



TARTU RIIKLIK ÜLIKOOL

METEOROLOGIA
ÜLDPRAKTIKUMI
TÖÖJUHENDID

Koostanud H. Mürk

TARTU 1974

TARTU RIIKLIK ÜLIKOOL

Üldfüüsika kateeder

METEOROLOOGIA
ÜLDPRAKTIKUMI
TÖÖJUHENDID

Koostanud H. Mürk

TARTU 1974

Kinnitatud Füüsika-Keemiateaduskonna
nõukogus 18.veebruari 1972.

Lugupidav
vastuvale toimetajale
dots. K. Kudule

Tartus, 17 IV 74.

H. Mürk

S a a t e k s

Käesolev "Meteoroloogia üldpraktikumi tööjuhendid" on eeskätt mõeldud kasutamiseks geograafiaosakonna esimese kursuse üliõpilastele ja seepärast sisaldab vihk peamiselt Nõukogude Liidu Kõrgema ja Keskerihariduse Ministeeriumi poolt 1970.a. kinnitatud meteoroloogia ja klimatoloogia kursuse programmis ülikoolidele loetletud praktiliste tööde juhendeid. Kuid mõned kõrvalekaldumised mainitud tööde loetelust siiski esinevad. On ära jäetud iseseisva tööna temperatuuri mõõtmine, mida tehakse meteoroloogia praktikumile eelnenud füüsika praktikumis ja õhuniiskuse määramise töös käesolevas juhendis. Juurde on võetud uute töödena, mida tavaliselt meteoroloogia üldpraktikumi juhendites ei leidu, atmosfääri läbipaistvuse karakteristikute arvutamine (töö 4, viimane osa) ja lühiajaliste vaatlusriidade taandamine pikale perioodile (töö 11). Nendest esimene - kui kasutada aktinomeetrilist lükatit või nomogrammi - on originaalne.

Et üliõpilaste meteoroloogia-alased eelteadmised on tagasihoidlikud (sageli tuleb töö teha enne, kui loengul vastavat küsimust käsitletakse), siis on töö sisulise külje mõistmise huvides kaunis palju ruumi pühendatud teoreetilisele osale.

Meteoroloogia seisukohalt põhiliste tööde (õhurõhk, õhuniiskus, tuul, pilved, sademed jt.) osas võib käesolevat juhendit kasutada ka teistes kõrgemates (näit. EPA-s) ja keskerihariduslikes koolides, kus õpetatakse meteoroloogiat.

K o o s t a j a

1. AJA MÄÄRAMINE

1. Tööülesanne

Tutvuda ajasüsteemidega ja osata üle minna ühest ajasüsteemist teise. Konkreetselt on töö ülesandeks arvutada Moskva dekreediaja järgi tõeline ja keskmine päikeseaeg ning vastupidi - tõelise ja keskmise päikeseaja järgi Moskva dekreediaeg.

2. Töövahendid

Tartu Tähetorni kalender.

3. Ajasüsteemid ja nendevahelised seosed

Meteoroloogias kasutatakse mitmeid ajasüsteeme: tõelist ja keskmist päikeseaega, võõndiaega, Moskva dekreediaega ja maailmaaega. Seepärast on tarvis tunda nimetatud ajasüsteeme ja nendevahelisi seoseid.

Ajaarvamise aluseks on Päikese liikumine taevafääril, mis on tingitud Maa pöörlemisest ümber oma telje.

Ajavahemikku tõelise Päikese kahe teineteisele järgneva kulminatsiooni (meridiaanist ülemineku) momentide vahel nimetatakse tõeliseks päikeseööpäevaks. Ülemise kulminatsiooni momendil (Päike asub kõige kõrgemal) on tõeline päikeseaeg täpselt 12^h (tõeline keskpäev); tõeline päikeseööpäev algab (0^h) momendil, millal Päike asub alumises kulminatsioonis.

Mõttes aasta jooksul tõeliste päikeseööpäevade pikkusi, selgub, et need ei ole võrdsed. Selline tõeliste päikeseööpäevade ebavõrdsus on tingitud 1) ekliptika kaldest ekvaatori suhtes ja 2) Maa ebaühtlasest liikumisest Päikese ümber. Nimetatud asjaolu tõttu ei ole otstarbekas võtta aja määramisel aluseks tõelise päikeseööpäeva pikkust.

On kokku lepitud kasutada aja määramisel nn. "keskmist" päikeseõöpäeva, mille all mõistetakse ajavahemikku "keskmise" Päikese kahe teineteisele järgneva kulminatsioonimomendi vahel. "Keskmise" Päikese all mõistetakse fiktiivset (näivat) Päikest, mis liigub ekvaatorit mööda ühtlaselt, kusjuures tõeline ja "keakmine" päikeseaasta on võrdsed. Ka kõik keakmised päikeseõöpäevade pikkused on omavahel võrdsed (tõeliste päikeseõöpäevade pikkuste keskmine aasta jooksul). Õeldust järgneb, et keskmised ja tõelised päikeseõöpäevade pikkused erinevad üksteisest; nende vahet nimetatakse ajavõrrandiks.

Aega, mida määratakse tõelise päikeseõöpäeva järgi, nimetatakse tõeliseks päikeseajaks ja aega, mida määratakse keskmise päikeseõöpäeva järgi, - kohalikuks keskmiseks päikeseajaks. Nimetatud ajad on omavahel seotud võrdusega

$$\begin{aligned} \text{kohalik keskmine päikeseaeg} &= \\ &= \text{tõeline päikeseaeg} + \text{ajavõrrand.} \end{aligned}$$

Tähistades kohalikku keskmist päikeseaega t_k , tõelist päikeseaega T_0 ja ajavõrrandit η , saame

$$t_k = T_0 + \eta. \quad (1)$$

Sellest seosest järgneb

$$\eta = t_k - T_0. \quad (2)$$

s.t. ajavõrrand on kohaliku keskmise ja tõelise päikeseaja vahe. Ajavõrrand ei ole konstantne suurus, vaid muutub aasta jooksul +14 min. (veebruari keskel) kuni -16 min. (novembri algul). Ajavõrrand on null, s.t. kohalik keskmine ja tõeline päikeseaeg ühtivad, aprilli ja juuni keskel, septembri algul ja detsembri lõpul (25. ja 26. det.). Ajavõrrandi väärtus iga päeva kohta (koos märgiga) leidub astronoomilistes kalendrites; meil Eestis (Tartu jaoks) kohalikul keskpäeval "Tähetorni Kalendris".

Teades ajavõrrandit saab valemile (1) toetudes arvutada kohaliku keskmist aega tõealise päikeseaja järgi ja vastupidi - tõealist päikeseaega kohaliku keskmise aja järgi.

Et tõealine ja keskmine päikeseaeg on seotud tõealise või fiktiivse keskmise Päikese läbimise momendiga antud meridiaantasandist, siis igal meridiaanil on isesugune tõealine ja kohalik aeg (siit tulenebki nimetus "kohalik keskmine päikeseaeg"). Igapäevases elus on selliste ajasüsteemide, mis igal meridiaanil on erinev, kasutamine tülikas ja seepärast on praktikas tarvitusele võetud nn. võõndiaeg.

Et Maa teeb oma telje ümber täispöörde 24 tunniga, jagatakse kogu Maakera pind meridiaanidega 24-ks võrdseks (15° laiusteks) võõndiks. Antud võõndit poolitava (võõndi keskmise) meridiaani kohaliku keskmist aega, mis kogu võõndi ulatuses loetakse ühesuguseks, nimetatakse võõndiajaks. Selliselt defineeritud kahe naabervõõndi võõndiajad erinevad teineteisest ühe tunni võrra: idapoolse võõndi aeg on ühe tunni võrra ees läänepoolsest naabervõõndi ajast.

Alg- ehk nullvõõndi keskmiseks meridiaaniks on võetud Greenwich'i meridiaan; selle võõndi rajad on $7,5^{\circ}$ Greenwich'ist ehk nullmeridiaanist lääne ja ida poole. Nullvõõndi võõndiaega nimetatakse maailmaajaks (ka Greenwich'i ajaks). Järgmise idapoolse võõndi, mida nimetatakse I ajavõõndiks, keskmine meridiaan asub 15° nullmeridiaanist ida pool (võõndi rajad $7,5^{\circ}$ kuni $22,5^{\circ}$ idapikkust). Selle võõndi aeg on 1 tunni võrra ees nullvõõndi ajast. Veelgi ida poole tulevad II, III, IV jne. ajavõõndid, millede keskmised meridiaanid on vastavalt 30° , 45° , 60° jne. idapikkust, ning nende võõndite võõndiajad on vastavalt 2, 3, 4 jne. tunni ees maailmaajast.

Tegelikud ajavõõndite piirid ühtivad meridiaanidega, mis asuvad keskmistest meridiaanidest $7,5^{\circ}$ võrra lääne ja ida pool ainult ookeanidel ja väheasustatud kohtades; mujal on arvestatud administratiivseid ja looduslikke piire.

Vastavalt Nõukogude Liidu Rahvakomissaride Nõukogu dekreedile 16. juulist 1930.aastast on Nõukogude Liidus amet-

likult kehtiv nn. dekreediaeg, mis on 1 tunni võrra ees vastava vööndi ajast:

$$\text{dekreediaeg} = \text{vööndiaeg} + 1 \text{ tund.}$$

Meil Eesti NSV-s on kehtiv Moskva dekreediaeg (lühidalt Moskva aeg). Et Moskva asub II ajavööndis, siis on Moskva aeg 3 tunni võrra ees maailmaajast.

Moskva dekreedid- ja kohalik keskmine aeg on seotud võrdusega

$$t_M = t_k + (3 \text{ tundi} - \lambda), \quad (3)$$

kus t_M on Moskva dekreediaeg,
 t_k kohalik keskmine aeg ja
 λ koha idapikkus ajaühikutes.

Kui koha idapikkus λ on antud nurgaühikutes (nurgakraad, -minut, -sekund), siis üleminekul ajaühikutele tuleb arvestada asjaolu, et

1°	vastab	4 min.,
1'	"	4 sek. ja
1"	"	1/15 sek.

Silmas pidades tõeselise ja kohaliku keskmise päikeseaaja vahelist seost, saab lihtsalt tuletada järgmised võrdused:

$$t_k = t_M - (3 \text{ tundi} - \lambda); \quad (4)$$

$$t_M = \tau_0 + \eta + 3 \text{ tundi} - \lambda; \quad (5)$$

$$\tau_0 = t_M - (3 \text{ tundi} - \lambda + \eta); \quad (6)$$

$$\lambda = \tau_0 + 3 \text{ tundi} + \eta - t_M. \quad (7)$$

Antud koha puhul on λ konstantne, seega on muutumatu ka vahe 3 tundi - λ .

Meteoroloogilisi vaatlusi tehakse teatud kindlatel kellaegadel kohaliku keskmise aja järgi. Moskva dekreediajale ümberarvutamisel tuleb kasutada seost (3).

Tõelist päikeseaega läheb meteoroloogias tarvis ilma-
kaarte ja Päikese kõrguse määramiseks kellaaaja järgi. Tõe-
lisel keskpäeval asub Päike täpselt lõunas ja vertikaalsete
esemete varjud suunduvad sel hetkel põhja.

4. Töö kõik

Töö konkreetseks ülesandeks on anda vastused järgmis-
tele küsimustele.

1. Milline on praegusel hetkel antud kohas (Tartus, Tallinnas, Teie kodukohas) kohalik ja keskmine päikeseaeg?
2. Mis kellaajal Moskva dekreediaja järgi kulmineerib täna Päike antud kohas?
3. Milline on Moskva dekreediaeg antud kohas, kui vast-
lusi tehakse kohaliku keskmise aja järgi kell 1^h,
4^h, 7^h, 10^h, 13^h, 16^h, 19^h ja 22^h ?
4. Joonistada ajavõrrandi aastane kõik "Tähetorni Ka-
lendri" andmete järgi.
Koha idapikkuse annab juhendaja.

Küsimusi

1. Mis on tõeline, keskmine kohalik ja Moskva dekreedia-
aeg ning kuidas on need ajasüsteemid omavahel seotud?
2. Millest on tingitud ajavõrrand ja mida ta näitab?
3. Millal langevad tõeline ja kohalik keskmine päike-
seaeg kokku?
4. Millist mõju avaldab ajavõrrand hommiku- ja õhtu-
poole pikkusele? Millal on hommikupool pikem õhtu-
poolest ja millal on olukord vastupidine?
5. Milline on seos kohaliku keskmise ja maailmaaja va-
hel; tõelise päikeseaja ja maailmaaja vahel?
6. Kui suur on täna maksimaalne Päikese kõrgus Tartus,
Tallinnas, Teie kodukohas?

2. ÕHURÕHU MÄÄRAMINE

1. Tööülesanne

Tutvuda elavhõbebaromeetrite, metallbaromeetri (aneroidi) ja barograafi ehitusega ja leida parandatud õhurõhk ning taandada see merepinnale.

2. Töövahendid

Anumbaromeeter, aneroid ja barograaf; termomeeter (Assmanni psühromeeter) välise temperatuuri mõõtmiseks.

3. Õhurõhu ühikud

Õhurõhuks nimetatakse jõudu ühele pinnauhikule (m^2 , cm^2), mida tekitab antud pinnalt kuni atmosfääri ülemise piirini ulatuv õhusamba kaal. Teisiti öeldes - õhurõhk on võrdne atmosfääri ülemise piirini ulatuva õhusamba kaaluga, mis asub ühe pinnauhiku kohal.

Varem mõõdeti õhurõhku elavhõbedasamba kõrgusega millimeetrites (lüh. mm Hg). Selline rõhuühik on tinglik väljendus mõttele, et õhurõhk elavhõbedasamba millimeetrites (mm Hg) tähendab rõhku, mida tekitab antud kõrgusega elavhõbedasammas.

Et elavhõbedasamba kõrgus ei sõltu ainult õhurõhust, vaid ka temperatuurist ja raskuskiirendusest, siis erinevate temperatuuride ja raskuskiirenduste juures mõõdetud rõhkude võrdlemiseks taandatakse rõhk temperatuurile $0^{\circ}C$ ja normaalsele raskuskiirendusele $g_n = 9,80665 \text{ ms}^{-2}$. Õhurõhku 760 mm Hg $0^{\circ}C$ ja normaalse raskuskiirenduse juures nimetame normaalrõhku.

Alates 1930.aastast kasutatakse meteoroloogias õhurõhu ühikuna millibaari (mb), kusjuures

$$1 \text{ mb} = 1000 \frac{\text{düümi}}{\text{cm}^2},$$

mis on 0,001 osa baarist (b). Seega

$$1 \text{ b} = 1000 \text{ mb} = 1\,000\,000 \frac{\text{d\u00fc\u00fcn\u00e4}}{\text{cm}^2} .$$

Seose mm Hg ja millibaaride vahel leiame j\u00e4rgmiselt. Olgu toru ristl\u00f5ike pindala $S \text{ cm}^2$. Kui elavh\u00f5bedasamba k\u00f6rgus 0° C juures on 76 cm ning elavh\u00f5beda tihedus $\rho = 13,595 \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)$, siis selle samba kaal on

$$76 \cdot S \cdot \rho \cdot g_n = 76 \cdot S \cdot 13,595 \cdot 980,665 = \\ = 1013250 \text{ S (d\u00fc\u00fcn\u00e4)} .$$

Et r\u00f5hk on j\u00f5ud \u00fche pinnat\u00fchiku kohta, siis normaalr\u00f5hk

$$760 \text{ mm Hg} = 1013250 \frac{\text{d\u00fc\u00fcn\u00e4}}{\text{cm}^2} .$$

Kuna $1 \text{ mb} = 1000 \frac{\text{d\u00fc\u00fcn\u00e4}}{\text{cm}^2}$, siis

$$760 \text{ mm Hg} = 1013,25 \text{ mb} .$$

Jagades selle v\u00f5rduse m\u00f5lemaid pooli 760-ga, saame

$$1 \text{ mm Hg} = 1,333 \text{ mb} \approx \frac{4}{3} \text{ mb} ; \quad (1)$$

v\u00f5i jagades m\u00f5lemaid pooli 1013,25, leiame, et

$$1 \text{ mb} = 0,7501 \text{ mm Hg} \approx \frac{3}{4} \text{ mm Hg} . \quad (2)$$

Seosed (1) ja (2) v\u00f5imaldavad h\u00f5lpsasti millimeetrites antud r\u00f5hku \u00fcmber arvutada millibaaridesse ja vastupidi.

Rahvusvahelises m\u00e4\u00f5t\u00fchikute s\u00fcsteemis (SI) on r\u00f5hu\u00fchikuks $1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$. Et $1 \text{ N} = 10^5 \text{ d\u00fc\u00fcn\u00e4}$ ja $1 \text{ m}^2 = 10^4 \text{ cm}^2$, siis

$$1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{10^5 \text{ d\u00fc\u00fcn\u00e4}}{10^4 \text{ cm}^2} = 10 \frac{\text{d\u00fc\u00fcn\u00e4}}{\text{cm}^2} . \text{ Samuti, silmas pidades, et}$$

$$1 \text{ mb} = 1000 \frac{\text{d\u00fc\u00fcn\u00e4}}{\text{cm}^2} , \text{ saab kirjutada}$$

$$1 \frac{N}{m^2} = 0,01 \text{ mb} \quad (3)$$

või

$$1 \text{ mb} = 100 \frac{N}{m^2} . \quad (4)$$

Seega normaalrõhk on

$$760 \text{ mm Hg ehk } 1013,25 \text{ mb ehk } 101325 \frac{N}{m^2} .$$

4. Õhurõhu mõõteriistad

Meteoroloogias mõõdetakse õhurõhku elavhõbebaromeetri, metallbaromeetri (aneroidi) ja barograafiga.

Rõhu mõõtmine elavhõbebaromeetriga põhineb asjaolul, et vedeliku (elavhõbe) samba poolt tekitatud rõhk on tasakaalustatud välise õhurõhu poolt. Kui muutub õhurõhk, peab tõusma või langema elavhõbeda nivoo baromeetri torus; järelikult õhurõhu mõõduks võib võtta elavhõbedasamba kõrguse.

Põhimõtteliselt võiks baromeetri täitevedelikuks olla mistahes vedelik. Tegelikult on baromeetri täitevedelikuks elavhõbe järgmistel põhjustel:

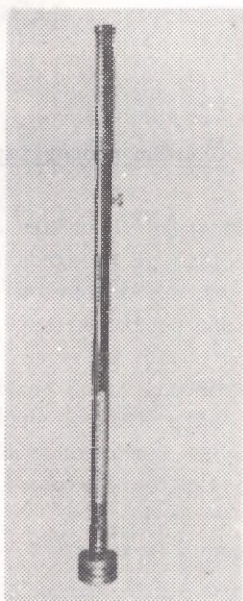
1) elavhõbeda tihedus on suur ($\rho = 13,596 \frac{g}{cm^3}$) ja seetõttu on baromeetri toru pikkus umbes 90 cm (vee korral peaks toru pikkus olema üle 10 m) ja

2) elavhõbeda küllastatud auru rõhk toatemperatuuril on väike.

Meteoroloogias kasutatavad elavhõbebaromeetrid liigitatakse a) anumbaromeetriteks, b) sifoonbaromeetriteks ja c) anum-sifoonbaromeetriteks.

Anumbaromeeter (joon. 1 ja 2a) koosneb kahest põhilisest osast: metallist või plastmassist anumast A ja umbes

90 cm pikkusest klaastorust T, mille ülemine ots on kinni-
ne, alumine lahtine ots aga asub elavhõbedaga pooleldi täi-
detud anumast. Viimane kujutab 3 sektsioonist koosnevat anu-
mat, mille ülemisel kattel on kaks ava: üks baromeetri toru
jaoks, teine aga ühendab anuma ülemises osas elavhõbeda ko-
hal asuvat õhku välise õhuga. Et kaitsta elavhõbeda pinda



Joon. 1. Anubaromeeter.

saastamise eest, on avasse paigutatud logisev kruvi K, mil-
le keermete vahelt õhk pääseb anumasse või sellest välja.

Klaastoru on ümbritsetud metallist (messingist) kait-
setoruga, milles on kaks väljalõiget: alumine termomeetri,

Ülemine elavhõbeda nivoo jälgimise ja kõrguse mõõtmise jaoks. Kaitsetoru vasakul küljel on millibaaride (vanematel baromeetritel millimeetri) skaala S, mille nullpunkt asub anumas oleva elavhõbeda nivoo kõrgusel.

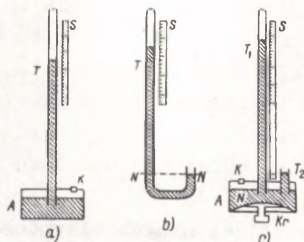
Lugemise täpsuse suurendamiseks on ülemisse väljalõikesse asetatud noonius, mida saab toru paremal küljel leiduva kruvi abil nihutada ülesse või alla. Nooniusse skaala on ehitatud nii, et nullkriips ühtib skaala kandja alumise äärega; 10 nooniusse skaala jaotust on võrdne 9 põhiskaala jaotusega. Seega noonius võimaldab õhurõhku mõõta täpsusega 0,1 mm või mm Hg.

Õhurõhu muutumisel nihkub elavhõbeda nivoo anumas ülesse (rõhk langeb) või alla (rõhk tõuseb). Vastavalt sellele tuleks ka skaala nullpunkti nihutada nivooaga ühtimiseni ülesse või alla. Et vältida skaala nihutamist, on skaala jaotused pisut väiksemad nimiväärtusest (mb-st või mm Hg-st). Ei ole raske näidata, et jaotuse pikkus skaalal on nii palju lühem nimiväärtusest, kui suure osa moodustab toru ristlõige anuma ristlõikest. Meteoroloogias kasutatavate anumbaromeetrite puhul on nimetatud ristlõigete suhe 0,02 ja seega 1 mm Hg-le vastav kriipsu vahe on $1 - 0,02 = 0,98$ mm (mitte 1 mm!).

Sifoonbaromeeter (joon. 2b) koosneb U-kujulisest torust T, mille pikem haru on kinnine, lühem aga lahtine. Väline õhurõhk tasakaalustab alumisest nivooast kõrgemal asuva elavhõbedasamba. Seega õhurõhu määramiseks tuleb ära mõõta elavhõbeda nivoo vaheline kõrgus, kusjuures skaala nullpunkti peab nihutama vastava kruvi abil alumise nivoo kõrgusele N. Järelikult on sifoonbaromeetri skaala liikuv.

Anum-sifoonbaromeeter (joon. 2c) on anum- ja sifoonbaromeetri kombinatsioon. Anumasse ulatuvad kaks toru, millest pikem T_1 on kinnise, lühem T_2 lahtise otsaga. Nivoo vahelise kõrguse mõõtmiseks on liikumatu skaala S, mille jaotuse pikkused vastavad nimiväärtustele (mb, mm Hg). Mõõtmiste algul nihutatakse kruvi Kr abil elavhõbeda nivood lah-tises torus T_2 kuni selle ühtumiseni skaala nullpunktiga.

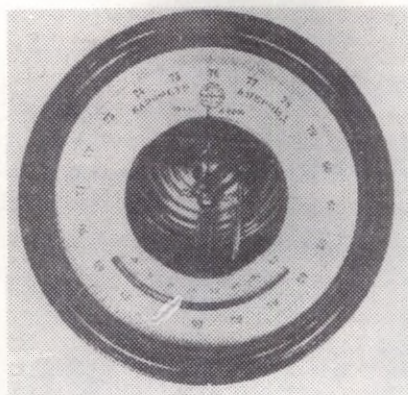
Et õhurõhk toas ja väljas (samal kõrgusel) on ühesugu-



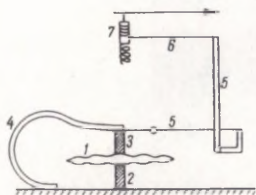
Joon. 2. Elavhõbebaromeetrite skeemid:
 a - anumbaromeeter; b - sifoonbaromeeter;
 c - anum-sifoonbaromeeter.

ne, siis ei ole vajadust paigutada baromeetreid välja; nad asuvad vaatlustoas. Õhurõhu mõõtmise täpsuse huvides tuleb vältida suuremaid temperatuuri kõikumisi baromeetri juures. Seepärast asetatakse baromeeter seinale, eemale küttekolletest ja akendest. Soovitav on baromeetrit hoida erilises baromeetri kapis.

Aneroidi töötamine põhineb metalli elastsel deformatsioonil, mille kutsub esile õhurõhu muutumine. Aneroidi (joon. 3) õhurõhu muutustele reageerivaks osaks on õhutühi lainekujulisest plekist membraankarbi ke 1 (joon. 4), mille keskoht on jäigalt ühendatud samba 3 abil lehtvedru 4 ülemise äärega, kuna alumine äär on ühendatud samba 2 abil aneroidi alusega. Õhurõhu suurenemisel surutakse karbi kaas veidi allapoole, rõhu vähenemisel tõstab lehtvedru kaant ülespoole. Need väikesed kaane nihkumised kantakse kangide süsteemi 5 kaudu suurendatult osutinõela võllile 7. Skaalapladi alumises osas asub termomeeter, mille ülesandeks on mõõta temperatuuri aneroidi sisemuses.



Joon. 3. Aneroidbaromeeter.



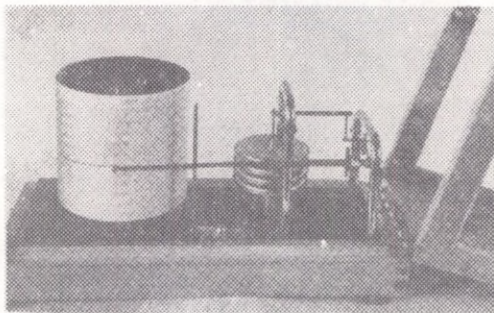
Joon. 4. Aneroidi skeem.

Õhurõhu pidevaks registreerimiseks kasutatakse barograafi. Lihtsa ehituse ja portatiivsuse tõttu on meteoroloogias enamkasutatavaks barograafi tüübiks aneroidbarograaf. See koosneb kolmest põhilisest osast: membraankarbikestest, ülekandemehhanismist ja registreerivast osast (joon. 5). Membraankar-

bikesi on 3 - 10 tükki, mis asetsevad üksteise peal kohakuti ja on omavahel järgalt ühendatud. Selline karbikete sammast toetub alumise otsaga aparadi põhja all asuvale bimetallehekesele, ülemine ots aga on ühendatud vardakese abil ülekandemehhanismiga. Viimane kujutab kangide ja völliide süsteemi, mille ülesandeks on õhurõhu muutustest põhjustatud aneroidi samba ülemise otsa pisinihete suurendamine (80 - 100 korda). Ülekandemehhanism lõpeb pika osutiga, mille ot-

sas on kirjutussulg. See täidetakse mittekuiivava tindiga (tindile on lisatud juurde glütseriini).

Registreeriva osa moodustab silindriline trummel, mille sees on kellamehhanism. Kellamehhanismi ülesandeks on panna trummel pöörlema ümber oma telje perioodiga üks ööpäev või üks nädal. Vastavalt sellele liigitame barograafe ööpäevase või nädalase käiguga barograafideks. Trumlile asetatakse barograafi lint, millele kirjutussulg märgib õhurõhu ööpäevase või nädalase käigu. Lindile trükitud hori-



Joon. 5. Barograaf.

sontaalsed jooned (iga 10 mb tagant) võimaldavad määrata rõhku täpsusega 1 mb ja kaarjad vertikaaljooned aega täpsusega umbes 1 min. (ööpäevase käiguga trumli puhul). Linti, millele on registreeritud rõhu käik, nimetatakse barogramiks.

Barograaf paigutatakse spetsiaalsele lauakesele või riitulile elavhõbebaromeetri lähedal. Riituli või lauakese asukoha valikul tuleb silmas pidada, et riista lähedal ei oleks järske temperatuuri muutusi ja barograafile ei lan-
geks otsest päikese kiirgust.

5. Elavhõbebaromeetri parandused

Baromeetri lugem ei näita veel tegelikku õhurõhku. See saadakse, kui lugemile lisada parandused, mis on tingitud kas baromeetri puudulikust ehitusest või mõõtmistingimustest. Parandused, millega tuleb arvestada, on järgmised: a) baromeetri parandus ΔH_1 , b) baromeetri temperatuuri parandus ΔH_t ja c) raskuskiirendusest tingitud parandus ΔH_g , mis omakorda koosneb geograafilise laiuse ja kõrguse parandustest ΔH_φ ja ΔH_z .

1. Baromeetri parandus, mis antakse riista tunnistuses (passis), määratakse kindlaks antud baromeetri lugemite võrdlemisel etaloonbaromeetri omaga. See parandus on tingitud baromeetri puudulikust ehitusest (Torricelli tühikus on õhku, veeauru; skaala nullpunkt ei ühti elavhõbeda nivooga anumast; skaala jaotused ei ole õiged jne.). Baromeetri parandus võib olla positiivne või negatiivne, s.t. antud baromeetri lugem võib olla väiksem (positiivne parandus) või suurem (negatiivne parandus) kui etaloonbaromeetri lugem. Seega baromeetri parandus taandab puuduliku ehitusega riista lugemi etaloonriista lugemile.

2. Temperatuuri parandus. Elavhõbedasamba kõrgus ei olene ainult rõhust, vaid ka temperatuurist (elavhõbe paisub). Temperatuuri mõju kõrvaldamiseks samba kõrgusele taandatakse lugem mingile kindlale temperatuurile, tavaliselt 0°C . See taandamine toimubki temperatuuri paranduse ΔH_t kaudu.

Silmas pidades elavhõbeda ja skaala erinevat paisumist, saab näidata, et baromeetri temperatuuri parandus

$$\Delta H_t = - kHt_b, \quad (5)$$

kus k on elavhõbeda ja skaala paisumise koefitsientide vahe, H elavhõbedasamba kõrgus ja t_b baromeetri termomeetri näit (arvutuste teostamisel võib t_b võtta täis-

krandides). Valgevasest skaala puhul $k = 0,000163$ ja seega temperatuuri parandus arvutatakse valemi järgi

$$\Delta H_t = - 0,000163 H \cdot t_b. \quad (6)$$

Lisades selle paranduse lugemile, saame

$$H' = H - 0,000163 H \cdot t_b, \quad (7)$$

mis näitab elavhõbedasamba kõrgust temperatuuri 0°C juures.

3. Raskuskiirenduse parandused. Olgu antud kohas elavhõbedasamba kõrgus H , elavhõbeda tihedus ρ ja raskuskiirendus g . Säärasel korral elavhõbedasamba poolt tekitatud rõhk $p = H\rho g$. Rõhk mõnes teises kohas $p' = H' \rho' g'$, kusjuures H' , ρ' ja g' on vastavalt elavhõbedasamba kõrgus, tihedus ja raskuskiirendus. Sama rõhu juures

$$H\rho g = H' \rho' g'$$

ja sama temperatuuri puhul $\rho = \rho'$; seega $Hg = H'g'$

$$\text{ehk} \quad H' = H \frac{g}{g'}. \quad (8)$$

See valem näitab, et sama rõhu ja sama temperatuuri juures oleneb elavhõbedasamba kõrgus raskuskiirendusest. Et kõrvaldada raskuskiirenduse mõju elavhõbedasamba kõrgusele, taandatakse rõhk mingile kindlale, tavaliselt normaalsele raskuskiirendusele $g_n = 9,80665 \text{ m/s}^2$ (raskuskiirendus geograafilisel laiusel $\varphi = 45^\circ$ ja merepinna kõrgusel).

Geofüüsikas näidatakse, et

$$\frac{g}{g_n} = (1 - 0,0026 \cos 2\varphi) (1 - 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot Z), \quad (9)$$

kus φ on koha geograafiline laius ja Z koha kõrgus meetrites merepinnalt.

Asendades valemis (8) raskuskiirenduste suhte $\frac{g}{g_n}$ valemis (9) toodud avaldusega, saame

$$H' = H (1 - 0,0026 \cos 2\varphi)(1 - 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot Z). \quad (10)$$

Avades sulud ja silmas pidades, et $0,0026 \cos 2\varphi \cdot 3,14 \cdot 10^{-7}$ on teist järku väike liige, mida võib ära jätta, saadakse

$$H' = H (1 - 0,0026 \cos 2\varphi - 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot Z)$$

$$\text{ehk } H' = H - 0,0026 H \cos 2\varphi - 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot H \cdot Z. \quad (11)$$

Siit nähtub, et raskuskiirenduse mõju elavhõbedasamba kõrgusele koosneb kahest osast: 1) raskuskiirenduse parandusest

$$\Delta H_{\varphi} = - 0,0026 H \cos 2\varphi, \quad (12)$$

mis on tingitud sellest, et raskuskiirendus sõltub geograafilisest laiuusest, ja 2) raskuskiirenduse parandusest

$$\Delta H_Z = - 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot H \cdot Z, \quad (13)$$

mis on tingitud raskuskiirenduse vähenemisest kõrguse suurenemisel.

Esimene parandus ΔH_{φ} taandab elavhõbedasamba kõrguse sama rõhu ja temperatuuri juures geograafilisele laiusele $\varphi = 45^\circ$, teine aga merepinna kõrgusele. Viimase parandusega ΔH_Z ei tule arvestada, kui koha kõrgus merepinnalt on alla 300 m, sest sel korral $\Delta H_Z = - 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 1000 \cdot 300 = - 0,1$ mb, mis aga on baromeetri lugemi täpsus.

Teades instrumendi parandust ΔH_1 (on antud baromeetri passis), temperatuuri parandust ΔH_t (arvutatakse valemi 6 järgi) ja raskuskiirenduste parandusi ΔH_{φ} ja ΔH_Z (need arvutatakse valemite (12) ja (13) järgi), liidetakse kõik need parandused (silmas pidades paranduste märke) ja saadakse koguparandus.

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_t + \Delta H_p + \Delta H_z \quad (14)$$

Kõik parandused tulevad arvutada täpsusega 0,1 mb. Parandatud õhurõhk saadakse, kui lugemile H liita koguparandus.

$$H_p = H + \Delta H \quad (15)$$

Parandatud rõhk H_p näitab, kui suur oleks õhurõhk, kui meil oleks kasutada etaloonbaromeeter ja mõõtmisi tehtaks 0°C ning normaalse raskuskiirenduse $g_n = 9,80665 \text{ m/s}^2$ juures.

6. Aneroidi parandused

Tingitud riista ehitusest ja temperatuurist tuleb rõhu leidmisel arvestada kolme parandusega: a) skaala, b) temperatuuri ja c) lisaparandusega. Kõik need parandused on antud aneroidi tunnistuses (passis).

1. Skaala parandus ΔA_s on tingitud sellest, et sama seeria aneroidide skaalad on ühesugused (nn. standardskaalad), kuid riista ebatäpse ehituse tõttu (eriti ülekanalimehhanismis) ei ole erinevate aneroidide lugemid sama rõhu ja temperatuuri juures ühesugused. Lühidalt öeldes - skaala parandus on tingitud aneroidide puudulikust ehitusest. Skaala parandus määratakse aneroidi ja anumbaromeetri parandatud lugemite võrdlemise teel.

Skaala parandus antakse riista tunnistuses täiskümnetes mm Hg kohta. Teistele rõhkudele (mitte täiskümned) vastavad parandused leitakse lineaarse interpolatsiooni teel.

2. Temperatuuri parandus ΔA_t on tingitud lehtvedru ja aneroidi karbi kaane elastsuse sõltuvusest temperatuurist. Seepärast on tarvis erinevate temperatuuride juures loetud aneroidi näite taandada temperatuurile 0°C . Taandamisel kasutatakse valemit

$$\Delta A_t = kt_a, \quad (16)$$

kus t_a on aneroidi termomeetri lugem (arvutamisel võib see ümarduda täiskraadideni) ja k aneroidi temperatuuri koefitsient, mis näitab, kui palju muutub aneroidi lugem temperatuuri tõusul 1°C võrra. Konstandi k väärtus on antud riis-ta tunnistuses.

3. Lisaparandus ΔA_1 on tingitud vedru ja karbi kaane jääkdeformatsioonist, mis avaldub selles, et rõhu kiirel muutumisel ja esialgsele rõhule tagasiminekul aneroidi lugem ei ole sama. Lisaparandus määratakse anubaromeetri ja aneroidi lugemite võrdlemise teel, kusjuures anubaromeetri juures on arvestatud kõigi parandustega, aneroidi puhul aga skaala ja temperatuuri parandustega. Selliselt parandatud lugemite vahe annabki lisaparanduse.

Tuleb tähendada, et lisaparandus muutub ajaliselt kiiresti ja seepärast on tarvis aneroidi sageli võrrelda elavhõbebaromeetriga. Baromeetrilisel nivelleerimisel tuleb aneroidi võrrelda baromeetriga enne ja pärast nivelleerimist.

Liites aneroidi lugemile eespool käsitletud parandused, saadakse parandatud rõhk.

7. Õhurõhu taandamine merepinnale

Et õhurõhk väheneb kõrguse suurenemisel, siis on tarvis erinevatel kõrgustel mõõdetud rõhud taandada merepinnale. Rõhu taandamist ühelt kõrguselt teisele võimaldavad baromeetrilised valemid, mis seovad rõhku kõrgusega etteantud temperatuuri vertikaalse jaotuse puhul. Meteorjaamades taandatakse rõhk merepinnale Laplace'i baromeetrilise valemi alusel koostatud tabeli abil. Lihtsamal juhul, kui ei ole nõutav suur täpsus, saab rõhku taandada ühelt kõrguselt teisele baromeetrilise astme abil.

Baromeetriliseks astmeks a nimetatakse kõrgust, mille võrra tuleb laskuda, et rõhk tõuseks ühe ühiku (mb või

mm Hg) võrra. Nagu atmosfäärifüüsikas näidatakse, baromeet-
riline aste

$$a = \frac{8000}{p_m} (1 + \alpha t_m), \quad (17)$$

kus $p_m = \frac{p_1 + p_2}{2}$ on aritmeetiline keskmine ülemise (p_1) ja
alumise (p_2) pinna rõhkudest, $\alpha = \frac{1}{273} \approx 0,004$ õhu ruum-
paisumise koefitsient ja $t_m = \frac{t_1 + t_2}{2}$ aritmeetiline kesk-
mine välise õhu temperatuuridest ülemisel ja alumisel pin-
nal.

Rakendades valemit (17) rõhu taandamiseks merepinnale,
tuleb p_1 all mõista parandatud õhurõhku, p_2 all aga
rõhku merepinnal, mida me ei tea (rõhk merepinnal on otsi-
tav). Seepärast baromeetrilise astme valemit rõhu merepin-
nale taandamisel otseselt kasutada ei saa, küll aga saab
seda teha kaudselt nn. järkjärgulise lähendamise võtte teel,
võtte seisneb selles, et esimeses lähenduses võetakse kesk-
mine rõhk p_m võrdseks parandatud rõhuga p_1 ja väline tem-
peratuur $t_m = 0^\circ$. Neil eeldustel baromeetriline aste

$$a' = \frac{8000}{p_1} \left(\frac{m}{mb} \right). \quad (18)$$

Silmas pidades baromeetrilise astme mõistet, kasvab
rõhk laskumisel Z (koha kõrgus merepinnast) meetrit alla-
poole

$$p' = \frac{Z}{a} \quad (\text{mb})$$

võrra ja seega on rõhk merepinnal esimeses lähenduses

$$p_0' = p_1 + \Delta p' \quad (\text{mb}).$$

Teises lähenduses võtame $p_m = \frac{p_1 + p_0'}{2} = \frac{p_1 + p_1 + \Delta p'}{2} =$

$= p_1 + \frac{\Delta p^1}{2}$ ja $t_m = \frac{t_1 + t_2}{2}$, kus t_2 on õhu temperatuur merepinnal. Mõõtmised näitavad, et õhu temperatuur laskumisel ühe meetri võrra tõuseb keskmiselt $0,006^\circ$ võrra. Seega temperatuur merepinnal $t_2 = t_1 + 0,006Z$, kus t_1 on välise õhu temperatuur antud kõrgusel ja Z koha kõrgus merepinnast meetrites. Siit selgub, et $t_m = \frac{t_1 + t_1 + 0,006Z}{2} = t_1 + 0,003Z$.

Teades p_m ja t_m , arvutatame valemi (17) järgi baromeetrilise astme teises lähenduses - a'' (m/mb). Analoogiliselt esimesele lähendusele leitakse rõhu suurenemine merepinna kõrgusele laskumisel ka teises lähenduses

$$p'' = \frac{Z}{a''} \text{ (mb)}$$

ja rõhk merepinnal teises lähenduses

$$p_0'' = p_1 + \Delta p''.$$

Analoogiliselt talitades võib leida rõhu merepinnal kolmandas ja kõrgemat järku lähenduses, kuid praktiliselt pole seda tarvis teha, sest teise ja esimese lähenduse järgi arvutatud rõhud erinevad ülimalt $0,3$ mb võrra.

N ä i d e. Parandatud rõhk on $1007,2$ mb, välise õhu temperatuur $10,7^\circ$ ja koha kõrgus merepinnalt 70 m. Leida merepinnale taandatud rõhk.

I lähendus:

$$p_m = 1007,2 \text{ mb}, t_m = 0^\circ; a^1 = \frac{8000}{1007,2} = 7,94 \left(\frac{\text{m}}{\text{mb}}\right);$$

$$p^1 = \frac{70}{7,94} = 8,8 \text{ mb};$$

$$p_0^1 = 1007,2 + 8,8 = 1016,0 \text{ mb}.$$

II lähendus:

$$p_m = p_1 + \frac{\Delta p'}{2} = 1007,2 + 4,4 = 1011,6 \text{ mb};$$

$$t_m = 10,7 + 0,003 \cdot 70 = 10,7 + 0,2 = 10,9^\circ;$$

$$a'' = \frac{8000}{1011,6} (1 + 0,004 \cdot 10,9) = 8,25 \left(\frac{\text{m}}{\text{mb}} \right);$$

$$p'' = \frac{70}{8,25} = 8,5 \text{ (mb)};$$

$$p_0'' = 1007,2 + 8,5 = 1015,7 \text{ (mb)}.$$

8. Töö käik

Õhurõhu mõõtmisel elavhõbebaromeetriga tuleb

- 1) ära lugeda temperatuur baromeetri termomeetritilt ja temperatuur väljas (täpsusega $0,1^\circ$);
- 2) koputada kergelt vastu baromeetri kaitsetoru, et elavhõbeda nivoo torus võtaks "õige" asendi;
- 3) lugeda baromeetri näit. Selleks tuleb kõigepealt noonius nihutada toru küljel asuva kruvi abil nii kõrgele, et valgus paistab läbi Torricelli tühiku. Seejärel lasta noonius nii kaua allapoole, kuni nooniusse alumine serv riivab elavhõbeda nivood kõige kõrgemas punktis. Paralleltilise vea vältimiseks peab vaatleja silm, nooniusse alumise osa eesmine ja tagumine serv ning nivoo kõrgeim punkt asuma ühel sirgel. Olles leidnud sellise nooniusse asendi, tuleb teha lugem täpsusega $0,1 \text{ mb}$;
- 4) arvutada baromeetri parandused;
- 5) leida parandatud õhurõhk;
- 6) teadada õhurõhk merepinnale baromeetrilise astme kaudu;
- 7) ümber töödelda üks barogramm.

Töö on soovitatav vormistada järgmise skeemi järgi.
 Õhurõhk Tartus, $\varphi = 58^{\circ}23'$, $Z = 69$ m.

1. Temperatuur: a) baromeetri juures $t_p =$
 b) väljas $t_v =$
2. Baromeetri lugem $H =$
3. Parandused: a) instrumendi parandus $\Delta H_1 =$
 b) temperatuuri parandus $\Delta H_t =$
 c) raskuskiirenduse parandus
 φ järgi ($58^{\circ}23'$) $\Delta H_{\varphi} =$
4. Parandused kokku $\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_t + \Delta H_{\varphi} =$
5. Parandatud õhurõhk $p = H + \Delta H =$
6. Baromeetriline aste esimeses lähenduses $a' =$
7. Õhurõhu parandus esimeses lähenduses $\Delta p' =$
8. Õhurõhk merepinnal " " $p_0' =$
9. Keskmise õhurõhk $p_m = \frac{p_1 + p_0'}{2} = p_1 + \frac{\Delta p'}{2} =$
10. Baromeetriline aste teises lähenduses $a'' =$
11. Õhurõhu parandus teises lähenduses $\Delta p'' =$
12. Õhurõhk merepinnal teises lähenduses $p_0'' =$

Küsimusi

1. Miks on baromeetri täitevedelikuks elavhõbe?
2. Kas on tähtis, et toru ristlõige oleks 1 cm^2 ja igas kohas ühesugune?
3. Mis tingimusel ei tule arvestada temperatuuri parandusega?
4. Miks on meil geograafilisest laiusest tingitud rõhu parandus $\Delta H_{\varphi} > 0$?
5. Miks ei ole meil tarvis arvestada ΔH_z -ga?
6. Mida tähendab parandatud õhurõhk p ?
7. Miks on tarvis õhurõhk taandada merepinnale?
8. Millal on merepinnale taandatud rõhkude vahe $p_0'' - p_0'$ suurim?

3. BAROMEETRILINE NIVELLEERIMINE

1. Tööülesanne

Teostada baromeetriline nivelleerimine etteantud marsruudil ja märkida ilma olukord (pilvede hulk, liik, tuule suund ja kiirus ning muud ilmanähtused) rahvusvaheliste leppemärkide abil.

2. Töövahendid

Aneroid, Assmanni psühhromeeter ja anemomeeter.

3. Baromeetrilise nivelleerimise alused

Baromeetrilise nivelleerimise all mõistetakse kõrguste vahe määramist õhurõhu kaudu. Selle aluseks on meteoroloogias tuntud seos õhurõhu ja kõrguse vahel, mille lihtsamat juhtu väljendab baromeetrilise astme valem

$$a = \frac{8000}{P_m} (1 + \alpha t_m), \quad (1)$$

kus $P_m = \frac{P_1 + P_2}{2}$ on ülemise ja alumise kohtade keskmine õhurõhk,

$t_m = \frac{t_1 + t_2}{2}$ samade kohtade keskmine temperatuur ja

$\alpha = \frac{1}{273}$ gaaside ruumpaisumise koefitsient.

Tähiste p_1 , p_2 , t_1 ja t_2 tähendus selgub jooniselt 6.

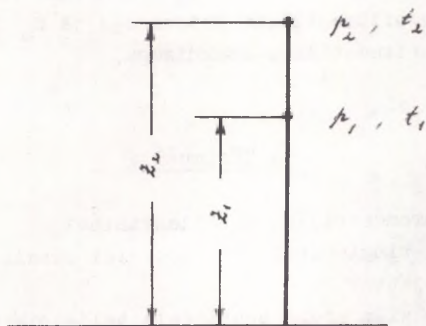
Et baromeetriline aste a näitab, mitme meetri võrra tuleb tõusta (laskuda), et õhurõhk langeks (tõuseks) ühe mb või mm Hg võrra, siis rõhu langemisel $p_1 - p_2$ mb (või mm Hg) võrra tuleb tõusta

$$Z_2 - Z_1 = \Delta Z = a (p_1 - p_2) \quad (2)$$

meetri võrra.

See valem on kehtiv kahel tingimusel: 1) õhurõhk langeb kõrguse järgi lineaarselt ja 2) mõõtmise ajal ei ole rõhk muutunud (statsionaarne rõhuväli). Esimene tingimus on täidetud, kui kõrguste vahe on väike (mõnisada meetrit); teise, rõhuvälja statsionaarsuse tingimuse kehtivust saab kontrollida, kui mõõta rõhku igas punktis kaks korda - sinnami- nekul ja tagasitulekul. Statsionaarsuse korral on mõlemal juhul rõhud võrdsed. Erinevuste puhul tuleb võtta sinna- ja tagasiminekul mõõdetud rõhkudest aritmeetiline keskmine.

Baromeetrilise nivelleerimise täpsuse määrab rõhu mõõtmise täpsus. Kui rõhu mõõtmisviga on $\pm 0,1$ mm Hg ja baromeetrilise astme keskmine väärtus 10 m/mm Hg, siis baromeetrilise nivelleerimise viga on $\pm 0,1 \cdot 10 = \pm 1$ m. Siit järgneb, et baromeetrilisel nivelleerimisel tuleb vastus anda täismeetrites.



Joon. 6. Tähiseid selgitav skeem.

4. Töö käik

Baromeetrilisel nivelleerimisel kasutatakse rõhu mõõtmiseks aneroidi. Õhurõhu mõõtmisel aneroidiga tuleb 1) aneroidi temperatuuri paranduse arvutamiseks ära lugeda aneroidi temperatuuri näit t_a , 2) koputada sõrmega kergelt katteklaasile ja 3) nihutada pead nii, et silm asuks osutinõela telje pikendusel, ning ära lugeda aneroidi näit täpsusega 0,1 mm Hg.

Baromeetrilise astme arvutamiseks tuleb mõõta välise õhu temperatuur (Assmanni psühhromeetri kuiva termomeetri lugem).

Mõõtmisandmed ja arvutuse tulemused on otstarbekas anda järgmise tabeli kujul (vt. lk. 29).

Märkus. Väikeste kõrgusvahede ja lühiajalise mõõtmise korral võib kõikide kohtade jaoks kasutada ühist baromeetrilist astet, milles p_m on võrdne parandatud rõhkude aritmeetilise keskmisega ja t_m õhu temperatuuri aritmeetilise keskmisega.

5. Küsimusi

1. Mis on baromeetriline nivelleerimine?
2. Millistel tingimustel võib aneroidi skaala ja lisaparanduse ära jätta?
3. Miks peab silm asuma osutinõela telje pikendusel?
4. Millise ilmaga on soovitatav teha baromeetrilist nivelleerimist ja miks?

4. PÄIKESEKIIRGUSE MÕÕTMINE

1. Tööülesanne

Töö ülesandeks on päikesekiirguse ja päikesepaiste kestuse mõõtmise meetoditega tutvumine ja atmosfääri läbipaistvuse karakteristikute arvutamine.

2. Töövahendid

Aktinomeeter koos galvanomeetriga (ГСА-1), heliograaf ja arvutusvahendid (log. tabel või aktinomeetriline lükat).

3. Päikesekiirguse liigid, Kiirgusbilanss

Atmosfääris toimuvate protsesside energiaallikaks on Päike. Maapinnale jõuab päikesekiirgus otsese ja hajusa kiirgusvoona. Otsene kiirgus on see osa päikesekiirgusest, mis jõuab maapinnale paralleelsete kiirte kimbuna, hajuskiirgus aga tuleb maapinnale pärast mitmekordset hajumist. Otsese kiirguse korral annavad läbipaistmatud esemed varju, hajuskiirguse puhul aga esemetel vari puudub.

Kiirgusvälja iseloomustavad mitmed **karakteristikud**. Neist **põhilisemad** on kiirgusvoog ja kiirguse intensiivsus.

Kiirgusvoog on kiirgusenergia hulk, mis läbib antud pinda ühe ajaühiku (sek., min.) jooksul. Otsese kiirguse intensiivsuseks S nimetatakse päikesekiirguse hulka, mis langeb ühe ajaühiku jooksul kiirtega risti asetatud pinnauhikule.

Aktinomeetrilises praktikas mõõdetakse kiirgusenergiat soojusühikutes - kalorites, aega minutites ja pinda ruutsentimeetrites. Rahvusvahelises mõõtühikute süsteemis (SI) mõõdetakse energiat džaulides, aega sekundites ja pinda ruutmeetrites. Seos nimetatud süsteemide vahel on

$$1 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \text{ min}} \approx 700 \frac{\text{dž}}{\text{m}^2 \text{ s}} .$$

Seega aktinomeetrias defineeritakse otsese kiirguse intensiivsust S kui päikese kiirgusenergia hulka kalorites, mis langeb ühe minuti jooksul kiirtega risti asetatud ühe ruutsentimeetri suurusele pinnale. Analooiline on intensiivsuse definitsioon SI süsteemis: kalor tuleb asendada džauliga, minut sekundiga ja ruutsentimeeter ruutmeetriga.

Otsese kiirguse intensiivsust horisontaalsele pinnale (insolatsioon) arvutatakse valemi järgi

$$S' = S \sin h_0, \quad (1)$$

kus

S' on insolatsioon horisontaalsele pinnale,
 S intensiivsus kiirtega risti olevale pinnale ja
 h_0 Päikese kõrgus horisondist.

Hajuskiirguse intensiivsuseks D nimetatakse hajuskiirguse hulka, mis langeb ühe ajaühiku (min., sek.) jooksul horisontaalsele pinnaühikule (cm^2, m^2).

Otsese ja hajuskiirguse summat, mis langeb horisontaalsele pinnale, nimetatakse summaarseks kiirguseks. Selle intensiivsus arvutatakse valemi põhjal

$$Q = S' + D. \quad (2)$$

Maapinnalt tagasi peegeldunud summaarset kiirgust nimetatakse peegeldunud kiirguseks (P). Aluspinna peegeldusvõimet iseloomustab albeedo (A), mille all mõistetakse peegeldunud kiirguse P ja pinnale langenud summaarse kiirguse Q suhet

$$A = \frac{P}{Q}. \quad (3)$$

Sageli väljendatakse albeedot protsentides:

$$A = \frac{P}{Q} \cdot 100. \quad (3a)$$

Kiirgust, mida saadab välja aluspind või atmosfäär, nimetatakse vastavalt maa- või atmosfäärikiirguseks. Need

kiirgused on, võrreldes päikesekiirgusega, tunduvalt pikema lainega ja seepärast nimetatakse maa- ja atmosfäärikiirgust aktinomeetrias pikalaineliseks kiirguseks, päikesekiirgust aga lühilaineliseks.

Maakiirguse näol maa kaotab, atmosfäärikiirguse näol aga saab juurde energiat. Maalt lahkunud ja maale juurdetunud pikalaineliste kiirgusvoogude vahet nimetatakse maa efektiivseks kiirguseks ja see väljendub valemis

$$E_{ef} = U - G, \quad (4)$$

kus

U on maalt lahkunud pikalaineline kiirgusvoog,
 G maale juurdetunud " " ja
 E_{ef} maa efektiivne kiirgus.

Nagu lähem arutus näitab, avaldub efektiivne kiirgus maa- ja atmosfäärikiirguste kaudu järgmiselt.

$$E_{ef} = E_M - \delta E_A, \quad (5)$$

kus E_M on maakiirgus,
 E_A atmosfäärikiirgus ja
 δ pikalainelise kiirguse neeldumiskoeffitsient,

Aluspinnale juurdetunud ja äraläinud kõigi kiirgusvoogude vahet nimetatakse aluspinna (maapinna, merepinna, jääpinna jne.) kiirgusbilansiks (R).

$$R = S^i + D - P - E_{ef}$$

Avaldades P albeedo A kaudu, saadakse

$$R = (S^i + D)(1 - A) - E_{ef}. \quad (6)$$

Aega, mille kestel otsene kiirgus tuleb maapinnale, nimetatakse päikesepaiste kestuseks. Meteoroloogias kasutatakse sageli suhtelist päikesepaiste kestust s, mille all mõel-

dakse päikesepaiste kestuse ja päeva pikkuse suhet (väljendatud protsentides).

$$s = \frac{t_{\text{paiste}}}{t_{\text{päev}}} \cdot 100, \quad (7)$$

kus t_{paiste} on päikesepaiste kestus ja
 $t_{\text{päev}}$ päeva pikkus.

4. Päikesekiirguse mõõteriistu

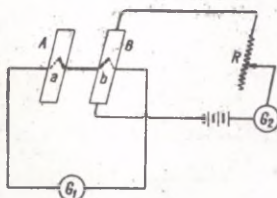
Kiirgusenergia mõõtmine põhineb kiirguse toimetel: ta võib tekitada soojust (soojustlik toime), elektrivoolu (elektriline toime), keemilisi reaktsioone (keemiline toime) jne. Aktinomeetrias kasutatavate mõõteriistade töötamine põhineb kiirguse soojustlikul toimel, s.t. kiirgusenergiat mõõdetakse tema poolt tekitatud soojushulga järgi.

Päikese otsese kiirguse mõõteriistu liigitatakse pürheliomeetriteks ja aktinomeetriteks. Esimesed mõõdavad kiirgust soojusühikutes, teised aga suhtelistes ühikutes. Seepärast nimetatakse pürheliomeetreid ka absoluutseteks, aktinomeetreid aga suhtelisteks mõõteriistadeks. Arusaadavalt peab aktinomeetrite kasutamisel teadma siirdetegurit, mis võimaldab üle minna suhtelistelt ühikutelt kaloritele või džaulidele.

Absoluutsed mõõteriistad on keerulise ehitusega ja kallid. Seepärast kasutatakse neid standardina suhteliste riistadega võrdlemisel.

Euroopas on standardriistaks kompensatsioon- ehk Ångströmi pürheliomeeter. See koosneb kahest ühesugusest väga õhukesest manganiinplaadikesest A ja B (joon. ?), mille pealmised pinnad on tahmatud; alumiste pindade külge on kinnitatud termoelemendi otsad a ja b. Termovoolu mõõtmiseks on ahelasse lülitatud galvanomeeter G_1 .

Mõõtmise ajal lastakse kiirtega risti asetatud plaadikesele A langeda otsest kiirgust, kuna teine plaadike B on



Joon. 7. Ångströmi pürheliomeetri skeem.

katikuga kiirguse eest varjatud. Sel korral plaat A soojeneb ja termoelemendis ab tekib termovool, mida näitab galvanomeeter G_1 . Kui aga lasta vool läbi varjatud plaadi B, soojeneb ka see voolu toimel. Reostaadi R abil reguleeritakse küttevoolu tugevust I nii, et mõlemal plaadil oleks ühesugune temperatuur - sel korral termovoolu ei teki ja galvanomeeter ei näita voolu.

Päikesekiirguse mõjul tekib plaadis A 1 min jooksul soojust

$$Q_1 = \alpha S \cdot F, \quad (8)$$

kus α on kiirguse neeldumiskoeffitsient,
 S otsese kiirguse intensiivsus,
 F plaadikese pindala.

Vool tekitab plaadis B 1 min jooksul soojust

$$Q_2 = 0,24 I^2 R 60,$$

kus I on voolutugevus plaadis B, mida mõõdetakse galvanomeetri G_2 abil,
 R plaadi B takistus.

Et voolusoojus Q_2 kompenseerib päikesekiirguse poolt tekitatud soojust Q_1 , siis

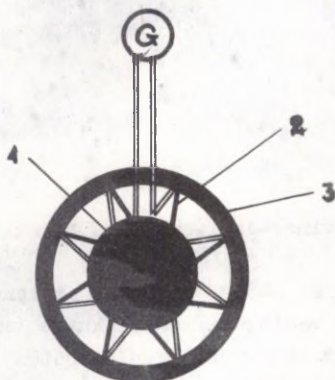
$$\alpha S F = 0,24 I^2 R 60,$$

$$\text{millest } S = \frac{0,24 I^2 R 60}{\alpha F}$$

ehk $S = KI^2$, (9)

kus $k = \frac{0,24 R60}{\alpha F}$ on pürheliomeetri konstant, mida saab arvutada laboratoorselt mõõdetavate suuruste R , α ja F kaudu. Seepärast võimaldab Angströmi pürheliomeeter määrata otsese kiirguse intensiivsust kohe $\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \text{ min}}$ -tes voolutugevuse I kaudu.

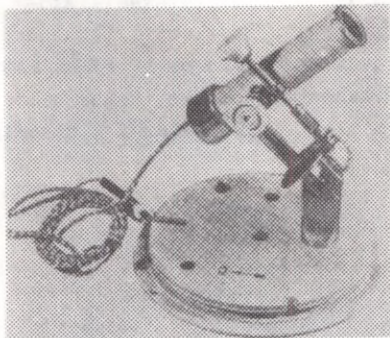
Aktinomeetriaajaamades kasutatakse kõige sagedamini Savinov-Janiševski tüüpi termoelektrilist aktinomeetrit. Selle riista vastuvõtvaks osaks on hõbedast kettake (1), mille üks külg on tahmatud mustaks. Ketta teisele poolele on kinnitatud termoelektrilise patarei 2 sisemised otsad,



Joon. 8. Savinov-Janiševski tüüpi aktinomeetri skeem.

kuna välised otsad on asetatud vaskrõnga 3 külge, mis omakorda on tihedalt ühendatud mõõteriista korpusega. Päikekiirguse mõjul soojeneb tahmatud ketas rohkem kui vaskrõngas ja seetõttu tekib termopatareis termovool, mida mõõdetakse galvanomeetri (tüüp ГСА-1) abil.

Vastuvõtja on asetatud aktinomeetri toru põhja. Toru sees on 5 diafragmat, mis kaitsevad vastuvõtjat tuule ning hajus- ja peegeldunud kiirguse eest. Riist on varustatud kruvidega, mis võimaldavad toru suunata Päikesele. Savinov-Janiševski tüüpi aktinomeetri foto on toodud joonisel 9.

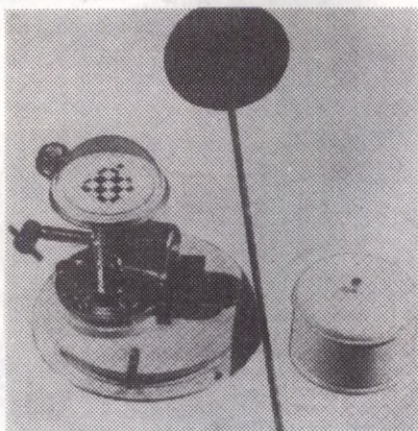


Joon. 9. Savinov-Janiševski tüüpi aktinomeeter.

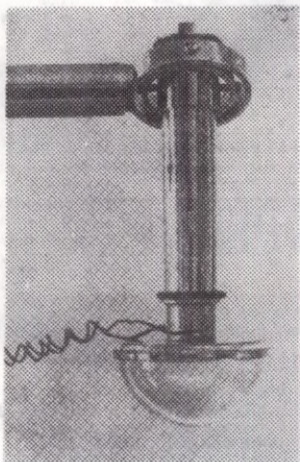
Aktinomeeter ei mõõda kiirguse intensiivsust $\text{cal/cm}^2\text{min}$ -tes, vaid voolutugevuse ühikutes (milliamprites). Et saada kiirguse intensiivsust absoluutsetes ühikutes ($\text{cal/cm}^2\text{min}$), on tarvis galvanomeetri lugemit korrutada siirde-
teguriga, mis määratakse aktinomeetri ja pürheliomeetri näitude võrdlemise teel. Siirde-
tegur antakse mõõteriista passis.

Päikese summaarse kiirguse mõõteriista nimetatakse pü-
ranomeetriks (joon. 10), aluspinna albedo mõõteriista -
albedomeetriks (joon. 11) ja kiirgusbilansi mõõteriista -
bilansomeetriks.

Mõõteriista, mis automaatselt registreerib päikese-
paiste kestust, nimetatakse heliograafiks. Meteoroloogia-
jaamades kasutatakse nn. universaalset heliograafi (joon.
12). Selle põhiliseks osaks on klaaskera 1 (diameeter

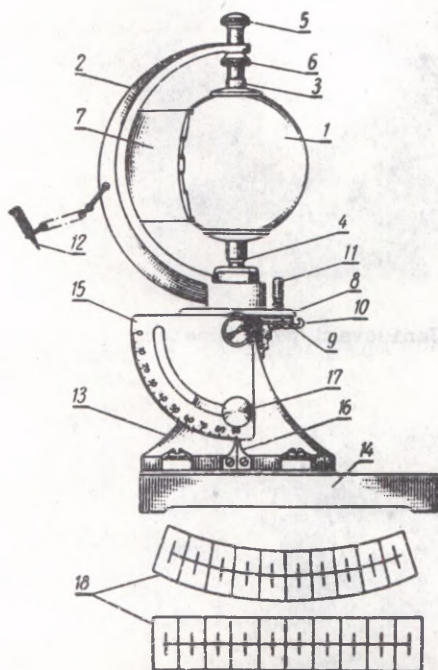


Joon. 10. Janiševski püranomeeter.



Joon. 11. Janiševski-Bölovi väliälbedomeeter.

98 mm), mis on vastavate kruvide 4 ja 5 abil kinnitatud kaarekujulise hoidja 2 külge. Kerale langenuid paralleelsed päikesekiired murduvad ja koonduvad fookuses. Päikese



Joon. 12. Universaalne heliograaf.

liikumisel taevavõlvil nihkub ka fookus mööda fokaalpinda, kuhu on asetatud kaarjale metallist hoidjale 7 kartongist lint 18. Kui Päike paistab, põletavad kiired lindile jälje, mille järgi saab määrata päikesepaiste algust, lõppu ja seega ka kestust.

Et põletusjälje asend lindil oleneb Päikese kõrgusest (mis omakord sõltub koha geograafilisest laiusel ja aastajast), siis põletusjälje saamiseks lindi keskele tuleb lint asetada erinevatel aastaaegadel erinevatele kõrgustele. Selleks on lindihooldja siseküljel 3 soont: ülemine talvisel, keskmine kevad-sügisel ja alumine suvisel ajal lindi asetamiseks.

Heliograafi ülesseadmisel tuleb kera telg, mis läbib kera kinnituspunkti, asetada rööbiti Maa teljega. Selleks on heliograafi alumises osas kraadideks jaotatud skaala 15. Pöörates pisut lahti vastavat kruvi 17, tuleb skaalat nihutada kuni koha geograafilisele laiusel vastav skaala n-^oit langeb indekstriipsu kohale, mis asub alusele kinnitatud väikesel plaadikesel 16.

Heliograafi ülesseadmisel tuleb silmas pidada järgmisi nõudeid:

- 1) heliograafi asukoht peab olema selline, et ümbritsevad puud, hooned ja muud esemed ei varjaks Päikest;
- 2) heliograafi alus peab olema horisontaalne;
- 3) kera telg tuleb asetada rööbiti Maa teljega;
- 4) heliograaf peab olema orienteeritud täpselt ilma-kaarte järgi.

5. Töö käik

A. Päikese otsese kiirguse intensiivsuse mõõtmine.

Mõõtmised algavad aktinomeetri toru suunamisega Päikesele. Selleks tuleb eemaldada katik toru eesmiselt otsalt ja pöörata toru vastavate kruvide abil nii, et väikest ava (asub toru suud piiraval rõngal) läbinud päikesekiired langeksid toru tagumisel osal asuva rõnga valgele täpile.

Pärast suunamist kaetakse toru suu uuesti katikuga ja loetakse galvanomeetri algseis n_0 . Seejärel eemaldatakse uuesti katik ja kontrollitakse, kas toru on suunatud Päi-

kesele ning loetakse iga 10 - 15 sek. järel 3 korda galvanomeetri näidud n_1, n_2, n_3 .

Mõõtmiste lõpetamisel määratakse uuesti galvanomeetri nulltäpi asend n_0'' ja galvanomeetri temperatuur.

Galvanomeetri lugemid teha siis, kui osuti skaalal püsib paigal.

Mõõtmisandmetest otsese kiirguse intensiivsuse leidmiseks tuleb määrata

1) galvanomeetri osuti keskmine asend valemi järgi

$$n = \frac{n_1 + n_2 + n_3}{3}; \quad (10)$$

2) galvanomeetri nulltäpi asend valemi järgi

$$n_0 = \frac{n_0' + n_0''}{2}; \quad (11)$$

3) galvanomeetri parandatud lugem

$$\bar{n} = n + \Delta n, \quad (12)$$

kus Δn on skaala parandus, mis on antud riista passis;

4) parandatud lugeme (näidu) ja nulltäpi vahe

$$N = \bar{n} - n_0; \quad (13)$$

5) otsese kiirguse intensiivsus valemi järgi

$$S = k N, \quad (14)$$

kus k on siirdetegur (on antud riista passis).

Ülevaatlikkuse mõttes tuleb töö läbi viia järgmise skeemi järgi.

Aktinomeetri nr.

Galvanomeetri nr.

Vaatluskoht

Nulltäpi asend enne mõõtmisi $n_0' =$

pärast mõõtmisi $n_0^n =$
keskmine $n_0 =$
siirdetegur $k =$

Vaatlus- aeg	Galvano- meetri lugemid	$n = \frac{n_1+n_2+n_3}{3}$	Δn	$\bar{n} = n + \Delta n$	$N = \bar{n} - n_0$	S

B. Atmosfääri läbipaistvuse karakteristikute arvutamine

Atmosfääri läbipaistvuse karakteristikud iseloomustavad läbipaistvust kvantitatiivselt. Aktinomeetrias tuntakse mitmeid läbipaistvuse karakteristikuid; neist enamkasutatavad on Bouguer' läbipaistvuskoeffitsient p_m ja Linke sumedustegur T_m .

Bouguer' läbipaistvuskoeffitsiendi p_m leidmisel lähtutakse Bouguer' valemist otse kiirguse intensiivsuse kohta

$$S_m = S_0 p_m^m, \quad (15)$$

kus

S_0 on solaarkonstant - $1,91 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \text{min}}$,

p_m Bouguer' läbipaistvuskoeffitsient,

m massiarv, mis näitab, mitu korda on kiirte kaldu langedes kiirte teele jäänud õhu mass suurem kui vertikaalselt langedes,

S_m otse kiirguse intensiivsus massiarvu m puhul.

Sellest valemist saame Bouguer' läbipaistvuskoeffitsiendi arvutamiseks valemi

$$p_m = \sqrt{\frac{S_m}{S_0}} \quad (16)$$

Massiarv m' määratakse Päikese kõrguse h_0 järgi (vt. lisa Bemporadi tabel) ja taandatakse normaalrõhule valemi järgi

$$m = m' \frac{B}{1013}, \quad (17)$$

kus B on õhurõhk millibaarides ja m' Päikese kõrguse h_0 järgi Bemporadi tabeli abil määratud massiarv.

Et Maa tiirleb ümber Päikese ellipsit mööda, ei ole Maa ja Päikese vaheline kaugus aasta vältel ühesugune. Seepärast tuleb mõõtmistest saadud otsese kiirguse intensiivsus S_m^* taandada Maa keskmisele kaugusele Päikesest ($149,5 \cdot 10^6$ km) valemi järgi

$$S_m = S_m^* \cdot \rho^2, \quad (18)$$

kus ρ on Maa kaugus Päikesest astronoomilistes ühikutes (1 astr. ühik = $149,5 \cdot 10^6$ km); ρ väärtused sõltuvad kuupäevast ja on antud lisa (tabel 2).

Linke sumedustegur T_m defineeritakse valemi kaudu

$$T_m = \frac{\log p_m}{\log q_m} = \frac{k_m}{\delta_m}, \quad (19)$$

kus q_m on ideaalse atmosfääri läbipaistvuskoeffitsient, mis sõltub massiarvust (q_m väärtused on antud lisa, tabel 3),

k_m kiirguse nõrgenemise koeffitsient reaalses atmosfääris,

δ_m kiirguse nõrgenemise koeffitsient ideaalses atmosfääris.

Toetudes eelmisele valemile, saame Linke sumedustegurit defineerida kui arvu, mis näitab, mitu korda on kiirguse nõrgenemise koeffitsient reaalses atmosfääris suurem kui ideaalses atmosfääris.

Märkus. Arvutuste vältimiseks on p_m ja T_m hõlpsaks leidmiseks konstrueeritud spetsiaalsed aktinomeetrilised lükatid ja nomogrammid (vt. kirjanduse loetelus 10 ja 11).

Töö ülesandeks on arvutada etteantud S_m^* , h_e ja õhu rõhu B jägi Bouguer' läbipaistvuskoeffitsient p_m ning Linke sumedustegur T_m . Arvutamiseks vajalikud andmed annab juhendaja.

6. Küsimusi

1. Mis on solaarkonstant ja kui suur see on?
2. Mis ühikutes mõõdetakse kiirguse intensiivsust?
3. Mis on summaarne, maa-, atmosfääri- ja efektiivne kiirgus? Mis on kiirgusbilanss?
4. Pürheliomeetri ja termoelektrilise aktinomeetri ehitus.
5. Hellograafi ehitus ja nõuded ülesseadmise kohta. Kuidas määrata maksimaalset päikesepaiste kestust? Kas on selleks vaja hellograafi?
6. Kuidas saab arvutada maapinnalt tagasipeegeldunud kiirgust? Mis on tarvis selleks teada?
7. Mis on massiarv? Millest ta oleneb?
8. Toetudes Bouguer' valemile, selgitada p_1 tähendus.
9. Mida näitab Linke sumedustegur T_m ?
10. Millega võib seletada fakti, et samasuguse atmosfäärikoostise puhul läbipaistvuse karakteristikud ei ole konstantsed?

5. ÕHUNIISKUSE MÄÄRAMINE

1. Tööülesanne

Töö eesmärgiks on õhuniiskuse mõõteriistadega ja määramise meetoditega tutvumine. Konkreetseks ülesandeks on määrata õhuniiskuse põhilised karakteristikud.

2. Töövahendid

Assmanni psühhromeeter, psühhomeetriline tabel.

3. Õhuniiskuse karakteristikud

Õhuniiskuseks nimetatakse õhus leiduvat veeauru. Vastavalt veeauru kahele olekule (küllastamata ja küllastatud) räägitakse ka küllastamata ja küllastatud niiskusest.

Õhuniiskust iseloomustavad mitmed karakteristikud, nagu veeauru rõhk, absoluutne ja relatiivne niiskus, niiskuse defitsiit, kastepunkt ja eriniiskus.

1. Põhiliseks karakteristikuks, mille kaudu teisi saab avaldada, on veeauru rõhk e. Selle all mõistetakse rõhku, mida tekitavad ainult veeauru molekulid oma kaootilisel liikumisel. Küllastatud veeauru rõhk oleneb temperatuurist: mida kõrgem temperatuur, seda suurem on küllastatud veeauru rõhk E. Selle väärtused mitmesuguste temperatuuride juures antakse küllastatud (maksimaalse) veeauru rõhu tabelites. Veeauru rõhku mõõdetakse rõhuühikutes, s.t. millibaarides või millimeetrites Hg.

2. Absoluutseks niiskuseks a nimetatakse ühes kuupmeetris niiskes õhus leiduvat veeauru massi grammides. Meteoroloogias absoluutset niiskust ei mõõdetata, vaid arvutatakse veeauru rõhu ja temperatuuri kaudu valemi järgi

$$a = 0,80 \frac{e}{1 + \alpha t}, \quad (1)$$

kus a on absoluutne niiskus (g/m^3 -tes),

e aururõhk millibaarides,

t õhutemperatuur Celsiuse järgi ja

$\alpha = \frac{1}{273} \approx 0,0037$ on gaaside ruumpaisumise koefitsient.

Kui veeauru rõhk e on mõõdetud mm-tes Hg, arvutatakse absoluutne niiskus valemi järgi

$$a = 1,06 \frac{e}{1 + \alpha t}. \quad (1a)$$

Märkus. Ekslikult nimetatakse mõnikord veeauru rõhku absoluutseks niiskuseks. Selline segadus nimetustes on nähtavasti tingitud sellest, et temperatuuril $16,4^\circ \text{C}$ on absoluutne niiskus arvuliselt võrdne veeauru rõhuga mm-tes Hg.

3. Relatiivseks niiskuseks r nimetatakse õhus oleva veeauru rõhu ja samal temperatuuril õhku küllastava veeauru rõhu suhet, väljendatud protsentides.

$$r = \frac{e}{E} \cdot 100 \% \quad (2)$$

e on veeauru rõhk,

E küllastatud veeauru rõhk samal temperatuuril, mille juures tehti mõõtmist.

Toetudes valemile (2), selgub, et relatiivne niiskus võib muutuda 0-st (täiesti kuiv õhk) kuni 100%-ni (küllastatud niiske õhk). Eriolukorras (üleküllastatud olek) võib relatiivne niiskus ületada 100%. Meie kliimatingimustes seda ei esine, sest meil on alati õhus külluses kondensatsioon- ehk küllastustuumakesi.

4. Niiskuse defitsiidiks ehk vajakuks d nimetatakse küllastatud ja õhus olemasoleva veeauru rõhkude vahet.

$$d = E - e \quad (3)$$

Niiskuse vajaku ühikuks on rõhuühik - mb või mm Hg. Eel-
misest valemist selgub, et niiskuse vajak d võib muutuda
piirides E -st (täiesti kuiv õhk) kuni nullini (küllastatud
niiske õhk).

5. Kastepunktiks τ nimetatakse temperatuuri, mille
juures õhus oleva veeauru rõhk on võrdne küllastatud veeauru
rõhuga $E(\tau)$, s.t.

$$e = E(\tau). \quad (4)$$

Kastepunkt leitakse küllastatud veeauru rõhu tabelist:
leitakse see temperatuur τ , mille juures küllastatud vee-
auru rõhk E on võrdne olemasoleva veeauru rõhuga e .

6. Eriniiskuseks s nimetame ühes kilogrammis niiskes
õhus leiduvat veeauru hulka grammides. Eriniiskust arvuta-
takse valemi järgi

$$s = 622 \frac{e}{p - 0,378e} \quad (E/kg). \quad (5)$$

Et veeauru rõhk e on palju väiksem (umbes 100 korda) õhu-
rõhust, võib nimetajas e ära jätta; sel korral

$$s \approx 622 \frac{e}{p} \quad (E/kg). \quad (5 a)$$

- Märkus.
1. Relatiivset niiskust võib defineerida ka abso-
luutse ja eriniiskuse kaudu.
 2. Eriniiskust defineeritakse üldisemalt kui antud
ruumalas leiduva veeauru massi suhet samas ruum-
alas oleva niiske õhu massisse.

4. Õhuniiskuse mõõtmise meetodid

Õhuniiskust võib mõõta mitmel viisil. Meteoroloogias levinumad on psühhromeetriline ja hügromeetriline meetod.

A. Psühhromeetriline meetod. Õhuniiskuse määramine psühhromeetrilisel meetodil toimub nn. "kuiva" ja "märja" termomeetrite lugemite kaudu. Mõlemad termomeetrid on ehituse poolest ühesugused, erinevus seisneb selles, et "märja" termomeetri reservuaar hoitakse märjana (siit tulebki termomeetri nimetus "märg").

"Märja" termomeetri reservuaarilt aurab vesi. Selleks kulunud auramissoojuse tõttu on "märja" termomeetri temperatuur madalam "kuiva" omast. Mida suurem on niiskuse defitsiit, seda kiirem on auramine ja seda suurem on "kuiva" ja "märja" termomeetri lugemite vahe. Seepärast saab nimeetatud lugemite vahe kaudu määrata õhuniiskust.

"Märjalt" termomeetrit auramiseks kulunud soojuse hulk arvutatakse Daltoni seaduse järgi valemist

$$Q_1 = cL \frac{E' - e}{p}, \quad (6)$$

kus Q_1 on "märja" termomeetri reservuaarilt auramiseks kulunud soojuse hulk,

E' küllastatud aururõhk "märja" termomeetri temperatuuri t' juures,

e ümbritseva õhu veeauru rõhk,

p õhurõhk,

c võrdetegur, mis oleneb peale riista konstruktsiooni oluliselt tuule kiirusest; L - auramissoojus.

Temperatuuride vahe tõttu saab "märja" termomeetri reservuaar soojust juurde (Newtoni valem).

$$Q_2 = B (t - t') \quad (7)$$

t on "kuiva" termomeetri näit,
 t' "märja" termomeetri näit,
 B võrdetegur.

"Märja" termomeetrit loetakse siis, kui tema näit t' jääb püsivaks. Sel korral peab auramiseks kulunud soojuse hulk Q_1 võrduma juurdevoolanud soojuse hulgaga Q_2 :

$$Q_1 = Q_2.$$

Asendades Q_1 ja Q_2 valemitega (6) ja (7), saadakse

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

millest

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

Tähistades $\frac{B}{cL} = A$, mida nimetatakse psühhromeetri konstandiks, saadakse psühhromeetriline valem

$$e = E' - A (t - t') p. \quad (8)$$

Selle valemi järgi arvutatakse aururõhk e , kui on teada t , t' , p ja psühhromeetri konstant A .

B. Hügromeetriline meetod põhineb sellel, et inimese rasvavaba ja vigastamata juuksekarva pikkus oleneb õhu relatiivsest niiskusest: mida suurem on relatiivne niiskus, seda pikemaks venib juuksekarv. Uurimised näitavad, et relatiivse niiskuse kasvamisel 0-st kuni 100 %-ni pikeneb karvake 2,5 % võrra, kusjuures see pikenemine on väikese relatiivse niiskuse juures suurem kui suurema relatiivse niiskuse puhul. Näiteks relatiivse niiskuse kasvamisel 0-st kuni 10 %-ni pikeneb karvake 0,53 %, kuid relatiivse niiskuse kasvamisel 90 %-st kuni 100 %-ni ainult 0,12 % võrra oma esialgsest pikkusest.

5. Õhuniiskuse mõõteriistad

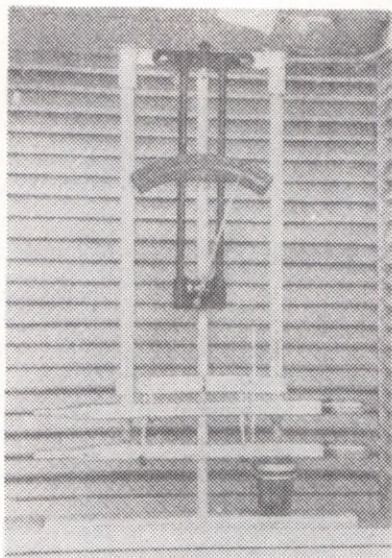
Vastavalt psühhromeetrilisele ja hügromeetrilisele niiskuse määramise meetodile liigitatakse niiskuse mõõteriistu 1) psühhromeetriteks, mille töötamine põhineb psühhomeetrilisel meetodil, ja 2) hügromeetriteks ja hügrograafideks, mille töötamine põhineb hügromeetrilisel meetodil

A. Psühhomeetrid.

Psühhomeetri valemis (8) konstant A sõltub oluliselt tuule kiirusest "märja" termomeetri reservuaari ümber. Sellest tingituna liigitatakse psühhomeetreid statsionaarseiks (Augusti) ja aspiratsioon- (Assmanni) psühhomeetriteks. Oluline erinevus nende vahel on selles, et statsionaarse psühhomeetri puhul on õhuvoolu kiirus muutlik, aspiratsioonipsühhomeetri puhul aga tekitatakse ventilaatoriga konstantne õhuvool kiirusega umbes 2 m/s. Statsionaarse psühhomeetri konstant $A = 0,0007947$, mis vastab tuule kiirusele $v = 0,8$ m/s; aspiratsioonipsühhomeetri konstant $A = 0,000662$. (Muide, tuule kiirusel $v > 2$ m/s sõltub A vähe tuule kiirusest.)

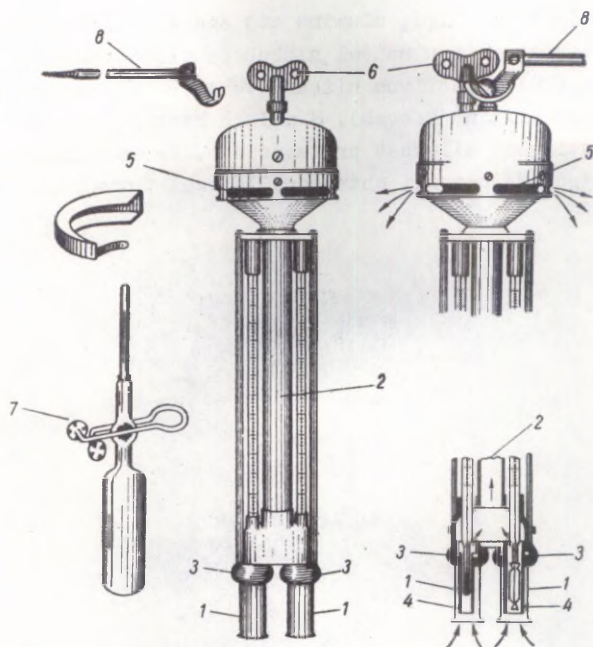
1. Statsionaarne psühhomeeter koosneb kahest ühesugusest psühhomeetri termomeetrist, mis asuvad meteoroloogilises onnis erilisel statiivil (joon. 13). Parempoolse termomeetri reservuaari ümber on mähitud puhas batist, mille alumine ots ulatub destilleeritud veega täidetud klaasi. Termomeetrit loetakse täpsusega $0,1^{\circ}$ C.

2. Aspiratsioon- ehk Assmanni psühhomeetri töötamine on põhimõtteliselt analoogiline statsionaarse psühhomeetri töötamisele. Psühhomeetri põhiliseks osaks on "kuiv" (vasakul) ja "mürg" (paremal) termomeeter, mille reservuaarid asuvad kaitsetorudes 1 (joon. 14). Soojusvahetuse vältimiseks on torud nikeldatud ja ühendatud psühhomeetri korpusega eboniidist (või muust halvast soojustjuhtivast materjalist) muhvidega 3.



Joon. 13. Statsionaarse psühromeetri, maksimum- ja miinimumtermomeetri ning juushügromeetri asetis psühromeetriionnis.

Konstantse õhuvoolu tekitamiseks on psühromeetri peas kellamehhanismiga (või elektrimootoriga) käivitatav ventilaator. See imeb õhku läbi torude 1 ja 2, ning paiskab selle välja pilude 5 kaudu. Assmanni psühromeetri detailsem ehitus selgub jooniselt 14. "Märja" termomeetri niisutamiseks on spetsiaalne kummiballoon ja klaasotsaga pipett 7, mis täidetakse enne mõõtmist destilleeritud veega. Psühromeetri ülesriputamiseks on konks 8, mis kruvitakse posti



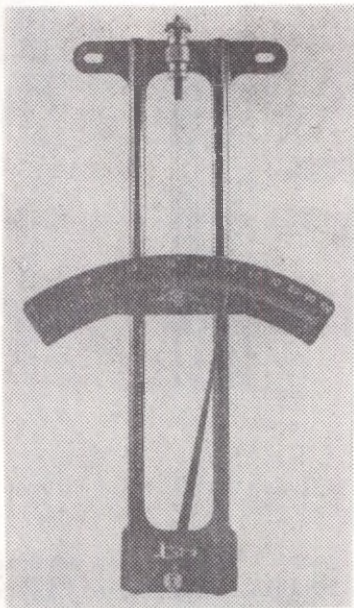
Joon. 14. Aspiratsioonipsühromeeter.

või meteoroloogiaonni külge nii, et termomeetri reservuaarid asuksid 2 m kõrgusel maapinnast. Aspiratsioonipsühromeetrit võib kasutada niiskuse mõõtmisel nii meteoroloogilisel väljakul kui ka ekspeditsioonidel. Viimasel juhul asetatakse psühromeeter soovitud kõrgusele erilise aluse abil nii, et tuul ei puhuks termomeetri kaitsetorusse l.

B. Hülgromeetrid.

1. Juushülgromeetrit (joon. 15) kasutatakse relatiivse niiskuse määramiseks madalamatel temperatuuridel (alla -10° C). Selle põhiliseks osaks on eriliselt ümbertöödeldud rasvavaba juuksekarv, mille ülemine ots on kinnitatud

vintregulaatori külge, alumine ots aga seadeldise külge nii, et karva pikkuse muutumisel nihkub osutiinõel skaala kohal vasakule (kui relatiivne niiskus väheneb) või paremale (kui relatiivne niiskus kasvab). Skaalale kantud jaotused näitavad relatiivset niiskust protsentides. Karva kinnitamise viis selgub juushügromeetri ehitusega lähemal tutvumisel.



Joon. 15. Juushügromeeter.

Juushügromeetri näite tuleb võrrelda psühromeetri näitusega. Erinevuse korral tuleb vintregulaatorit (ülemist kruvi) pöörata, kuni hügromeetri näit langeb kokku psühromeetri abil määratud relatiivse niiskusega. Üldse tuleb relatiivse niiskuse mõõtmisel juushügromeetriga kasutada erilist nn. si-

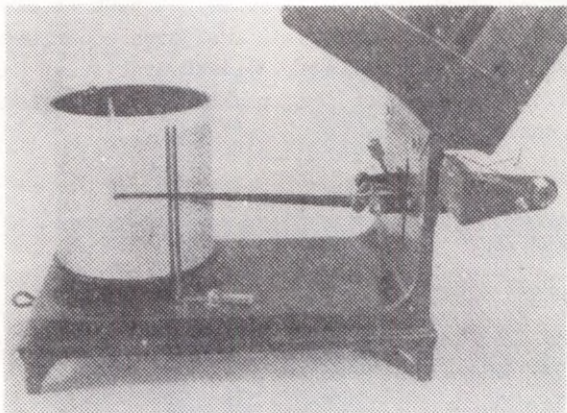
dekõverat (joon. 16), mis annab seose psühromeetri ja juushügromeetri abil määratud relatiivsete niiskuste vahel. Graafiku rõhtteljel on hügromeetri, püstteljel psühromeetri järgi määratud relatiivsed niiskused, kusjuures mõõtmised on tehtud samas kohas ja samal ajal. Sidekõverat tuleb kasutada talvel, millal psühromeetri järgi määratud relatiivsed niiskused pole usaldusväärsed.



Joon. 16. Hügromeetri sidekõrver.

2. Hügrograaf. Relatiivse niiskuse pidevaks registreerimiseks kasutatakse hügrograafi (joon. 17). Selle vastuvõt- vaks osaks on juuksekarvade kimp j , mille pikkus muutub re- latiivse niiskuse muutumisel. Relatiivse niiskuse suurenemi- sel juuksekarvad pikenevad. See pikenedamine kantakse kangide süsteemi abil osutinõelale, mille sulekesega varustatud ots kirjutab lindile relatiivse niiskuse käigu (hügrogramm). Lind on asetatud kellamehhanismiga käivitataavale trumlile. Hügro- graafi lindil horisontaalsed sirged võimaldavad määrata hüg-

rogrammilt relatiivset niiskust, kaarjad veritikaalsed kõverad aga kellaega.



Joon. 17. Hügrograaf.

Hügrograaf koos termograafiga asuvad meteoroloogia- väljakul isekirjutajate onnis 2 m kõrgusel maapinnast.

Peale eespool kirjeldatud mõõteriistade kasutatakse kaasajal meteoroloogias niiskuse määramiseks mitmeid teisi (elektrilised) mõõteriistu.

6. Töö käik

Õhuniiskuse määramisel aspiratsioonipsühromeetriga tuleb riist kõigepealt viia välja meteoroloogiaväljakule ja hoida seal kuni psühromeeter on omanud välise õhu temperatuuri (suvel kulub selleks umbes 15 min. talvel kuni 30 min.). Enne mõõtmist tuleb "märja" termomeetri reservuaar niisutada destilleeritud veega. Selleks kasutame psühromeetri juurde kuuluvat väikest kummiballooni pipetiga

(pritsi), milles vesi tuleb suruda klaastorru kuni 0,5 cm kõrguseni allapoole toru ülemist äärt. Takistades vee tagasivalgumist ballooni (vastava metallist näpitsa sulgemise teel), torgatakse klaastoruke ettevaatlikult psühromeetri parempoolse toru l sisse ja hoitakse teda seal mõni sekund (5 sek.). Selle aja jooksul märgub batist "märja" termomeetri reservuaari ümber. Eemaldades nüüd pipeti torust ja surudes näpitsale, laseme vee tagasi klaastorust ballooni. Seejärel keeratakse ülesse ventilaatori vedru (mitte vedrut katki keerata!) ja riputatakse psühromeeter onni või posti sisse keeratud konksu otsa ning eemalduakse ise psühromeetrist. Termomeetrite lugemist teha siis, kui "märja" termomeetri näit on kõige madalam. Näitab aga "märg" termomeeter tõusu, tuleb see uuesti niisutada ja oodata, kuni termomeeter on langenud kõige madalamale. Kogu mõõtmise kestel tuleb jälgida, et ventilaator käiks sama kiirusega; tarbe korral tuleb see uuesti ülesse keerata. Suvel võib termomeetreid lugeda juba 4-5 minuti pärast, talvel aga mitte enne 10 minuti (tavaliselt 20-30 minuti) möödumist.

Termomeetrite lugemist tuleb teha 0,1^o täpsusega, kusjuures kümnendikkraadid tuleb enne, täiskraadid aga hiljem lugeda. (Lugedes täiskraadid enne ja kümnendikud hiljem, võib temperatuur mõne kümnendiku kraadi võrra tõusta.) Talvel tuleb veel kindlaks teha, kas niisutatud batist on märg (allajahutatud vesi) või jäätunud. Selline nõue on tingitud asjaolust, et küllastatud veeauru rõhk oleneb sellest, kas auramine toimub allajahutatud veelt või jäält: esimesel juhul on küllastatud veeauru rõhk suurem kui teisel juhul.

Et auramise kiirus oleneb ka õhurõhust, tuleb samal ajal mõõta ka õhurõhk (piisab 1 mb täpsusest!).

Teades "kuiva" (t) ja "märja" (t¹) termomeetri lugemeid ning õhurõhku, saab eespool antud valemite järgi arvutada niiskuse karakteristikuid. Arvutuste vältimiseks määratakse meteoroloogilises praktikas veeauru rõhk, relatiivne niiskus ja defitsiit psühromeetrite tabelite

abil. Nende kasutamisel tuleb läbi lugeda tabeli sissejuhatus, kus selgitatakse, kuidas t ja t' järgi leida e , r ja d ning kuidas arvestada õhurõhust ja psühromeetri tühibist (Augusti või Assmanni psühromeeter) tingitud parandusi.

Andmed absoluutse niiskuse a ja eriniiskuse s kohta psühromeetri tabelites puuduvad, need tulevad arvutada eespool antud valemite (1) ja (5a) järgi. Kastepunkt t_c leitakse küllastatud (maksimaalse) veeauru rõhu E tabelist, s.t. tabelist leitakse selline temperatuur, millele vastav küllastatud veeauru rõhk on võrdne (või kõige lähedasem) olemasolevale veeauru rõhule e .

7. Küsimusi

1. Missuguse temperatuuri juures on absoluutne niiskus arvuliselt võrdne veeauru rõhuga millibaarides?
2. Mis vahe on absoluutse ja relatiivse niiskuse vahel?
3. Mille poolest erineb relatiivne niiskus niiskuse defitsiidist?
4. Kui suur viga tekib veeauru rõhu ja relatiivse niiskuse määramisel, kui kuiva ja märja termomeetrite lugemisviga on $0,2^\circ$. (Ülesanne lahendada psühromeetri tabeli abil.)

6. TUULE KIIRUSE MÄÄRAMINE

1. Tõõülesanne

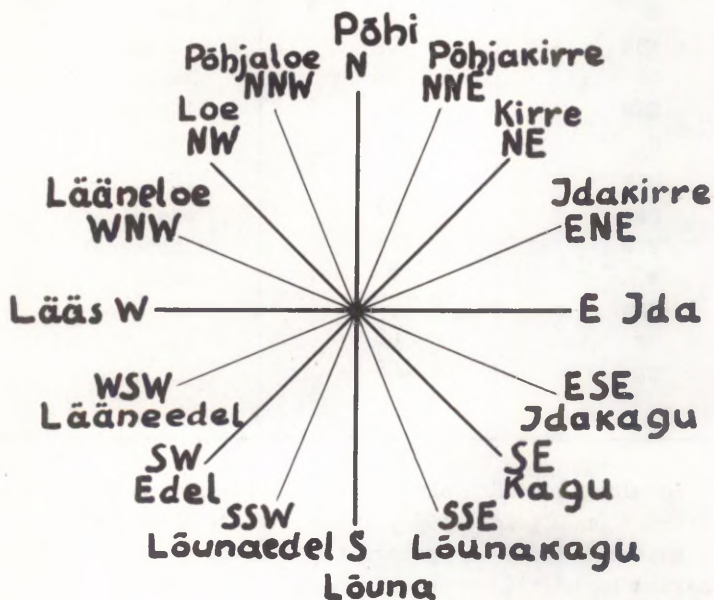
Tutvuda tuule kiiruse mõõteriistade ehitusega ja mää-
rata tuule suund ja kiirus.

2. Tõõvahendid

Käsianemomeeter, kell ja Tretjakovi tuulemõõtja.

3. Tuule elemendid

Tuul on õhu horisontaalne liikumine. Tema mõõtmisel tu-
leb mää-
rata tuule suund ja kiirus.



Joon. 18. Ilmakaared.

Tuule suunaks nimetame ilmakaart (või asimuuti), kust tuul puhub. Meteoroloogias kasutatakse 16 rumbilist ilma-kaarestikku (joon. 18), mille rahvusvaheline ja venekeelne tähistus ja eestikeelsed nimetused on toodud tabelis 1.

T a b e l 1

Tuule suuna tähistused ja eestikeelsed nimetused

Rahvusvaheline tähistus	Venekeelne tähistus	Eestikeelne nimetus
N	C	põhi
NNE	CCB	põhjakirre
NE	CB	kirre
ENE	ECB	idakirre
E	B	ida
ESE	BCE	idakagu
SE	CB	kagu
SSE	CCB	lõunakagu
S	C	lõuna
SSW	CCB	lõunaedel
SW	CB	edel
WSW	CCB	lääneedel
W	B	lääs
WNW	CCB	lääneloe
NW	CB	loe
NNW	CCB	põhjaloe

Aeroloogias määratakse tuule suund asimuudi järgi: põhja asimuut on 0° ; ida - 90° ; lõuna - 180° ; lääne - 270° .

Meteoroloogias on praegu tuule kiiruse mõõtühikuks m/s (mõnikord ka km/t), meremeeste praktikas on säilinud endisest ajast tuule tugevuse ühikuna Beaufort'i (loe: bofoor)

skaala pallid. Beaufort'i pallidele vastavad tuule kiirused (m/s) ning vastava tugevusega tuule nimetused on toodud tabelis 2.

T a b e l 2

Beaufort'i pallid	Tuule kiirus m/s	Tuule nimetus
0	0 - 0,5	Tuulevaikus
1	0,6 - 1,7	Vaikne tuul
2	1,8 - 3,3	Kerge tuul
3	3,4 - 5,2	Nõrk tuul
4	5,3 - 7,4	Mõõdukas tuul
5	7,5 - 9,8	Kaunis tugev tuul
6	9,9 - 12,4	Tugev tuul
7	12,5 - 15,2	Vali tuul
8	15,3 - 18,2	Tormine tuul
9	18,3 - 21,5	Torm
10	21,6 - 25,1	Tugev torm
11	25,2 - 29,0	Maru
12	üle 29,0	Orkaan

Beaufort'i pallide B järgi tuule kiiruse v (m/s) arvutamiseks võib kasutada järgmist ligikaudset valemit

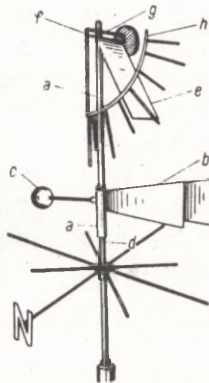
$$v \approx 2B - 1, \quad (1)$$

mis on rakendatav tuule tugevuse korral 1 - 7 (kaasa arvatud) palli.

4. Tuule suuna ja kiiruse mõõtmine

Kasutatavamad tuule suuna ja kiiruse mõõteriistad on Wildi tuulelipp, Tretjakovi tuulemõõtja ja käsianemomeeter. Nende töötamine põhineb tuule kui liikuva õhuvoolu poolt esilekutsutud dünaamilisel surveel.

1. Meteojaamades levinum tuulemõõtja on Wildi tuulelipp, mille ehitus ja töötamine selgub jooniselt 19. Umbes 10 - 12 m kõrguse posti otsa on kruvitud vertikaalne teras-



Joon. 19. Wildi tuulelipp.

varras d, mille ülemisele teravale otsale toetub kergesti pöörav torukujuline varras a. Viimase alumises osas asuva muhvi külge on kinnitatud tuulelipp. See koosneb kahest metallplaadist (moodustavad omavahel 22° nurga) valmistatud sabast b ja tasakaalustavast metallkerast c, mis on muhvi ühendatud horisontaalse vardaga. Tuule surve mõjul li-

pu sabale pöörduv lipp (ja koos sellega ka varras a) alati nii, et kera c on suunatud vastutuult, näidates tuule suunda. Ilmakaarte määramiseks on liikumatu varda d külge kinnitatud horisontaalsed metallpulgad (8 tükki), millest põhja suunatud pulk on varustatud tähega N (või C).

Tuule kiiruse määramiseks on pöörleva varda a ülemise osa külge kinnitatud kiirusenäitaja. See koosneb horisontaalse võlli f ümber kergesti pöörlevast plaadist e ja metallkaarele h kinnitatud 8 piist (4 lühikest ja 4 pikka). Plaat e, mille mõõtmised on 15 x 30 cm ja kaal 200 G (kerge plaat tuule kiiruse mõõtmiseks kuni 20 m/s) või 800 G (raske plaat tuule kiiruse jaoks kuni 40 m/s), on kinnitatud vardale a nii, et ta on risti tuulelipu suunale, s.t. on risti tuulele. Tuule surve mõjul kaldub plaat vertikaalasendist seda rohkem kõrvale, mida tugevam on tuul. Viimase mõõtmiseks ongi plaadi alumise serva lähedale paigutatud 8 piist koosnev skaala h, kusjuures numeratsioon algab alt (vertikaalne pii on 0, kõige kõrgem 7).

Tuule suuna vaatlemisel tuleb vaatlejal seista posti lähedal ja jälgida tuulelipu pea (kera) asendit ilmakaarte suhtes 2 min. jooksul. Kiiruse määramisel eemaldub vaatleja postist tuule ristsuunas ja jälgib plaadi asendit umbes 2 min. jooksul. Registreerides plaadi keskmise asendi piide järgi, leitakse tabelist 3 tuule kiirus m/s-tes. Tugeva tuule korral tuleb ära märkida ka plaadi kõrgeim asend.

2. Tretjakovi tuulemõõtja on oma ehituselt sarnane Wildi tuulelipule (joon. 20). Teatud erinevused siiski esinevad. Kõigepealt paistab silma, et tuulelipu saba on omapärase kujuga plaat 8, edasi, ilmakaari näitab 60 osaks jaotatud asimuutring 5 (või kaheksaharuline täht), kuid kõige suurem erinevus on plaadi konstruktsioonis. See koosneb kahest plaadist 9 ja 10, mis moodustavad omavahel 76°-se nurga. Tuule kiiruse mõõtmiseks on kasutatud lipu saba kaarjat osa, millele märgitud arvud näitavad tuule kiirust m/s-tes. (See skaala on gradueeritud eksperimentaalselt.) Alumise

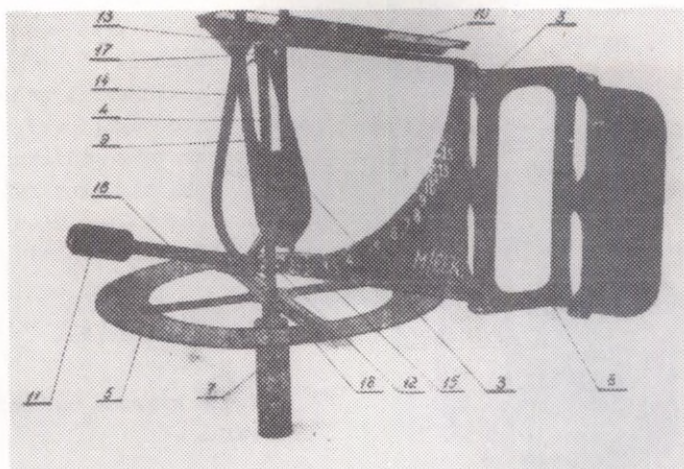
Tuule kiirus tuulelipu plaadi asendi järgi

Tuulelipu plaadi asend	Tuule kiirus (m/s)	
	kerge plaadi korral	raske plaadi korral
0-pii juures	0	0
0-pii ja 1. pii vahel	1	2
1. pii juures	2	4
1. ja 2. pii vahel	3	6
2. pii juures	4	8
2. ja 3. pii vahel	5	10
3. pii juures	6	12
3. ja 4. pii vahel	7	14
4. pii juures	8	16
4. ja 5. pii vahel	9	18
5. pii juures	10	20
5. ja 6. pii vahel	12	24
6. pii juures	14	28
6. ja 7. pii vahel	17	34
7. pii juures	20	40
Kõrgemal 7. piist	20	40

plaadi 9 otsas on väike teravik 15, mis täidab osuti ülesannet.

Tretjakovi tuulemõõtja paigutatakse spetsiaalsele statiivile ja orienteeritakse õigesti ilmakaarte järgi (ilmakaarte skaala C-täht või asimuutringi 0 peab olema suunatud põhja).

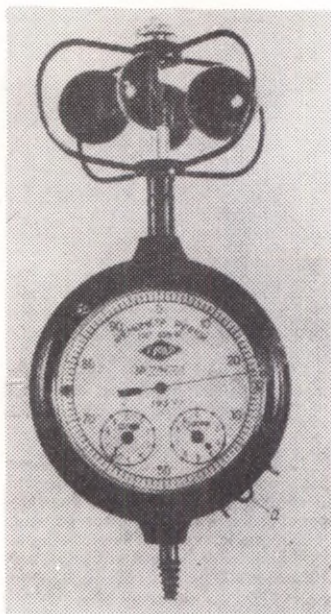
Kiiruste vahemikus 1 - 6 m/s on Tretjakovi tuulemõõtja täpsus 0,5 m/s, suuremate kiiruste puhul aga 1 m/s.



Joon. 20. Tretjakovi tuulemõõtja.

3. Käsianemomeeter. Teatud ajavahemiku keskmise tuule kiiruse mõõtmiseks kasutatakse käsianemomeetrit (joon. 21). Selle vastuvõtvaks osaks on vertikaalse telje ümber kergesti pöörlev tiivik, mis koosneb neljast õõnsast poolkerast. Kaitseks mehaaniliste vigastuste eest on tiivik ümbritsetud traadist kaitsevõrega. Pöörleva telje alumises osas on vint, mida saab suruda vastu hammasrattaid arretiiri abil. Arretiiri väline rõngakujuline osa *a* asub anemomeetri korpuse paremal küljel.

Tõugates arretiiri ülespoole, ühendatakse pöörlev telg hammasrattaste kaudu osutitega. Neid on kolm: kõige pikem osuti näitab skaala jaotusi, mis on võrdelised tiiviku pöörrete arvuga 0-st kuni 100-ni, kaks väiksemat osutit aga sadasid ("СОТНИ") ja tuhandeid ("ТЫСЯЧИ") jaotusi. Surudes



Joon. 21. Käsi-anemomeeter.

arretiiri alla, eraldatavate pöörlev telg hammasra-
taste süsteemist ja seega
tiiviku pöörlemisel osutid
jäädvad paigale.

Et anemomeetri passis
antud siirdeteguri väärtu-
sed vastaksid tegelikkuse-
le, ei tohi tiivikut käega
katsuda ega telje ülemist
kruvi pöörata.

5. Töö käik

Tuule kiiruse mõõtmis-
sel tuleb

- 1) kruvida anemomeeter
ettevaatlikult lati ot-
sa, nii et tiivik asuks
etteantud kõrgusel (1;
1,5; 2 m);
- 2) määrata anemomeetri alg-
lugem N_1 jaotust;
- 3) avada arretiir (suruda arretiiri rõngake üles) ja samal
momendil käivitada stopper (selle puudumisel võib kasu-
tada sekundiosutiga käekella);
- 4) teatud aja Δt sekundi möödumisel sulgeda arretiir (su-
ruda rõngake alla) ja määrata lõpplugem N_2 ;
- 5) leida mitme jaotise võrra nihkus osuti edasi ühe sekundi
jooksul, s.t. leida suhe $\frac{N_2 - N_1}{\Delta t} = \frac{\Delta N}{\Delta t} \left(\frac{\text{jaotust}}{s} \right)$;
- 6) määrata kalibreerimise graafiku või siirdeteguri k jär-
gi, mis on antud anemomeetri passis, tuule kiirus
 $v = k \frac{\Delta N}{\Delta t} \left(\frac{m}{s} \right)$;

7) Tretjakovi tuulemõõtjaga määrata tuule suund ja kiirus 5 minuti jooksul, lugedes vaheldumisi 10 korda tuule suunda ja 10 korda tuule kiirust, ning võtta suuna ja kiiruste lugemitest aritmeetiline keskmine. Tuule suunda tuleb määrata täpsusega 0,5 jaotust (3°) ja kiirust 0,5 m/s.

Mõõtmistulemused ja arvutused esitada järgmise tabeli kujul.

Tuule kiiruse määramine anemomeetriga nr. ...

Koht Anemomeetri kõrgus
 Kuupäev maapinnast m

Nr.	Kella- aeg	Alg- lugem N_1 jaot.	Lõpp- lugem N_2 jaot.	$\Delta N = N_2 - N_1$	Δt (s)	$\frac{\Delta N}{\Delta t}$	α	v ($\frac{m}{s}$)

6. Küsimusi

1. Kuidas töötab anemomeeter?
2. Kuidas tuleb anemomeeter üles seada?
3. Milleks on arretiiri rõngakese lähedal kaks teist rõngast?
4. Miks ei tohi anemomeetri telje ülemist kruvi pöörata?
5. Millist tuule kiirust mõõdab anemomeeter?
6. Kuidas saaks mõõta tuule suunda?
7. Miks tuule kiirused erinevad anemomeetri ja Tretjakovi tuulemõõtja kasutamise puhul?
8. Kuhu tuleb üles seada tuulelipp?
9. Kuidas muutub tuule kiirus kõrguse suurenemisel?

7. PILVEDE MÄÄRAMINE

1. Tööülesanne

Tundma õppida pilvede põhilike ja osata neid määrata.

2. Tõõvahendid

Pilvede atlas.

3. Pilvede tekkimise põhjusi

Pilved ja udud on veeauru kondensatsioon- või sublimatsiooniproduktid õhus. Erinevus pilvede ja udu vahel seisneb selles, et udud paiknevad maalähedases õhukihis, pilved tekivad aga kõrgemal.

Kondensatsioon tekib kahel olulisel tingimusel:

- 1) veeaur õhus peab olema küllastatud olekus ja
- 2) õhus peab leiduma kondensiooni- ehk küllastustuumakesi.

Kondensatsioonituumakestest (suurus 10^{-3} kuni 10^{-7} cm) atmosfääris tavaliselt puudust ei ole. Eriti palju leidub neid tööstusrajoonides.

Veeaur õhus esineb tavaliselt küllastamata olekus. Küllastatuks muutub veeaur õhus 1) veeauru juurdetuleku teel auramise tõttu aluspinnalt ja 2) temperatuuri langemisel kastepunktini.

Kastepunktiks ehk kondensatsioonitemperatuuriks t nimetame seda temperatuuri, mille juures õhus olev veeaur hakkab kondenseeruma.

Atmosfääri tingimustes saabub veeauru küllastatud olek mõlemal viisil - nii auramisel kui temperatuuri langemisel. Udud ja pilved tekivad sageli just temperatuuri alanemisel kastepunktini või sellest madalamale.

Tähtsamad protsessid, mis viivad temperatuuri langemi-

sele kastepunktini (ja sellega udude ja pilvede tekkimisele) on järgmised:

1) kahe niiske ja erineva temperatuuriga õhumassi segunemine;

2) jahtumine kiirgamise tõttu;

3) jahtumine vastu külma aluspinda;

4) õhu adiabaatiline jahtumine.

Pilved tekivad peamiselt õhu adiabaatilisel jahtumisel, kui õhk tõuseb konvektsioonvoolude näol (terminiline konvektsioon), libiseb mööda frontaalpinda (ka mäe nõlvakut mööda) või tõuseb turbulentsel segunemisel üles. Sõltumata sellest, mis põhjustab niiske õhu ülestõusmist, jahtub õhk 1° võrra 100 m kohta (kuivadiabaatiline temperatuuri gradient $\gamma_a = 1 \text{ kr}/100 \text{ m}$), kuni on saavutatud kondensatsioonipind. Edasisel tõusmisel jahtub õhk $0,6^{\circ}$ võrra 100 m kohta (märgadiabaatiline temperatuuri gradient γ_a').

Pinda, millel temperatuur on võrdne kastepunktiga, nimetatakse kondensatsiooni- ehk küllastuspinnaks. Sellest kõrgemale tõusmisel hakkab veeaur kondenseeruma ja algab pilvede tekkimine. Pilve alumine pind asub kondensatsioonipinnast pisut kõrgemal.

Mis puutub pilve ülemise pinna kõrgusesse, siis selle määrab kõrgus, milleni niiske õhk on tõusnud. Õhu tõusmist pidurdavad tugevasti isotermiline (temperatuur on püsiv), eriti aga inversioonikiht (temperatuur tõuseb koos kõrgusega).

Nende pidurdavate kihtide olemasoluga ongi seletatav, miks kõik tavalised pilved asuvad troposfääris: pealpool troposfääri temperatuur on kas püsiv või tõuseb kõrguse suurenedes.

Pilved koosnevad õhus hõljuvatest väikestest veepiisakestest ja jääkristallidest; neid nimetame pilveelementideks. Pilves esineb sageli vesi allajahutatud olekus ja seetõttu sisaldavad veepiisakesi ka need pilved, mille temperatuur on tunduvalt alla 0° (-10° , mõnikord kuni -30° C). Väga madala temperatuuri korral pilved koosnevad ainult jää-

kristallidest. Pilve koostisosade järgi jaotame pilvi veesilvedeks, jääpilvedeks ja segapilvedeks. Segapilved koosnevad veepiisakestest ja jääkristallidest. Muude, soodsad tingimused sademete tekkimiseks valitsevad segapilvedes.

Pilvede iseloomustamiseks kasutatakse mitmeid karakteristikuid, nagu pilvede hulk, liik, vesisus jt.

Pilve vesisuseks ehk veesisalduseks nimetatakse pilve ühes kuupmeetris leiduvate kondensatsiooniproduktide (veepiisakeste ja jääkristallide) massi grammides.

4. Pilvede hulga määramine

Pilvede hulka hinnatakse 10-pallise skaala järgi (0 kuni 10 palli). Pallide arv näitab, mitu kümnendikku taevast on pilvedega kaetud: 0 palli tähendab, et taevast pole pilvi või neid on vähem kui pool palli; 1 pall, et üks kümnendik osa taevast on pilves; 2 palli, et kaks kümnendikku taevast on pilves, jne. Täispilves taevast tähistatakse 10-ga. On aga pilvkattes üksikud augud, siis tähistatakse seda 10 .

Pilvede hulk antud kohas määratakse visuaalselt (silma järgi). Peale pilvede koguhulga tuleb määrata alumiste, keskmiste ja ülemiste pilvede hulk eraldi. Päeva loetakse pilviseks, kui pilvi on 8 või rohkem palli; selgeks, kui pilvi on 2 või vähem palli.

Sünoptilises meteoroloogias kasutatakse pilvede hulga registreerimiseks järgmisi rahvusvahelisi leppemärke.

Pallide arv	0	1	2-3	4	5	6	7-8	9	10
Leppemärk	○	①	⊙	⊕	●	⊕	●	●	●

Kui udu tõttu on taevast nähtmatu, kasutatakse märki ⊗.

5. Pilvede klassid ja põhiliigid

Pilved liigitatakse nende välise kuju (morfoloogia), ehituse ja alumise pinna kõrguse järgi nelja klassi, milles on kokku 10 põhiliiki. Need põhiliigid jagunevad veel omakorda mitmeks alaliigiks.

Pilvede klasside ja põhiliikide eesti- ja ladinakeelsed nimetused, rahvusvahelised lühendid ja lühike iseloomustus on järgmine.

I klass. Ülemised pilved, mille alus on kõrgemal kui 6 km. Siia kuulub 3 põhiliiki:

- 1) kiudpilved - Cirrus - Ci,
- 2) kiudrunkpilved - Cirrocumulus - Cc ja
- 3) kiudkihtpilved - Cirrostratus - Cs.

Kõik ülemised pilved koosnevad väikestest jääkristallidest. Need on õhukesed valged pilved, millest paistavad läbi Päike ja Kuu, mõnikord ka heledad tähed ja isegi sinine taevast. Päikese ja Kuu äär on teravalt piiritletud. Valguse peegeldumise tõttu jääkristallidelt tekivad Päikese ja Kuu ümber 22° ja 46° raadiusega heledad rõngad ehk halod. Mõnikord on rõnga päikesepoolne serv punakas. See on tingitud valguse nõrgast murdumisest jääkristallides. Ülemised pilved ei anna kunagi sademeid.

Kiudpilved on väliselt kiulise ehitusega; kiud on valged ja väga õhukesed, mis mõnikord paiknevad korrapäraselt, teinekord aga korrapäratult, üksikute kobaratena, meenutades linnusulgi, niiti, haake jne.

Kiudrõngaspilved esinevad pilvede kogumina, mis meenutavad lambavilla või puuvilla tükikesi.

Kiudkihtpilv kujutab ühtlast ja valkjat pilveloori, millest Päike ja Kuu läbi paistavad. Valguse peegeldumise tõttu pilve jääkristallidelt tekivad rõngad. Nende kaudu on mõnikord võimalik väga õhukesi kiudkihtpilvi kindlaks teha.

II klass. Keskmised pilved, mis asuvad tavaliselt 2 - 6 km kõrgusel. Võrreldes ülemiste pilvedega, on keskmised pilved tüsedamad ja mõnevõrra tumedamad. Ohematest pilvedest paistavad Päike ja Kuu nagu läbi mattklaasi, tüsedamate pilvede korral on Päike vaevalt nähtav. Kui need pilved on Päikese või Kuu lähedal, on pilve ääred nõrgalt värvilised. Keskmised pilved on kas vesipilved (koosnevad veepiisakesestest) või segapilved (koosnevad veepiisakesestest ja jääkristallidest). Talvel võivad keskmised pilved anda kergelt lumesadu, suvel aga auravad piisakesed ära, tekitades sajujooni. Keskmiste pilvede klassi kuulub 2 põhiliiki:

4) kõrgrõngaspilved - Alto cumulus - Ac;

5) kõrckihtpilved - Alto stratus - As.

Kõrgrõngaspilved on valged, hallikad või sinakad pilvetükid, mis on sageli rühmitunud kobarateks või ribadeks, mille vahelt paistab sinine taevast.

Kõrgkihtpilved kujutavad endast halli või sinakat kergelt lainjat pilveloori, mis sarnaneb kiudkihtpilvedega ja seetõttu vahetatakse neid mõnikord ära kiudkihtpilvedega. Erinevus seisneb selles, et kõrgkihtpilved asuvad madalamal, nad on paksemad ja nendes ei teki halonähtusi (küll aga võib tekkida valguse difraktsiooni tõttu väike värviline tara Kuu ümber). As on koostiselt segapilv, mis võib anda talvel lume mõel kergeid sademeid.

III klass. Alumised pilved asuvad madalamal kui 2 km. Need on tumehallid paksud pilved, millest Päike ei paista läbi. Koostiselt on need vesi- või segapilved. Siia kuulub 3 põhiliki:

- 6) kihtpilved - Stratus - St;
- 7) kihtrümpilved - Stratocumulus - Sc;
- 8) kihtsajupilved - Nimbostratus - Ns.

Kihtpilved katavad taevast ühtlase halli pilvekihina, sarnanedes maapinnalt ülestõusnud uduga. Tavaliselt katavad nad kogu taeva. Nende pilvede alumine pind asub mõnekümne kuni saja meetri kõrgusel, mõnikord aga laskuvad nii madalale, et moodustavad udu.

Kihtpilved koosnevad väga väikestest veepiisakestest, mis külmal ajal esinevad allajahutatud olekus; need pilved võivad sisaldada ka jääkristalle. Kihtpilved võivad anda soojal ajal uduvihma, külmal ajal aga teralund või jääkoelu.

Kihtpilved tekivad 1) sooja ja niiske õhu jahtumisel vastu külma aluspinda, 2) õhu jahtumisel õõsel pikalainealise kiirguse teel või 3) veeauru tõusmisel turbulentsse segunemise tõttu inversioonikihini.

Kihtrümpilve moodustavad kaunise suured ja paksud ebamääraste piirjoontega pilvepangad või -pallid. Sageli need pangad liituvad, moodustades tumedaid pilvevalle või -vagusid.

Kihtrümpilved koosnevad veepiisakestest, mis talvel on allajahutatud olekus. Sademeid need pilved ei anna.

Kihtrümpilved tekivad 1) lainelisel liikumisel inversioonikihis madalamal kui 2 km, 2) rümpilvede laiali-valgmisel inversioonikihi all või 3) seoses konveksioonvoolude raugemisega õhtul.

Kihtsajupilved kujutavad endast tumedat ja vormitult pilvemassi, millest tuleb laussademeid (vihma või lund). Tavaliselt esinevad kihtsajupilvede all rebenenud kihtpilvede (Stratus fractus) tüüdid, mis osaliselt või täielikult varjavad kihtsajupilvi. Viimaste alumine pind on madalamal kui 1 km, kuid nende paksus võib ulatuda mõne kilomeetrini. Kihtsajupilved koosnevad veepiisakestest (talvel allajahatud olekus) ja jääkristallidest.

Kihtsajupilved tekivad sooja õhu tõusmisel frontaalpinna mõõda. Seega kihtsajupilved esinevad tsüklonis (madalrõhkonnas).

IV klassi kuuluvad püstsunnas arenevad konveksioonipilved, mis tekivad tõusvates õhuvooludes (konveksioonvooludes) niiske õhu adiabaatilisel jahtumisel kastepunktini või madalama temperatuurini.

Konveksioonipilvede alumine pind asub 400-1500 m kõrgusel, ülemine pind aga võib ulatuda suure kõrguseni - mõnikord kuni tropopausini. Sellesse pilveklassi kuulub kaks põhiliki:

- 9) rümpilved - Cumulus - Cu ja
- 10) rümpilved - Cumulonimbus - Cb.

Rümpilved (Cumulus) on taevavõlvil laiali paisatud suuremad või vähemad pilverüngad, mille alumine pind on kaunis tasane, ülemine pind aga korrapärase kujuga, meenutades kupleid või torne. Nende pilvede alumine osa on pilve heitevarju tõttu tumes, ülemine aga päikesekiirte hajumise tõttu säravalt hele.

Rümpilved koosnevad mitmesuguse suurusega veetilkadest. Rümpilved tavaliselt sademeid ei anna. Tugevate konveksioonvoolude korral võivad sademed tekkida ka rümpilvedest. Sellise olukorraga puutume kokku troopikas; paras-

võõtnes annavad rünkpilved harva üksikuid piisku või lühiajalist nõrka vihma.

Rünksajupilved (Cumulonimbus) tekivad väga tugevate konvektsioonvoolude korral, mis ulatuvad troposfääri ülaossa. Need pilved kujutavad endast võimsaid pilvemasse, meetades mägede massiive. Rünksajupilved esinevad üksikute pilvedena või katavad kogu taeva. Rünksajupilved on väga tihedad; Päike ei paista nendest kunagi läbi, ilm võib päeval pimeneda. Rünksajupilved on koostiselt segapilved, mis annavad tugevat hoogvihma, hooglund, suvel rahet.

Soojal ajal kaasneb rünksajupilvega sageli (mitte küll alati) äike ja seepärast nimetatakse neid ka äikesepilvedeks.

Rünk- ja rünksajupilved on üldiselt hästituntud pilved ja seepärast nende äratundmine ei valmista tavaliselt raskusi. Teiste pilvede kindlaksmääramisel tuleb kasutada pilvede atlast.

6. Tõõ käik

Pilvede vaatlusel on tarvis kindlaks määrata pilvede põhilik, nende hulk ja mõnikord ka alumiste pilvede kõrgus maapinnalt. Vaatlusi tehakse avatud kohas, kus hooned, puud ja muud esemed ei varja taevast. Sobivaks kohaks on tornid.

Pilvede vaatlus algab pilvede hulga kindlaksmääramisega. Kõigepealt tuleb silma järgi hinnata pilvede koguhulk, seejärel alumiste pilvede hulk. Vaatlustulemused pannakse kirja murruna, mille lugejas on kõigi pilvede ja nimetajas alumiste pilvede hulk. Näiteks, kui pool taevast oli pilves ja alumisi pilvi (kaasa arvatud ka konvektsioonpilved) oli 3 palli, märgitakse seda nii: 5/3.

Kui vaatluse ajal paistab Päike, kirjutatakse pilvede hulga ette märk ☉ (ring punktiga keskel). Heleda päikesepaiste korral kirjutatakse päikese märgi ☉ juurde

üles paremale arv 2, nõrga päikesepaiste korral (Päike paistab läbi pilvede) arv 0.

Olles hinnanud pilvede hulga, tuleb määrata pilvede liik. Nende äratundmiseks tuleb kasutada pilvede atlast. Pilved tuleb kirja panna rahvusvaheliste lühendite abil (C1, Cs, As, St jne.), kusjuures esimesele kohale tuleb kirjutada need pilved, mida on kõige rohkem, kuna teised liigid märgitakse üles nende hulga järjekorras. Näiteks, taevast oli 3 palli kihtpilvi, 1 palli kõrgkihtpilvi ja 2 palli kiudpilvi ning Päikese ees ei olnud pilvi, pannakse kirja nii:

⊙² 6/3 St, C1, As.

7. Küsimusi

1. Millised protsessid põhjustavad pilvede tekkimist?
2. Millised optilised nähtused esinevad pilvedes?
3. Millest koosnevad pilved?
4. Millised pilved annavad sademeid?
5. Mille poolest erineb rümpilv rünsajupilvest?
6. Miks esinevad ilusa ilma korral pärast lõunat rümpilved ja miks nad õhtuks kaovad?
7. Millised on pilvede põhilised karakteristikud?

8. SADEMETE MÕOTMINE

1. Tööülesanne

Tutvuda sademete mõõteriistadega ja osata nendega sademeid mõõta.

2. Töövahendid

Sademetemõõtja.

3. Sademe tekkimine ja liigid

Atmosfääriliste sademete all mõistame pilvedest maapinnale langenud kondensatsiooniprodukte vedelas (vihm, uduvihm) või tahkes (lumi, rahe, teralumi jne.) olekus. Sademed laiemas tähenduses haaravad ka kondensatsiooniprodukte maapinnal või esemetel (kaste, hall, härm, jääde jt.).

Pilveelemendid on niivõrd väikesed, et nad õhu takistuse tõttu hõljuvad õhus. Kui aga pilveelemendid on kasvanud teatud suuruseni (läbimõõt on suurem kui 0,05 mm), ületab raskusjõud õhu takistuse ja nad hakkavad pilvedest sademetena aeglaselt alla langema. Pilveelemendid võivad kasvada veeauru kondensatsiooni või tilgakaste liitumise (koagulatsiooni) tõttu, mille kutsub esile tilkade ebaühtlane langemise kiirus (õhus langevad suuremad tilgad kiiremini kui väikesed), molekulaarne liikumine (Browni liikumine), õhu turbulentsne segunemine jt. protsessid.

Sademeid liigitame mitmeti. Morfoloogiliselt liigitame sademeid (vt. lk. 86) järgmiselt: vihm (●), uduvihm (☉), lumi (*), lumelörts (⊙), rahe (▲) jt. (Sulgudes on antud sademete rahvusvahelised leppemärgid.)

Langemise iseloomu järgi liigitame sademeid laus- ja hoogsademeteks. Esimesed on kestvad ja võrdlemisi ühtlased, teised aga algavad järsku, kestavad lühikest aega ja annavad ohtralt vett või lund. Agregaatoleku järgi liigitame

sademeid vedelateks (vihm, uduvihm), tahketeks (lumi, rahe, teralumi jne.) ja segatüüpi sademeteks (lumelõrts, rahe koos vihmaga, jäävihm koos vihmaga).

4. Sademete karakteristikud

Sademete režiimi iseloomustamiseks kasutatakse mitmeid karakteristikuid, nagu sademete hulk, sademete intensiivsus, sajupäevade arv, sademete tunni-, päeva-, kuu- ja aasta-summa.

Sademete hulk on veekihi paksus millimeetrites, mis jääks peale sadu(sid) maapinnale, kui sealt sademed ära ei voolaks ega auraks või pinnasesse ei nõrguks. Tahked sademed tuleb veeks sulatada ja siis mõõta tekkinud veekihi paksust.

Sademete intensiivsus on veekihi paksus millimeetrites, mis langeb maapinnale ühe ajaühiku (min., tund, päev) jooksul.

Sademepäevade arv näitab, mitmel päeval oli sademeid antud ajavahemiku (nädal, kuu, aasta) vältel. Sajupäevadeks loetakse neid päevi, millal sademeid oli rohkem kui 0,1 mm.

Sademete tunni-, päeva-, kuu- või aastasummaks nimetame sademete hulka millimeetrites, mis langeb vastava aja (tunni, päeva, kuu jne.) jooksul.

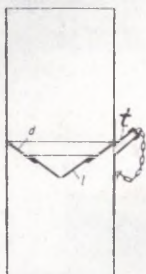
Paljuaastasi keskmisi sademehulkade summasid nimetame sademete klimatoloogiliseks normiks.

Peale eespool mainitud karakteristikute kasutatakse meteoroloogias veel mitmeid teisi sademete karakteristikuid, näiteks sademete vesisust, mis näitab, kui suur on sademete mass (grammides) ühes kuupmeetris õhus saju ajal.

5. Sademete mõõteriistad

Sademete hulka mõõdetakse sademetemõõtjaga, sademete kestust ja intensiivsust pluviograafiga (või ombrograafiga).

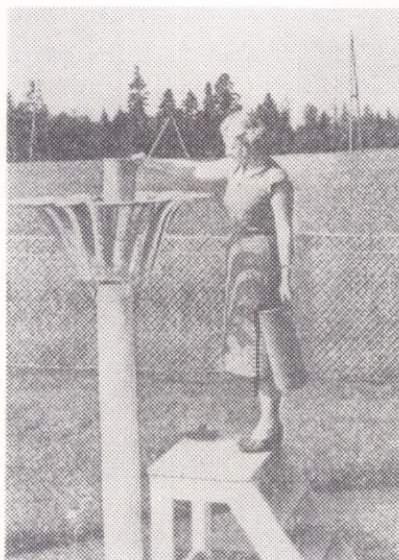
1. Sademetemõõtja. Ehituselt on sademetemõõtja lihtne: ta koosneb kindla mõõtmega (ristlõike pindala 200 cm^2 , kõrgus 40 cm) silindrikujulisest sademete anumast (joon. 22). Sademete anum asetatakse posti otsa nii, et anuma ülemine



Joon. 22. Sademete anuma skeem.

Äär on horisontaalne ja asub maapinnalt 2 m kõrgusel. Auramise vähendamiseks on anuma sees alumises osas koonusekujuline diafragma d , mille peale suvel asetatakse väikese avaga lehter l . Sademete vee väljavalamiseks on pisut allpool diafragmat katikuga tila t . Et tuul ei puhuks sademeid anumast välja ega anumasse sisse, on sademetemõõtja varustatud tuulekaitsega. Meteoroloogias kasutatakse kaht tüüpi tuulekaitset - Nieferi ja Tretjakovi oma. Esimene on tükikoonusekujuline tsingitud plekist ülalt ja alt lahtine kaitse, mille alumine kitsam pool toetub sademetepostile asetatud metallist seadmele; laiem osa on pööratud üles ja asub sademete anuma ülemise äärega samal kõrgusel.

Tretjakovi kaitse koosneb 15-st või 16-st võrdhaarse trapetsi kujulisest ribast, mis on painutatud kõveraks, meenutades avatud tulbi õit (joon. 23). Ribad on kinnita-



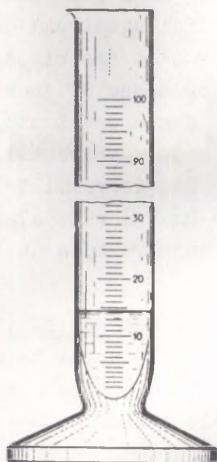
Joon. 23. Tretjakovi sademetemõõtja.

tud nii, et nad saavad tuule käes liikuda. Uurimised näitavad, et ribadest koosnev Tretjakovi tuulekaitse vähendab tuule mõju sademeteaanumasse sisse- või väljapuhumisel rohkem kui Nieferi tuulekaitse ja seepärast leiab Tretjakovi tuulekaitse meteoroloogias rohkem kasutamist.

Sademeteaanumasse kogunenud sademeid mõõdetakse 100 jaotusega mõõduklaasi abil (joon. 24). Selle läbimõõtu on valitud nii, et igale jaotusele vastab sademete hulk 0,1mm.

Agrometeoroloogias on leidnud kasutamist Davitaja vihmamõõtja (joon. 25). See koosneb silindrilisest klaasanumast, mille ülemine osa on laiem, ristlõike pindalaga

30 cm². Alumisele kitsamale osale on kantud jaotused, mis võimaldavad vihma hulka mõõta millimeetrites. Auramise vähendamiseks on laiemasse osa paigutatud klaasist lehter.



Joon. 24. Sademete mõõduklaas.

Davitaja vihmamõõtja paigutatakse puust või metallist postile nii, et mõõtja ülemine äär asub maapinnalt 1,5 m kõrgusel. Sademete mõõtmisel taimkattes asetatakse vihmamõõtja otse maapinnale.

2. Pluviograaf. Sademete kestuse ja intensiivsuse mõõtmiseks kasutatakse iseregistreerijat - pluviograafi või ombrograafi. Esimene neist mõõdab ainult vedelaid, teine aga vedelaid ja tahkeid sademeid kokku.

Pluviograaf (joon. 26) koosneb sademete anumast ristlõike pindalaga 500 cm². Anumast 1 langeb vihmavesi toru 2 kaudu silindrikujulisse ujukruumi 3. Sinna kogunenud veepinnal asub ujuk, mis varda 4 kaudu on ühendatud osutiga 5. Osuti otsas on spetsiaalne kirjutussulg, mis märgib kellamehhanismi abil pöörlema pandud trumlile asetatud lindile



6 sademete kõvera. Lindile, mida pluviogrammiks nimetatakse, on trükitud horisontaalsed ja vertikaalsed jooned. Esimesed võimaldavad määrata vihma hulka, teised saju esinemise aega.

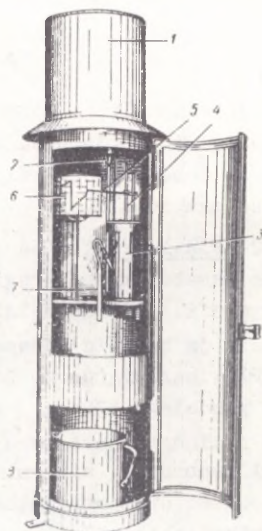
Kui ujukiruum on täitunud vihmaveega, voolab see sifooni 7 kaudu alumisse lisaanumasse 8. Anuma tühjenemise momendil langeb osuti ots järaku alla ja algab saju edasikestmisel uuesti tõusmist.

Pluviogrammilt saab määrata sademete hulga, saju alguse ja lõpu momendi, saju kestuse ja sademete intensiivsuse.

3. Ombrograafi, millega mõõdetakse nii vedelaid kui ka tahkeid sademeid, ja vihmamõõtja. töötamine põhineb sademete hulga kaalumisel: sademeteanum on kirjakaalu vaekausil, kaalu osuti ots libiseb paberlindil, mis on asetatud pöörlevale trumlile.

Sademetemõõtja ja ise-registreerija (pluviograaf või ombrograaf) asuvad metaoväljaku keskel. Sageli on tarvis sademeid mõõta ka mujal, nagu näiteks põllul, metsas jne. Ka sel korral tuleb mõõtmiskoha valikul silmas pidada testud nõudeid: koht ei tohi asuda liiga tavalisel ega ka puude ja hoone-te poolt varjatud kohal.

Sademeid mõõdetakse tavaliselt kaks korda ööpäevas.



Joon. 26. Pluviograaf.

6. Tõõ kük

1. Sademete mõõtmisel tuleb kõigepealt vihmavesi (tahkete sademete korral tuleb lumi enne ära sulatada) valada sademeteaanumast mõõduklaasi ja ära lugeda nävoo kõrgus. Seejuures peab mõõduklaas olema vertikaalasendis.

2. Pluviogrammi ümbertõõtlemlsel tuleb

1) kindlaks määrata saju alg- ja lõppmoment ning saju kestus;

2) arvutada saju keskmine intensiivsus valeml jürgi $I = \frac{R}{t}$ (R - sademete hulk, t - seg);

3) määrata maksimaalne intensiivsus ja esinemise seg.

7. Küsimusi

1. Kuidas tekivad sademed?

2. Millised on sademete liigid?

3. Millised on sademete põhilised karakteristikud?

4. Kuidas on sademete hulk seotud sademetevee ruumalaga ühe ha või km² kohta?

5. Kuidas on seotud sademete hulk ja vee nivoo kõrgus mõõduklaasis?

6. Miks on sademeteaanumas kooniline diafragma?

7. Kuidas kontrollida sademeteaanuma veepidavust?

8. Kuidas on võimalik kindlaks teha tuule mõju sademete hulga?

9. LUME TIHEDUSE JA VEEVARU MÄÄRAMINE

1. Tõõõlesanne

Tutvuda lume tiheduse ja veevaru määramise meetodiga. Määrata lume tihedus ja veevaru.

2. Tõõõvahendid

Lumekaalud.

3. Lumikatte karakteristikud. Lumekaalud

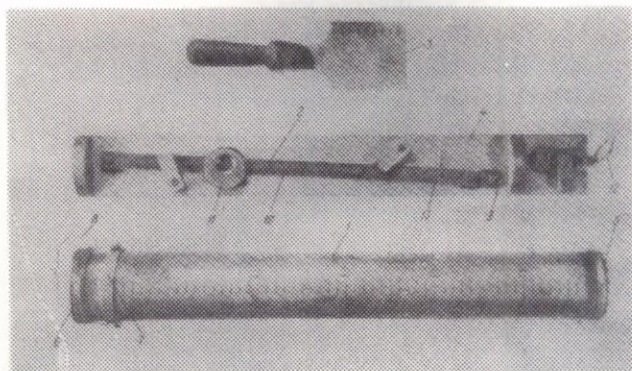
Lumikatet iseloomustatakse mitmete karakteristikute abil, milledest tähtsamad on lumikatte kõrgus, tihedus ja veevaru. Viimase all mõistetakse veekihi paksust (millimeetrites või sentimeetrites), mis tekib lume täielikul sulamisel, eeldusel, et sulamisel tekkinud vesi ei auru ega voola ära.

Täiendavate karakteristikute hulka kuuluvad veel maapinna lumega kaetus ehk katteväärtus, mis näitab, mitu protsenti maapinnast on lumega kaetud; edasi, lume ladestumise iseloom (hanged, tasane lumepind) ja andmed lumekoorku ning struktuuri kohta.

Lume tiheduse määramiseks on tarvis teada antud ruumalas V leiduvat lume massi m . See määratakse spetsiaalse lumekaalu abil (joon. 27), mis koosneb silindrilisest torust 1 ja püsmerkaaludest 2. Täiendavate vahenditena kuuluvad kaalude juurde metallist lumelabidas 3, puitalus 4 kaalude paigutamiseks ja riidest kott kaalude transportimiseks.

Lumeproovi võtmiseks on toru, mille pikkus on 60 cm ja ristlõike pindala 50 cm^2 . Toru välisel küljel on lumikatte kõrguse mõõtmiseks sentimeeter-skaala. Toru lumest läbisurumiseks on tema lahtine ots terav, vastasots aga

varustatud äravõetava kaanega 6. Toru saab kaalukonksu otsa riputada sangaga rõnga 7 abil.



Joon. 27. Lumekaalud.

Kaalu osa moodustavad päsmerkaalud, mille otsa riputatakse toru koos lumeprooviga. Kaalu saab tasakaalustada kaalukangi mõõda nihutatava koormuse 11 abil, mille keakel on ümar auk. Selle alumisel serval leidub indeks-kriipsuke kaalu näidu lugemiseks. Kaalukangi pikem õlg on jaotatud 300 ossa, mille iga kriipsu vahe vastab 5 grammile.

4. Töö käik

Kõigepealt tuleb kaal võtta aluselt ja see õigesti kokku panna. Seejärel tuleb kontrollida kaalude korrasolekut: kaalude otsa riputatud tühja toru puhul peab näit olema null, kui kaalukang on horisontaalses asendis.

Välja valinud sobiva koha proovi võtmiseks, surutakse toru terav ots läbi lume kuni maapinnani ja loetakse toru küljel leiduvalt skaalalt lumekihi paksus h (cm). Seejärel kõrvaldatakse metallist labidaga lumi toru ühelt poolt (mitte

sealt, kus asub skaala!) ja tõugatakse labidas toru alla ning tõstetakse see koos labidaga üles, pööratakse toru ümber ja puhastatakse külgejäänud lumest. Edasi riputatakse toru kaalukonksu otsa ja kaalutakse ära.

Olgu kaalude näit n jaotust (väiksemad jaotused) ja lumikatte kõrgus h cm. Sel korral lume mass $m = 5n$ (g) (iga jaotus vastab 5 grammile) ja ruumala $V = 50 h$ (cm³), sest toru ristlõike pindala $S = 50$ cm² ning lume tihedus

$$d = \frac{m}{V} = \frac{5n}{50 h} = \frac{n}{10 h} \text{ (g/cm}^3\text{)}. \quad (1)$$

Et 10 väikest jaotust on võrdne ühe suure jaotusega (tähis N), siis $\frac{n}{10} = N$ ja seega tihedus

$$d = \frac{N}{h} \text{ (g/cm}^3\text{)}. \quad (2)$$

Silmas pidades lume veevaru definitsiooni ja valemit (2) ning seda, et vee tihedus on 1 g/cm³, saab lume veevaru arvutada valemi järgi

$$a = hd = \frac{h \cdot N}{h} = N \text{ (cm)} = n \text{ (mm)}. \quad (3)$$

Mõõtmisandmed - lume tihedus ja veevaru - on otstarbekohane esitada järgmise tabeli kujul.

Lumikatte karakteristikud

Koht

Mõõtmisaeg

Nr.	h(cm)	n(jaotust)	d(g/cm ³)	a (mm)	Märkused lumikatte kohta
1.					
2.					
3.					

5. Küsimusi

1. Avaldada lume tihedus ja veevaru SI süsteemis.
2. Mis tähtsus on lume tiheduse ja veevaru teadmisel?
3. Määrata lume tiheduse viga, kui kaalumise viga on 1 väike jaotus ja lume kõrguse mõõtmise viga 1 cm.
4. Mitu 3-tonnist autot läheb vaja 1 ha lume äravedamiseks?
(Tihedus võtta mõõtmisandmeist.)

10. ATMOSFÄÄRILISED NÄHTUSED JA METEOROLOOGILISED AASTARAAMATUD

1. Tööülesanne

Tundma õppida atmosfäärilisi nähtusi ja osata neid kirja panna rahvusvaheliste leppemärkide abil. Tutvuda meteoroloogiliste aastaraamatutega või teiste teatmeteostega.

2. Töövahendid

Meteoroloogiline aastaraamat.

3. Sademetes rahvusvahelised leppemärgid

Atmosfääris esinevad mitmesugused nähtused, mida hinnatakse visuaalselt ehk silma järgi. Näiteks sademete liik, udud, tuisk, elektrilised ja optilised nähtused ja mõned teised. Nende jälgimisel tuleb üles märkida, millal nähtus algas ja millal ta lõppes, aga samuti ka nähtuse intensiivsus.

Nähtuste kirjapanemine sõnades on tülikas, seepärast kasutatakse nende registreerimisel järgmisi rahvusvahelisi leppemärke.





S a d e m e d

●	- lausvihm	⚡	- lumelörtsi-hoog
▽	- hoogvihm	⋈	- lumekruubid
☽	- uduvihm	△	- teralumi
*	- lauslumi	△	- jääkruubid
⚡	- hooglumi	△	- jäävihm
⚡*	- lauslumelörts	▲	- rahe
∩	- kaste	∞	- jääde
⌈	- hall	∇	- härm


U d u d

- | | |
|--|---|
| ≡ - udu | ≡ - uduvine (nähtavus 1000 m või rohkem, kuid alla 10 km) |
| ≡≡ - õhuke udu, millest taevas või pilved läbi paistavad | ⇄ - jääudu |
| | ∩∩∩ - jõe, järve või mere auramine |

T u i s u d

-  - tugev lumetorm
- *  - lumetorm koos lumesajuga
-  - madaltuisk
-  - pinnavihistus (pinnatuisk)

E l e k t r i l i s e d n ä h t u s e d

- R₂ - äike
- [R₁] - kauge äike
- ∨ - päik
- T - müristamine
-  - virralised

O p t i l i s e d n ä h t u s e d

- ∩ - viikerkaar
- ⊕ - rõngas Päikese ümber
- ⊙ - rõngas Kuu ümber
- ∪ - tara Kuu ümber
- | | - sambad Päikese kõrval
- ∞ - miraaž (õhupegeldus)

Mitmesugused teised nähtused

∞ - somp

↪ - liivatorn

⊖ - tuulepööris

) (- vesipüks

⊛ - lumikate

⚡ - torn

Nähtuse algus ja lõpp märgitakse kellaaajaga (minuti-
lise täpsusega) vastava leppemärgi järel. Kui mõnel põhju-
sel ei ole võimalik nähtuse esinemisaega täpselt kindlaks
määrata, võib kasutada aja tähistamiseks märke: n - õssel,
a - enne lõunat, p - pärast lõunat.

Nähtuse intensiivsust hinnatakse 3-pallilise skaala
järgi, kus 0 tähendab nõrka, 2 - tugevat astet. (Keskmist
astet (1) ei kirjutata vastava märgi juurde.) Intensiivsu-
se aste kirjutatakse vastava leppemärgi juurde ülles pa-
remale (astendaja kohale).

Näide. Kirjutis \equiv^2 n; \equiv a; ● 10.30 - 11.25; ○ a;

⊕^op tähendab, et õssel oli tugev, enne lõunat
keskmise tugevusega udu; kella 10.30 - 11.25 sa-
das keskmise tugevusega vihma; enne lõunat esi-
nes vikerkaar, pärast lõunat nõrk rõngas Päikese
ümber.

4. Tõõ käik

Kirjeldada ilma meteoroloogilise aastaraamatu andmeil
etteantud ajal ja kohas. Kirjeldus peab olema asjalik ja
lühike, sisaldades andmeid pilvisuse (hulk ja liik), tuu-
le (suund ja tugevus), sademete (päevane sademete hulk),
temperatuuri (keskmine, maksimaalne, minimaalne tempera-

tuur) ja sel päeval esinenud meteoroloogiliste nähtuste kohta. Viimaste puudumisel tuleb kirjutada: "Erilisi ilmanähtusi ei esinenud."

Tingimata tuleb märkida koht ja aeg, mille kohta kirjeldus käib.

5. Küsimusi

1. Mille poolest rõngas erineb tarast?
2. Miks tara ei märgata Päikese ümber?
3. Millised leppemärgid võivad esineda tsüklonaalse ja millised antitsüklonaalse ilma puhul?

11. LÜHIAJALISE VAATLUSREA TAANDAMINE PIKALE PERIOODILE

1. Tõõfilesanne

Tutvuda lühiajaliste meteoroloogiliste vaatlusriidade pikale perioodile taandamise meetoditega.

2. Tõõvahendid

Klimatoloogilised teatmikud.

3. Taandamise meetoditest

Enne kui meteoroloogiliste elementide vaatlusandmeid saab kasutada ilma ja kliima uurimisteks, on tarvis andmed esialgselt ümber töödelda. Esialgne ümbertõõtlemine seisneb nn. tehnilises ja kriitilises kontrollis. Selle eesmärgiks on välja selgitada mõõtmisandmete kõlbulikkus (kvaliteet), eraldades (võimaluse korral ka parandades) madalakvaliteedilisi ja kahtlasi mõõtmisandmeid kõrgekvaliteedilistest usaldusväärsetest andmetest.

Kliima uurimisel ei piisa ainult vaatlusandmete esialgselt ümbertõõtlemisest, vaid nad nõuavad ka klimatoloogilist ümbertõõtlemist. Üks tähtis etapp klimatoloogilisel ümbertõõtlemisel on meteoroloogiliste elementide lühiajaliste homogeensete vaatlusriidade taandamine pikaajalistele riidadele. Selline taandamise vajadus tekib kliima juhuslikust kõikumistest; mida pikem on vaatlusperiood, seda suuremaks kasvab tõenäosus, et juhuslikud kõikumised tasanduvad. Matemaatilise statistika seisukohalt tähendab see seda, et mida pikema vaatlusrea järgi arvutame keskmisi väärtusi, seda püsivamaks ehk konstantsemaks nad muutuvad.

Lühiajaliste ja puudulike riidade taandamise aluseks pikaajalistele ja usaldusväärsetele riidadele on kogemustest teadaolev fakt, et ilma kujundavad põhilised meteoroloogilisi-

sed protsessid on samal ajal üksteise lähedal asuvates kohtades peaaegu ühesugused, s.t. muutuvad väikestel kaugustel vähe. Kui suur just see "väike kaugus" on, see sõltub aluspinna geograafilistest iseärasustest ja vaadeldavast meteoroloogilistest (keskmistatud meteoroloogiliste puhul ka keskmistamise perioodi pikkusest). Uurimised näitavad, et tasase reljeefiga maastikul (nagu Eesti) kuu keskmiste temperatuuride taandamisel võivad meteoroloogilised andmed kuni 100 km kaugusel; üle selle kauguse muutub juba küsitavaks, kuivõrd ühesugusteks jäävad ilma kujundavad meteoroloogilised protsessid.

Meteoroloogiliste vaatlusriidade taandamisel kasutatakse mitmeid meetodeid, nagu vahede, suhete, graafilist ja kaudset meetodit. Meie oma töös kasutame vahede ja suhete meetodit.

Kõigi nende meetodite rakendamisel peab olema teada ühes nn. põhimateoajaamas vaadeldava meteoroloogilise pikaajaline (vähemalt 50-aastane) vaatlusriid, teises, taandatavas meteoroloogilises aga sama elemendi lühiajaline (näiteks 10-aastane) vaatlusriid.

1. Vahede meetod. Selle meetodi teoreetiliseks aluseks on asjaolu, et kahe naaberjaama meteoroloogiliste keskmistatud väärtuste vahed on seda konstantsem, mida pikem on keskmistamise periood. Teatud perioodi pikkusest, näiteks n aastast alates võib eespool nimetatud vahet lugeda praktiliselt konstantseks. Toetudes sellele, saamegi lühiajalise vaatlusrea taandada pikaajalisele reale, kasutades seejuures naaberjaama andmeid, kus on tehtud vaatlusi pikema aja jooksul. Tuletame taandamise eeskirja.

Olgu põhimateoajaamas, kus on vaatlusi tehtud pikema aja (N aasta) jooksul, vaadeldava meteoroloogilise (temperatuur, rõhk) keskmistatud väärtus E_N ja naaberjaamas, kus vaatlusi on tehtud lühema perioodi (n aasta) jooksul, sama elemendi keskmistatud väärtus E_n . Et taandada antud jaamas määratud lühiajaliselt keskmistatud elemendi väärtus E_n pikaajalisele keskmistatud väärtusele E_N , leitakse

kõigepealt antud ja põhijaama lühiajaliste keskmistatud meteolementide vahe

$$D_n = E_n' - E_n. \quad (1)$$

Eeldades, et see vahe ei muutu oluliselt perioodi pikenedes N aastani, saab kirjutada

$$D_n = E_N' - E_N,$$

millest

$$E_N' = E_N + D_n. \quad (2)$$

Viimane valem annabki taandamise eeskirja vahede meetodi puhul. Et taandada mõne meteolementi lühiajaline keskmistatud väärtus E_n' pikaajalisele keskmistatud väärtusele E_N' , on tarvis 1) leida antud ja põhijaamas mõõdetud meteolementi lühiajalise perioodi (n aastat) keskmiste väärtuste vahe D_n valem (1) järgi ja 2) leitud vahe (silmas pidada märki \pm) liita põhijaamas mõõdetud meteolementi pikaajalise perioodi keskmisele väärtusele E_N .

2. Suhete meetod. Vahede meetodit saab kasutada, kui naaberjaamade keskmistatud meteolementide vahe on konstantne. See nõus on täidetud mõnede meteolementide, nagu temperatuuri ja rõhu puhul. Teiste meteolementide, nagu sademete hulkade, sajupäevade, udupäevade jne. puhul, milledele avaldavad olulist mõju kohalikud mikrokliima iseärasused, kehtib seaduspära - kahe naaberjaama meteolementide keskmistatud väärtuste suhe on seda konstantsem, mida pikem on keskmistamise periood. Kasutades eelmist tähistust, saab seda mõtet matemaatiliselt väljendada järgmiselt.

$$k_n = \frac{E_n'}{E_n} = \frac{E_N'}{E_N} \quad (3)$$

Siit aga järgneb, et

$$E_N' = k_n E_N. \quad (4)$$

Toetudes sellele valemile, saab suhete meetodi taandamise eeskirja sõnastada järgmiselt. Et taandada lühiajaliselt keskmistatud meteoelemendi väärtus E_n' pikaajaliselt keskmistatud väärtusele E_n suhete meetodi järgi, on tarvis

- 1) antud jaamas ja põhijaamas mõõdetud meteoelemendi lühiajaliste keskmiste väärtuste suhe k_n leida valemi (3) järgi ja
- 2) korrutada meteoelemendi pikaajalist keskmist väärtust teguriga k_n .

4. Töö käik

Töö ülesandeks on taandada vahede meetodil lühikese perioodi (näiteks 10-aastane periood) kuu keskmised temperatuurid (või õhurõhud) pikale perioodile.

Meil Eestis on pikaajalised meteoelementide vaatlusread olemas Tartu, Tallinna, Vilsandi ja Pärnu kohta (vaata lisas tabel 4).

Koha ja lühikese perioodi valib praktikumi juhendaja. Töö käik on lühidalt järgmine:

- 1) arvutada antud koha (meteojaama) kuu keskmised meteoelemendi (temperatuur, rõhk) väärtused lühikese perioodi puhul;
- 2) arvutada sama meteoelemendi kuu keskmised väärtused samade aastate kohta põhijaama (Tartu, Tallinn jne.) kohta;
- 3) leida valemi (1) järgi antud koha ja põhijaama lühikese perioodi kuu keskmiste meteoelementide väärtuse vahe D_n ja
- 4) leida valemi (2) järgi pikale perioodile taandatud kuu keskmised meteoelemendi väärtused antud koha jaoks.

Pika perioodi kuu keskmised temperatuurid Tartus ja

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Aasta
\sum													
\bar{t}_k													
\bar{t}_N													
\bar{t}'_K													

Tähtede tähendused:

\sum - summa;

\bar{t}_k - kuu keskmised temperatuurid lühikesel perioodil;

\bar{t}_N - " " " pikal perioodil põhijaamas;

\bar{t}'_K - " " " " " antud jaamas.

Arvutuste teostamisel kasutada otstarbekalt koostatud
tabeleid (vt. lk. 94 ja 95).

5. Küsimusi

1. Millal võib kasutada vahede ja millal suhete meetodit?
2. Iseloomustada vahede alusel antud koha temperatuuri aastase käigu iseärasusi võrreldes põhijaamaga. Millega on need iseärasused seletatavad?
3. Miks ei või vahesid arvutada mingi juhuslikult valitud aasta temperatuuride järgi?
4. Milliseid põhijaamu võiks kasutada temperatuuri taandamisel Lõuna-, Põhja- ja Lääne-Eestis?
5. Millisel eeldusel põhineb vahede meetodi kasutamine?

T a b e l 2

Maa kaugus Päikesest astronoomilistes ühikutes

Kuu Päev	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	0,967	0,971	0,962	0,999	1,015	1,028	1,033	1,030	1,018	1,002	0,985	0,972
10	0,967	0,974	0,987	1,004	1,020	1,031	1,034	1,027	1,014	0,997	0,981	0,970
20	0,968	0,978	0,992	1,009	1,024	1,032	1,032	1,024	1,008	1,001	0,976	0,968

T a b e l 3

Ideaalise atmosfääri läbipaistvuse koefitsiendi väärtused

m	0,5	1	2	3	4	6	8	10	15
q_m	0,904	0,907	0,915	0,921	0,926	0,936	0,942	0,947	0,956

T a b e l 4

Pika perioodi kuu ja aasta keskmised temperatuurid Eesti NSV-s

Koht	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Aasta
Tallinn	-5,4	-5,8	-3,2	2,4	8,3	13,2	16,4	15,0	11,1	5,7	0,8	-3,8	4,6
Sõrve	-2,6	-3,4	-1,7	2,3	7,6	13,0	16,4	16,0	12,7	8,0	3,3	-0,3	5,9
Vilsandi	-2,4	-3,2	-1,5	3,0	7,8	12,6	16,3	16,1	12,6	7,7	3,3	-0,7	6,0
Pärnu	-5,4	-5,6	-2,9	3,3	9,8	14,5	17,2	15,8	11,8	6,3	1,0	-3,7	5,2
Narva-Jõesuu	-6,7	-7,2	-3,9	2,8	9,3	14,2	17,4	16,0	11,5	5,5	0,3	-4,8	4,5
Ristna	-3,2	-3,9	-2,0	2,6	8,0	13,0	16,4	15,5	11,7	6,8	2,4	-1,8	5,5
Tartu	-6,4	-6,5	-3,0	3,7	10,1	14,7	17,1	15,3	10,7	5,0	-0,2	-4,6	4,7
Kuusiku	-5,8	-6,4	-3,3	3,1	9,7	14,2	16,8	15,0	10,7	5,4	0,5	-4,2	4,6
Viljandi	-6,3	-6,2	-3,4	3,2	10,0	14,7	17,2	15,4	10,8	5,4	-0,1	-4,6	4,7
Võru	-6,5	-6,7	-3,2	3,8	10,3	14,7	16,9	15,1	10,7	5,1	-0,2	-4,9	4,6

KIRJANDUST

Psühomeetrilised tabelid ja pilvede atlased

1. Aruksaar, H. Väike pilvede atlas. EPA rotaprint, 1964.
2. Савич В.А. Психометрические таблицы. Гидрометиздат, 1952.
3. Савич В.А. Психометрические таблицы. Гидрометиздат, 1963.
4. Атлас облаков. Гидрометиздат, 1957.

Tööde juhendid ja vaatluste eeskirjad

5. Волошина А.П., Евневич Т.В., Земцова А.И. Руководство к лабораторным занятиям по метеорологии и климатологии для всех специальностей П курса. Изд. географ. ф-та МГУ, 1959 (рота-принт).
6. Павлова М.Д. Практикум по сельскохозяйственной метеорологии. Издат. "Колос", 1968.
7. Гайворонский М.И., Аверкиев М.С. Метеорологический практикум. Гидрометиздат, 1949.
8. Кедроливанский В.Н., Стернзат М.С. Метеорологические приборы. Гидрометиздат, 1953.
9. Мюрк Х.Ю. Актинометрическая линейка для определения коэффициента прозрачности атмосферы P_m и фактора мутности T_m . АН СССР инст. P_m тех. нико-экон. инф. "Приборы и стенды", 1956.
10. Мюрк Х. Номограмма для вычисления и приведения некоторых характеристик прозрачности атмосферы. - ENSV TA FAI. Uurimusi atmosfäärifüüsikast, I, 1959.
11. Янишевский Ю.Д. Актинометрические приборы и методы наблюдений. Гидрометиздат, 1957.
12. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3. Ч. I. Гидрометиздат, 1969.

Õrikud

13. Aruksaar, H. jt. Üld- ja agrometeoroloogia. Kirjastus "Eesti Raamat", 1964.
14. Хромов С.П. Метеорология и климатология для географических факультетов. Гидрометиздат, 1968.
15. Хригиан А.Х. Физика атмосферы. Гидрометиздат, 1969.
16. Матвеев Л.Т. Основы общей метеорологии. Физика атмосферы. Гидрометиздат, 1965.
17. Тверской П.Н. Курс метеорологии. Гидрометиздат, 1962.
18. Кондратьев К.Я. Актинометрия. Гидрометиздат, 1965.
19. Брукс К., Карузерс Н. Применение статистических методов в метеорологии. Гидрометиздат, 1963.
20. Хромов С.П., Мамонтова Л.И. Метеорологический словарь. Гидрометиздат, 1963.

S I S U K O R D

Saateks	3
1. Aja määramine	4
2. Õhurõhu määramine	9
3. Baromeetriline nivelleerimine	26
4. Päikesekiirguse mõõtmine	30
5. Õhuniiskuse määramine	44
6. Tuule kiiruse määramine	57
7. Pilvede määramine	66
8. Sademete mõõtmine	75
9. Lume tiheduse ja veevaru määramine	82
10. Atmosfäärilised nähtused ja meteoroloogilised aastaraamatud	86
11. Lühiajalise vaatlusrea taandamine pikale perioodile	90
Idrad	97
Kirjandust	100

РАБОЧИЕ ИНСТРУКЦИИ К ОБЩЕМУ ПРАКТИКУМУ

ПО МЕТЕОРОЛОГИИ

На эстонском языке

Составитель Х. Мюрк

Тартуский государственный университет

ЭССР, г. Тарту, ул. Юликооли, 18

Vastutav toimetaja K. Kudu

Korrektor J. Leanekaak

=====

Paljundamiseks antud 2:I 1974. Trüki-
paber nr. 1, 50x42. 1/4. Trüki-
poognaid 6,5. Tingtrüki-
poognaid 6,0. Arvestus-
poognaid 5,06. Trükiarv 600.

Tell. nr. 1320.

TRÜ rotaprint, ENSV, Tartu, Pälsoni tn.14.

Bind 18 kop.

18 kop.