus su sniegu ir pan.

Meteorologijos stotyse kritulių kiekis matuojamas vandens sluoksnio, kuris susidarytų ant horizontalaus paviršiaus, jei krituliai niekur nesusigertų, nenutekėtų ir negaruotų, storiu (mm). Šis sluoksnis įvertinamas 0,1 mm tikslumu kas 6 valandos. Kai kuriose stotyse matuojamas ir kritulių iškritimo intensyvumas (kiekis per laiko vienetą). Be to, matuojant kritulius, visada nustatomas kritulių tipas, iškritimo pradžios ir pabaigos laikas.

6.2. Kritulių kiekio ir intensyvumo matavimo ir registravimo prietaisai

Šiuo metu pasaulyje labiausiai paplitę kritulių matavimo prietaisai – *kritulmačiai*. Lietuvoje dažniausiai naudojami *Tretjakovo kritulmačiai* (27 pav.), sudaryti iš indo krituliams surinkti, priešvėjinės apsaugos ir matavimo stiklinės. *Indas krituliams* tai cilindro formos metalinis kibiras, kurio aukštis 40 cm, o kritulių priėmimo plotas (kibiuro kiaurymė) – 200 cm². Jo talpa – 3.8 l (inde susikaupęs toks vandens tūris atitiktų 190 mm kritulių sluoksnį). Indo viduje yra diafragma (susiaurėjimas), į kurią vasarą įstatomas piltuvėlis su siaura anga. Tai neleidžia inde esantiems krituliams intensyviai garuoti. Indas statomas ant specialaus stovo su horizontaliai nugulsčiuotu staliuku taip, kad jo viršus (kiaurymė) būtų 2 m aukštyje. Aplink indą prie stovo pritvirtinama *apsauga nuo vėjo*, sudaryta iš 16 skardinių išpjovų išlenktais į išorę kraštais. Ji skirta aplink kritulmatį susidarantiems vėjo sūkuriams, kurie trukdo daliai kritulių patekti į indą, nuslopinti. Atliekant matavimą, skysti krituliai išpilami į graduotą *matavimo stiklinę*, kurios 1 gradacija atitinka 0.1 mm inde buvusio vandens sluoksnio storio (2 cm³). Kieti krituliai prieš matavimą ištirpinami nunešant matavimo indą į šildomą patalpą. Todėl meteorologijos stotyje ar poste, kur matuojami krituliai turi būti mažiausiai 2 matavimo indai (vieną nunešus šildyti ar išpilti į jo vietą pastatomas kitas). Jei per laikotarpį tarp stebėjimų inde susikaupė daugiau kritulių, nei jų telpa į matavimo stiklinę, matavimas atliekamas per kelis kartus ir gauti rezultatai sumuojami. Išpilant vandenį iš indo į matavimo stiklinę, dalis jo sunaudojama indo sienelių suvilgymui, todėl prie nustatyto pagal stiklinės gradacijas kritulių kiekio būtina pridėti indo sienelių vilgymo pataisą (+ 0,2 mm skystiems ir mišrios sudėties krituliams ir + 0,1 – sniegui). Kitose šalyse naudojami kiek kitokie kritulmačiai, nes tarptautinis standartas šiems prietaisams iki šiol nenustatytas. Pasaulinė Meteorologijos Organizacija reglamentuoja tik kritulmačio tvirtinimo aukštį (2 m) ir indo paviršiaus angos plotą (200 cm²). Daugiausiai ginčų šiuo metu vyksta dėl priešvėjinės apsaugos įtakos matavimo rezultatams, todėl įvairiose šalyse naudojama labai skirtinga kritulmačių apsauga nuo vėjo, o kai kur jos visai atsisakyta.

27 pav. Tretjakovo kritulmatis. 1 – kritulmačio kibirėlis, 2 – vėjo apsauga, 3 – stovas, 4 – laipteliai.



Kartais naudojami ir *suminiai kritulmačiai*, skirti

matuoti suminiam kritulių kiekiui, iškritusiam per ilgą laiką (nuo savaitės iki metų). Jie patogūs retai gyvenamuose, sunkiai pasiekiamuose rajonuose bei matavimams ekspedicijose. Nuo paprastų kritulmačių jie skiriasi savita indo forma: tam, kad žiemą susikaupę krituliai šaldami nesusprogdintų kritulmačio indo jis vidurinėje dalyje į viršų plėtėja. Dažniausiai suminiai kritulmačiai sudaryti iš cilindrinio 500 cm² skerspločio indo, kurio maksimali talpa 1500 mm.

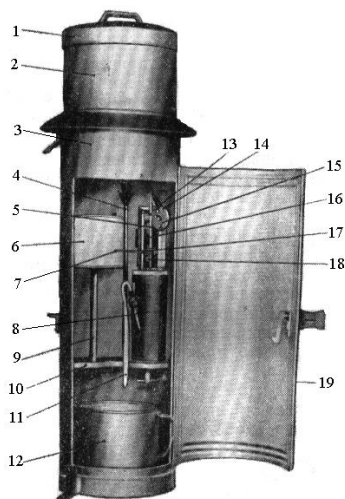
Vandens surinktuvas – apatinėje cilindro dalyje yra apversto kūgio pavidalo. Siekiant sumažinti garavimą iš indo, vasarą į jį įpilami keli lašai alyvos. Matavimai atliekami naudojant matavimo stiklinę.

Lauko lietmačiai skirti kritulių kiekio matavimams dirbamuose laukuose bei ekspedicijose. Paprastai gaminami iš stiklo ir yra iš anksto sugraduoti, todėl nereikia naudoti matavimo stiklinės. Didžiausias šių prietaisų trūkumas – dėl mažo angos skerspločio susidaranti didelės matavimo paklaidos. Nepatogu ir tai, jog lietmačius galima naudoti tik šiltuoju metų periodu.

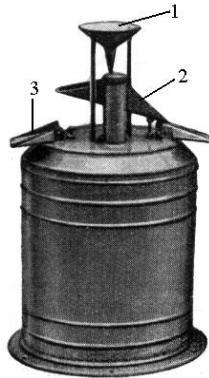
Nenutrūkstamam lietaus pavidalo kritulių registravimui skirti prietaisai vadinami *pluviografais* (28 pav.). Jais galima nustatyti kritulių kiekį, intensyvumą ir iškritimo laiką. Daviklį sudaro indas su kiauryme (rusiškuose pluviografuose paprastai 500 cm²). Per kiaurymę krituliai patenka į kamerą su plūde. Kai kameroje susirenka 10 mm kritulių sluoksnis (1 porcija), vanduo iš jos išbėga į apačioje esantį indą. Plūdė per svirteles sujungta su ant besisukančio būgno rašančia plunksnele. Vandeniui iš kameros išbėgus, plūdė nusileidžia ir kreivė ant būgno vėl brėžiama nuo juostos apačios. Taigi, pagal kreivės polinkio kampą ir jos kritimų

žemyn dažnumą galima sužinoti kritulių iškritimo intensyvumą. Tam pritaikyta ir juosta, ant kurios brėžiama pliuviograma: ji sugraduota ne tik horizontaliomis (rodančiomis kritulių kiekį) ir vertikalėmis (rodančiomis iškritimo laiką), bet ir įstrižomis linijomis. Pastarosios skirtos kritulių iškritimo intensyvumui įvertinti: jei pliuviogramos kreivė palinkusi 45° kampū, intensyvumas - 0.04 mm/min. Kritulių kiekį galima nustatyti sumuojant pliuviogramoje matomus nupylimus (atskiras porcijas) arba tiesiog išmatavus inde susikaupusį vandens kiekį specialia matavimo stikline. Pliuviografas statomas taip, kad jo viršus būtų 2 m aukštyje.

28 pav. Pliuviografas. 1 – dangtis, 2 – cilindras krituliams, 3 – korpusas, 4 – vamzdelis krituliams nutekėti, 5 – plūdės ašis, 6 – būgnas su juosta, 7 – rodyklė su plunksnele, 8 – plūdės kamera, 9 – būgno ašis, 10 – kameros stovas, 11 – stiklinis sifonas, 12 – indas krituliams subėgti, 13 – plūdės strėlė, 14 – ritė, 15 – velenėlis įjungiantis nupylimą, 16 – atsvaras, 17 – nupylimą sustabdanti mova, 18 – varžtas movai atremti, 19 – korpuso durelės.



Matuojant kritulių kiekį distancinėse ir automatinėse meteorologijos stotyse naudojami *kritulmačiai su sūpuokliniu mechanizmu* (29 pav.). Jų daviklis – į dvi vienodas dalis padalintas ir ant specialios ties viduriu įtaisytos ašies besisupantis lovelis. Pro kritulmačio angą patenkantys krituliai suteka į piltuvėlį, iš kurio patenka į vieną arba kitą besisupančio lovelio dalį (priklausomai nuo to, kuri jo pusė tuo metu yra pakilus). Vienai lovelio daliai sukaupus tam tikrą kiekį kritulių (paprastai atitinkantį 0,2 mm kritulių sluoksnį) ir dėl to pasunkėjęs, ji nusileidžia žemyn, kartu išskeldama kitą lovelio pusę. Tuomet iš piltuvėlio tekantys krituliai kaupiasi jau kitoje lovelio dalyje ir viskas vėl kartojasi. Kiekvienas lovelio pasikreipimas loveliui kontaktuojant su kritulmačio korpusu (arba magnetiniu davikliu, nereikalaujančiu tiesioginio kontakto) generuoja elektros impulsus ir fiksuojamas matavimų pulte. Todėl pagal lovelio supimosi intensyvumą galima nustatyti kritulių kiekį ir intensyvumą (šiuolaikiniuose prietaisuose šie rodikliai nustatomi automatiškai). Dažniausiai šio tipo prietaisai matuoja tik skystų kritulių kiekį, tačiau, prijungus prie daviklio specialų pašildymą, jais galima matuoti ir kietus kritulius. Kad lovelio nejudintų vėjas, visa konstrukcija uždengiama cilindro formos dangčiu su atvira anga viršuje.



29 pav. Automatinis kritulmatis su besisupančiu loveliu (be dangčio). 1 – piltuvėlis, 2 – besisupantis lovelis, 3 – snapelis krituliams nutekėti.

Kartais meteorologijos stotyse be lietaus, sniego ir panašių kritulių matuojama ir rasa. Jos kiekis, susidarymo bei išnykimo

laikas fiksuojamas *rasografu*. Matavimo esmę sudaro ant daviklio susikaupusios rasos svėrimas. Daviklis sudarytas iš dviejų plastmasinių lėkštelių. Viršutinė, didesnė lėkštelė skirta surinkti ant jos paviršiaus iškritusiai rasai, tuo tarpu ant jos dugno iškritusi rasos dalis patenka į apatinę, mažesnę lėkštelę. Prietaisas savirašis: daviklio lėkštelės per svarstyklės sujungtos su ant būgno rašančia plunksnele. Registracija vyksta diagramoje, kurios padalos vertė 0,01 mm. Jis skirtas darbui atviroje vietoje su žolės danga. Įjungiamas likus 2 val. iki Saulės laidos, o išjungiamas po 3 val. nuo jos patekėjimo. Esant krituliams arba stipresniam nei 3 m/s vėjui - nenaudotinas. Rasografas statomas griežtai horizontaliai (nugulsčiuojamas). Pastaruoju metu šis prietaisas naudojamas labai retai.

6.3. Sniego dangos matavimai

Sniego dangos stebėjimui apima šiuos parametrus: 1) sniego dangos aukštį ir tankį; 2) vandens atsargas sniege; 3) ledo plutos storį sniego paviršiuje ir po sniegu; 4) dirvos paviršiaus būklę (po sniegu); 5) dirvos padengimo sniegu laipsnį bei sniego dangos pobūdį. Matavimams naudojami šie prietaisai: *sniegmatis* – sniego tankiui; *matuoklė* – sniego dangos aukščiui; *liniuotė* – ledo plutos storiui matuoti. Vandens atsargos sniege nustatomos pagal dangos aukštį ir sniego tankį. Kiti rodikliai vertinami vizualiai: dirvos padengimo sniegu laipsnis – 10 balų sistema, dangos pobūdis – žodžiais (tolygus, su pusnimis, atitirpę plotai ir taip toliau). Skiriami tokie pagrindiniai sniego dangos stebėjimų ir matavimų būdai: kasdieniniai matavimai, maršrutinės bei specialiosios sniego nuotraukos.

Kasdieniniai sniego dangos rodiklių matavimai atliekami kasdien nuo sniego dangos susidarymo iki visiško jos išnykimo momento. Jų metu iš tos pačios vietos apžiūrint stoties apylinkes įvertinamas dirvos padengimo sniegu laipsnis bei dangos pobūdis. Laikotarpiu, kai sniegas dengia daugiau nei pusę matomo apylinkių ploto, kasdien vertinamas ir dangos pobūdis.

Kai sniegas padengia daugiau nei pusę dirvos paviršiaus ploto (dirvos padengimo sniegu laipsnis – ne mažesnis kaip 6 balai), o sniego dangos vidutinis aukštis viršija 5 centimetrus meteorologijos stotyje atliekamos *sniego nuotraukos*.

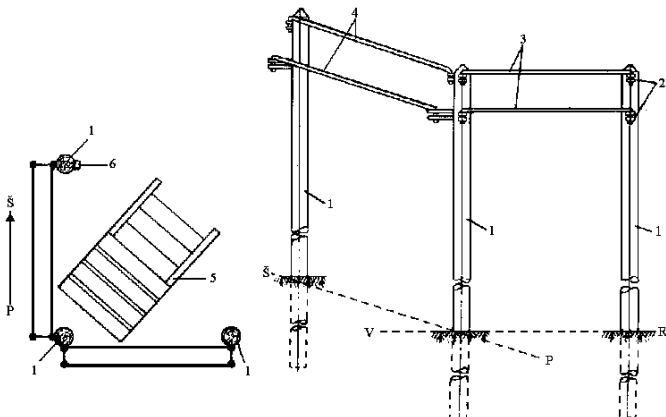
Maršrutinėms sniego nuotraukoms parenkami pastovūs 1 – 2 km ilgio maršrutai tipiškame regiono kraštovaizdyje. Jei įmanoma, stengiamasi tais pačiais maršrutais atlikti sniego nuotraukas eilę metų. Nuotraukos atvirame lauke atliekamos: žiemą – kas 10 dienų, o sniego tirpimo periodu – kas 5 dienas. Sniego dangos aukštį atvirose vietose siūloma matuoti kas 20, miške - kas 10 m. Tankis matuojamas kas 200 m (miške – kas 100 m). Kartu nustatoma po sniegu esančios dirvos būklė (įšalusi, atitirpusi ir panašiai). Specialios sniego nuotraukos atliekamos tik agrometeorologinėse stotyse stebint sniego dangos pasiskirstymą žiemkenčių laukuose. Paprastai jos atliekamos 10-tą, 20-tą ir paskutinę mėnesio dieną.

Dauguma sniego dangos matavimo prietaisų elementarūs (matuoklių ir liniučių tipo). Kiek sudėtingesne konstrukcija pasižymi sniegmačiai. Lietuvoje labiausiai paplitę *svarstykliniai sniegmačiai*. Jie skirti sniego tankiui matuoti. Sudaryti iš tuščiaavidurio cilindro ir svarstyklių. Cilindro skersplotis – 50 cm², apatinis galas - dantytas (kad lengvai pjautų sniego plūtą). Matuojant cilindras pasirinktoje vietoje įkišamas į sniegą ir ištraukiamas kartu su sniego stulpu. Tam, kad lengviau būtų cilindre esantį sniegą ištraukti prie sniegmačio dažnai pridedamas specialus plokščias kastuvėlis. Ištrauktas cilindras pasveriamas svarstyklėmis, kurių padalos vertė – 5 g. Žinant cilindro skersplotį ir sniego dangos aukštį nesunku apskaičiuoti sniego, esančio cilindre tūrį, o pagal svorio ir tūrio santykį – tankį.

Vandens atsargas sniege galima nustatyti ir radioaktyviųjų izotopų metodu. Tam naudojami *vandens atsargų sniege matuokliai*. Paprastai šie prietaisai veikia radioaktyviųjų izotopų pagalba. Po sniegu pakišamas ant specialaus koto pritvirtintas radioaktyvaus spinduliavimo šaltinis (dažniausiai naudojamas izotopas Co⁶⁰), o virš sniego dangos matuojamas gama–spinduliavimas. Priklausomai nuo sniege esančio vandens kiekio, sniegas sugeria didesnę arba mažesnę gama spindulių dalį. Izotopiniais vandens atsargų sniege matuokliais galima dirbti esant sniego dangos aukščiui iki 2,5 m. Prietaiso tikslumas ± 3%.

6.4. Lijondros, šarmos ir šerkšno matavimai

Šio tipo krituliai paprastai sudaro labai menką bendro kritulių kiekio dalį. Tačiau jie skiriami prie pavojingų meteorologinių reiškinių, todėl juos būtina stebėti. Meteorologijos stotyse matuojama jų masė, storis ir struktūra.

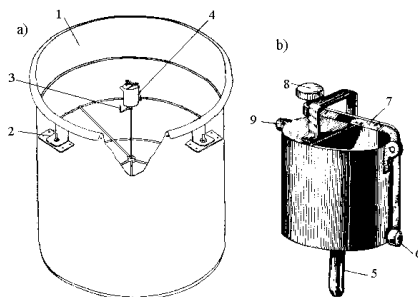


30 pav. Lijundros matuoklė (kairėje – vaizdas iš viršaus, dešinėje – iš šono). 1 – kuolai, 2 – pakabos laidams tvirtinti, 3 ir 4 – laidai, 5 – laipteliai, 6 – stacionari sniego matuoklė.

Matavimai atliekami *lijundros matuokle* (30 pav.). Ji sudaryta iš trijų trikampio kampuose įkastų kuolų su pakabomis, ant kurių viena virš kitos laisvai pakabinamos 2 eilės 4 – 5 mm skersmens ir 104 cm ilgio laidų. Apšalo storis matuojamas liniuote ant viršutinio laido 20 cm ilgio atkarpoje. Laidas nevalomas tol, kol apšalas auga. Po to laidas nukabinamas, įdedamas į vonelę ir, įnešus į patalpą atitirpinamas. Pasvėrus vandenį, sužinomas apšalo kiekis nuo reiškinio pradžios. Ant apatinio laido 25 cm atkarpoje matuojamas tarp stebėjimų susidariusio apšalo svoris. Tam jis kas 2 val. nuvalomas, o nuvalytas apšalas pasveriamas. Kartu, jei įmanoma, stebima apšalo struktūra (sijojimo būdu nustatomos grūdelių frakcijos). Stebėjimai vykdomi kas 2 val. nuo reiškinio pradžios iki pabaigos.

6.5. Garavimo matavimai

Garavimo iš įvairių paviršių matavimo metodika iki šiol nėra galutinai standartizuota ir dėl atskirais metodais gautų rezultatų tikslumo dažnai diskutuojama. Meteorologiniuose matavimuose dažniausiai naudojami įvairūs garomačiai. Išgaravusio vandens (kaip ir kritulių) kiekis išreiškiamas vandens sluoksnio storiu, kuris matuojamas 0,1 mm tikslumu. Garavimas nuo skirtingų paviršių (vandens, dirvos, sniego ir kitų) matuojamas skirtingais prietaisais. *Garomatis garavimui iš vandens paviršiaus* matuoti (31 pav.) statomas vandenyje (gali būti tvirtinamas ant į telkinio dugną įkaltų polių arba plaukiojančiuose plaustuose). Sudarytas iš *garintuvo* su *metaline biurete* ir *kritulmačio*. Garintuvas – cilindrinis bakas, kurio garavimo paviršiaus (kiaurymės) plotas - 3000 cm². Jo dugno viduryje vertikaliai įtvirtintas metalinis vamzdelis. Garintuvas turi būti pripildytas vandens (iš to paties telkinio, kuriame matuojamas garavimas) tiek, kad jo lygis ne daugiau 2 cm skirtųsi nuo adatos, pritvirtintos prie metalinio vamzdelio, viršūnės.



31 pav. Garomatis garavimui iš vandens paviršiaus matuoti: a) garintuvas (bendras vaizdas), b) garomačio biuretė. 1 – garintuvo korpusas, 2 – ausys garintuvui tvirtinti, 3 – adatėlė, 4 – garomačio biuretė, 5 – biuretės kojelė, 6 – dangtelis angai uždengti, 7 – svirtelė dangteliui atidaryti, 8 – svirties reguliavimo varžtas, 9 – snapelis vandeniui išpilti.

Atliekant matavimą į šį vamzdelį įkišama biuretės kojelė. Biuretė – nedidelė 5 cm diametro metalinė stiklinėlė, su uždaroma skylute apačioje. Įstačius kojelę, skylutės vožtuvas atlaisvinamas ir per 1 – 2 min. vandens lygis garintuve ir biuretėje susilygina. Tada skylutė uždaroma, biuretė nuimama, o joje esantis vanduo išpilamas į specialią matavimo stiklinę. Matavimas, siekiant didesnio tikslumo, kartojamas ne mažiau kaip 3 kartus. Taip sužinomas

vandens lygis garintuve ir apskaičiuojamas per laikotarpį tarp stebėjimų išgaravusio vandens kiekis. Norint nustatyti garavimą, būtina iš šio kiekio atimti per tą patį laikotarpį iškritusių kritulių kiekį. Tam naudojamas specialus kritulmatis: tokio paties dydžio kaip ir garintuvas bakas su diafragma. Paprastai garomačio kritulmatis, skirtingai nuo įprastų kritulmačių, įkasamas į žemę taip, kad jo angos lygis sutaptų su žemės paviršiumi. Išgaravusios drėgmės kiekis per laikotarpį tarp matavimų nustatomas pagal formulę:

$$Y = X + (h_1 - h_2) K; \quad (30)$$

kur Y – išgaravusios drėgmės kiekis milimetrais, X – kritulių kiekis milimetrais, h_1 ir h_2 – trijų atskaitų pagal matavimo stiklinėlę vidurkis (h_1 – priešpaskutinio, h_2 – paskutinio matavimo metu), K – matavimo stiklinėlės skalės padalos vertė (daugumoje naujesnių prietaisų lygi 0,1 mm).

Matavimai garomačiu dažniausiai atliekami kartą per parą – 21 valandą. Prietaisas nėra tikslus, - dėl garintuvo išilimo iš jo paprastai išgaruoja daugiau nei iš natūralaus telkinio. Naudojamas tik šiltuoju metų laiku.

Dirvožemio garomatis matuoja garavimą iš dirvos paviršiaus. Jo garintuvas sudarytas iš dviejų, vienas į kitą įsistatančių 50 cm aukščio cilindrų. Vidinio cilindro skersplotis - 500 cm². Išorinis cilindras įstatomas į dirvą, prieš tai vidiniu cilindru išpjovus analogiško dydžio grunto stulpą. Vidinis cilindras su išpjautu nepažeistos struktūros gruntu (monolitu) įstatomas į išorinį. Monolito svoris priklauso nuo dirvoje esančios drėgmės kiekio. Iš dirvos išgaravusios drėgmės kiekis nustatomas sveriant monolitą (paprastai kasdien 21 val.) ir įvertinant per laikotarpį tarp svėrimų iškritusius kritulius. Jei po intensyvaus lietaus vanduo prasisunkia per monolitą, jis patenka į po vidiniu cilindru pastatytą indą ir taip pat yra išmatuojamas. Kartais šalia dirvožemio garintuvo įrengiamas tokio pat skersmens specialus kritulmatis, tačiau dažniausiai naudojamosi standartiniu kritulmačiu atliktų matavimų rezultatais. Prietaisas naudojamas tik šiltuoju metų laiku. Išgaravusios iš dirvožemio drėgmės kiekis apskaičiuojamas taip:

$$E = 0,02 (P_1 - P_2) + X + Y; \quad (31)$$

kur E – išgaravusios drėgmės kiekis milimetrais, P_1 ir P_2 – garintuvo su dirvožemio monolitu svoris priešpaskutinio ir paskutinio

matavimo metu gramais, X – kritulių kiekis kritulmatyje milimetrais, Y – prasisunkusio per monolitą ir susikaupusio inde vandens kiekis milimetrais.

Hidrauliniuose dirvožemio garintuvuose monolitas su dirvožemiu plūduriuoja vandenyje ant specialių plūdžių. Kintant monolito svoriui, kinta ir jo panirimo gylis, kuris ir yra įvertinamas. Lietuvoje naudojami labai retai. Panašus principas (monolito svėrimas arba jo panirimo matavimas) taikomas ir garomačiuose, skirtuose garavimui nuo sniego bei pelkių paviršiaus nustatyti. Visais minėtais prietaisais gauti rezultatai labai priklauso nuo matavimo vietos bei oro sąlygų, todėl juos itin sunku lyginti tarpusavyje.

7. SPINDULINĖS ENERGIJOS MATAVIMAI (AKTINOMETRIJA)

7.1. Bendros žinios. Saulės radiaciją charakterizuojantys rodikliai

Žemę pasiekiantis Saulės energijos kiekis priklauso nuo atstumo tarp Žemės ir Saulės, Saulės aukščio virš horizonto ir atmosferos sąlygų. Esant vidutiniam Žemės atstumui nuo Saulės, radiacijos intensyvumas ties viršutine atmosferos riba lygus maždaug 1370 W/m^2 . Šis dydis vadinamas Saulės konstanta. Spinduliams skverbiantis per atmosferą, dalis šios radiacijos sugerama, išsklaidoma ir atspindima, todėl Žemės paviršių pasiekia tik 60 - 70 % šio kiekio. Žemės paviršių pasiekianti Saulės radiacija yra 2 tipų: *tiesioginė* ir *išsklaidyta*.

Saulės radiacijos (aktinometriniai) stebėjimai meteorologijos stotyse vykdomi pagal specialią programą: didžioji dalis matavimų atliekama kas valandą. Jie atliekami tik labai nedaugelyje stočių, dirbančių pagal pilną programą. Meteorologijos stotyse, vykdančiose aktinometrinius stebėjimus, matuojami šie radiacijos parametrai:

tiesioginė radiacija (S) – Žemę pasiekiantys tiesioginiai lygiagretūs Saulės spinduliai;

išsklaidytoji radiacija (D) – atmosferos išsklaidyti spinduliai, pasiekiantys Žemės paviršių nuo viso dangaus skliauto;

bendroji radiacija ($Q = S + D$) – tiesioginės ir išsklaidytos radiacijos suma;

atspindėtoji radiacija (Q_a) – nuo Žemės paviršiaus atsispindėjusi ir nukreipta atgal į dangaus skliautą radiacijos dalis; atsispindėtosios ir bendrosios radiacijos santykis vadinamas paviršiaus *albedu* ($A = Q_a / Q$);

radiacijos balansas (R) – Žemės paviršiaus sugertosios radiacijos ($Q_{sug} = Q \times (1 - A)$) ir efektyviojo spinduliavimo (E_e) skirtumas.

Visi šie rodikliai apibūdina energijos kiekį kurį gauna tam tikras ploto vienetas per tam tikrą laiką, todėl radiacijos intensyvumas paprastai išreiškiamas $cal/cm^2 \times min.$ arba W/m^2 ($1 cal/cm^2 \times min. = 698 W/m^2$), o radiacijos sumos per parą, mėnesį, metus J/m^2 ($1 kcal/cm^2 \times min. = 41,9 MJ/m^2$).

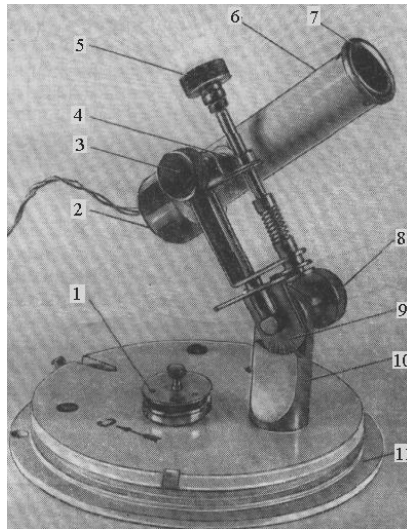
Aktinometriniams stebėjimams taip pat priskiriami Saulės spindėjimo trukmės matavimai. Papildomai aktinometrinių stebėjimų metu nustatomas debesuotumas, debesų formos bei Saulės disko uždengtumai.

7.2. Tiesioginės Saulės radiacijos matavimas

Tiesioginė Saulės radiacija gali būti matuojama absoliutiniais (pirheliometrai) ir santykiniais (aktinometrai) prietaisais. Šiuo metu dauguma absoliutinių prietaisų veikia kompensaciniu principu, o santykinuose prietaisuose dažniausiai taikomas termometrinis principas.

Kompensacinis Ongstremo pirheliometras veikia kompensaciniu metodu. Prietaiso jautrusis elementas – dvi platinos suodžiais padengtos manganino plokštelės. Jos tvirtinamos pirheliometro galvutėje, nukreiptoje į Saulę. Matavimo metu viena plokštelė uždengiama ir į ją nukreipiama elektros srovė, kuri šildo uždengtąją plokštelę ir kompensuoja temperatūros skirtumą. Srovės stiprumas, kuris yra tiesiog proporcingas temperatūros skirtumui ir radiacijos intensyvumui, reguliuojamas reostatu. Matavimai atliekami taip: pradžioje švitinamos abi plokštelės (elektros srovė išjungta) ir galvanometro rodyklė nustatoma ant “0”; po 2 minučių viena plokštelė uždengiama, prie jos pajungiama elektros srovė. Srovės stiprumas reguliuojamas taip, kad galvanometras visą laiką

rodytų “0”. Taip nustatomas toks srovės stiprumas, kuris leidžia palaikyti tokią pat uždengtos plokštelės temperatūrą, kokia buvo į ją šviečiant Saulei (tai yra, kompensuoja Saulės įkaitintos plokštelės atvėsimą). Miliampermetru įvertinamas srovės stiprumas ir pagal specialią lentelę nustatoma elektros srovės išskirta šiluminė energija, kuri lygi tiesioginės Saulės radiacijos energijai. Siekiant didesnio tikslumo, matavimai kartojami 4 -5 kartus. Itin svarbu, kad pirheliometro vamzdelis būtų tiksliai orientuotas į Saulę. Prietaisas pasižymi dideliu tikslumu, bet yra brangus, todėl dažniausiai naudojamas tik patikros biuruose aktinometrų tikrinimui.

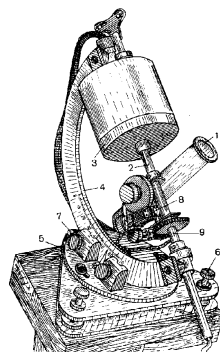


32 pav. Termoelektrinis aktinometras. 1 – dangtelis, 2 – ekranas, 3 – tvirtinimo varžtas, 4 – ašis, 5 – rankenėlė vamzdeliui reguliuoti, 6 – vamzdelis, 7 – skylutė vamzdelio nutaikymui, 8 – horizontali ašis, 9 – platumų skalė, 10 – stovas, 11 – tvirtinimo pagrindas.

Termoelektrinis aktinometras (32 pav.) veikia termometriniu principu, kuris pagrįstas tuo, kad Saulės šildomas kūnas įgyja pastovią temperatūrą, kuri proporcinga tiesioginės Saulės radiacijos intensyvumui. Daviklis – savotiškas termoelektrinis termometras (apie juos plačiau kalbėjome 2 skyriuje). Paprastai tai – sidabrinis, suodžių laku padengtas diskas, kurio antroje (paslėptoje nuo Saulės)

pusėje priklijuoti 26 neporiniai manganino – konstantano termobaterijos (termožvaigždutės) kontaktai. Likusieji (poriniai) kontaktai priklijuoti prie aktinometro korpuso. Diskas su termobaterija pritvirtintas aktinometrinio vamzdelio, kuris nukreipiamas į Saulę apačioje. Termobaterijoje susidaranti srovės elektros jėga, kurios stiprumas matuojamas galvanometru, tiesiogiai proporcinga Saulės radiacijos intensyvumui. Būtina kartoti matavimą tris – keturis kartus maždaug kas 15 sekundžių. Prietaiso konstrukcija netobula, todėl jis matuoja ne tik Saulės, bet ir dangaus skliauto 5° spinduliu aplink Saulės diską sklaidžiamą radiaciją.

Termometriniu metodu pagrįstas ir nenutrūkstamas tiesioginės Saulės radiacijos registravimas. Jis atliekamas *aktinografu*, kuris sudarytas iš aktinometro, heliostato (33 pav.) ir galvanografo. Heliostatas ir galvanografas turi laikrodinius mechanizmus. Heliostatas suka aktinometrinių vamzdelį taip, kad jis visada būtų nukreiptas į Saulę, o galvanografas periodiškai palieka elektros jėgos srovės stiprumą rodančias atžymas besisukančioje juostoje.



33 pav. Aktinometras su heliostatu. 1 – aktinometras, 2 – aktinometro ašis, 3 – laikroдинis mechanizmas, 4 – lankas platumai nustatyti, 5 – tvirtinimo padas, 6 – važtai prietaisui gulsčiuoti, 7 – gulsčiavimo stalelis, 8 ir 9 – vernjerai.

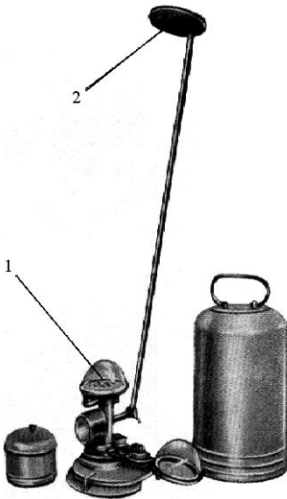
Siekiant, kad skirtingu laiku išmatuota tiesioginė radiacija būtų palyginama yra apskaičiuojama radiacija į horizontalų paviršių:

$$S' = S \sin h. \quad (32)$$

7.3. Bendrosios, išsklaidytos ir atspindėtos Saulės radiacijos matavimas

Saulės radiacijai, sklindančiai iš viso dangaus skliauto, ir atspindėtai radiacijai matuoti naudojami *piranometrai* ir *albedometrai*. Tai prietaisai veikiantys termometriniu principu.

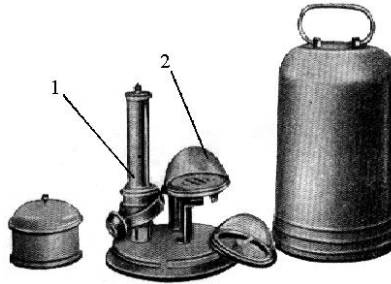
Universalus termoelektrinis piranometras (34 pav.) skirtas išsklaidytai ir atspindėtai nuo žemės paviršiaus radiacijai matuoti. Prietaiso daviklis – kvadratinė termobaterija, kurioje šachmatine tvarka išdėstyti juodi ir balti langeliai. Kiekvieno langelio viduryje yra po 1 termobaterijos kontaktą. Kadangi juodi langeliai sugeria apie šešis kartus daugiau radiacijos nei balti, tai termobaterijos kontaktai, esantys juoduose langeliuose išyla labiau nei esantys baltuose. Dėl šio temperatūrų skirtumo termobaterijoje susidaro elektrovaros jėga, kuri yra proporcinga daviklio gaunamai radiacijai, ir grandine ima tekėti elektros srovė. Srovės stiprumas matuojamas galvanometru. Daviklis uždengtas stikliniu dangteliu (kad neataušų dėl vėjo) ir statomas griežtai horizontaliai.



34 pav. Termoelektrinis piranometras. 1 – piranometro galvutė (termobaterija, 2 – plokštelė šešėliui sudaryti).

Matuojant išsklaidytą radiaciją (jei Saulės diskas neuždengtas debesų) ant daviklio specialia plokštele sudaromas šešėlis, apsaugantis nuo tiesioginės radiacijos poveikio. Jei Saulės diskas nors dalinai uždengtas debesų, plokštelė šešėliui nenaudojama. Tuomet prietaisas fiksuoja bendrąją Saulės radiaciją (nes šiuo atveju aktinometru sunku atskirai išmatuoti tiesioginę Saulės radiaciją). Matuojant atspindėtąją radiaciją, prietaiso stovas apverčiamas ir daviklis nukreipiamas žemyn. Prietaisas montuojamas ant specialaus stovo 1,5 m aukštyje, 5 m spinduliu aplink jį turi būti natūrali žolės danga.

Norint nenutrūkstamai registruoti bendrąją radiaciją, piranometras prijungiamas prie galvanografo. Išsklaidytai radiacijai matuoti piranometro daviklis užtemdomas šešėliniu heliostatu (žiedu).



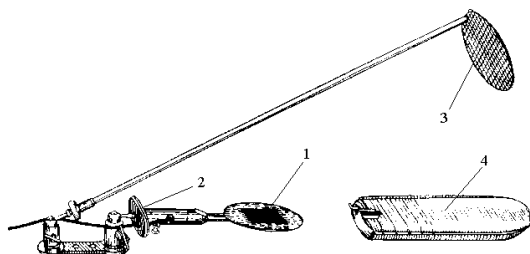
35 pav. Portatyvus albedometras. 1 – spyruoklinė pakaba, 2 – galvutė (termobaterija).

Portatyvus albedometras (35 pav.) skirtas bendrosios ir atspindėtos nuo žemės paviršiaus Saulės radiacijos matavimams. Jo veikimo principas toks pats kaip ir piranometro, tačiau, skirtingai nuo pastarojo, albedometras turi specialią spyruoklinę pakabą. Tai leidžia prietaisą, pritvirtintą prie specialaus skersinio, laikyti rankoje, nepažeidžiant jo horizontalumo. Vykdamatavimus ekspedicijose, albedometru galima matuoti ir bendrąją radiaciją, nukreipus daviklį į viršų. Matuojant atspindėtąją radiaciją (albedą), albedometras apverčiamas termobaterija žemyn.

7.4. Radiacijos balanso matavimai

Radiacijos balansas matuojamas balansomačiais. Dažniausiai naudojamas *termoelektrinis balansomatis* (36 pav.). Jo daviklis sudarytas iš 10 cm skersmens plokštelės, prie kurios iš abiejų pusių pritvirtinti (sunumeruoti: Nr. 1 ir Nr. 2) suodžiais padengto vario kvadratai. Prie vidinių šių vario plokštelių pusių priklijuoti termobaterijos kontaktai. Plokštei esant horizontalioje padėtyje, vienas vario kvadratas nukreiptas į viršų, todėl į jį patenka bendroji Saulės radiacija bei ilgabangis atmosferos spinduliavimas; o kitas – žemyn ir priima atspindėtą trumpabangę radiaciją bei ilgabangių Žemės spindulių srautą. Todėl vario plokštelės paprastai gauna skirtingą radiacijos kiekį. Tada tarp jų susidaro temperatūrų

skirtumas, sukuriantis termobaterijoje elektrovaros jėgą, proporcingą radiacijos srautų skirtumui. Prietaiso parodymai fiksuojami galvanometru, kuris turi dvi skales: į kairę ir į dešinę nuo nulio. Prietaisas tvirtinamas taip, kad plokštelė Nr. 1 būtų nukreipta į viršų. Jei naudojamos paprastu galvanometru su viena skale, tai esant teigiamam radiacijos balansui (diena) plokštelė Nr. 1 turi būti nukreipta viršun, o esant neigiamam (diena) – žemyn. Ant balansomačio daviklio sudarius šešėlį ir iš matavus balansą galima apskaičiuoti tiesioginę saulės radiaciją, kuri bus lygi balanso, išmatuoto be šešėlio ir balanso, išmatuoto šešėlyje skirtumui.



36 pav. Balansomatis. 1 – plokštelė su termobaterija, 2 – tvirtinimo stovas, 3 – skritulys šešėliui sudaryti, 4 – dangtis.

Balansomačio davikliui atviri, todėl, pučiant stipresniam vėjui, paspartėja turbulencinė šilumos apykaita tarp plokštelės ir oro. Pučiant skirtingo stiprumo vėjui, daviklių jautrumas - skirtingas. Tad, atliekant stebėjimus balansomačiu, būtina kartu matuoti vėjo stiprumą. Kartais apsaugai nuo vėjo vario plokštelės padengiamos specialia polietileno plėvele. Prijungus balansomatį prie galvanografo, galima nenutrūkstamai registruoti radiacijos balansą.

7.5. Aktinometrinių prietaisų parodymų integravimas

Kartais būtina žinoti tam tikro laikotarpio (valandos, paros ir panašiai) radiacijos sumas. Tada prietaisų parodymus reikia sumuoti (integruoti). Matematiškai tai atlikti sunku, todėl paprastai naudojami specialūs prietaisai. Vienas iš tokių – *elektrolitinis integratorius*. Jo pagrindinė dalis yra stiklinis (kai kurių naujesnių modifikacijų – ir iš kitų rūgščiai atsparių medžiagų pagamintas) vamzdelis, dalinai pripildytas elektrolito (dažniausiai 30% H_2SO_4).

Integratorių prijungus prie aktinometrinių prietaisų, per elektrolitą ima tekėti elektros srovė, suskaldanti dalį elektrolito molekulių į atskirus jonus. Vamzdelyje išsiskiria vandenilio garai, kurie slėgia elektrolito lašą ir pastumia jį vamzdelyje. Pagal lašo padėtį nustatomas matuojamo radiacijos parametro suminis dydis.

7.6. Saulės spindėjimo trukmės registravimas

Saulės spindėjimo trukmė meteometrijoje priimta laikyti laiką, kai Saulės diskas neuždengtas debesų ir yra tiek pakilęs virš horizonto, kad radiacijos intensyvumas viršija $0,1 \text{ kW/m}^2$. Ji registruojama heliografais. Populiariausias tarp šių prietaisų yra *Kempbelio – Stokso universalus heliografas* (37 pav.). Pagrindinė jo dalis – stiklinis rutulys, kuris kaip padidinamasis stiklas fokusuoja Saulės disko spindulius į vieną tašką ir fokusuotų spindulių pluoštu pradegina liniją arba taškus specialioje popieriaus juostelėje.



37 pav. Heliografas.

Pagal tai, kokia juostelės dalis pradeginta, galima spręsti apie Saulės spindėjimo trukmę. Juostelė priklausomai nuo metų laiko įstatoma skirtingai. Žiemą (kai šviesios paros dalies trukmė < 10 val.) naudojama į viršų išgaubta viršutinė juostelė, pavasarį ir rudenį – tiesi vidurinė, vasarą – į apačią išgaubta apatinė. Įrengiant heliografą atsižvelgiama į vietovės geografinę platumą; be to jis orientuojamas pagal stoties meridianą tikrojo vidurdienio metu. Esant trumpai dienai (kai šviesios paros dalies trukmė < 10 val.) juostelė keičiama kartą per parą po saulėlydžio. Kai šviesios paros dalies trukmė > 10 val., juostelė keičiama 2 kartus per parą: vakare ir vidurdienį. Kartu tam tikru kampu pasukamas heliografas. Dorojant heliografo juostą, nustatoma Saulės spindėjimo trukmė

kiekvieną valandą (0,1 val. tikslumu). Ją apskaičiuojant įskaitomi ir silpni pradegimai (kai juosta tik patamsėjo). Heliografas montuojamas 2 m aukštyje ant specialaus stovo.

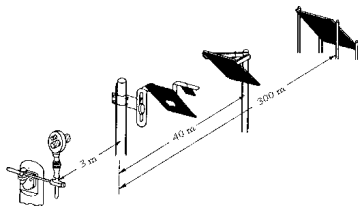
8. METEOROLOGINIO MATOMUMO NUOTOLIO, DEBESŲ IR ATMOSFEROS REIŠKINIŲ STEBĖJIMAI

8.1. Meteorologinio matomumo nuotolio matavimai

Meteorologinio matomumo nuotolis (MMN) - atstumas, kuriame stebimas objektas pasidaro nematomas (susilieja su fonu). MMN priklauso nuo atmosferos skaidrumo, objekto kampinių dydžių, objekto kontrasto su fonu ir kitų faktorių. Paprastai MMN nustatomas pagal juodus objektus, turinčius $> 0,5^\circ$ dydį giedro dangaus fone prie horizonto dienos metu. Daugumoje meteorologijos stočių MMN matuojamas horizontalia kryptimi, tik aviacinės meteorologijos stotyse matuojamas vertikaliai ir $3 - 6^\circ$ kampų horizonto atžvilgiu iki 1000 m aukščio. Tokiu kampu išmatuotas MMN svarbus, nes panašiu kampu kykla ir leidžiasi lėktuvai. MMN gali būti nustatomas *vizualiai* arba *instrumentiškai*. Matavimų diapazonas paprastai yra nuo 50 m iki 50 km.

Seniausias meteorologinio matomumo nuotolio matavimo būdas yra *vizualūs* žinomu atstumu nuo stoties nutolusių objektų stebėjimas. Matuojant MMN dienos metu parenkami 9 kuo tamsesni objektai 50, 200, 500 m bei 1, 2, 4, 10, 20 ir 50 km atstumu nuo stoties. MMN vizualiai nustatomas pagal tai, koku atstumu yra nutolęs paskutinis (tolimiausias) matomas objektas. Pavyzdžiui: jei gerai matome 50 kilometrų nuo stoties nutolusį kaminą ar retransliacijos bokštą – į stebėjimų žurnalą įrašome, jog MMN viršija 50 km. Stoties rajone nesant pakankamai nutolusių objektų MMN nustatomas pagal artimesnių objektų matomumą, dauginant atstumą nuo stoties iki objekto iš tam tikrų koeficientų (10; 6; 3; 2 ir panašiai). Naktį vizualiai matuojant MMN parenkami šviesos šaltiniai. Objektas laikomas matomu, jei šviesos šaltinis yra bent taško pavidalo. MMN laikomas atstumas iki tolimesnio matomo šviesos šaltinio. Vizualūs MMN matavimo metodai gana subjektyvūs: rezultatas priklauso nuo objektų dydžio, stebėtojo regėjimo ir panašiai. Todėl meteorologijos stotyse MMN dabar

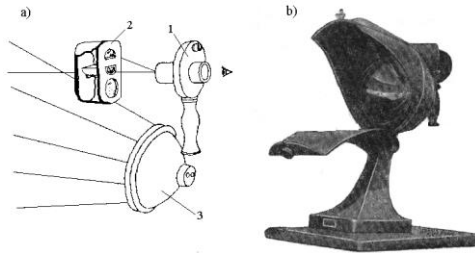
vizualiai nematuojamas. Šis metodas labiau taikytinas ekspedicinėse sąlygose.



38 pav. Meteorologinio matavimo nuotolio matavimas poliaroidiniu matavimo matuokliu šviesiu paros metu (fotometriniu lyginimo metodu).

Žymiai mažiau subjektyvūs yra *vizualiai – instrumentiniai* metodai, nes MMN šiuo atveju nustatomas pagal specialius, žinomu atstumu nuo stebėtojo išdėstytus, skydus. Pagrindinis prietaisas, naudojamas, nustatant MMN vizualiai - instrumentiniais metodais - *poliaroidinis matavimo matuoklis*. Jį sudaro dvi pagrindinės dalys: poliaroidas ir dvejopai šviesą laužianti prizmė. Iš aplinkos sklindanti šviesa pradžioje patenka į poliaroidą, dažniausiai sudarytą iš dviejų turmalino plokštelių, kurios ją poliarizuoja. Sklidamas toliau, poliarizuotos šviesos spindulys patenka į prizmę, kur “lūžta” į dvi dalis. Todėl, žiūrint pro matuoklio objektyvą, matomas dvigubas objekto vaizdas. Apatinis objekto vaizdas ryškesnis už viršutinį. Matavimas šiuo prietaisu atliekamas vadinamuoju fotometriniu lyginimo metodu (38 pav.). *Šviesiu paros metu* prietaisas su specialia juoda dėžute tvirtinamas 2 m aukštyje. Už 40 ir 400 m nuo dėžutės pastatomi du juodi skydai. 1 ir 6 km atstumu nuo dėžutės parenkami du tamsūs objektai. Taigi, turime orientyrus visame matavimo diapazone. Labiau nei 6 km nutolusių objektų stebėti nereikia nes nustatant MMN dauginame atstumą iki skydo (L) iš atitinkamo koeficiento. Pirmiausiai stebimas labiausiai nutolęs objektas. Jei jis matomas ryškiai (be ūkanos), vadinasi MMN yra $> 10 L$ ir toliau stebėti nereikia. Jei objektas apgaubtas ūko, stebėdami jį pro objektyvą, sukame prietaiso sraig tą tol, kol objekto apatinio ir viršutinio vaizdo ryškumas susilygina. Pagal sraigto padėtį nustatome koeficientą, iš kurio būtina padauginti L. Matavimas turi būti kartojamas 3 kartus ir išvedus vidurkį pagal lenteles randamas

MMN. *Tamsiu paros metu* poliaroidinis matuoklis naudojamas kartu su specialiu šviesą sklaidančiu įrenginiu – nefelometru (39 pav.). Tada MMN nustatomas pagal šviesos srauto atgalinio išskleidymo priklausomybę nuo atmosferos skaidrumo.



39 pav. Nefelometrinis įrenginys: a) principinė veikimo schema, b) bendras vaizdas. 1 – poliarizacinis matavimo matuoklis, 2 – šviesos sklaidymo dėžutė, 3 – lempa.

Šiuo metu vizualiai – instrumentiniu MMN nustatymo metodu paremti prietaisai palaipsniui keičiami fotometrais.

Instrumentiniai MMN matavimai – patys tiksliausi. Dabar instrumentiniams MMN matavimams naudojama vis daugiau naujų itin tikslių prietaisų, leidžiančių greitai ir efektyviai nustatyti MMN bet kuria kryptimi.

Lietuvoje iš šių prietaisų naudojami *matavimo nuotolio registratoriai*. Jie skirti automatiniam MMN registravimui dieną ir naktį. Praktiškai šie prietaisai matuoja atmosferos skaidrumą (nuo kurio MMN labiausiai ir priklauso). Veikia distanciniu būdu (davikliai gali būti įrengti bet kokių atstumu nuo stoties). Dažniausiai matavimo nuotolio registratoriai naudojami aviacinės meteorologijos stotyse. Pagrindinė jų paskirtis – MMN matavimas lėktuvų nusileidimo–pakilimo takuose, todėl matuoja MMN horizontaliai arba $3 - 6^\circ$ kampu (įvairiuose aerouostuose – skirtingai) ir tik viena kryptimi. Prietaisą sudaro fotometrinis blokas su šviesos šaltiniu, reflektorius, maitinimo šaltinis, valdymo bei registravimo pultai. Fotometrinis blokas ir reflektorius statomi 100 m atstumu vienas nuo kito. Fotometrinis blokas formuoja 2 šviesos srautus: zonduojantį (nukreiptą į reflektorių) ir kontrolinį (tiesiai į fotoelementą). Zonduojantis spindulys patenka į fotoelementą atsispindėjęs nuo reflektoriaus, todėl skiriasi zonduojančio ir

kontrolinio šviesos srautų bangų amplitudė. Kontrolinis srautas patenka į fotoelementą pro objektyvą su automatiškai kintančia diafragma. Diafragma automatiškai uždaroma tiek, kad kontrolinio ir zondojuančio spindulio bangų amplitudė išsilygintų. Pagal diafragmos pasisukimo kampą galima nustatyti atmosferos skaidrumą (o kartu ir MMN).

8.2. Debesų stebėjimai

Debesys meteorologijos stotyse stebimi visą laiką (ne tik stebėjimų terminų metu). Stebint juos nustatoma: debesų kiekis (debesuotumas), debesų forma ir debesų apatinės ribos aukštis.

Debesuotumas tai – debesimis padengta dangaus skliauto dalis. Jis vertinamas balais (10 balų sistema): dangus be debesų – 0 balų, dangus, pilnai padengtas debesimis – 10 balų. Atskirai nustatomas bendras ir apatinio aukšto debesų kiekis. Naktį debesuotumas nustatomas pagal žvaigždžių matomumą (sritis, kurioje nematomos žvaigždės, laikoma uždengta debesų).

Debesų forma nustatoma tada, kai jų kiekis viršija bent 0,5 balo ir debesų apatinė riba yra 5 - 6° virš horizonto (išskyrus kamuolinius ir kamuolinius lietaus debesis). Debesys atpažįstami pagal pagrindinę morfologinę taisyklę: pradžioje nustatoma forma, vėliau rūšis ir atmaina. Skiriama 10 pagrindinių debesų formų, kiekviena iš kurių gali turėti iki 3 rūšių, o šios, savo ruožtu, – po kelias atmainas. Debesų forma nustatoma vizualiai (pagal išvaizdą), kartais pasiremiant debesų evoliucijos analize, kritulių forma ir pan. Naktį debesų forma dažniausiai nustatoma remiantis paskutinių vakaro stebėjimų duomenimis.

Debesų apatinė riba nustatoma tik tuomet, jei ji yra ne aukščiau 2500 m. Žinomi trys pagrindiniai debesų apatinės ribos aukščio nustatymo metodai: *vizualus* apatinės ribos aukščio nustatymas, nustatymas *aerobalionu* ir *šviesos lokacijos metodu*. Lietuvos meteorologijos stotyse naudojamas debesų apatinės ribos aukščio nustatymas šviesos lokacijos metodu. Ekspedicinėmis sąlygomis kartais debesų apatinės ribos aukštis nustatomas vizualiai, tačiau tai pakankamai tiksliai gali atlikti tik patyręs stebėtojas.

Naudojant *šviesos lokacijos metodą*, debesų apatinės ribos aukštis nustatomas pagal laiką, per kurį šviesa įveikia atstumą nuo žemės paviršiaus iki debesų ir atgal. Žinant šviesos greitį ir šį laiką,

nesunku nustatyti debesų apatinės ribos aukštį. Praktikoje matematiniai skaičiavimai nenaudojami: debesų apatinė riba šviesos lokacijos metodu nustatoma *debesomačiu*. Jis sudarytas iš šviesos šaltinio, imtuvo bei matavimo ir valdymo pulto. Šviesos šaltinis ir šviesos imtuvas įrengiami meteorologijos stoties stebėjimų aikštelėje 8 – 10 m atstumu vienas nuo kito. Matavimo ir valdymo pultas – patalpoje. Dažniausiai debesomačiuose naudojamas šviesos šaltinis – impulsinė lempa, kuri 10 - 15 s laikotarpiu vienodais intervalais siunčia į viršų nukreiptus šviesos signalus. Atspindėję nuo debesų, jie grįžta atgal ir patenka į imtuvą, kuris pakeičia juos į elektros signalą ir perduoda jį į valdymo pultą. Jame debesų apatinės ribos aukštis nustatomas pagal oscilografo ekrane matomą vaizdą. Didžiausiais šio tipo prietaisų trūkumas yra tas, kad jie nustato tik tiesiai virš šviesos šaltinio esančių debesų apatinės ribos aukštį (šalia gali būti debesų, kurių apatinė riba yra kitame aukštyje. Be to, debesomatis nelabai tinka naudoti, kai mažas debesuotumas – virš šviesos šaltinio debesų gali ilgai nebūti. Debesomatis įrengiamas palei lėktuvų pakilimo ir nusileidimo taką.

Jei stotyje nėra debesomačio arba virš stebėjimų aikštelės nėra debesų, debesų apatinės ribos aukštis nustatomas *vizualiai*. Parenkamas taškas (debesis), esantis ne žemiau kaip 45° virš horizonto ir atstumas iki jo lyginamas su atstumu iki žinomu nuotoliu nuo stoties esančio objekto (paprastai su atstumu iki objekto naudojamo MMN nustatymui). Įvedus pataisą debesies kampiniam aukščiui virš horizonto, sužinomas debesų apatinės ribos aukštis.

Kartais debesų apatinės ribos aukštis nustatomas *aerobalionu*. Matavimo principą sudaro nuo žemės paviršiaus paleisto aerobaliono kilimo iki debesų greičio matavimas. Jis apskaičiuojamas specialiu teodolitu nustatant aerobaliono pradinę padėtį (ties žemės paviršiumi) ir jo padėtį prieš pasineriant į debesis. Žinant šių taškų koordinates galima nustatyti atstumą tarp jų. Kartu matuojant laiką nuo baliono paleidimo iki jo panirimo į debesis sužinomas aerobaliono skridimo greitis, pagal kurį galima nustatyti debesų apatinės ribos aukštis. Tačiau būtina atsižvelgti į tai, jog esant vėjui balionas kyla ne vertikaliai, todėl vertikalus atstumas tarp žemės paviršiaus ir debesų apatinės ribos nustatomas pagal specialias lenteles.

8.3. Atmosferos reiškinių stebėjimai

Atmosferos reiškiniai (kartais dar vadinami meteorologiniais reiškiniais) tradiciškai skirstomi į hidrometeorus, litometeorus, elektrinius reiškinius, optinius reiškinius bei reiškinius susijusius su vėjo sustiprėjimu. Jie detaliai aprašyti meteorologijos stočių darbo instrukcijose, todėl čia plačiau neaptariami.

Atmosferos reiškiniai, kaip ir debesys, stebimi ir registruojami visą parą aplinkos matomumo ribose. Todėl stebėtojas karts nuo karto (ne tik stebėjimų terminų metu) turi išeiti iš stoties tarnybinių patalpų ir pasižiūrėti, ar per tą laiką neprasidėjo naujas atmosferos reiškinys. Stebint būtina apžvelgti: a) paklotinį paviršių, b) dangaus skliautą, c) apylinkes (matomumo ribose). Stebint visus atmosferos reiškinius būtina: nustatyti jų pradžios bei pabaigos laiką (minutės tikslumu), reiškinio rūšį, įvertinti reiškinio intensyvumą. Reiškinių rūšis stebėjimų žurnale žymima sutartiniu ženklu, o intensyvumas vertinamas balais nuo 0 iki 2 (silpnas reiškinys vertinamas 0 balų, o stiprus – 2, vidutinio intensyvumo reiškinys nežymimas jokių ženklu).

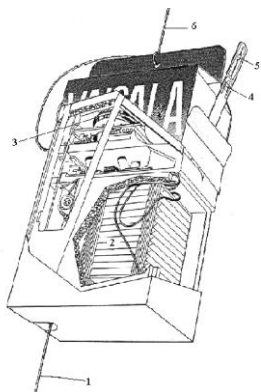
Ypač intensyvūs atmosferos reiškiniai gali tapti pavojingais, o kai kurie net stichiniais. *Pavojingais* reiškiniais laikomi tokie, kuriems vykstant būtina imtis specialių priemonių (pavyzdžiui: sustabdyti tam tikrus darbus), nes jie trikdo normalią žmonių veiklą. *Stichiniai* atmosferos reiškiniai yra tokie, kurie (nepaisant visų pastangų) gali padaryti arba jau padarė žalos. Jei stebint reiškinį nustatoma, jog jis tapo pavojingu, būtina apie tai skubiai informuoti atitinkamas tarnybas. Pagal kai kurias klasifikacijas skiriami ir katastrofiniai atmosferos reiškiniai. Lietuvoje galiojantys atmosferos reiškinių priskyrimo pavojingiems arba stichiniams kriterijai pateikiami 3 priede.

9. AEROLOGINIAI IR RADIOLOKACINIAI ATMOSFEROS TYRIMAI

9.1. Aerologiniai matavimai

Aerologija – mokslas apie laisvoje atmosferoje vykstančius procesus ir jų tyrimo metodus. Aerologiniai tyrimai gali būti vykdomi *raketų, aviacijos ir radiozondų* pagalba. Pagrindinis aerologinių tyrimų metodas – *radiozondavimas*. Radiozondus leidžia specialios meteorologijos (aerologijos) stotys, kurių visame pasaulyje yra kiek daugiau nei 800. Lietuvoje aerologinius tyrimus vykdo Kauno meteorologijos stotis.

Radiozondavimo aparatūra būna gana įvairi, tačiau ją visada sudaro 3 pagrindinės dalys: 1) radiozondas, 2) aerobalionas, 3) radioimtuvas - registratorius.



40 pav. Radiozondas.

1 – antena, 2 – baterija, 3 – slėgio daviklis (membraninė dėžutė), 4 – drėgnumo daviklis (varžos psichrometras), 5 – temperatūros daviklis (termoelektrinis termometras), 6 – kablys radiozondui prie baliono pritvirtinti.

Pagrindinė radiozondavimo aparatūros komplekto dalis - *radiozondai* (40 pav.). Kadangi pastaruoju metu įvairiose šalyse naudojami skirtingų konstrukcijų radiozondai, trumpai aptarsime tik esminius jų konstrukcinius ypatumus. Įvairiems meteorologiniams parametrams matuoti radiozonde naudojami skirtingi davikliai. Oro temperatūrai matuoti radiozonde dažniausiai naudojami folijos termorezistoriai, bimetalinės plokštelės ir spiralės, taip pat varžos termometrai, kiek rečiau – termoporos, termokondensatoriai (pastarieji kartu matuoja ir oro drėgnumą).

Atmosferos slėgis radiozonde paprastai matuojamas aneroidinėmis dėžutėmis, o kartais hipsotermometrais. Oro drėgnumas juose matuojamas plėveliniais ir plaukiniais

higrometrais, kondensaciniais higrometrais, higroskopiniais elementais (kintant oro drėgmei kinta jų elektros laidumas), naujausio tipo radiozonduose – spektrinio radiacijos sugėrimo metodu (kintant oro drėgmei, kinta vandens sugertos radiacijos kiekis). Vėjo kryptis ir greitis aerologiniuose tyrimuose dažniausiai matuojami kas tam tikrą laiko intervalą radijo imtuvu – registratoriumi nustatant radiozondų padėtį erdvėje.

Tam, kad daviklių parodymai galėtų būti perduoti į registruojantį imtuvą, būtina juos paversti radiosignalais. Tai atlieka *koduojantis įrenginys*, kuris gali būti labai įvairių konstrukcijų. Paprasčiausi ir dažniausiai sutinkami koduojantys įrenginiai, sudaryti iš besisukančio metalinio būgno, padengto izoliuojančiu laku. Prie jų liečiasi daviklių “ūsai” – kontaktinės vielytės rodančios daviklių judančiosios dalies padėtį. Laku nepadengti tik kodavimo laukeliai, prie kurių prisilietus vieno ar kito daviklio kontaktiniam “ūsui”, formuojami koduoti signalai. Koduotiems signalams persiųsti į Žemę naudojamas ultratrumpųjų bangų *siųstuvai*, turintis anteną ir bateriją. Baterijos paprastai pakanka 2 – 3 val. (naujesniuose radiozonduose ilgesniam laikui), per kurias prietaisas gali nusukti apie 300 km ir pakyla iki 30 - 50 km aukščio (pakilimo aukštis ir radiozondo nunešimo nuotolis priklauso nuo aerobaliono dydžio bei pripildymo).

Radiozondas tvirtinamas prie *aerobaliono*, gaminamo (priklausomai nuo konstrukcijos) iš gumos arba latekso ir užpildomo heliu arba vandeniliu. Dauguma šiuo metu pasaulyje naudojamų aerobalionų pripildomi heliu. Radiozondo siunčiamus signalus Žemėje priima *radiolokacinė stotis (radioimtuvas – registratorius)*. Naujesnių modelių radiolokacinės stotys gautus signalus dešifruoja ir pateikia vartotojui priimtina skaitmenine arba grafine forma, o esant reikalui išsaugo ją kompiuterio diskeliuose.

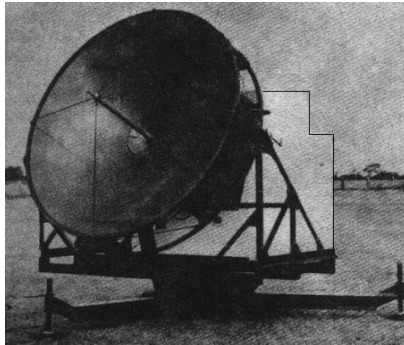
Pagal radiozondavimo duomenis sudaromos aerologinės diagramos bei standartinių izobarinių paviršių žemėlapiai. Kai kurie radiozondai be standartinių meteorologinių matavimų įvertina ir specifines aukštųjų atmosferos sluoksnių savybes (cheminę sudėtį, debesų parametrus ir kita).

Viršutiniai atmosferos sluoksniai (50 – 200 km) tiriami meteorologijos raketomis, lazeriais, dirbtiniais Žemės palydovais.

9.2. Meteorologinė radiolokacija

Meteorologinė radiolokacija – distancinis žemesniųjų atmosferos sluoksnių tyrimo metodas. Pagrindiniai šiems tyrimams naudojami prietaisai - meteorologiniai radiolokatoriai. Pagrindinė jų paskirtis – gauti informaciją apie galingų kamuolinių debesų ir kritulių zonas bei su jomis susijusius meteorologinius reiškinius (ypač apie pavojingus). Todėl meteorologinė radiolokacija naudingiausia ten, kur dažnai būtina sudaryti trumpalaikes prognozes, pavyzdžiui,– aviacinėje meteorologijoje. Tačiau, atsižvelgiant į radiolokacijos būdu nustatomų rodiklių gausą, galima manyti, jog ateityje meteorologinė radiolokacija taps itin perspektyvia stebėjimų rūšimi.

41 pav. Meteorologinis radiolokatorius.



Meteorologinio radiolokatoriaus (41 pav.) veikimo principas – elektromagnetinių bangų trajektorijos tyrimas. Vienalytėje terpėje (kokia galima laikyti “švarią” – be debesų, kritulių ar priemaišų atmosferą) elektromagnetinės bangos sklinda tiesės trajektorija ir pastoviu greičiu. Debesys, krituliai ar kitokie jų kelyje pasitaikantys dariniai (pirmiausiai hidrometeorai ir litometeorai bei elektriniai atmosferos reiškiniai) šias bangas išsklaido. Fiksuojant išsklaidymo momentą, galima nustatyti aptiktų darinių koordinatas, o pagal išsklaidymo pobūdį – darinių tipą. Meteorologinis radiolokatorius lėtai sukasi ir spinduliuoja į atmosferą trumpus aukšto dažnio elektromagnetinius impulsus, sukoncentruotus siaurais zonduojančiais spinduliais. Spinduliui pasiekus kokį nors objektą, jo paviršius atspindi bangas, kurios grįžta į imtuvą. Grįžtantis signalas paprastai yra labai silpnas, todėl jis sustiprinamas stiprintuvu.

Sustiprintas signalas patenka į indikatorių: oscilografo ekraną arba registruojantį (o naujesniuose radiolokatoriuose ir dešifruojantį) įrenginį. Lietuvoje šiuo metu naudojami meteorologiniai radiolokatoriai gali pateikti informaciją apie atmosferos būklę maždaug 250 km spinduliu. Didžiausias šių prietaisų (ypač senesnės konstrukcijos) trūkumas yra tas, kad radiolokatoriai "mato" tik tokias debesų sistemas, kuriose dalelių dydis ne mažesnis nei 0,1 mm, o dalelių koncentracija didesnė nei viena dalelė kubiniame metre. Paprastai meteorologiniai radiolokatoriai nustato: debesų formą, kritulių intensyvumą, atskiria paprastus ir perkūnijos debesis. Naujesni šio tipo prietaisai matuoja ir registruoja ir daugiau rodiklių, todėl meteorologinė radiolokacija – itin perspektyvus meteorologinių matavimų būdas.

10. AUTOMATINĖS IR DISTANCINĖS METEOROLOGIJS STOTYS

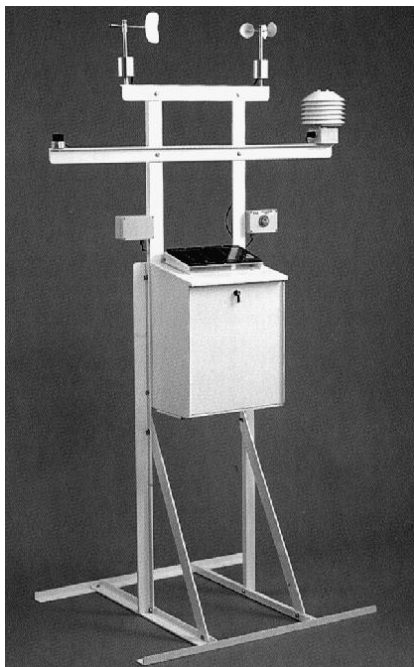
10.1. Bendros žinios

Ankstesniuose skyriuose aprašėme svarbiausius atskirų meteorologinių elementų matavimo metodus bei tiems matavimams skirtus prietaisus. Dauguma jų yra klasikiniai, iš esmės nekintantys jau ne vieną dešimtmetį, o kai kurie ir šimtmetį. Tokiems prietaisams aptarnauti būtini stebėtojai, jiems išdėstyti reikia nemenko ploto, o gautus duomenis neretai būtina papildomai apdoroti prieš pateikiant vartotojams.

Dėl to nukenčia informacijos operatyvumas, kuris šiandien yra vienas iš pagrindinių jos vertės rodiklių. Paprasčiausias būdas greičiau gauti norimą informaciją bei labiausiai prieinama forma pateikti ją vartotojams yra *distancinių automatinių meteorologijos stotelių* (42 pav.) steigimas. Tokios meteorologijos stotys yra visiškai automatizuoti ir gana kompaktiški prietaisų kompleksai, galintys operatyviai perduoti daviklių fiksuojamą informaciją arba kaupti ją savo atmintyje.

Automatinėse ir distancinėse meteorologijos stotyse (paprastai jos gali būti ir automatinėmis – kaupiančiomis informaciją, ir distancinėmis – informaciją perduodančiomis, priklausomai nuo vartotojo poreikių) naudojami ne visi anksčiau aprašyti davikliai, o tik tie kurių parodymus įmanoma redukuoti į vienokios ar kitokios

formos impulsus. Todėl šiose stotyse gaunama informacija paprastai nėra tokia tiksli, kaip tradicinių stočių pateikiami duomenys. Kita vertus, dauguma atvejų, mažesnę tikslumą su kaupu kompensuoja informacijos operatyvumas. Automatinės meteorologijos stotys labiau apsimoka ir finansiškai – joms reikia žymiai mažiau aptarnaujančio personalo. Ypač distancinės ir automatinės meteorologijos stotys patogios sunkiai prieinamuose rajonuose bei specifiniuose objektuose, kurių aptarnavimui būtini operatyvūs meteorologiniai duomenys (aerouostuose, automagistralėse, geležinkeliuose ir pan.).



42 pav. Automatinė meteorologijos stotis sumontuota ant vientiso stovo.

Visa tai nulėmė spartų automatinių meteorologijos stočių vystymąsi bei gausėjimą. Pirmieji automatiškai veikiantys bei distanciškai perduodantys savo parodymus meteorologiniai prietaisai sukonstruoti XX amžiaus pirmoje pusėje, o pirmosios

automatinės meteorologijos stotys – apie 1950 metus. Ypatingai šių stočių skaičius išaugo per pastaruosius 20 metų. Tai pirmiausiai nulėmė kompiuterinės technikos plėtra. Automatinių meteorologijos stočių dalis stebėjimų tinkle labiau išsivysčiusiose šalyse šiuo metu sudaro daugiau nei 50%. Kai kurie specialūs stebėjimai automatizuoti dar labiau. Visa tai nemenkai pakeitė ir informacijos pateikimo būdų kaitą.

Šiuo metu automatinių ir distancinių meteorologijos stočių plėtroje išvelgiamos dvi esminės tendencijos: 1) tobulinamos technologijos, leidžiančios kuo daugiau tradiciniais matavimo metodais gautos informacijos perduoti distanciškai, 2) kuriami nauji davikliai, skirti meteorologinių elementų distanciniams ir automatiniais matavimams. Neabejotina, kad ateityje automatinės meteorologijos stotys sudarys meteorologinių stebėjimų tinklo pagrindą.

10.2. Automatinėse ir distancinėse meteorologijos stotyse naudojami davikliai

Distancinių ir automatinių meteorologijos stočių davikliai skiriasi nuo tradicinių dėl dviejų pagrindinių priežasčių. Pirma, kai kuriems davikliams kol kas nėra sukurti antriniai keitikliai, kurie galėtų pakankamai tiksliai paversti daviklių fiksuojamą informaciją distanciškai siunčiamais impulsais. Antra, dauguma šiuo metu naudojamų automatinių meteorologijos stočių įrengiamos gan kompaktiškai. Todėl stengiamasi jose naudoti kuo mažiau į aplinkinius objektus – taip pat ir į kitus tos pačios stoties prietaisus – reaguojančius daviklius. Be to, davikliai ne tik neturi užstoti vienas kito, bet nesudaryti papildomų trukdžių (pavyzdžiui, specifinių magnetinių laukų) antriniais keitikliais. Toliau aptarsime šiuo metu dažniausiai naudojamus automatinių meteorologijos stočių daviklius.

Populiariausi *temperatūros davikliai*, dabar naudojami automatinėse meteorologijos stotyse, – varžos termometrai. Jais matuojama tiek oro, tiek dirvos bei vandens temperatūra. Kai kuriose stotyse oro temperatūrai matuoti naudojami ir termoelektriniai termometrai. Specifiniams matavimams skirtose (agrometeorologijos, aviacinės meteorologijos) stotyse tam tikro oro arba grunto sluoksnio vidutinė temperatūra matuojama akustiniais

termometrais. Visi minėti temperatūros davikliai gali veikti kaip registruojantys prietaisai (tuo atveju jie periodiškai įsijungia kas keletą minučių), todėl jais galima ne tik išmatuoti momentinę matuojamos terpės temperatūrą, bet ir sužinoti ekstremalias jos reikšmes per tam tikrą laikotarpį bei jų stebėjimo laiką. Kartais šalia varžos ar termoelektrinių termometrų nenutrūkstamam temperatūros kaitos registravimui įrengiami davikliai su bimetalinėmis plokštelėmis. Deja, kol kas daugumoje automatinių stočių naudojamų varžos termometrų tikslumas kiek nusileidžia stikliniams skysčio termometrams (paprastai jis yra $\pm 0,2$ °C).

Tarp oro drėgnumo daviklių dažniausiai naudojami varžos psichometrai, taip pat plaukiniai arba plėveliniai higrometrai. Naudojant higrometrus, į matavimo pultą perduodamas rodyklės (ūselio) pasislinkimui proporcingas signalas. Visi šie davikliai taip pat leidžia nenutrūkstamai registruoti oro drėgnumą kartu fiksuojant jo ekstremumus. Kai kuriose automatinėse stotyse varžos psichometrai naudojami ne tik oro drėgnumui, bet ir oro temperatūrai matuoti. Didžioji dalis daviklių matuoja santykinį oro drėgnumą $\pm 2\%$ tikslumu.

Atmosferos slėgis matuojamas vakuuminėmis membraninėmis dėžutėmis, membranomis, vamzdinėmis spyruoklėmis. Membraninių dėžučių bei jų blokų veikimas aptartas anksčiau, todėl šiame skyriuje jo plačiau neanalizuosime. Prietaisai su membranomis ir spyruoklėmis paprastai naudojami kartu su membraninėmis dėžutėmis arba skysčio barometrais (todėl juos derėtų skirti prie antrinių keitiklių). Jie veikia tokiu principu: vienas membranos arba spyruoklės galas nejudamai pritvirtintas prie daviklio pado, o antras – prie membraninės dėžutės arba barometriniame vamzdyje skysčio paviršių dengiančios plokštelės. Tai ypač tikslūs davikliai, matuojantys atmosferos slėgį itin plačiame diapazone.

Kritulių kiekis automatinėse stotyse matuojamas davikliais su sūpuokliniu mechanizmu. Populiariausi davikliai, vienoje kaušelio pusėje sukaupiantys 0,2 arba 0,25 mm sluoksnį atitinkantį kritulių kiekį. Daugumos jų matavimo tikslumas $\pm 1\%$.

Kai kurios automatinės meteorologijos stotys matuoja ir garavimą iš vandens bei dirvos paviršių. *Garavimas iš vandens*

paviršiaus dažniausiai matuojamas garomačiais su nedidelėmis (200 – 500 cm² ploto) vandens pripildytomis lėkštelėmis, pastatytomis ant svarstyklių. Dėl mažo garintuvo ploto šių prietaisų tikslumas – menkas ($\pm 10\%$ per parą). Tačiau garavimo iš vandens paviršiaus matavimai labai vertingi, kai siekiama nustatyti vandens, išgaravusio iš šildomo kritulmačio su sūpuokliniu mechanizmu kiekį. Tuomet, pastačius analogiško kritulmačio angai ploto garinimo lėkšteles, galima $\pm 1\%$ tikslumu išmatuoti dėl papildomo šildymo išgaravusį ir kritulmačio kaušelių nepasiekusį kritulių kiekį. Vieninteliai dabar naudojami *davikliai garavimui iš dirvos paviršiaus* nustatyti – hidrauliniai garomačiai. Jie taip pat nepasižymi dideliu tikslumu, nes neįvertinamas prasisunkęs per dirvožemio sluoksnį vanduo. Tačiau, automatiniai garavimo (tiek iš dirvos, tiek iš vandens paviršiaus) matavimai patogūs tuo, kad kartu įvertinamas ir kritulių kiekis, todėl matavimų pulte rodomos informacijos nereikia papildomai apdoroti.

Vėjo rodikliai automatinėse meteorologijos stotyse matuojami anemorumbometrais, kurių veikimo principą detaliai aptarėme anksčiau. Būtina pridurti tik tai, kad šiuo metu vis populiariesni tampa anemorumbometrai su taurelių malūnėliais (tradiciniuose anemorumbometruose montuojami orasraigčiai). Kai kurie specifiniams tyrimams skirti anemorumbometrai gali įvertinti ne tik horizontalią bet ir vertikalią vėjo sudedamąją. Šiuolaikinių anemorumbometrų tikslumas – labai didelis: jie $\pm 1\%$ matuoja horizontalaus, $\pm 3\%$ – vertikalaus vėjo greitį ir $\pm 2^\circ$ – vėjo kryptį.

Saulės radiacijos matavimo davikliai automatinėse meteorologijos stotyse – tradiciniai. Jose naudojami ir pirheliometrai, įvairūs piranometrai, albedometrai, aktinometrai. Be to, tokiose stotyse neretai atliekama daug papildomų aktinometrinių matavimų: matuojama radiacija atskirose spektro dalyse, apšviestumas. Tam naudojami pirgeometrai, liuksmetrai, ultravioletinės radiacijos matuokliai. Daugelis šių prietaisų automatinėse stotyse patobulinti, – turi specifines, itin jautrias termobaterijas, specialias ventiliacijos sistemas. Kai kuriose stotyse naudojami ir tobulesnės konstrukcijos aktinometrinių prietaisų parodymų integratoriai. Piranometrai, pirheliometrai, aktinometrai ir albedometrai matuoja radiaciją ± 1 – $\pm 3\%$ tikslumu. Radiaciją

atskirose spektro dalyse matuojančių prietaisų tikslumas mažesnis: jis svyruoja nuo ± 5 iki $\pm 8\%$.

Be minėtų elementų daugelyje automatinių meteorologijos stočių įvertinama ir *oro kokybė*. Paprastai jose įrengiami specialūs davikliai anglies monoksido, sieros vandenilio, sieros dvideginio, chloro ir kitų dujų koncentracijai atmosferos ore nustatyti.

Kitų meteorologinių elementų matavimai automatizuoti nuo seno arba yra itin specifiniai ir automatinėse meteorologijos stotyse nenaudojami, todėl jų plačiau neaptarinėsime.

10.3. Informacijos pateikimo formos distancinėse ir automatinėse meteorologijos stotyse

Automatinės meteorologijos stotys paprastai matuoja meteorologinius elementus žymiai dažniau nei to reikalauja Pasaulinės meteorologijos organizacijos vienai ar kitai charakteristikai nustatyti matavimo terminai. Nemažai elementų yra matuojama nenutrūkstamai. Todėl jų gaunamos informacijos pateikimo forma priklauso pirmiausiai nuo vartotojų poreikių.

Skiriamos dvi pagrindinės informacijos pateikimo formos.

- 1) Stotį aptarnaujantys darbuotojai periodiškai (paprastai nustatytų stebėjimo terminų metu, o esant reikalui – ir dažniau) įsijungia atskirų daviklių matavimo pultus ir pagal jų parodymus nustato matuojamų rodiklių reikšmes.
- 2) Informacija nuolat kaupiama automatinės stoties atminties bloke (dabar tarp šio tipo įrenginių populiariausi įvairūs kompiuterių diskai) iš kurio stotį aptarnaujantys žmonės gali bet kada ją išsiimti.

Būtina pastebėti, jog šios informacijos pateikimo formos gali būti naudojamos ne tik atskirai, bet ir kartu. Tai yra, stebėtojas gali gauti momentinę informaciją apie jį dominančius rodiklius nesutrikdydamas jos kaupimo atminties bloke proceso.

Pirmu atveju (matuojant tiesiogiai prie daviklių prijungtais pultais) gaunama labiau operatyvi, bet ne visada pilna, o kartais ir ne iki galo apdorota informacija. Tuo tarpu informacija, gauta iš kompiuterio atminties bloko, leidžia įvertinti ne tik momentines rodiklių reikšmes, bet ir jų kaitą. Ji ypač patogi tuo, kad tinkama apdorojimui tame pačiame kompiuteryje, kuriame ir kaupiama. Be to, šiuo atveju galima pasirinkti tiek skaitmeninę, tiek grafinę

išraiškos formas, o esant reikalui norimas lenteles bei grafikus atspausdinti ir pateikti kitiems vartotojams. Rajonuose, kur dėl meteorologinių sąlygų kaitos dažnai kyla pavojingų reiškinių, plėtojamas ir atminties blokuose sukauptos informacijos perdavimas kompiuteriniais tinklais į aukštesnio rango meteorologijos centrus, kuriuose ją operatyviai įvertina specialistai.

PRIEDAI

1 PRIEDAS. TARPTAUTINĖ VIENETŲ SISTEMA (SI)

Pagrindiniai SI sistemos vienetai

Metras – kelio, kurį šviesa įveikia vakuume per 1/299792458 sekundės, ilgis.

Kilogramas lygus tarptautinio kilogramo prototipo masei.

Sekundė lygi 9192631770 spinduliavimo, atitinkančio perėjimą tarp dviejų superplonų cezio-133 pagrindinės būsenos lygių, periodams.

Amperas lygus pastovios srovės, kuri tekėdama dviem lygiagrečiais begalinio ilgio ir labai mažo skersinio ploto laidininkais, išdėstytais vakuume 1 m atstumu vienas nuo kito, sukeltų kiekvienoje 1 m ilgio laidininko atkarpoje sąveikos jėgą, lygią $2 \times 10^{-7} H$ (H – magnetinio lauko įtampa), stiprumui.

Kelvinas lygus 1/273,16 termodinaminės trigubo vandens taško temperatūros.

Kandela lygi šviesos stiprumui viena kryptimi nuo monochromatinį 540×10^{12} Hz dažnio spinduliavimą skleidžiančio šaltinio, kurio šviesos energetinė vertė sudaro 1/683 vato erdviniame 1 steradiano kampe.

Molis lygus sistemos, turinčios tiek pat struktūrinių elementų kiek yra atomų deguonyje-12, kurio masė yra 0,012 kg, medžiagos kiekiui. Naudojant molį struktūriniai elementai turi būti specifikuoti ir gali būti atomais, molekulėmis, elektronais ir kitomis dalelėmis arba specifikuotomis jų grupėmis.

1 lentelė. Pagrindiniai SI sistemos vienetai ir juos žymintys simboliai.

Dydis		Vienetas	
Pavadinimas	Simbolis	Pavadinimas	Žymėjimas
Ilgis	L	Metras	M
Masė	M	Kilogramas	Kg
Laikas	T	Sekundė	S
Elektros srovės stiprumas	I	Amperas	A
Termodinaminė temperatūra	Θ	Kelvinas	K
Šviesos stiprumas	J	Kandela	Cd
Medžiagos kiekis	N	Molis	Mol

Papildomi SI sistemos vienetai

Papildomi SI sistemos vienetai skirti erdviniams ir paprastiems kampams matuoti.

Radianas (rad) lygus kampui tarp dviejų spindulių, apskritimo dalies ilgis tarp kurių yra lygus spindulių ilgiui.

Steradianas (sr) lygus erdviniam kampui su viršūne sferos centre, kurio ribojamos sferos paviršiaus dalies plotas lygus plotui kvadrato, kurio kraštinės ilgis toks pats kaip ir sferos spindulio.

Išvestiniai SI sistemos vienetai

Išvestinių SI sistemos vienetų apibrėžimai sudaryti remiantis ryšiais tarp pagrindinių ir papildomų SI sistemos vienetų. Todėl žemiau pateikiami tik svarbesnių išvestinių vienetų pavadinimai, žymėjimas bei simboliai.

2 lentelė. Išvestiniai SI sistemos vienetais ir juos žymintys simboliai.

Dydis		Vienetas	
Pavadinimas	Simbolis	Pavadinimas	Žymėjimas
Plotas	L^2	Kvadratinis metras	m^2
Tūris	L^3	Kubinis metras	m^3
Greitis	LT^{-1}	Metras per sekundę	m/s
Tankis	$L^{-3}M$	Kilogramas kubiniame metre	kg/m^3
Dažnis	T^{-1}	Hercas	Hz
Jėga	LMT^{-2}	Niutonas	N
Slėgis	$L^{-1}MT^{-2}$	Paskalis	Pa
Galia	L^2MT^{-3}	Vatas	W
Elektros įtampa	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	Voltas	V
Elektros talpa	$L^2M^{-1}T^4I^2$	Farada	F
Elektros varža	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	Omas	Ω
Magnetinė indukcija	$MT^{-2}I^{-1}$	Tesla	Tl
Šviesos srautas	J	Liumenas	lm
Apšviestumas	L^2J^{-1}	Liuksas	lk
Energija	L^2MT^{-2}	Džaulis	J
Šilumos imlumas	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$	Džaulis kelvine	J/K

Priešdėliai ir daugikliai stambesnių ir smulkesnių vienetų sudarymui

Visi pagrindiniai, papildomi ir išvestiniai SI sistemos vienetai dešimtainės sistemos pagrindu gali būti redukuojami į stambesnius arba smulkesnius. Tuo tikslu naudojami prie atraminio vieneto pavadinimo pridedami priešdėliai, kiekvienas iš kurių atitinka tam tikrą daugiklį. Todėl, žinant priešdėlių pavadinimus (jie yra standartizuoti tarptautiniu mastu), nesunku nustatyti ryšį tarp to paties dydžio matavimui skirtų, bet skirtingų savo eiliškumu vienetų. Būtina atkreipti dėmesį į tai, jog SI sistemoje ne visi vienetai yra atraminiai. Antai, masės vienetas kilogramas sudarytas iš priešdėlio kilo ir atraminio (bet nelaikomo pagrindiniu SI sistemoje) vieneto pavadinimo gramas.

3 lentelė. Priešdėliai ir daugikliai stambesnių ir smulkesnių vienetų sudarymui bei jų žymėjimas.

Daugiklis	Priešdėlis	Priešdėlio žymėjimas	Daugiklis	Priešdėlis	Priešdėlio žymėjimas
10^{18}	eksa	E	10^{-1}	deci	d
10^{15}	peta	P	10^{-2}	centi	c
10^{12}	teta	T	10^{-3}	mili	m
10^9	giga	G	10^{-6}	mikro	μ
10^6	mega	M	10^{-9}	nano	n
10^3	kilo	K	10^{-12}	piko	p
10^2	hekto	H	10^{-15}	femto	f
10^1	deka	Da	10^{-18}	ato	a

2 PRIEDAS. METEOROLOGINIUOSE PRIETAISUOSE DAŽNIAU NAUDOJAMŲ METALŲ LYDINIŲ CHEMINĖ SUDĖTIS

4 lentelė. Dažniausiai meteorologinių prietaisų gamybai naudojamų metalų lydinių cheminė sudėtis.

Lydinys	Cheminė sudėtis
Aliumelis	95% Ni + 5% Al, Si, Mg
Konstantanas	60% Cu + 40% Ni
Kopelis	56% Cu + 44% Ni
Manganinas	84% Cu + 13% Mn + 2% Ni + 1% Fe
Nichromas	80% Ni + 20% Cr
Chromelis	90% Ni + 10% Cr

3 PRIEDAS. REIŠKINIŲ PRISKYRIMO PAVOJINGIEMS ARBA STICHINIAMS KRITERIJAI

Ivairiose šalyse nustatyti skirtingi atmosferos reiškinių priskyrimo pavojingiems ar stichiniams kriterijai. Tai priklauso nuo šalies geografinės padėties, klimato, ūkio struktūros ir pan. Be to skirtingose šalyse reiškinių pavojingumui apibūdinti, priklausomai nuo susiklosčiusios tradicijos, naudojami skirtingi terminai: pavojingas, labai pavojingas, stichinis, katastrofinis. Lietuvoje šiuo metu patvirtinti atmosferos reiškinių priskyrimo stichiniams ir katastrofiniams kriterijai.

5 lentelė. Lietuvoje galiojantys atmosferos reiškinių priskyrimo stichiniams ir katastrofiniams kriterijai* (patvirtinti Lietuvos Respublikos Vyriausybės 1992 06 05 potvarkiu Nr. 554).

Reiškinys	Kada tampa stichiniu	Kada tampa katastrofiniu
Vėjas (škvalas, viesulas)	Kai maksimalus greitis viršija 30 m/s	Kai maksimalus greitis viršija 35 m/s
Lietus	Kai per 12 val. iškrenta 50 mm ir daugiau kritulių	Kai per 12 val. iškrenta 80 mm ir daugiau kritulių
Sniegas	Kai per 12 val. iškrenta 20 mm ar daugiau kritulių	Kai per 12 val. iškrenta 30 mm ar daugiau kritulių
Pūga	Kai trunka 12 val. ir ilgiau, o vidutinis vėjo greitis viršija 15 m/s	Kai trunka parą ar ilgiau, o vidutinis vėjo greitis viršija 20 m/s
Lijundra,	Lijundra – kai apšalo storis ant lijundros matuoklės viršija 20 mm	—
Sudėtinis apšalas	35 mm ir storesnis	—
Smarkus speigas	Kai minimali oro temperatūra -30 °C ir žemesnė	Kai minimali oro temperatūra -30 °C ir žemesnė 3 paras ir ilgiau
Tirštas rūkas	Kai 12 val. ir ilgiau matoma mažesniu nei 100m. atstumu	—
Smarki kruša	Kai ledėkų skersmuo didesnis nei 20 mm	—

*Visi reiškiniai, viršijantys stichiniams reiškiniams nurodytas pavojingumo ribas, laikomi stichiniais jei išplinta daugiau nei trečdalyje Lietuvos teritorijos. Kitais atvejais šie reiškiniai laikomi lokaliai stichiniais (pavojingais). Atmosferos reiškiniai laikomi katastrofiniais ir gali sukelti ypatingą situaciją tik tais atvejais, jei viršija katastrofiniams reiškiniams nurodytas pavojingumo ribas ir išplinta daugiau nei trečdalyje Lietuvos teritorijos. Kitais atvejais jie laikomi stichiniais reiškiniais.