EVON KALASTUSKOEASEMA
JA KALANVILJELYLAITOS

SUOMEN KALASTUSYHDISTYKSEN
OPASKIRJASIA No 26

KALAVESITUTKIMUS I

Fysikaalisia ja kemiallisia määrityksiä

T. Kaartotie — R. Ryhänen

SUOMEN KALASTUSYHDISTYKSEN
OPASKIRJASIA No 26

KALAVESITUTKIMUS I

Fysikaalisia ja kemiallisia määrityksiä

T. Kaartotie — R. Ryhänen

Vammala 1957
Vammalan Kirjapaino Oy.

ALKULAUSE.

V. 1946 laati T. Kaartotie kalastuskouluja, kalatalousneuvojia, vesibiologeja ja harrastelijoita varten käsikirjoituksen ohjekirjaseksi »Hapesta ja sen määrittämisestä järvitutkimuksessa», jota ei kuitenkaan määrärahojen puutteen vuoksi silloin voitu julkaista. Myöhemmin heräsi ajatus vähän laajemman ohjekirjasen julkaisemisesta, johon otettaisiin mukaan myös muita, kalaveden tutkijalle tärkeitä havaintoja ja määrityksiä sekä jossa esitettäisiin näkökohtia määritysten antamien tulosten arvostelemiseksi. Kun Suomen Kalastusyhdistys lupautui kustantamaan kirjasen, sovittiin, että R. Ryhänen kokoaa materiaalin laajempaa johdantoa ja näytteiden ottoa käsittelevään osaan sekä kirjoittaa ohjeet muiden määritysten suorittamiseksi, jonka jälkeen tekijät yhdessä huolehtivat materiaalin saattamisesta lopulliseen asuun.

Nyt ilmestyvä ohjekirjanen on tarkoitettu lähinnä kalatalousneuvojille ja asianharrastajille. Valitettavasti on moni tärkeä seikka jouduttu kuittaamaan pelkällä maininnalla, eikä käytettävä tila ole läheskään kaikkialla sallinut riittävää yksityiskohtien pohdintaa. Eräissä kohdin taas on ollut pakko tinkiä eksaktisuudesta käytännön hyväksi; silti saattavat tietyt yksityiskohdat olla aloittelevalle vaikeasti ymmärrettäviä.

Tekijät toivovat, että opas voisi auttaa niitä, jotka harrastuksen tai ammatin vuoksi ovat kiinnostuneet kalavesien tutkimisessa tarpeellisten perushavaintojen suorittamisesta. Asianharrastajien piirissä on keskus-

teltu myöskin siitä, että tämä opas saisi tulevaisuudessa seurakseen kalaveden planktonin, pohjaeläimistön ja kalojen tutkimista käsittelevät ohjekirjaset.

Tekijät esittävät parhaat kiitoksensa maist. T. Sormuselle niistä arvokkaista neuvoista, joita hän on antanut tarkastettuaan käsikirjoituksen sekä toht. C. H. Mortimerille, joka on antanut tekijöiden käytettäväksi laatimansa happikyllästysnomogrammin.

Helsingissä, helmikuussa 1957.

T. Kaartotie R. Ryhänen

I. JOHDANTO.

Tuotantovaiheet. Kalaveden koko tuotantobiologian tapahtumat ovat sangen monivaiheisia. Alkuravinnon syntyminen on veden pinnan alla peruspiirteiltään samanlaista kuin maallakin. Tämän ns. perus- eli alkutuotannon eliöt kuuluvat kasvikuntaan. Ne kykenevät valmistamaan veteen liuenneista kasvinravinteista (typpi-, fosfori-, kalium-, kalsium-, magnesium-, rauta-, rikki- jne. -yhdisteet) auringon säteilyenergian avulla ja käyttäen hiilidioksidia hiilen lähteenä elimellistä eli orgaanista ainetta. Näin syntynyt perusravinto koituu osaltaan aikanaan eläinkunnan hyväksi pääasiassa alemman eläimistön välityksellä. Alemmat eläimet taas ovat — joko suoraan tai epäsuorasti — kalaston ravintona. Sitä tuotannon vaihetta, jonka ne muodostavat, voidaan kutsua tuotannon välivaiheeksi. Lopputuotannoksi on totuttu sanomaan sitä tuotantobiologisen ketjun rengasta, jonka edustajia ovat ihmisen kannalta käyttökelpoiset kalat ja äyriäiset.

Pienikokoisen planktisen kasvin suuri tehtävä. Perustuotannon muodostajat ovat siis kasveja, joilla on tuo mainittu elimellisen aineen valmistuskyky, kyky yhteyttää eli assimiloida veteen liuennutta hiilidioksidia. Kalavesien tuotannossa eivät kuitenkaan yleensä näyttele ratkaisevinta osaa rantavyöhykkeen korkeammat kasvit vaan kasviplankton, jonka jäsenet ovat suu-

rimmaksi osaksi mikroskooppisen pieniä ja vedessä keijuvia. Pienimmät muodot ovat kooltaan tuhannesosamillimetrin suuruisia, ja vain harvoin tavataan nuppineulanpäätä suurempia muotoja. Näin mitättömältä näyttävien eliöiden niskoille on sälytetty perustuotannon valtava tehtävä. — Pienellä eliöllä on kuitenkin paremmat mahdollisuudet tulla toimeen niissä olemassaolon taistelun erikoisissa olosuhteissa, jotka veden pinnan alla vallitsevat. Eräänä nimenomaan yhteyttämisen kannalta merkityksellisenä seikkana mainittakoon, että mitä pienempi kasvi on, sitä suurempi alaltaan on sen yhteyttävä pinta massaan verrattuna. Asian havainnollistamiseksi voidaan kuvitella, että kuutiomillimetrin suuruinen kappale, jonka kuudesta pinnasta jokainen on yhden neliömillimetrin suuruinen, on jaettu leikkauksella kahtia niin, että leikkauspinta on molemmissa kappaleissa yksi neliömillimetri. Uusien kappaleiden yhteenlaskettu pinta-ala on näin kaksi neliömillimetriä suurempi kuin alkuperäisen kappaleen pinta-ala — siis 8 mm^2 — vaikka niiden yhteenlaskettu massa on pysynyt muuttumattomana. Jos alkuperäinen kappale jaetaan samalla tavalla kahdeksaksi yhtäsuureksi kappaleeksi kolmella leikkauksella, uusien kappaleiden yhteenlaskettu pinta-ala on kuusi neliömillimetriä alkuperäistä suurempi jne. — Tämä esimerkki havainnollistaa sitä tosiseikkaa, että kasviplanktonin valoenergian käytön hyötysuhde on monin verroin suurempi kuin »maan päällä» kasvavien vihreiden kasvien; ts. tietty valoenergian määrä tuottaa vedessä enemmän elimellistä ainetta kuin »maan päällä», jos ravinteita on riittävästi.

Perustuotannon muodostajien lajiluku on hyvin suuri. Monet niistä ovat varsin selviä »opaskasveja», jotka luonnehtivat tiettyjä piirteitä ympäristössään. Erityyppisissä järvissä ja myöskin eri vuodenaikoina ovat valtalajeina eri levälajit. Jokainen kalamies on kesäaikana joutunut tekemisiin erään kasviplanktonin aiheuttaman ilmiön, ns. »veden kukan» kanssa. Tämä ilmiö on juuri noiden perustuotannon muodostajien enemmän taikka vähemmän tilapäisen joukkoesiintymisen aiheuttama. Kun mikroskoopilla tutkitaan »veden kukkaa», näytteessä voidaan havaita valtavia määriä tiettyjä sinivihreitä leviä (Cyanophyceae). Moni on lisäksi saattanut huomata, kuinka rehevissä pikkuvesissä vesi syksyisin (joskus keväälläkin) voi tulla ruskehtavan sameaksi. Tämä taas johtuu usein piilevien (Diatomaceae) keväisestä ja syksyisestä joukkoesiintymisestä. Joskus saattaa tällainen massatuotanto tulla haitalliseksikin sekä yleiselle hygienialle että kalastolle. Varsinkin likaantumistapauksissa (esim. runsaasti kasvinravinteita sisältävien talousjätevesien aiheuttamissa) mutta myöskin eräissä luonnontilassa olevissa pikkuvesissä on tällainen »ylituotanto» joko aika ajoin toistuva tai jatkuva ilmiö (vrt. myöhemmin s. 27).

Yhteyttäminen ja sen energiatalous. Itse yhteyttämistapahtuma, hiilidioksidin assimilaatio, jossa kasvi muodostaa hiilidioksidista ja vedestä orgaanisia eli elimellisiä yhdisteitä, tapahtuu niinkuin alussa jo mainittiin, auringon säteilyenergian avulla. Tapahtumaa kutsutaankin fotosynteettiseksi eli fotoenergeettiseksi hiilihapon yhteyttämiseksi eli lyhyesti vain fotosynteesiksi. Koska siis auringon energia on fotosynteesin välttämätön edellytys, kasvit voivat toimittaa tämän perustavaa laatua olevan työnsä vain vesien valaistussa pintakerroksessa, joka eri vesissä ja eri aikoina saattaa olla hyvinkin eri paksuinen. Kun yhteyttämistapahtuma kuuluu kalaveden tuotannon tärkeimpiin, ja kun se samalla antaa kalaveden

kemiaa ja fysiikkaa tutkivalle kalamiehelle avaimen monien myöhemmin esitettävien määritysten tulkintaan, lienee paikallaan vielä hieman lähemmin puuttua tähän tapahtumaan.

Kun kasvit muodostavat elimellistä ainetta, ne sitovat auringon säteilyenergiaa saman määrän, mikä lämpöenergiana vapautuu, jos näin syntynyt palamiskelpoinen elimellinen aine poltetaan. Tuotannon välivaiheet, (eläinplankton, pohjaeläimet) ja lopputuotanto (kalat, ravut), käyttävät (»polttavat») osan perustuottajien muodostamasta elimellisestä aineesta oman energiatarpeensa tyydyttämiseen ja varastoivat osan edelleen elimellisenä, palamiskelpoisena aineena. Ennen kuin kala on pöydässä valmiina luovuttamaan sisältämänsä energian käyttäjänsä tarpeisiin, auringon säteilyenergia on joutunut käymään läpi koko tuotantobiologisen ketjun, minkä jokainen rengas on pidättänyt osan alkuperäisestä säteilyenergiasta omiin tarpeisiinsa ja siirtänyt vain pienen osan seuraavan vaiheen käyttöön.

Koska nimenomaan ravitsemuskysymyksissä on totuttu käyttämään kaloria energian mittana, on tässäkin paikallaan käsitellä fotosynteesiä saman yksikön puitteissa. Muodostaakseen 180 g sokeria (1 mooli), kasvi tarvitsee 264 g hiilidioksidia (6 moolia) ja 108 g vettä (6 moolia) sekä 674000 kaloria säteilyenergiaa. Mainitun sokerimäärän lisäksi kasvi tuottaa vielä 192 g (6 moolia) h a p p e a. Oikeastaan kasvit siis muodostavat sekä veden muille eliöille tarpeellisen ravinnon että hapen sen käyttämiseksi, sillä jos taas 180 gramman suuruinen sokerimäärä poltetaan, siihen tarvitaan 192 g happea ja poltettaessa vapautuu 674000 kaloria lämpöenergiaa. Elimellisen aineen käyttäjien toiminta veden alla on siis päinvastainen tapahtuma kuin yhteyttäminen, mikä voidaan esittää kaavan muodossa seuraavasti:

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O \xrightarrow[\text{antaa energiaa}]{\text{assimilaatio vaatii energiaa}} C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2$$

$$\underset{\text{hiilidioksidi}}{6\,CO_2} + \underset{\text{vesi}}{6\,H_2O} \xrightarrow[\text{dissimilaatio}]{} \underset{\text{sokeri}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{happi}}{6\,O_2} + \underset{674000\text{ kal.}}{\text{energiaa}}$$

264 g 108 g 180 g 192 g

Kaavassa on ylemmän nuolen suuntainen ilmiö yhteyttäminen (assimilaatio) ja alemman suuntainen palaminen (dissimilaatio). Kemiallisia ja fysikaalisia määrityksiä suorittavan kalamiehen on edellisestä aina syytä muistaa varsinkin se, että fotosynteesi lisää veden hapen pitoisuutta ja palaminen (hengitys, mätäneminen yms.) pienentää sitä. Lisäksi on otettava huomioon, että kasvitkin hengittävät, käyttävät siis happea, mutta valoisana aikana ja valaistussa vesikerroksessa niiden vapauttaman hapen määrä on yleensä huomattavasti suurempi kuin niiden samana aikana kuluttaman hapen määrä.

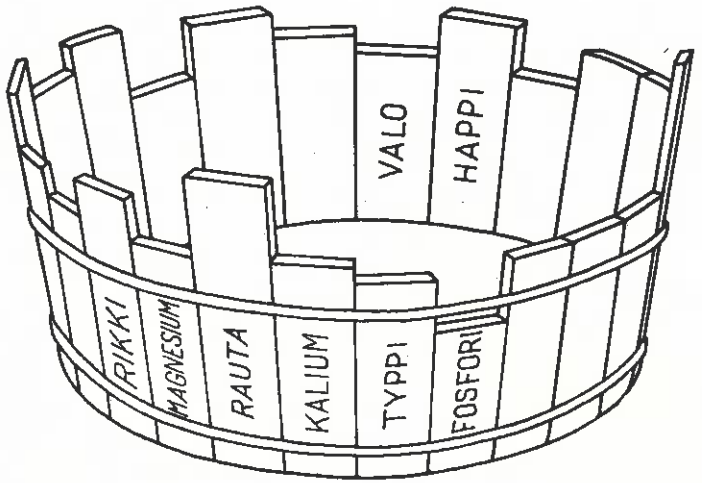
Perustuotannon minimitekijät ja kasvutekijäin laki.

Kasvi siis muodostaa hiilidioksidista ja vedestä elimellisen lähtöaineen kalaveden tuotantobiologisen ketjun muiden jäsenten käytettäväksi. Vaikkakin kaikki energia, elollisen toiminnan edellytys, on saatu auringon säteilystä, kasvi tarvitsee kuitenkin kaikkia elimellisen solukon rakennusaineita (typpi-, fosfori-, kalium-, kalsium-, magnesium-, rauta-, rikki- jne.), joista se muodostaa ne monimutkaiset ja tarpeellisen monipuoliset yhdisteet, jotka ovat välttämättömiä sen omien samoinkuin ketjun myöhempienkin renkaiden tarpeiden tyydyttämiseksi. Säteilyenergian tai hiilidioksidin p u u t t u m i n e n on vain harvoin perustuotantoa rajoittavana tekijänä. M i n i m i t e k i j ö i n ä esiintyvät kalavesissä yleensä samat tekijät kuin maaperässäkin (lukuunottamatta kuitenkaan sellaista tekijää kuin k o s t e u s, joka saat-

taa maakasveilla esiintyä tuotantoa rajoittavana). Luonnontilaisissa vesissä rajoittaa tuotantoa tavallisimmin typen tai fosforin puute. Jos vedessä esiintyy esimerkiksi kasveille käyttökelpoisen typen puute, kohottaa vesiin joutuva typpi (esim. tietyissä likaantumistapauksissa) perustuotantoa. Tuotanto ei kuitenkaan kohoa jatkuvasti ja rajattomasti tämän saman ravinteen pitoisuuden kasvaessa, vaan jokin toinen, lähinnä seuraava rajoittava tekijä (esim. fosforin puute) esiintyy nyt vuorostaan minimitekijänä. Likaantumistapauksissa vesiin laskettavista jätteistä koituu vain harvoin todellista, perustuotannollista hyötyä juuri siksi, että ne ovat useimmiten varsin yksipuolisia. Koska myöskin eri aineet saattavat liiallisina pitoisuuksina esiintyessään rajoittaa tuotantoa (hapot, myrkyt jne.), »sadon suuruus riippuu ensi sijassa kulloinkin suhteellisesti vähimmän suotuisasta kasvutekijästä» (VALMARI).

Kasvutekijäin lain havainnollistamiseksi ovat kasvinviljelijät esittäneet erittäin kuvaavan ns. minimiastian (kuva 1), joka kuvitellaan tehdyksi eripitkistä kimpilaudoista ja jossa jokaisen kimpilaudan ajatellaan esittävän jotakin kasvutekijää (paremminkin sanoen sen »suotuisuutta»). Sadon suuruutta kuvaa se vesimäärä, joka astiassa voi pysyä. Lyhin kimpi (»suhteellisesti vähimmän suotuisa kasvutekijä») määrää astiassa pysyvän vesimäärän (sadon) suuruuden. Jos tätä kasvutekijää keinotekoisesti (esim. lannoitus) kohennetaan, ja sitä kuvaava kimpi siis pitenee, pysyy astiassa enemmän vettä (sato suurenee), kuitenkin vain niin paljon, kuin seuraavaksi lyhin kimpi määrää.

Edellä on esitetty lyhyesti eräitä kalaveden perustuotannon pääpiirteitä. Esitys on olosuhteiden pakosta varsin ylimalkainen ja tarkoitettu vain eräänlaisen käytännöllisen perusnäkemyksen antajaksi niistä perustuotannon kohdista, joiden tunteminen on edellytyksenä myö-



Kuva 1. *»Minimiastia».*

hemmin esitettävien perusmääritysten antamien tulosten oikealle arvostelemiselle ja käytölle. Kaikkialla luomakunnassa yhtä tärkeän fotosynteesin hienouksiin voi halukas perehtyä jo nykyisin suomenkielisenkin kirjallisuuden avulla.[1]

Kasviplanktonin tuottama elimellinen aine jatkaa kiertoaan tuotantobiologisen ketjun eläinjäsenten käyttämänä. Osa siitä joutuu sellaisenaan planktisten eläinten (eläinplankton) ravinnoksi ja nämä sekä käyttämättä jäänyt osa kasviplanktonmassasta vajoavat aikanaan pohjalle muodostaen siellä ravinnon pohjaeläimistölle.

1) Esim. Runar Collander: Kasvifysiologian perusteet I ja II. — Otava 1944 ja 1947.

Tämän esityksen puitteissa ei ole aiheellista esitellä lähemmin näitä tuotannon välivaiheita. Ohjekirjasen päähuomio kiinnittyy happeen, jonka merkitys kasvutekijänä on tuotannon välivaiheiden ja ennenkaikkea lopputuotannon kannalta ratkaiseva. Nämä tuotannon vaiheet eivät itse kykene vaikuttamaan hapen määräsuhteisiin niin merkittävästi kuin perustuotantovaiheen yhteyttävät planktiset levät, vaikkakin ne sitä hengitykseensä käyttävät.

Vesibakteerit ja niiden merkitys.

Sen sijaan on syytä muutamalla sanalla mainita vesien bakteereista, jotka suorittavat sen valtavan purkamistyön, mikä muuttaa käyttämättä jääneen elimellisen massan jälleen kasveille käyttökelpoisiksi ravinteiksi. Tuskin koskaan on luonnon vesissä voitu osoittaa, että tuotannon välivaiheiden »polttama» ravinto olisi saanut aikaan hapen puutetta. Sen sijaan voivat bakteerien myriadilaumat helposti aikaansaada jopa täydellisen hapen kadon, mikäli niiden käytettävissä on tarpeeksi elimellistä ainetta sopivassa muodossa. Niiden toiminta onkin käytännöllisesti katsoen ratkaisevin hapen kuluttaja kalavesissä. — Sanalla »bakteeri» on yleensä huono kaiku, koskapa eräät niistä aiheuttavat ihmisen (ja muidenkin eliöiden) sairauksia. Verrattomasti paljon suurempi on kuitenkin hyödyllisten bakteerien lukumäärä; ilman niitä ei biologinen tuotanto olisi mahdollista. Lämpiminä vuodenaikoina ja sopivien olosuhteiden vallitessa näiden pieneliöiden työskentely on niin tehokasta, että hitaasti pohjaa kohti vajoava planktonmassa alkaa hajaantua jo matkallaan. Tropiikin lämpimissä ja syvissä vesissä hajoitustoiminta on niin nopeaa, että eräissä tapauksissa vajoava massa on hajaantunut täydellisesti takaisin mineraaliasteelle jo ennen pohjaan saapumistaan. Bakteerien toiminta on mitä moninaisinta: jotkut niistä suorittavat hajoitustyöstä yhden vaiheen, toiset jatkavat siitä; eräät kykenevät muodostamaan hiilidioksidista ja vedestä elimellisiä aineita kuten planktiset kasvit, mutta kykenevät saamaan siihen tarvittavan energian kemiallista tietä (ns. kemosynteesi); eräät niistä tulevat toimeen vain happipitoisessa ympäristössä (ns. aerobiset bakteerit), eräille taas vapaa happi on myrkkyä (ns. anaerobiset bakteerit), eräät kykenevät sietämään molempia olosuhteita (ns. fakultatiivisesti anaerobiset bakteerit) jne. Bakteerien toimintaa ja niiden toiminnan merkitystä on opittu viime aikoina arvostamaan, joskin yksityiskohtaisempia tutkimuksia on toistaiseksi suoritettu vesibakteerien osalta verrattain vähän.

Pääasiallisena hapenkuluttajana vedessä on pidettävä juuri bakteerien toimintaa. S. 9 esitetyn yhtälön alemman nuolen suuntaista dissimilaatiota voidaankin pitää etupäässä bakteerien toiminnan aikaansaamana. Fotosynteettiset levät ja bakteerit ovat siis ne kaksi vastapelaajaa, jotka biologisina tekijöinä ratkaisevimmin vaikuttavat olosuhteisiin kalavedessä. Assimilaatio lisää veden hapenpitoisuutta ja dissimilaatio vähentää sitä. Väärinkäsitysten välttämiseksi on kuitenkin jo tässä yhteydessä mainittava, että pääosa vesien hapesta on ilmakehästä liuennutta. Vesien happitilanne ei voisi pysyä edes tyydyttävänä ilman tällaista täydennystä, siksi vahvasti on tasapaino yleensä hapen kulumisen puolella.

Autoktooniset ja alloktooniset elimelliset aineet.

Sitä elimellisen aineen tuotantoa, joka tapahtuu itse järvessä, kutsutaan autoktooniseksi. Autoktoonisilla elimellisillä aineilla ymmärretään siis niitä, jotka ovat syntyneet järven omien yhteyttäjien toimesta. Vesiin saattaa kuitenkin tulla suuriakin määriä sellaisia elimellisiä aineita, joiden syntypaikka on itse kalaveden ulkopuolella. Nämä ns. alloktooniset aineet antavat hyvin

usein oman leimansa kalaveden tyypille. Varsinkin juuri meidän maallemme (ja yleensä peruskallioalueille) ovat tyypillisiä sellaiset vesistöt, joissa väri on humuskolloidien vaikutuksesta ruskehtava tai ruskea. Humuskolloidit ovat peräisin soilta ja ovat kolloidiasteelle hajonneita suokasvien jätteitä. Ne ovat kuitenkin edelleen palamiskelpoisia, ja sellaisina ne voivat joutua bakteerien hajoitustoiminnan kohteeksi. Eräät plankton- ja pohjaeläimet kyennevät myös käyttämään saostuneita humuskolloideja ravintonaan, mutta joka tapauksessa humusvedet eli ns. dystrofiset järvet kuuluvat suurimmaksi osaksi karujen vesien ryhmään. Humuskolloidit ovat erittäin vaikeasti hajoitettavissa ravinneasteelle.

Kalaveden likaantuminen. Alloktoonisten aineiden ryhmään voidaan lukea myös ne monenlaiset jätteet, joita teollisuus ja asutus vesiin laskee. Niiden syntypaikkoja ovat olleet metsät (puunjalostus-, paperi- ja selluloosateollisuus), pellot (meijerit, teurastamot, sokeri- ja tärkkelysteollisuus) jne. Luonnontilaisen kalaveden oman (autoktoonisen) perustuotannon hajoittaminen takaisin ravinteiksi vaatisi happea tavallisesti vain sen verran, että sitä jäisi myöskin kalojen hengityksen tarpeisiin. Jos kalavettä kuormitetaan järven ulkopuolella syntyneillä (alloktoonisilla) ainemäärillä (teollisuus- ja asutusjätteillä), hajoitustoiminta tulee yksipuolisesti leimaa antavaksi, ja kalamies on likaantumiskysymyksen edessä. Esipuhdistuksen ansiosta osittain hajonneet jätteet sisältävät osan mahdollisista kasvinravinteiksi sopivista aineistaan jo vapaina. Silloin sanotaan, että jätteet lannoittavat kalavettä, jonka oma perustuottajaeliöstö siis ottaa ravinteet käyttöönsä. Pelloilta uuttuneet valmiit kasvinravinteet vaikuttavat luonnollisesti ensi kädessä lannoittavasti eivätkä likaavasti, koska lannoitteiden koostumus on monipuolisempi. Ne aikaansaavat tehostuneen autoktoonisen tuotannon, jossa happea vapautuu. On muistettava, että jätteiden lannoitusvaikutus tulee esille vain silloin, kun niiden koostumus on omiaan parantamaan kulloinkin minimissä olevaa kasvutekijää. Esimerkiksi fosforipitoisista jätteistä ei ole vastaavaa hyötyä mikäli typpi on minimitekijänä, koska »sadon suuruus on riippuvainen kulloinkin vähimmän suotuisasta kasvutekijästä».

»Itsepuhdistuminen«, jätteiden lannoitusvaikutus ja sekundäärinen likaantuminen. Vesi — lähinnä sen bakteerit — pyrkii muokkaamaan alloktoonisetkin elimelliset aineet sellaisiksi, että niitä voitaisiin käyttää uuden elimellisen aineen — lähinnä kasviplanktonin — tuottamiseen. Vedellä on siis kyky jossain määrin »itsepuhdistumiseen». Jos kuormitus on liian suuri, ei puhdistuminen tapahdu ilman haittoja. Usein on seurauksena hajoitustoimintojen muuttuminen vallitsevaksi biologiseksi toiminnaksi, bakteeriperäisen »palamisen» niin voimakas tehostuminen, että kalaveden happi kuluu loppuun, jolloin sitä ei riitä enää kalojen tarpeisiin. Kun elimelliset jätteet kuitenkin lopuksi ovat hajonneet, niistä vapautuu myös kasvinravinteita, mitkä aikaansaavat heti puhdistumisalueella ja sen ulkopuolella tehostuneen perustuotannon. Hajoamattomina vesistöön joutuneiden jätteiden lannoitusvaikutus tulee siis vasta tässä vaiheessa näkyviin (olettaen tietenkin, että ne sisältävät perustuotannon kulloinkin tarvitsemia aineita). Mikäli tämän lannoitusvaikutuksen seurauksena fotosynteesin tietä muodostuneen uuden elimellisen massan hajoaminen ei aiheuta hapen puutetta, lannoituksella voi olla sangen huomattava vaikutus kalatuotannon kohottajana. Valitettavan usein käy kuitenkin niin, että kalavesi ei siedä tätä ns. sekundääristä likaantumista, vaan kohonneesta perustuotannosta on

seurauksena jälleen hapen puute. Muut tuotantobiologisen ketjun jäsenet saattavat olla tällaisissa tapauksissa runsaasti edustettuina: kasviplanktonin massatuotanto sekä runsas eläinplankton ja pohjaeläimistö ovat tyypillisiä »ylilannoittuneessa» kalavedessä; myöskin hajoitustoiminta on luonnollisesti vilkasta. Mutta jos hajoitustoiminta kuluttaa hapen liian vähiin, voi käydä niin, ettei ketjun kalamiehelle merkityksellisin loppurengas, kala, enää voi tulla toimeen tai vain vaatimattomimmat — ja valitettavasti useimmiten myöskin arvottomimmat — kykenevät käyttämään hyväkseen kohonnutta tuotantoa.

Palamiskelpoisten alloktoonisten humuskolloidien runsaudesta huolimatta meikäläiset kalavedet sentään sietävät kulttuurin jätteitä jossain määrin. Vesien vastaanottokyky riippuu luonnollisesti paitsi jätteiden laadusta myös itse kalaveden ominaisuuksista. Eri kalavesille on siis elimellisten jätteiden merkitys a i n a erilainen. Vesi, jonka happitilanne esim. kevättalven kriisiaikana on jo luonnostaan huono (esim. humuskolloidien hapettumisesta johtuen), ei siedä ehkä lainkaan jätevesien »pakkolannoitusta»; se on herkkä likaantumisen haitoille. Karumpi syvä vesi, jonka happitilanne on hyvä kautta vuoden, saattaa taas sietää jätteitä huomattavasti paremmin. Sen kalatuotanto jopa kohoaa, mikäli siihen laskettavat jäteaineet sisältävät perustuotannon minimitekijöitä »kulloinkin suhteellisesti vähimmän suotuisan kasvutekijän» parantamiseksi. Muutoin on jätteistä yleensä aina haittaa.

Käytännössä eivät likaantumiskysymykset ole suinkaan aina niin yksinkertaisia kuin edellä kuvatusta saattaisi otaksua. On korostettava, että j o k a i n e n likaantumistapaus on kaikista muista poikkeava, eikä mitään yleispäteviä kaavoja tilanteen mahdollisesta kehittymisestä voida antaa. Lukijan onkin sovellettava esitettyjä periaatteita eri yksityistapauksiin olosuhteista

riippuvin varauksin. Edellä on esimerkiksi osoitettu, että kasvit kykenevät antamaan veteen fotosynteesissään tarkoin saman määrän happea, mikä tarvitaan tämän saman ainemäärän käyttämiseen (polttamiseen). Olosuhteet saattavat olla kuitenkin sellaiset, että vesi on jo ennestään hapen kyllästämää (vrt. s. 35), mikä merkitsee sitä, että happea ei voi veteen enempää liueta. Ylimääräinen happi poistuu veden pinnan kautta ilmaan. Mikäli vesi taas ei ole hapen kyllästämää, tätä liukenee myöskin ilmasta fotosynteesin tuottaman hapen lisäksi.

Kaiken edellä esitetyn perusteella saattaisi tuntua luonnolliselta, että tuotannon minimitekijäin — lähinnä typen ja fosforin — määritykset olisivat ensi sijalla »kalamiehen perusanalyysien» joukossa, koska näiden aineiden niukkuus on useimmiten »vähimmän suotuisa kasvutekijä». Kasvinravinteiden niukkuus on lähinnä p e r u s t u o t a n t o a ja »kuolleen» elimellisen aineksen hajoituksen tehokkuutta rajoittava tekijä. Kalaveden perustuotannon satoa ei kuitenkaan sellaisenaan voida ainakaan toistaiseksi käyttää, vaikka eräät ulkomailla tehdyt kokeet viittaavatkin »leväviljelyn» suuriin käytännöllisiin mahdollisuuksiin. Koska kalamiehen kannalta tuotantobiologisen ketjun kaikki vaiheet ovat tärkeitä, on huomio kiinnitettävä k a i k k i e n tämän ketjun jäsenten menestymismahdollisuuksiin. On nimittäin muistettava, että kalaveden lopputuotanto ja sen tuotannon muut vaiheet eivät aina ole suorassa suhteessa. Perustuotannon kohotessa — siis kalaveden rehevöityessä — saattaa kalastajan korjattavaksi jäävä lopputuotanto taantua.

Hapen määritys tärkein kalamiehen analyysi.

Jo monessa yhteydessä aikaisemmin mainittu h a p p i on tekijä, joka vaikuttaa ratkaisevasti itse k a l o j e n toimeentuloon. Kala tarvitsee happea hengitykseen eikä voi tulla ilman sitä toimeen. Perustuo-

seurauksena jälleen hapen puute. Muut tuotantobiologisen ketjun jäsenet saattavat olla tällaisissa tapauksissa runsaasti edustettuina: kasviplanktonin massatuotanto sekä runsas eläinplankton ja pohjaeläimistö ovat tyypillisiä »ylilannoittuneessa» kalavedessä; myöskin hajoitustoiminta on luonnollisesti vilkasta. Mutta jos hajoitustoiminta kuluttaa hapen liian vähiin, voi käydä niin, ettei ketjun kalamiehelle merkityksellisin loppurengas, kala, enää voi tulla toimeen tai vain vaatimattomimmat — ja valitettavasti useimmiten myöskin arvottomimmat — kykenevät käyttämään hyväkseen kohonnutta tuotantoa.

Palamiskelpoisten alloktoonisten humuskolloidien runsaudesta huolimatta meikäläiset kalavedet sentään sietävät kulttuurin jätteitä jossain määrin. Vesien vastaanottokyky riippuu luonnollisesti paitsi jätteiden laadusta myös itse kalaveden ominaisuuksista. Eri kalavesille on siis elimellisten jätteiden merkitys a i n a erilainen. Vesi, jonka happitilanne esim. kevättalven kriisiaikana on jo luonnostaan huono (esim. humuskolloidien hapettumisesta johtuen), ei siedä ehkä lainkaan jätevesien »pakkolannoitusta»; se on herkkä likaantumisen haitoille. Karumpi syvä vesi, jonka happitilanne on hyvä kautta vuoden, saattaa taas sietää jätteitä huomattavasti paremmin. Sen kalatuotanto jopa kohoaa, mikäli siihen laskettavat jäteaineet sisältävät perustuotannon minimitekijöitä »kulloinkin suhteellisesti vähimmän suotuisan kasvutekijän» parantamiseksi. Muutoin on jätteistä yleensä aina haittaa.

Käytännössä eivät likaantumiskysymykset ole suinkaan aina niin yksinkertaisia kuin edellä kuvatusta saattaisi otaksua. On korostettava, että j o k a i n e n likaantumistapaus on kaikista muista poikkeava, eikä mitään yleispäteviä kaavoja tilanteen mahdollisesta kehittymisestä voida antaa. Lukijan onkin sovellettava esitettyjä periaatteita eri yksityistapauksiin olosuhteista

riippuvin varauksin. Edellä on esimerkiksi osoitettu, että kasvit kykenevät antamaan veteen fotosynteesissään tarkoin saman määrän happea, mikä tarvitaan tämän saman ainemäärän käyttämiseen (polttamiseen). Olosuhteet saattavat olla kuitenkin sellaiset, että vesi on jo ennestään hapen kyllästämää (vrt. s. 35), mikä merkitsee sitä, että happea ei voi veteen enempää liueta. Ylimääräinen happi poistuu veden pinnan kautta ilmaan. Mikäli vesi taas ei ole hapen kyllästämää, tätä liukenee myöskin ilmasta fotosynteesin tuottaman hapen lisäksi.

Kaiken edellä esitetyn perusteella saattaisi tuntua luonnolliselta, että tuotannon minimitekijäin — lähinnä typen ja fosforin — määritykset olisivat ensi sijalla »kalamiehen perusanalyysien» joukossa, koska näiden aineiden niukkuus on useimmiten »vähimmän suotuisa kasvutekijä». Kasvinravinteiden niukkuus on lähinnä p e r u s t u o t a n t o a ja »kuolleen» elimellisen aineksen hajoituksen tehokkuutta rajoittava tekijä. Kalaveden perustuotannon satoa ei kuitenkaan sellaisenaan voida ainakaan toistaiseksi käyttää, vaikka eräät ulkomailla tehdyt kokeet viittaavatkin »leväviljelyn» suuriin käytännöllisiin mahdollisuuksiin. Koska kalamiehen kannalta tuotantobiologisen ketjun kaikki vaiheet ovat tärkeitä, on huomio kiinnitettävä k a i k k i e n tämän ketjun jäsenten menestymismahdollisuuksiin. On nimittäin muistettava, että kalaveden lopputuotanto ja sen tuotannon muut vaiheet eivät aina ole suorassa suhteessa. Perustuotannon kohotessa — siis kalaveden rehevöityessä — saattaa kalastajan korjattavaksi jäävä lopputuotanto taantua.

Hapen määritys tärkein kalamiehen analyysi.

Jo monessa yhteydessä aikaisemmin mainittu h a p p i on tekijä, joka vaikuttaa ratkaisevasti itse k a l o j e n toimeentuloon. Kala tarvitsee happea hengitykseen eikä voi tulla ilman sitä toimeen. Perustuo-

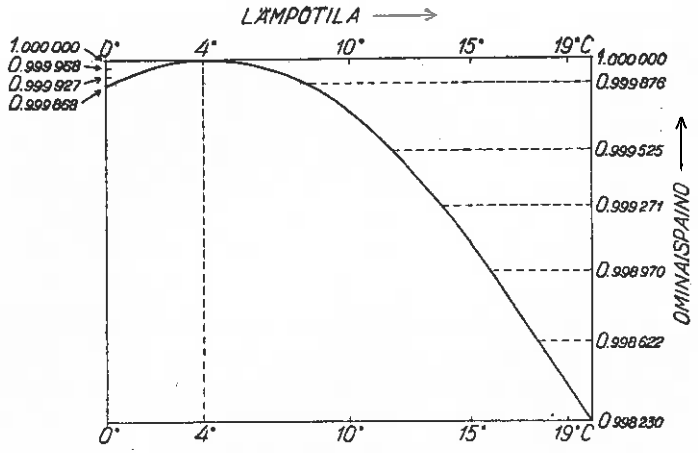
tannon planktiset kasvit vapauttavat happea muodostaessaan elimellistä ainetta; sitä liukenee myös ilmakehästä vesien tarpeisiin. Erityisesti veden lukuisat bakteerit kuluttavat sitä kuitenkin joskus niin tehokkaasti, että kalasto joutuu kärsimään hapen puutetta. Hapen merkitys on tullut kulttuurin kehittyessä yhä ajankohtaisemmaksi. Likaantumistapauksissa kasvinravinnepitoisuus yleensä kohoaa, sen sijaan happi esiintyy nyt nimenomaan lopputuotannon minimitekijänä. Runsaammin happea vaativien arvokalojen (lohi, taimen, siika, muikku) viihtyminen on tullut tästä syystä monilla alueilla mahdottomaksi.

Edellämainitun perusteella ohjekirjasen laatijat ovat katsoneet, että h a p e n m ä ä r i t t ä m i n e n on kalamiehen kannalta ylivoimaisesti tärkein kemiallisten ja fysikaalisten määritysten joukossa. Lisäksi on ohjeisiin otettu joitakin sellaisia määrityksiä, mitkä ovat välttämättömiä happitilanteen ja sen merkityksen ymmärtämiseksi. Määritysten valinnassa on ollut pakko tyytyä sellaisiin, joiden suorittaminen kenttäoloissa ja suhteellisen pienin kustannuksin on mahdollista. Ennen kuin voidaan esitellä näitä määrityksiä, on lukijaa kuitenkin vielä vaivattava eräillä sellaisilla limnologian peruskysymyksillä, joiden merkitys on kalamiehelle tulosten oikean arvostelemisen kannalta suorastaan ratkaiseva.

Kalaveden tuotanto- ja hajoituskerrokset. Perustuotannon tapahtumapaikka kalavedessä on valaistu pintakerros, vain siinä voivat fotosynteesiin kykenevät levät saada yhteyttämiseensä tarvittavan energian ja suorittaa sen avulla tärkeää tehtäväänsä. Hitaasti vajotessaan joutuvat levät (kasviplankton) lopuksi vesikerrokseen, missä säteilyenergian voimakkuus on niin heikko, että aikayksikössä syntyneen uuden elimellisen aineen määrä on samansuuruinen kuin samassa ajassa kuluneen (siis fotosynteesin vastakkaissuuntainen

reaktio, vrt. s. 9). Tämä raja-alue on kalaveden p e r u s t u o t a n t o k e r r o k s e n eli t r o f o g e e n i s e n kerroksen alaraja. Sen alapuolella elimellistä ainetta kuluu enemmän kuin samassa ajassa syntyy. Tuotannollisessa mielessä kutsutaan tätä alapuolista kerrosta h a j o i t u s k e r r o k s e k s i eli t r o f o l y y t t i s e k s i kerrokseksi. Mainittakoon, että alempien eläinten (tuotannon välivaiheet) ja kalojen (lopputuotanto) ravinnon otto tapahtuu näissä m o l e m m i s s a kerroksissa, ja että edellämainittu jako tuotantokerroksiin koskeekin vain perustuotannon ja bakteerien hajoitustoiminnan keskinäistä suhdetta. (Käytännön kannalta on huomattavasti suurempi merkitys vesimassojen luonnolliseen kerrostumiseen perustuvalla jaolla. Vaikkakin siis tuotannollinen jako tuntuu menettävän käytännöllisen merkityksensä kalamiehen tutkimuksissa niiden ilmiöiden rinnalla, joista seuraavassa on tarkoituksena esittää yksityiskohtaisempi yleiskatsaus, se on kuitenkin omiaan auttamaan tuotantotapahtuman kokonaisuuden ymmärtämiseen.)

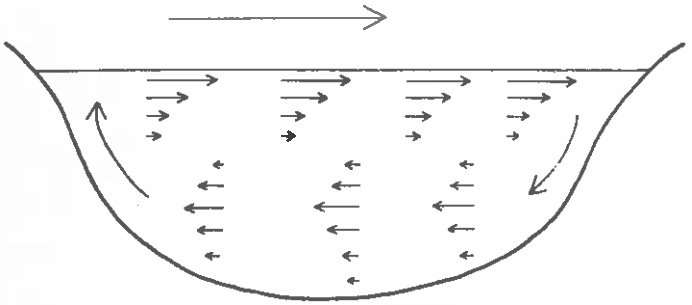
Lämpötilakerrostuneisuus ja sen syntyminen. Teoreettisen ja sovelletun limnologian tutkijat ovat jo kauan työskennelleet niiden kerrostumisilmiöiden parissa, jotka johtuvat eri vesikerrosten l ä m p ö t i l a - ja s u o l a p i t o i s u u s e r o i s t a. Lämpötilakerrostuneisuus eli ns. t e r m i n e n k e r r o s t u n e i s u u s johtuu siitä, että veden o m i n a i s p a i n o on eri lämpötiloissa erilainen. Puhdas vesi on painavinta lämpötilassa + 4° C, silloin litra vettä painaa yhden kilon. Kun veden lämpötila nousee tämän rajan yläpuolelle tai laskee sen alapuolelle, vesi tulee kevyemmäksi, sen ominaispaino pienenee (vrt. taulukko 1 ja kuva 2). Meidän leveysasteillamme järvissä voi jään alla olla k o r k e i n t a a n + 4° C lämpöistä vettä (joissakin harvoissa poikkeustapauksissa hieman lämpimämpää). Koska tätä kylmemmän veden



K u v a 2. *Puhtaan veden ominaispaino eri lämpötiloissa graafisesti esitettynä.*

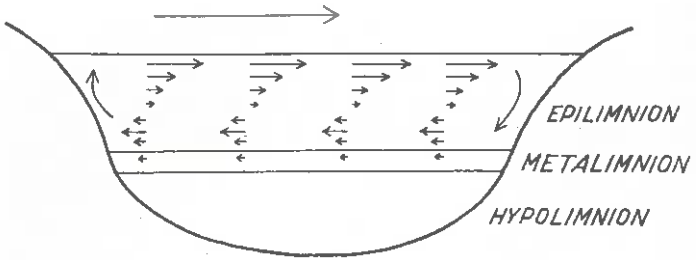
Lämpötila	Ominais-paino	Lämpötila	Ominais-paino
0	0,999868	16	0,998970
1	0,999927	17	0,998801
2	0,999968	18	0,998622
3	0,999992	19	0,998432
4	1,000000	20	0,998230
5	0,999992	21	0,998019
6	0,999968	22	0,997797
7	0,999929	23	0,997565
8	0,999876	24	0,997323
9	0,999808	25	0,997071
10	0,999727	26	0,996810
11	0,999632	27	0,996539
12	0,999525	28	0,996259
13	0,999404	29	0,995971
14	0,999271	30	0,995673
15	0,999126		

Taul. 1. Puhtaan veden ominaispaino eri lämpötiloissa.



K u v a 3. *Tuulen aiheuttamat virtaukset matalassa ja tuulille alttiissa järvessä.*

ominaispaino on pienempi, se asettuu neliasteisen vesikerroksen yläpuolelle — sitä ylemmäksi, mitä kylmempää se on. Aivan jään alapuolella lämpötila on tavallisesti vain hyvin vähän yli 0° C. Kun jäät lähtevät ja aurinko alkaa lämmittää pintavettä, lämmennyt vesi painuu alaspäin; pintavesi alkaa sekoittua. Tämä sekoittuminen jatkuu, kunnes vesimassa on kauttaaltaan neliasteista. Edelleen lämmetessään pintavesi tulee nyt keveämmäksi ja jää siis pinnalle. Mitä lämpimämmäksi pintavesi kesän edistyessä tulee, sitä kevyempiä ovat veden pinnan alla olevat vesihiukkaset, sitä vaikeammin ne sekoittuvat alapuolisten vesikerrosten kanssa. Lämmön suoranainen johtuminen alapuolella oleviin vesikerroksiin on sangen hidasta. Koska vesi kuitenkin lämpenee myös huomattavasti syvemmällä kuin mitä pelkkä auringon säteilyn tunkeutuminen edellyttäisi, täytyy olla olemassa voimia, jotka saavat aikaan lämpimämmän ja siten kevyemmän pintaveden sekoittumisen alapuolisiinkin vesikerroksiin. Tämän sekoittumisen kykenee aikaansaamaan t u u l i. Se ajaa pinnalla olevaa vettä myötätuuleen ja seurauksena on tuulen suuntainen pintavirtaus. Jokainen lienee todennut, miten veden pinta tuulen alaisilla rannoilla nousee tämän virtauksen seu-



Kuva 4. *Tuulen aiheuttamat virtaukset syvässä tai tuulilta suojassa sijaitsevassa järvessä.*

rauksena. Kohonnut vedenpinta aikaansaa luonnollisesti paineen alapuolista vettä vastaan. Tällöin syntyy alapuolinen, tuulen suuntaan nähden vastakkainen virtaus. Tilanne on silloin se, mikä on kaavamaisesti esitetty kuvassa 3, jossa tuulen aiheuttama virtaus sekoittaa järven koko vesimassan lähes täydellisesti. On huomattava, että em. vaakasuorat virtaukset eivät ole suoraviivaisia (laminaarisia), vaan niihin liittyy aina ns. pyörre- eli turbulenssivirtauksia, joiden merkitys sekoittumisessa (ja siis myöskin vesimassan lämpenemisessä) on ratkaiseva. Esitetyssä tapauksessa ei siis vielä ole syntynyt minkäänlaista lämpötilakerrostuneisuutta.

Jos järvi on tarpeeksi syvä tai sijaitsee suojaisessa notkelmassa, eivät tuulet kykene pintaveden jatkuvasti lämmetessä enää sekoittamaan järven koko vesimassaa, vaan virtausten vaikutus rajoittuu vain ylempään vesikerrokseen. Silloin on tilanne kuvassa 4 kaavamaisesti esitetyn kaltainen, on syntynyt tyypillinen kesäinen lämpötilakerrostuneisuus. Keväällä, jolloin ominaispainoerot vielä ovat vähäisiä (pinnan ja pohjan pienistä lämpötilaeroista johtuen), tapahtuu koko vesimassan sekoittumista jonkin aikaa sellaisessakin järvessä, missä myöhemmin kesällä kerrostuneisuus esiintyy. Tämä

keväisen sekoittumisen aika on ns. **keväinen täyskierto**. Mitä kauemmin se kestää, sitä korkeampi lämpötila tavataan myöhemmin kerrostuneisuuden synnyttyä pohjanläheisissä vesikerroksissa. Kun virtausten vaikutus alkaa tällaisissa järvissä myöhemmin rajoittua (ominaispainoerojen kasvaessa) vain tiettyyn ylimpään vesikerrokseen, vain tämä lämpenee. Alempi kerros jää pysyväisesti suunnilleen siihen lämpötilaan, mikä sillä oli täyskierron päättymishetkellä. Tällainen kerrostuneisuus on kalavesissämme sangen yleinen. Sitä vesikerrosta, mitä tuulten aiheuttamat virtaukset jatkuvasti sekoittavat, ja mikä siis voi kesän kuluessa jatkuvasti lämmetä, kutsutaan **päällysvedeksi** eli **epilimnioniksi**. Lähinnä pohjaa olevaa kerrosta sanotaan **alusvedeksi** eli **hypolimnioniksi**. Näiden vesikerrosten välille jää ohuempi **välivesi**, **harppauskerros** eli **metalimnion**, missä lämpötila laskee jyrkästi. **Viimeksimainittu vesikerros merkitsee käytännöllisesti katsoen siis pinnalla esiintyvien virtausten alarajaa.**

Perustuotannon planktiset levät joutuvat viettämään aikansa päällysveden virtausten (huom! turbulenssi) kannattamina, olemaan siis vuoroin valaistussa, vuoroin taas pimeässä vesikerroksessa (olettaen, että valaistu vesikerros on ohuempi kuin päällysvesi). Lämpötilakerrostuneisuuden merkitys on käytännössä myöskin tuotannollisessa mielessä monin verroin suurempi kuin edellä (s. 19) mainittu järven vesimassan jako tuotanto- ja hajoituskerrokseen. Myöhemmin (s. 61) mainitaan, että silloin, kun tuotantokerros ulottuu harppauskerroksen **alapuolelle**, sillä on käytännönkin kannalta suurempi merkitys.

Päällysveden lämpötila vaihtelee sekoittavien virtausten ja ilman lämpötilan vaihtelujen vuoksi koko kesän. Lämpötilan tasautumisessa näyttelee varsin huomatta-

vaa osaa tuulen ohella myös päällysveden pintakerroksen jäähtyminen, joka johtuu haihtumisesta (haihtuminen kuluttaa lämpöä) ja lämmön johtumisesta ja säteilystä ilmakehään yöllä tai muuten kylmällä säällä. Koska jäähtyneen veden ominaispaino on suurempi, syntyy vertikaalisia (pystysuorassa suunnassa tapahtuvia) konvektiovirtauksia, jotka vaikuttavat lämpötilan tasautumiseen päällysvedessä tyynelläkin säällä. Syyskesällä tavataankin useissa kerrostuneissa järvissä lähes tasalämpöinen päällysvesi ja heti sen alla jyrkkä harppauskerros.

Päällysveden syksyn tullen jäähtyessä sen ja alusveden välinen lämpötilaero häviää. Nyt ei enää ole estettä vesimassojen sekoittumiselle, alkaa ns. syksyinen täyskierto. Sekoittuminen alkaa yleensä tuulen vaikutuksesta jo vähän ennen lämpötilaeron täydellistä häviämistä. Pintaveden jäähtyminen aikaansaa täyskierron myös täysin tuulettomalla säällä, jos alusveden lämpötila on yli + 4° C (vrt. s. 21). Syksyinen täyskierto jatkuu kunnes järvi saa jääpeitteen, joka estää tuulen vaikutuksen. Mitä tuulisempi syksy on, sitä enemmän koko vesimassa jäähtyy, lämpötilaerot ovat nyt niin pienet (0° C—4° C), että aina jääpeitteen muodostumiseen asti tuuli pystyy aikaansaamaan jatkuvan sekoittumisen. Ennen jäätymistä on ylin vesikerros (tuulen hellittäessä) päässyt jäähtymään 0-asteiseksi. Jäätymisen jälkeen vallitsee talvinen lämpötilakerrostuneisuus, joka kesäkerrostuneisuuteen verrattuna on käänteinen, koska nyt kylmimmät vesimassat ovat pinnalla (vrt. s. 19).

Lämpötilakerrostuneisuuden merkityksestä. Kesäinen kerrostuneisuus tai kerrostumattomuus vaikuttaa ratkaisevasti järven elämään. Harppauskerros on tehokas jarru kaikille sekoittamaan pyrkiville voimille. Se jakaa järven kahteen, järven tyypistä ja olosuhteista riippuen enemmän taikka

vähemmän erilaiseen kerrokseen. Ilmakehän vaikutus tuntuu vain päällysveden vesimassassa. Ilmasta veteen liukeneva happi kulkeutuu virtausten mukana koko päällysveteen. Sen valaistussa kerroksessa tapahtuu myöskin fotosynteesi, mikä lisää veden happipitoisuutta valoisana aikana. Koska siis päällysveden happivaraston täydennys yleensä on riittävä, ei bakteerien hajoitustoiminnan happea kuluttava vaikutus pääse tavallisesti aiheuttamaan tässä kerroksessa hapen puutetta avoveden aikana.

Plankton ja muu vedessä hitaasti vajoava massa joutuu vähitellen alusveteen. Siellä jatkuu bakteerien aikaansaama hajoaminen ja hapen kuluminen. Koska harppauskerros estää happea kuljettavien pintavirtausten ulottumisen alusveteen, tämä joutuu olemaan kokonaan sen hapen varassa, minkä se onnistuu hankkimaan keväisen täyskierron aikana (jolloin lämpötila oli kaikissa vesikerroksissa sama ja jolloin sekoittuminen ulottui pohjaan saakka). Bakteerien toimesta tapahtuva hajoitustoiminta muuttaa fotosynteettisten ja muiden eliöiden sisältämät kasvinravinteet jälleen levien käyttöön sopiviksi. Virtausten puuttuessa ravinteet eivät kuitenkaan voi kulkeutua valaistuun pintaveteen, missä fotosynteesiin kykenevät planktiset kasvit niitä kipeästi tarvitsisivat solujensa rakennusaineiksi. Päällysveden kasvinravinteet ja alusveden happi vähenevät siis jatkuvasti kesäkerrostuneisuuden aikana.

Kerrostumattomissa vesissä, joissa sekoittuminen voi tapahtua koko avovesikauden ajan, happea on tavallisesti kaikissa vesikerroksissa. Vapautuneet kasvinravinteet ovat niissä myös heti uudelleen perustuotannon käytettävissä. Näin ollen niissä on (muuten samanlaisten olosuhteiden vallitessa) suuremman perustuotannon mahdollisuus kuin kerrostuneissa.

Syvässä järvessä, jonka alusvesi on suuri, tämän vesikerroksen keväisen täyskierron aikana täydentyneet happivarat riittävät tavallisesti koko kesän. Suurissa järvissämme onkin alusveden tuntuva hapen puute (likaantumistapauksia lukuunottamatta) harvinainen. Mikäli taas alusveden vesimassa on pieni, tilanne saattaa muodostua kriitilliseksi. Kaloilla on onneksi pakopaikkanaan silloin päällysvesi, missä monet lajit muutenkin mieluimmin oleskelevat. Alusveden hapettomuus estää pohjaravintoa käyttävien kalojen oleskelun niillä pohjan alueilla, jotka ovat harppauskerroksen alapuolella. Esimerkiksi lahnan heikko kasvu saattaa näin saada selityksensä. Sitä paitsi lahna muutenkin karttaa kylmää alusvettä. Monet arvokkaammat kalat puolestaan eivät viihdy lämpimässä vedessä. Sellainen on esimerkiksi nieriä, joka hakeutuu mielellään harppauskerroksen alapuolelle, mutta joka taas toisaalta ei ilmeisesti siedä sanottavaa hapen vajausta. Huono alusveden happitilanne voi myös aivan ratkaisevasti heikentää sellaisen pohjalla eläjän kuin esimerkiksi mateen menestymisen ja viihtymisen mahdollisuuksia, niinpä eräissä likaantumistapauksissa on made hävinnyt aivan ensimmäisten joukossa.

Minkälaisissa järvissä sitten kerrostuneisuus kesällä saattaa esiintyä? Kysymykseen ei voida teoreettisesti vastata tarpeellisella tarkkuudella. Monet suojaisissa paikoissa sijaitsevat, vain muutamien metrien syvyiset pikkuvedet saattavat olla ajoittain kerrostuneita, ajoittain taas kerrostumattomia, riippuen tuulien voimasta ja suunnasta. Erityisesti tämänlaatuisissa tapauksissa onkin kerrostumisilmiöiden jatkuva seuraaminen välttämätön edellytys järvessä vallitsevien olosuhteiden selvittämiseksi. On voitu todeta, että esimerkiksi monissa pikkuvesissä kesäaikana sattuneet kalojen joukkokuolemistapaukset ovat aiheutuneet kerrostuneisuuden äkillisestä murtumisesta. Tällöin ovat alusveteen varastoituneet kasvinravinteet kerrostuneisuuden murtuessa joutuneet vahvana annoksena valaistuun pintaveteen. Seurauksena on luonnollisesti yht'äkkiä voimistunut perustuotanto ja kasviplanktonin massaesiintyminen, mikä varsin nopeasti johtaa käytettävien ravinteiden loppumiseen ja koko massan kuolemiseen. Hajoava plankton kuluttaa vedestä nopeasti hapen, ja jos sää on tyyni, ei pinnaltakaan tule riittävästi täydennystä. Sääsuhteiden merkitys on tässäkin ollut ratkaiseva: kerrostuneisuuden murtamiseen on tarvittu tavallista kovempi tuuli, joka on jatkunut kunnes syntyvä kasviplanktonmassa on kuluttanut käytettävissä olevan ravinnon. Kun sitten tuuli muutamaksi päiväksi täysin tyyntyy, syntyy hapen puute, joka aiheuttaa mainitunlaisen tilanteen. Usein voidaan kalojen joukkokuolemista todeta myöskin välittömästi kerrostuneisuuden murruttua. Silloin sen aiheuttaa alusvedessä vallinnut hapen kato, minkä vallitessa alusveteen on varastoitunut runsaasti »hapenahneita» aineita (rikkivety, metaani jne.), jotka kykenevät riistämään pintaveden hapen heti sekoittumisen tapahduttua. Näitä aineita voi syntyä vain hapen kokonaan puuttuessa. Tällainen tilanne voi syntyä tietenkin myöskin sekä keväisen että syksyisen t ä y s k i e r r o n yhteydessä; varsinkin likaantumistapausten tutkimuksissa on tämä seikka pidettävä mielessä. Kalojen joukkokuolemisilmiöt ovat tavallisia juuri siellä, missä alusveteen on kertynyt vettä raskaampia happea kuluttavia jätteitä (vrt. s. 41).

Suuret järvemme, jotka ovat käytännöllisesti katsoen a i n a tuulille alttiita, ovat y l e e n s ä kerrostuneita mikäli niiden syvyys on yli 30 metriä. Harppauskerros on silloin tavallisesti 13—16 metrin syvyydessä. Kerrostuneisuuden v a k a v u u s eli ns. s t a b i l i t e e t t i (= kerrostuneisuuden hävittämiseen tarvittava työ) on nimittäin suurin silloin, kun harppauskerros sijaitsee v e s i m a s s a n p a i n o p i s t e t a s o s s a ja pienenee,

jos harppauskerros on painopistetason yläpuolella tai painuu sen alapuolelle. Painopistetasolla tarkoitetaan tässä sitä vaakasuoraa tasoa, mikä jakaa täyskierrossa olevan järven vesimassan kahteen yhtäsuureen osaan.

Koko syksyisen täyskierron ajan voi happea kulkeutua pinnalta kaikkiin vesikerroksiin pitkän talven varalle, jonka aikana jääpeite estää ilmasta tapahtuvan hapen liukenemisen käytännöllisesti katsoen kokonaan, ja jolloin jää sekä sen päällä oleva lumi pimentävät veden pintakerroksen niin, ettei happea vapauttava perustuottajien fotosynteesikään voi toimia täydellä — ko. alhaisessa lämpötilassa mahdollisella — tehollaan. Onneksi on asia niin, että syksyllä on parhaat mahdollisuudet tämän elintärkeän kaasun liukenemiselle, sillä happea (ja yleensä kaasuja) liukenee sitä enemmän, mitä kylmempää vesi on. Lisäksi syysmyrskyt suurentavat liukenemispintaa.

Matalat tuulille alttiit vedet, joissa lämpötilakerrostuneisuutta ei kesällä esiinny tai joissa kerrostuneisuus on jo kesän aikana hävinnyt, ovat talven tullen yleensä epäedullisemmassa asemassa kuin kerrostuneet, koska kasvinravinteet ovat voineet esteettä yhä uudelleen kulkeutua valaistuun pintaveteen perustuotannon tarpeisiin. Talven tullen niissä saattaa siis olla runsaasti autoktoonista elimellistä ainetta, joka hajoaa talven aikana kuluttaen happea. Lisäksi niissä on tuotannon runsauteen nähden tavallisesti suhteellisen pieni vesimassa, ja se voi vastaavasti varastoida ennen jäätymistä pienemmän kokonaismäärän happea, jota vesi voi liuottaa tilavuusyksikköä kohti vain tietyn määrän niinkuin myöhemmin (s. 35) esitetään. Tällaisissa vesissä saattaakin talvinen hapen kato eli »ahdinko» tehdä tuhojaan.

Kerrostuneisuuden käytännöllinen merkitys tulee erityisen selvästi näkyviin likaantumistapauksissa. Teollisuuden laskemat jätevedet ovat ominaispainoltaan usein (korkeammasta suolapitoisuudesta johtuen) hieman raskaampia kuin vesistön vesi (ei kuitenkaan aina!). Jos jätevedet lasketaan kerrostuneeseen järveen, ne kulkeutuvat tavallisesti harppauskerroksen alapuolelle. Hajoitustoiminta on alusvedessä hitaampaa kuin päällysvedessä. Siihen on syynä alhainen lämpötila ja hapen riittämättömyys. Suuri osa jäteveden sisältämistä elimellisistä aineista säilyy siis vielä »palamiskelpoisena» syksyyn saakka. Syksyn täyskierto kykenee tavallisesti ottamaan mukaansa myöskin nämä alusveteen joutuneet raskaammat, jäteainepitoiset vedet. Jos jäätyminen tapahtuu aikaisin ja järven veden vaihto on vähäinen, sinne jää talven ajaksi huomattavia määriä happea kuluttavia aineita, ja lisää tulee talven aikana. Kun jääpeite estää hapen liukenemisen, happi saattaa loppua.

Kerrostuneessa järvessä tilanne on usein näennäisesti hyvä, pintavesihän voi olla puhdasta ja hapen kyllästämää, vaikka alusvesi ehkä onkin hapeton. Koska pintavesi on kyllästynyttä, ei siihen happea enää liukene, päinvastoin saattaa fotosynteesinkin tuottama happi poistua ilmakehään veden pinnan kautta, vaikka sen tarve olisi alusvedessä huutava. Jos jätteet eivät joutuisi näin kerrostumaan, niillä olisi paremmat jatkuvan laimenemisen mahdollisuudet. Avoveden aikana pinnalta liukenisi jatkuvasti happea kuluneen tilalle, ja korkeampi lämpötila edistäisi hajoitustoimintaa.

Luonnontilaisen ja samoin myös likaantuneen kalaveden tapahtumat ovat luonteeltaan varsin erilaisia eri tapauksissa. Edelläesitettyä onkin pidettävä enemmän esimerkin luontoisena kuin jokaiseen tapaukseen sopivana selityksenä. Perusteiden tuntemisen lisäksi tarvitaan kussakin yksityistapauksessa aimo annos omaa harkintaa. On mahdotonta antaa kaikkiin tapauksiin

soveltuvaa yksityiskohtaista yleisohjetta. Tutkimuksia suorittavan kalamiehen on lisäksi usein varmastikin syytä turvautua koulutetun limnologin apuun kalaveden biologisten, kemiallisten ja fysikaalisten syyyhteyksien selvittämiseksi. Kaikkien näiden mitä moninaisimpien probleemien esittely ei valitettavasti sovi suppean oppaan sivuille.

Suolapitoisuuseroista johtuva kerrostuneisuus merenrannikolla.

Suolapitoisuus (ja elektrolyyttipitoisuus yleensäkin) kohottaa veden ominaispainoa. Suolapitoisuuseroista johtuvat ominaispainoerot aiheuttavat murtovesialueemme lahdissa, joihin joet ja purot tuovat kevyempää vettä, varsinkin talviaikana jyrkän kerrostuneisuuden.

Suolapitoisuus g/l	Ominaispaino
0	1,00000
1	1,00085
2	1,00169
3	1,00251
10	1,00818

Taul. 2. Veden ominaispainon riippuvuus suolapitoisuudesta.

Meidän kalkkiköyhien peruskallioalueittemme sisävesissä ei eri vesikerrosten suolapitoisuuseroilla ole samaa käytännöllistä merkitystä kerrostumisilmiöiden aiheuttajana kuin monissa Keski-Euroopan järvissä, joissa suolapitoisuuseroista johtuva kerrostuneisuus saattaa olla niin vakava, ettei täyskiertoa pääse koskaan tapahtumaan, vaan järvi on pysyvästi kerrostunut (ns. meromiktiset järvet). Merenrannikoillamme saattaa sen sijaan päällys- ja alusveden suolapitoisuusero olla niin suuri, että kerrostuneisuuden vakavuutta voidaan pitää ajoittain käytännöllisesti katsoen kokonaan suolapitoisuuseroista johtuvien ominaispainoerojen aiheuttamana. Tuulet ja meren voimakkaat virtaukset kykenevät kuitenkin avoveden aikana matalammissa lahdissa murtamaan kerrostuneisuuden suhteellisen helposti. Ulompana merellä vallitsee taas luonnollisesti lämpötilakerrostuneisuus, johon suolapitoisuuserot tuovat lisää vakavuutta.

Murtovesialueilla pätevät samat vakavuuden eli stabiliteetin lait kuin sisävesissäkin huolimatta siitä, että niissä vaikuttaa ominaispainoon lämpötilan lisäksi ratkaisevasti myös suolapitoisuus. Koska syntyvä tilanne saattaa kuitenkin merenlahdissa olla sisävesissä vallitsevasta poikkeava, on syytä tarkastella vielä hieman lähemmin murtovesien (ja ennenkaikkea murtovesilahtien) kerrostumisilmiöistä aiheutuvia käytännöllisiä erikoispiirteitä nimenomaan tutkimuksia suorittavan kalamiehen kannalta.

Taulukossa 2 (s. 30) esitetyt ominaispainon arvot tarkoittavat veden ominaispainoa neljän asteen lämpötilassa. Jos vesi lämpenee tai jäähtyy, pienenee myöskin kunkin suolapitoisuusarvon kohdalla esitetty ominaispaino. Kun verrataan tämän taulukon arvoja taulukossa 1 (s. 20) esitettyihin, voidaan todeta, että vasta silloin, kun 2 g/l suolaa sisältävä merivesi lämpenee 19—20 asteen lämpötilaan, se on yhtä kevyttä kuin 4-asteinen suolaton vesi. Tämä esimerkki on omiaan antamaan kuvan suolapitoisuuserojen merkityksestä.

Murtovesien likaantumistapausten omalaatuisuus.

Mereen purkautuvat sisävedet tuovat mukanaan elimellistä ainesta, kasvinravinteita jne., mitkä tuulisissa ja matalissa lahdissa voivat sekoittua meriveteen tasaisesti. Jokiveden tuomat eliöt joutuvat silloin entisestä poikkeavaan, suolaiseen ympäristöön. Monet niistä varmasti kärsivät tästä

äkillisestä muutoksesta, joskaan emme tiedä, kuinka esimerkiksi jokivedessä hajoitustyötään suorittaneet bakteerit kykenevät sopeutumaan uusiin olosuhteisiin. Joka tapauksessa murtovesialueen oma eliöstö ottaa pian hoitaakseen ehkä tuhoutuneiden virkaveljiensä tehtävät. Tyynellä säällä tai jään alla ei samanlaista sekoittumista tapahdu. Silloin kerrostuvat vähempisuolaiset, sisämaasta tulevat kevyemmät vedet suolaisemman päälle, muodostaen makean päällysveden.

Jokiveden »itsepuhdistuskyky» on varsin suuri. Joki saa tavallisesti talvellakin riittävän hapen täydennyksen sulina pauhaavista koskista ja virtapaikoista, joten hapetonta tilaa ei yleensä pääse »jokivaiheen» aikana syntymään, vaan hajoitus on aerobista (vrt. s. 13), mikä on tehokkaampaa kuin anaerobinen. Jokivesi kuljettaa mukanaan myös sellaisia kiinteitä hiukkasia, mitkä järvessä laskeutuisivat pohjaan. Joessa siis kiinteätkin hiukkaset joutuvat tehokkaamman (aerobisen) hajoituksen kohteeksi kuin järvessä, missä niiden hajoitus tapahtuu suurimmaksi osaksi vasta pohjalietteen yleensä anaerobisissa olosuhteissa. Joen »itsepuhdistuskyky» ei kuitenkaan ole rajaton. Lisäksi monet suuret asutuskeskukset ja teollisuuslaitokset sijaitsevat suurten jokien suilla, joten niiden laskemien jäteaineiden jokivaihe jää usein mitättömän lyhyeksi. Siten monet merenlahtiin purkautuvat vedet sisältävät jätteitä sellaisia määriä, että likaantuminen merenrannikoillammekin on nykyisin varsin yleistä.

Mikäli likaantunut jokivesi asettuu merenlahdissa suolaisen meriveden päälle (talvella miltei aina, ja avovedenkin aikana sopivissa olosuhteissa), hapen kuluminen on voimakkainta päällysvedessä, missä ei kuitenkaan kesäaikana yleensä pääse esiintymään selvää hapen puutetta, koska yhteyttämisessä vapautuva ja pinnalta liukenemalla tapahtuva hapen täydennys korvaa vajauksen. Talvella sen sijaan hapen puute

on likaantuneen murtoveden päällysvedessä usein todettavissa. Olosuhteet ovat siis tässä mielessä toisenlaiset kuin sisäjärvissä, missä pienimmät hapen pitoisuudet lähes aina voidaan havaita alusvedessä. Kiinteät jätteet alkavat murtovesialueella virtauksen pienentyessä vajota ja saattavat aiheuttaa hapenpuutetta alusvedessäkin. Näin tapahtuu varsinkin joen suun välittömässä läheisyydessä.

Päällysveden hapen puute on varsin kiusallinen ilmiö. Voi käydä esimerkiksi niin, että kalat talviaikana kuolevat sumpuissa, vaikka kalavedessä ei muuten olisikaan havaittu kalojen kuolemista. Tähän on usein syynä juuri hapen loppuminen likaantuneesta päällysvedestä. Alapuolella oleva suolaisempi alusvesi saattaa sen sijaan olla käytännöllisesti katsoen puhdas ja turvata elävien kalojen hapen saannin. Kalastajan sumppu on ehkä tuossa hapettomassa pintavedessä, ja jos päällysvesi on ohut, voi välittömästi sumpun pohjalautojen alla olla happirikas alusvesi. Sumppujen sijoittaminen alemmaksi pelastaisi tilanteen.

Murtovesialueemme ovat sangen oikullisia. Vedenkorkeuden vaihtelut, virtaukset, tuulet ja myrskyt aiheuttavat sen, että tämänpäivän tilanne saattaa huomenna olla kokonaan toinen. Nämä alueet ovat jatkuvien havaintojen kiitollinen kohde, kalamiehelle on tarjolla runsaasti sellaisia selvittämisen arvoisia kysymyksiä, joiden ratkaisu on mahdollinen tämänkin oppaan mukaisin havainnoin.

Kerrostuneisuuden hävittämisen mahdollisuus.

Edellä on puhuttu kalaveden kerrostumisilmiöiden merkityksestä tuotannon tapahtumille. Limnologit ovat pohtineet, onko mahdollista keinotekoisesti hävittää järven kerrostuneisuus. Kerrostuneisuuden hävittämiseen tarvittava työ voidaan kussakin tapauksessa laskea (s. 27). Keski-Euroopassa onkin eräissä tapauksissa keinotekoisesti

pidetty järvi tai sen osa jatkuvassa täyskierrossa pienellä sähkömoottorilla ja siten nopeutettu ratkaisevasti »itsepuhdistusta» (happi ja lämpötila!) sekä ravinteiden kiertokulkua. Tulevaisuus antanee mahdollisuuden tätä tietä tehostaa kalaveden omien ravinnevarojen käyttöä tuotannon parantamiseksi. On selvää, että mikäli sekoitustoimenpiteet aloitetaan täyskierron aikana (jolloin kerrostuneisuuden vakavuus on teoreettisesti olematon), riittää sangen pieni teho kierron ylläpitämiseen. Vakavamman kerrostuneisuuden vallitessa tarvitaan huomattavasti tehokkaammat laitteet. Koska keinotekoinen kerrostuneisuuden hävittäminen kuitenkin aina vaatii asiantuntija-apua, ei kysymykseen tässä yhteydessä ole syytä tämän lähemmin puuttua.

Vesistöjen säännöstely- ja vesistöjärjestelytoimenpiteiden vaikutus kalaveden happitalouteen.

Ihminen kykenee vaikuttamaan kerrostuneisuuteen myös laskemalla keinotekoisesti järven pintaa. Vesistöjen säännöstely- ja vesistöjärjestelytoimenpiteet ovat tulleet varsin ajankohtaisiksi, ja kalamiehet ovat monissa tapauksissa esittäneet mielipiteitään niiden mahdollisista seurauksista. Tässä puututaan säännöstelyn ja järjestelyn vaikutuksiin vain ottamalla pohdittavaksi eräitä veden happitalouteen liittyviä seikkoja. Pinnan laskiessa kokonaissyvyys pienenee. Koska harppauskerros lasketussa vedessä asettuu yleensä samaan syvyyteen pinnasta lukien kuin laskemattomassakin, alusvesi pienenee huomattavasti enemmän kuin päällysvesi. Järvessä syntynyt tai sinne muualta kulkeutunut elimellinen massa joutuu nyt hajoamaan tässä pienentyneessä vesitilassa, ja silloin saattavat alusveden happivarat loppua kesken. Järven laskeminen aiheuttaa aina alusveden happitilanteen huononemisen. Jos alusvesi on riittävän suuri, ei pinnan laskeminen kuitenkaan aiheuta havaittavaa haittaa. Mikäli järvi on niin matala, että

harppauskerros on ennen laskemista sijainnut lähellä vesimassan painopistetasoa (vrt. s. 27), se saattaa laskemisen jälkeen painua niin alas, ettei kerrostuneisuuden vakavuus enää kykene vastustamaan sekoittavia voimia; kerrostunut järvi muuttuu siis kerrostumattomaksi. Silloin tapahtuu järven tuotannossa varsin merkityksellisiä ja olennaisia muutoksia (joiden ei tarvitse olla haitallisia, tuotanto saattaa noustakin). — Kerrostumattoman järven pinnan alentamisen vaikutus riippuu taas siitä, riittääkö pienentyneen vesimassan happi yli talven. Pinnan alentaminen (esimerkiksi pohjavesihaittojen poistamiseksi viljelysmailta) saattaa matalien järvien kalastossa aiheuttaa huomattaviakin muutoksia. Sellaista toimenpidettä suunniteltaessa olisikin aina suoritettava tarpeelliset tutkimukset (happitilanne talvella!), koska syntyvä tilanne voidaan silloin yleensä ennustaa riittävällä tarkkuudella.

Hapen liukeneminen veteen riippuu lämpötilasta ja paineesta.

Veteen liukenevan hapen määrä riippuu vallitsevasta lämpötilasta ja paineesta. Mitä kylmempää vesi on ja mitä korkeampi paine vallitsee, sitä enemmän happea veteen voi liueta. Kun vedessä on liuenneena happea se määrä, minkä vesi enintään pystyy vallitsevissa olosuhteissa liuottamaan, sen sanotaan olevan hapen kyllästämää ja ko. hapen määrää sanotaan kyllästysarvoksi.

Kuva 5 esittää Mortimerin happinomogrammin, jonka käyttö ja tarkoitus selviää seuraavasta. Asteikolle A on merkitty lämpötilan arvot ja sen yläpuolelle asteikolle B hapen kyllästysarvot eri lämpötiloissa ja normaalipaineessa (760 mm Hg). Tästä asteikosta saadaan nopeasti selville, kuinka paljon happea vesi voi kussakin lämpötilassa liuottaa. Koska hapen liukoisuus pienenee lämpötilan kasvaessa, asteikon käyttäjän on huomattava, että hapen määrä asteikolla kasvaa päin-

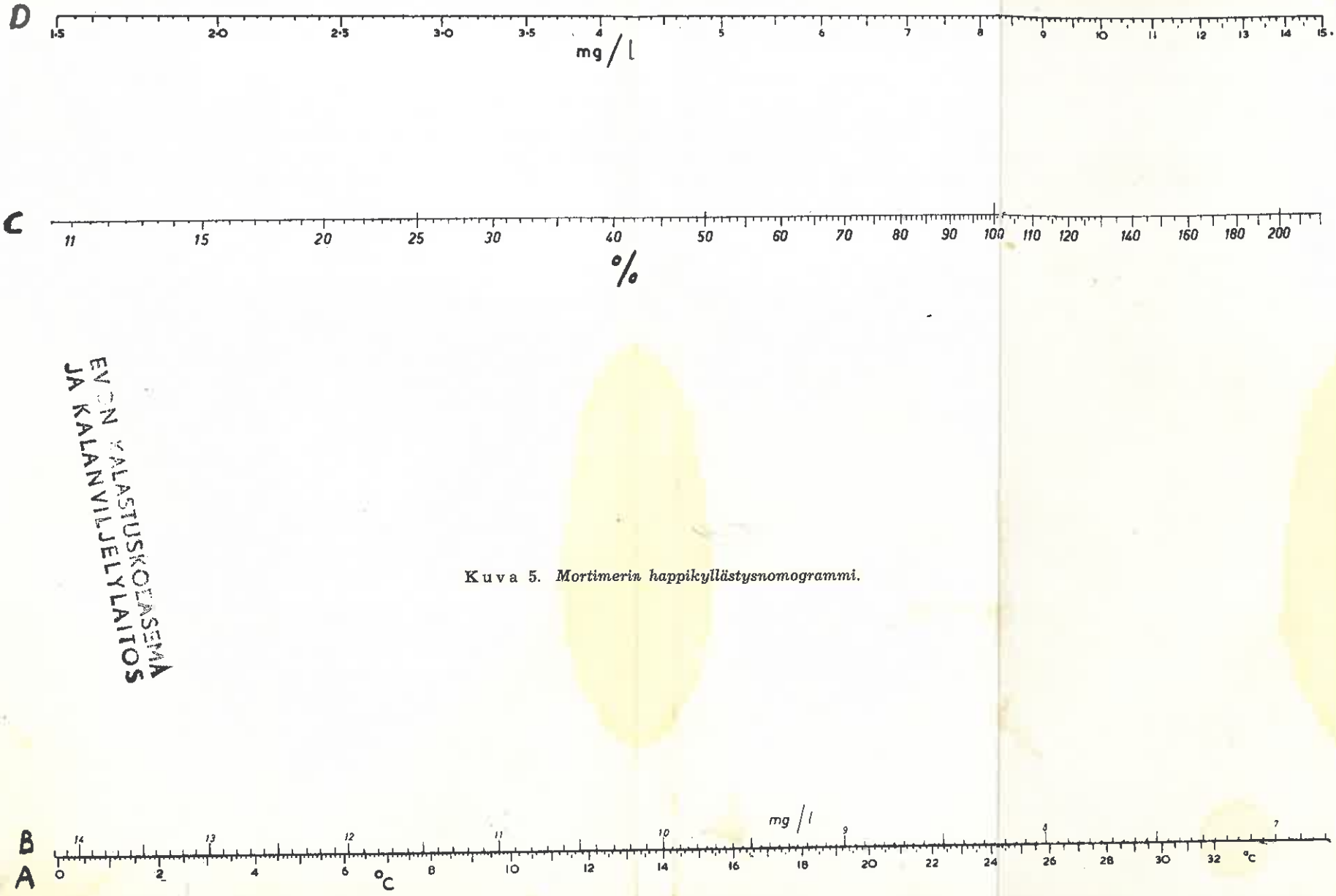
vastaiseen suuntaan kuin lämpötila. Niinpä vesi, jonka lämpötila on 10° C, voi sisältää 10,92 mg happea litraa kohti (mg/l), 20-asteinen vesi 8.88 mg/l ja 4-asteinen 12,67 mg/l. Koska happimääritysten tulokset ilmoitetaan 0,1 milligramman tarkkuudella, näin saadut lukemat riittävät kaikkiin käytännön tarkoituksiin.

Hapen kyllästysarvojen käytännöllisestä merkityksestä.

Hapen kyllästysarvojen käytännöllinen merkitys on monessa tapauksessa hyvin suuri. Jos hapen määrityksen tuloksena on esimerkiksi 3.9 mg/l ja mitattu lämpötila on 10° C, ns. happivajaus on 7.0 mg/l (10.9—3.9). Toisin sanoen alusveden happi on vähentynyt kerrostuneisuuden aikana 7.0 mg litraa kohti, jos oletetaan, että vesimassa on ollut täyskierron aikana keväällä hapen kyllästämää (niinkuin yleensä on asian laita).

Usein esitetään todetun hapen määrä prosentteina kyseistä lämpötilaa vastaavasta kyllästysarvosta. C-asteikolle on merkitty prosentit ja D-asteikolle hapen määrä mg/l. Kun halutaan tietää kyllästysprosentti asetetaan ohut lanka nuppineulan tms. avulla todetun lämpötila-arvon kohdalle A-asteikolla (esim. 10° C) sekä kiristetyn langan toinen pää määrityksen antaman tuloksen kohdalle D-asteikolla (esim. 3,9 mg/l), silloin voidaan kyllästysprosentti lukea suoraan C-asteikon ja langan leikkauspisteen kohdalta (esim. n. 36 %).

Kun teoreettisesti pohditaan hapen esiintymistä kalaveden eri vesikerroksissa keväisestä täyskierrosta lähtien, on heti otettava huomioon että tuulisen kevään täyskierto kestää kauemmin kuin suhteellisen tyynen. Alusveden lämpötila antaa käsityksen täyskierron kestoajasta, sillä mitä kauemmin täyskierto on kestänyt, sitä korkeampaan lämpötilaan on alusvesi ehtinyt lämmetä. Selvästi kerrostuneen järven alusveden lämpötila on melko tarkoin sama kuin mikä koko vesimassalla on ollut kevättäyskierron päättyessä. Järven vesi on



EVON KALASTUSKOELASEMA
JA KALANVILJELYLAITOS

Kuva 5. *Mortimerin happikyllästysnomogrammi.*

myös tällöin tavallisesti pidättänyt liuenneena juuri tämän lämpötilan kyllästysarvoa vastaavan määrän happea. Siten voidaankin sanottua määrää pitää eräänlaisena lähtöarvona happitilanteen kehitystä seurattaessa.

Kerrostuneisuuden synnyttyä ei hapen täydennystä enää alusveteen pääse, ja sen lämpötilakin pysyy kerrostuneisuuden ajan lähes muuttumattomana. Täyskierron aikana on vedessä teoreettisesti (ja useimmiten myöskin käytännössä) kaikissa vesikerroksissa sama määrä happea litraa kohti. Päällysvesi lämpenee edelleen ja samalla hapen kyllästysarvo pienenee. Ellei mitään biologisia tapahtumia eri vesikerroksissa esiintyisi, täytyisi siten hapen pitoisuuden päällysvedessä olla pienempi kuin alusvedessä. Näin ei kuitenkaan tavallisesti ole asian laita, vaan happea on päällysvedessä yleensä huomattavasti enemmän tai ainakin yhtä paljon kuin alusvedessä (litraa kohti). Alusvedessähän tapahtuu vain hapen kulumista, päällysvesi taas saa heti täydennystä kuluneen tilalle sekä pinnalta että yhteyttämisestä. Se, että päällysveden happiarvot kaikkein karuimmissakin vesissä ovat tavallisesti alusveden arvojen suuruiset tai suuremmat, on osoituksena biologisten tapahtumien tehokkuudesta ja niiden vaikutuksesta.

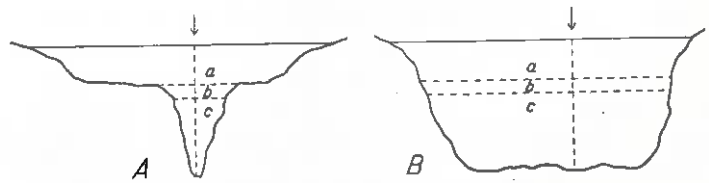
Hapen kuluminen alusvedestä on suoraan verrannollinen sekä alloktoonisten (muualta tulleiden) että autoktoonisten (järvessä syntyneiden) elimellisten aineiden määrään. Niinpä ravintoköyhien vesien alusveden happipitoisuus onkin suuri, ravintorikkaiden ja likaantuneiden taas yleensä pieni; eräissä tapauksissa happi saattaa puuttua kokonaan. Myöskin ruskeissa vesissä voi happipitoisuus alusvedessä olla pieni; soilta huuhtoutuneet humuskolloidit aiheuttavat niissä hapen kulumista. Aina on kuitenkin pidettävä mielessä, että

mitä suurempi alusvesi kokonaisuudessaan on, sitä suurempi on myöskin ollut liuenneen hapen kokonaismäärä ja sitä enemmän elimellisiä aineita tarvitaan hapen kuluttamiseksi. Huomattava on lisäksi, että mitä korkeampi on alusveden lämpötila, sitä nopeammin happi sieltä kuluu. Myöskin elimellisten aineiden laatu vaikuttaa hapen kulumisen nopeuteen, samoin kaikki ne tekijät, jotka vaikuttavat hajoitusbakteerien viihtymiseen yleensä.

II. KENTÄLLÄ TEHTÄVÄT HAVAINNOT JA NÄYTTEIDEN OTTAMINEN.

1. Syvyyssuhteiden merkitys ja luotaus.

Kalaveden syvyyssuhteiden merkityksestä on jo mainittu edellä eri yhteyksissä. Seuraavassa halutaan lukijan huomio kiinnittää tähän tärkeään seikkaan vielä hieman yksityiskohtaisemmin. Aluksi pari esimerkkiä. Oletetaan, että tutkimuksia suoritetaan kahdella pikkujärvellä A ja B (kuva 6). Tarkoitukseen on tällä kerralla riittänyt vain yhden näytesarjan tutkiminen kummassakin järvessä syvänteen kohdalta (mistä yleensä saa edullisimman kokonaiskuvan). Lämpötilahavainnot ovat osoittaneet, että harppauskerros (b) sijaitsee molemmissa järvissä samassa syvyydessä. Olosuhteet ovat olleet muutenkin samanlaiset, happea alusvedessä hyvin vähän jne. Ellei järvien syvyyssuhteita tunnettaisi, olisi tehtävä se johtopäätös, että järvissä vallitsisivat suurin piirtein samat edellytykset

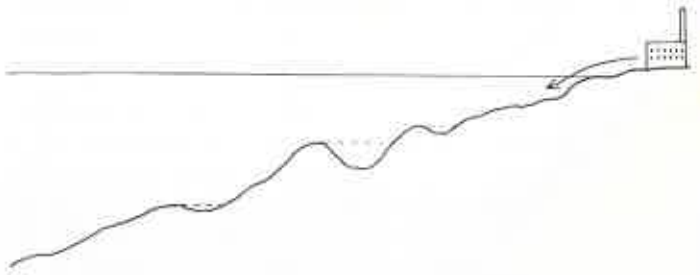


Kuva 6. *Syvyyssuhteiden tuntemisen merkitys tutkimusten antamien tulosten arvostelussa. Näytesarja oletettu otetuksi nuolen kohdalta.*

suunnitelluille kalaveden hoitotoimenpiteille: heikko happitilanne alusvedessä (c) estää kalojen oleskelun siellä, pohjaeläimistö on keskikesän kerrostuneisuuden aikana eristetty ja lämpötilaerojen tasaantuessa on hapen puutteen vaara päällysvedessäkin (a). Harppauskerroksen alapuolelle joutuneet perustuotannon ravinteet ovat koko kesän ajan valaistussa pintavedessä tapahtuvan fotosynteesin saavuttamattomissa, lukkojen takana, kerrostuneisuus estää niiden tehokkaimman käytön. Jos luotaus on suoritettu ja järvien syvyyssuhteet tunnetaan, päästään tutkimustulosten pohdinnassa toisenlaisiin johtopäätöksiin: Järvessä A on tärkeä pohjalietteen pinta suurimmaksi osaksi harppauskerroksen yläpuolella, siis päällysveden virtausten vaikutuspiirissä. Kalat voivat hyvin käyttää hyväkseen pohja-alueen tämän osan eläimiä, koska happea riittää niiden hengitykseen ravinnon oton aikana, lämpötila on korkeampi jne. Järven B pohja on taas lähes kokonaan harppauskerroksen alapuolella, jossa kalat eivät hapen puutteen takia voi oleskella. Edelleen voidaan päätellä, että järvessä A, jossa päällysveden virtaukset huuhtovat pohjalietteen pintaa koko avoveden ajan, kasviravinteet ovat nopeammin uudelleen perustuotannon käytettävissä kuin järvessä B; toisin sanoen, järvi A kykenee käyttämään ravinteet tehokkaammin. Järven B alusveteen on taas täytynyt joutua enemmän elimellistä ainetta, koska happi on kulunut sen paljon suuremmasta alusvedestä samaan mg/l määrään kuin järven A alusvedestä, jonka tilavuus on pienempi ja jossa on siis ollut alunperin pienempi hapen kokonaismäärä. Kalojen joukkokuolemisen mahdollisuus on paljon suurempi järvessä B, koska sen suurempi alusvesi kykenee alentamaan koko järven vesimassan hapen pitoisuutta täyskierron alkaessa enemmän kuin järven A alusvesi (vrt. s. 27 ja 42).

Tutkittavan kalaveden syvyyssuhteiden tunteminen ratkaisee siis monia tutkimustulosten oikean arvostelun kannalta välttämättömiä seikkoja. Niiden puntaroimiseen ja havaintojen oikeaan tulkitsemiseen kalamies kouliintuu vasta kokemuksen lisääntyessä.

Rajoitetut syvänteet — erilaiset olosuhteet. Vähänkin suuremmassa järvessä saattaa olla useita syvänteitä, joissa olosuhteet ovat osittain erilaiset. Tutkimusten kannalta ovat rajoitetut syvänteet usein hyvin tärkeitä. Varsinkin likaantumistapauksissa tällaisilla syvänteillä voi olla käytännön kalataloudelle sangen suuri merkitys. Tutkija voi usein löytää niistä jätevesivaraston, joka saattaa selittää esim. tapahtuneen kalojen joukkokuolemisen. Talvella, jolloin sekoittavat tuulet eivät pääse vaikuttamaan, raskaammat jätevedet kerrostuvat pohjalle usein lähes laimenematta — valuen ohuena virtana syvännettä kohti. Kohdatessaan vedenalaisen esteen, kynnyksen, ne patoutuvat sen taakse ja täyttävät syvänteen kynnyksen korkeudelle saakka (kuva 7). Kynnyksen yli virtaava osa jatkaa matkaansa seuraavaan syvänteeseen. Monet jätteet ovat hitaasti hajoavia, siksi pahin tilanne esiintyykin yleensä siellä, missä ne joutuvat viipymään en-



Kuva 7. *Jätevesien kerääntyminen vedenalaisten kynnysten rajoittamiin syvänteisiin.*

nen yläpuolella olevaan veteen sekoittumistaan. Tällaisissa paikoissa voidaan seurata sekä tapahtuvia muutoksia että syvänteen täyttymistä. Mitä kauemmin hapeton aika kestää, sitä vaarallisemmaksi jätevesiesiintymä tulee ja sitä helpommin sen haitat ilmenevät keväällä veden sekoittumisen alkaessa. Tässä tarjoutuu tutkijalle tilaisuus kevättilanteen ennustamiseen. On kuitenkin muistettava, että pieni määrä jätevettä ei kykene aiheuttamaan kalojen joukkokuolemista suuressa pintavesikerroksessa. Haitan ja vahingon suuruus riippuu siis myös syvänteen tilavuudesta, tai — mikäli syvänne ei ole jätevesillä täyttynyt — sinne kertyneen jäteveden määrästä. Jos kalojen joukkokuoleminen tapahtuu tärkeällä kalaveden alueella, saattaisi kynnyskohdan syventäminen parantaa tilannetta. Tällaiseen toimenpiteeseen ryhtyminen edellyttää kuitenkin tarkempia tutkimuksia siitä, voisiko jätteiden »annostelu» muille kalaveden alueille tapahtua vaaratta.

Suurimmista järvistämme on yleensä syvyyskartat, jotka helpottavat suuresti tutkijan työtä. Viime aikoina on Merenkulkuhallituksen toimesta suoritettu sisävesienkin kaikuluotauksia, joten tarkkoja karttoja tärkeimpien sisäjärviemme syvyyssuhteista lienee lähiaikoina saatavissa. Aikaisempien luotausten tuloksia ei valitettavasti ole kaikkia voitu vielä julkaista, mutta tie- ja vesirakennushallituksen hydrografisesta toimistosta voidaan saada tarvittaessa tietoja useiden suurempien järviemme syvyyssuhteista.

Luotauksesta. Koska pienemmistä vesistä ei syvyyskarttoja tavallisesti ole saatavissa, ja koska aikaisemmin tehtyjen luotausten jälkeen monen suuremmankin veden syvyyssuhteissa on saattanut tapahtua muutoksia, tutkijan on usein suoritettava luotaus. Tämä tehtävä on monille kalamiehille periaatteessa niin tuttu, että tässä ei ole katsottu aiheelliseksi puuttua sen suorittamiseen. Tavallinen luotinuora antaa monessa tapauksessa varsin käyttökelpoisia tuloksia, kunhan se vain on venymätön ja riittävästi painotettu. Tarkkoja luotauksia voidaan helposti suorittaa syystalvella, jolloin jää on vielä ohutta ja jolloin tarpeelliset luotauspisteiden ja luotauslinjain määritykset on helppo tehdä jäällä. Veden pinnan korkeus on syytä merkitä muistiin (kallioon tms.). Jos järvi on hyvin pehmeäpohjainen, on usein vaikeaa todeta missä vesi loppuu ja pohjaliete alkaa. Tällaisissa tapauksissa voidaan menestyksellisesti käyttää apuna tavallista vedennoutajaa (vrt. s. 51). Kun se laukaistaan, tulee pehmeäpohjaisista järvistä mutaa veden joukkoon ja mikäli aikaa ja kärsivällisyyttä on tarpeeksi, tällä menetelmällä voidaan todeta lietteen pinnan sijaintisyvyys.

Viime aikoina yleistynyt kaikuluotaus ei yleensä toistaiseksi ole yksityisen kalamiehen mahdollisuuksien rajoissa välineistön kalleuden vuoksi. Lähitulevaisuudessa lienee kuitenkin odotettavissa halvempia malleja, joita ainakin kalatalousalan järjestöt kyennevät hankkimaan kalamiestensä käytettäväksi.

2. Havaintopisteet ja -aika.

Kalaveden tutkimisen ajankohdan ja havaintopisteiden valitseminen riippuu luonnollisesti mitä suurimmassa määrin tutkimuksen tarkoituksesta. Seuraavassa kuitenkin näistä seikoista eräitä yleisiä näkökohtia.

Edellä oli puhe syvyyssuhteiden tuntemisen välttämättömyydestä. Mikäli tarpeelliset luotaukset on suoritettu tai syvyyskarttoja on käytettävissä, näiden antamia tietoja on käytettävä hyväksi jo tutkimuksen suunnitteluvaiheessa. Jos kysymyksessä on yleinen kalavesitutkimus yleiskuvan saamiseksi kalaveden

luonteesta, ja jos järvi on lisäksi vielä verrattain pieni, riittää usein havaintojen suorittaminen järven syvänteen kohdalla, koska siinä suoritetuista tutkimuksista voidaan parhaiten todeta mahdollisen kerrostuneisuuden esiintyminen. Aikaisemmin esitetyistä esimerkeistä on jo käynt selville kerrostuneisuuden ratkaiseva merkitys; pelkästään jo kerrostuneisuuden tai kerrostumattomuuden tunteminen on tutkijalle suureksi avuksi. Jos tutkimuksia suoritetaan vain syvänteen kohdalla, on ehdottomasti muistettava kaikki se, mitä aikaisemmin on mainittu syvyyssuhteiden merkityksestä, ennenkuin tutkimustulosten perusteella tehdään johtopäätöksiä koko kalaveden olosuhteista.

Vain harvoin riittää yksi havaintopaikka. Vähänkään suuremman järven havaintopisteeksi ei enää riitä yksi ainoa syvänne, niin paljon olosuhteet niissä saattavat vaihdella vaakasuorassakin suunnassa. On vaikea antaa ohjetta siitä, kuinka pienessä järvessä yleistarkoituksia silmälläpitäen riittää vain yhden syvänteen kohdalla suoritetut tutkimukset. Pienikin järvi, joka saa ympäristöstään erilaisia lisävesiä, joista osa voi olla likaantuneita, on vaakasuorassakin suunnassa kovin vaihteleva. Suurempikin järvi, joka sijaitsee esimerkiksi keskellä karua kangas- tai suoseutua, ja joka saa lisävetensä vain tästä lähiympäristöstä, voidaan jo pelkästään yhden syvänteen kohdalta tutkia riittävän yleiskuvan saamiseksi.

Havaintopaikkojen valinta edellyttää usein esitutkimuksia. Mikäli havaintopaikkoja on valittava useampia, paikat on valittava mahdollisimman hyvin koko tutkittavaa aluetta edustaviksi. Jo työn suunnitteluvaiheessa on pyrittävä käyttämään kaikkia saatavissa olevia aikaisempia tietoja, perehdyttävä syvyyskarttoihin ja kiinnitettävä niissä huomio erikoisesti rajoitettuihin syvänteisiin. On aina muistettava, että vesialtaassa — järvessä tai joessa — oleva vesi

ei ole yhtenäinen, alueellisesti ja ajallisesti muuttuva, vaan useimmiten erilaisista vesimassoista koostuva kokonaisuus, missä erityyppiset vedet saattavat esiintyä selvästi rajoitettuina, toisinaan taas sekoittuneina jne. Kirkkaaseen järveen laskevan ruskean joen tuomaa vettä voidaan usein silmämääräisestikin seurata kauas järvelle sen työntyessä sinne kapeana kiilana.

Likaantumistutkimuksia suoritettaessa on lopullisten havaintopaikkojen valitsemiseksi yleensä pakko paikallistaa likaavien jätteiden kulkeutumisreitit ja kerääntymispaikat esitutkimuksilla. Jos kalaveteen lasketaan elimellisiä jätteitä (puunjalostusteollisuus, tärkkelys- ja sokeriteollisuus jne.) on esitutkimuksissa tehtävä määrityksiä elimellisten aineiden pitoisuuden toteamiseksi koko tutkittavalla alueella (esim. $KMnO_4$-kulutuksen määrittäminen). Tässä ns. kartoitusvaiheessa ei saa kauhistua sitä, että mahdollisesti joutuu tekemään turhaa työtä ottamalla liikaa näytteitä. On muistettava, että turhaltakin näyttävä, lähinnä edelliseltä paikalta otetun näytteen kanssa samaa tulosta osoittava havainto on jo tulos sellaisenaan.

Kun kartoitushavaintoja tehdään, on aluksi pyrittävä selvittämään jätteiden esiintyminen talvella, jolloin tuuli ei pääse sekoittamaan eri vesikerroksia. Mikäli jätteitä laskeva laitos sijaitsee järveen laskevan väylän varrella, on vertailumäärityksiä varten otettava näytteitä laitoksen yläpuolelta. Tutkimuksia suorittavan kalamiehen on aina pidettävä mielessään se, että saatuja tuloksia on voitava verrata keskenään. Tämä koskee erikoisesti oppaassa esitettyä $KMnO_4$-kulutuksen määritystä; se on samassa tutkimuksessa aina tehtävä samalla tavalla. $KMnO_4$-kulutuksen määrittäminen on sopiva menetelmä elimellisten jätteiden kartoitusanalyysiksi, elektrolyyttien (hapot, emäkset, suolat) likaamissa kalavesissä on taas elektrolyyttisen johtokyvyn mittaus erinomainen ja nopea keino.

Kun kartoitus on suoritettu, ryhdytään seuraamaan jätteiden v a i k u t u k s i a kartoituksen perusteella valittavia havaintopisteitä käyttäen.

Tilanteen seuraaminen. Mitä aikaisemmin happi syvänteestä loppuu, sitä vaikeampi on tilanne täyskierron aikana.

Koska tilanne on eri vuodenaikoina erilainen, on yleensä suoritettava tutkimuksia myös kesällä. Lisäksi kalamiehen on oltava hapenpuutetta potevia vesiä tutkiessaan paikalla myöskin silloin, kun vesimassojen sekoittuminen tapahtuu (keväinen täyskierto jäiden lähtiessä ja syksyinen täyskierto kesäisten lämpötilaerojen tasaantuessa alus- ja päällysvedessä), sillä silloin hän voi mahdollisesti todeta pelkistyneen alusveden aiheuttamat haitat silmämääräisestikin. On muistettava, että pelkästään oppaassa esitetyillä määrityksillä ei kalamies pitkälle pääse, ellei hän kykene yhdistämään saamiaan tuloksia muihin havaintoihinsa; hänen on kuljettava s i l m ä t ja k o r v a t a u k i! Jätteiden kulkeutumisreititkin voivat kesällä muuttua siinä määrin, että lisäkartoitus on tarpeen. Jos järvi ei kesällä ole kerrostunut, jätteet saattavat kulkeutua päällysveden virtausten mukana sääsuhteista riippuen milloin millekin kalaveden alueelle. Koska kerrostumattoman järven happitilanne on yleensä kuitenkin likaantumisestakin huolimatta tyydyttävä, ei kesäolosuhteiden selvittämisellä ole tässä mielessä samaa merkitystä kuin talvitutkimuksilla. Kerrostuneessa järvessä jätteet yleensä löytyvät samoilta talvisilta paikoiltaan.

Tilannetta seurattaessa on tietenkin eri määrityksin pyrittävä toteamaan, milloin jätevesiä alkaa virrata täyttyneestä syvänteestä toiseen, koska seuraava syvänne täyttyy ja kuinka korkealle jäteveden yläraja viimeisessä syvänteessä nousee. Lisäksi on pyrittävä toteamaan, m i l l o i n k u n k i n s y v ä n t e e n h a p p i l o p p u u. Tämä ajankohta on erityisen tärkeä,

sillä mitä kauemmin johonkin syvänteeseen kertynyt jätevesimassa seisoo paikallaan h a p e n l o p p u m i s e n j ä l k e e n, sitä »myrkyllisemmäksi» se tulee. Syvänteessä alkaa hapen loputtua syntyä pelkistyneitä yhdisteitä, rikkivetyä, metaania jne., mitkä antavat vedelle pahan hajun ja mitkä yleensä ovat kaloille suoranaisestikin myrkyllisiä. Niillä on myös taipumus nopeasti hapettua. Ne kykenevät siis täyskierron tapahtuessa ja alusveden pelkistyneen vesimassan sekoittuessa päällysveteen riistämään ehkä päällysvedenkin hapen niin, että siellä olevat kalat kuolevat. Mitä aikaisemmin happi on syvänteessä loppunut ja mitä suurempi syvänteen tilavuus on päällä olevaan puhtaaseen päällysveteen verrattuna, sitä helpommin kuolemistapauksia sattuu. Lisäksi vaikuttavat täyskierron aikaiset sääolosuhteet. Jos esimerkiksi jäiden lähdön jälkeen keväällä sattuu voimakas myrsky, jolloin koko alusvesi sekoittuu yht'äkkiä päällysveteen, tilanne on pahempi kuin alusveden sekoittuessa päällysveteen vähitellen. Toiselta puolen taas kova tuuli »tuulettaa» veden nopeammin ja pelastaa kalat, mikäli likaantuminen ei ole kovin voimakas.

Kevättalvi kriisiaikaa, kesän ja syksyn sää tuntuu vielä talvellakin.

Arvokalojen kotiuttamismahdollisuuksia tutkittaessa pyritään valitsemaan tutkimusten ajankohdaksi sellainen vuodenaika, jolloin tilanne on kaikkein huonoin. Hapen suhteen on tällainen ajankohta yleensä kevättalvi. Silloinhan järvi on joutunut olemaan koko pitkän talven ajan jääpeitteen eristämänä, ja happi on yleensä kulunut vähimmilleen. Liian myöhään keväällä suoritettuihin havaintoihin saattavat vaikuttaa sulamisvedet; keskellä talveakin voi pitkällinen suojasää parantaa pintaveden happitilannetta. Tutkimukset on siis suoritettava talven varsinaisen pakkaskauden jälkeen ennen lumen sulamista. Tuloksia arvosteltaessa on

pidettävä mielessä, että tilanne ei kaikkina vuosina ole samanlainen; edeltäneen kesän ja syksyn sään vaikutus tuntuu vielä lopputalvellakin. Lämmin, tuulinen kesä, tyyni, lyhyt syksy sekä ankara, luminen ja pitkä talvi edeltävät vaikeimpia olosuhteita. Mikäli suurempi varmuus halutaan, on tutkimuksia suoritettava useampana vuonna (ainakin »rajatapauksissa»). Alusveden lämpötila talvella kuvaa jossain määrin syksyn sääsuhteita. Sen kesäinen lämpötila taas kuvastaa kevään säätä. Mitä kauemmin syysmyrskyjä on kestänyt ennen jäätymistä, sitä kylmemmäksi ehtii vesimassa jäähtyä, ja mitä kauemmin järvi on keväällä ollut täyskierron alaisena, sitä lämpimämpää alusvesi on kesällä. Tutkimusten tuloksia puntaroitaessa on kalamiehen otettava huomioon, että istutusten onnistumiseen vaikuttavat monet muutkin seikat (petokalojen runsaus, karkaamismahdollisuudet jne.), joten jälleen kalamiehen on käytettävä tässä oppaassa esitettyjen määritysten tuloksia vain apunaan; *pelkästään* niiden nojalla ei voi löytää järveä, jossa esimerkiksi siian istuttaminen varmasti onnistuu. Sen sijaan hän voi niiden perusteella sanoa, missä järvessä se varmasti epäonnistuu.

Edellä on yleisiä ohjeita tutkimuspaikkojen ja ajankohdan valinnasta. Oppaassa esitettyjä menetelmiä voidaan käyttää tietenkin monien erikoiskysymysten selvittelyyn. Silloin on valittava paikka ja aika työn tarkoitusta vastaavasti. Kalamies voi esimerkiksi tutkia avantojen tehokkuutta kalaveden tuulettajina, seurata fotosynteesin voimistumista lumettomien »ikkunoiden» kohdalla jään alla, tutkia kalojen, kalanpoikasten tai mädin hapentarvetta jne. On selvää, että erikoistutkimuksissa tarvitaan usein erityisiä lisätoimenpiteitä (mm. näytteen eristäminen ilmasta hapen kulumiskokeissa).

Kerrostuneisuus määrää näytteenottosyvyydet.

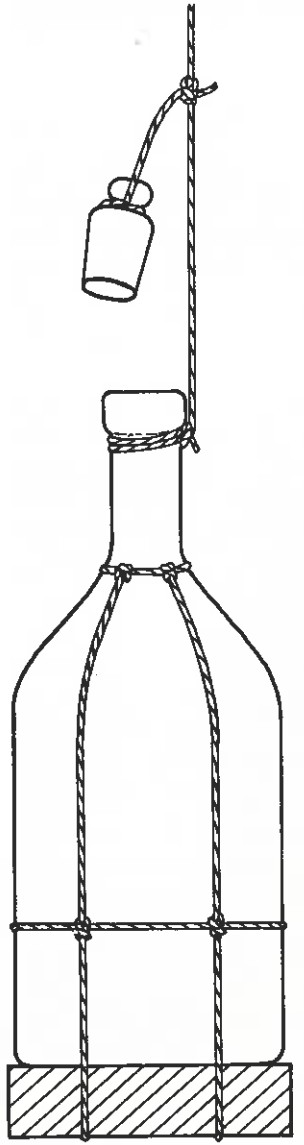
Kaikissa kalaveden tutkimuksissa määrää lähinnä kerrostuneisuus näytteenottosyvyydet. Jos halutaan saada edustava kuva kalaveden kaikissa kolmessa kerroksessa vallitsevista olosuhteista, näytteitä on otettava eri syvyyksistä tarpeellinen määrä. Näistä seikoista tulee myöhemmin vielä vähän tarkemmin puhe. Tässä on kuitenkin syytä korostaa murtovesialueiden suolapitoisuuseroista johtuvan kerrostuneisuuden merkitystä. Kuten aikaisemmin on esitetty, mereen laskenut jokivesi kerrostuu yleensä suolaisemman meriveden päälle. Varsinkin talvella näin tapahtuu säännöllisesti. Murtovesien likaantumistapauksissa on huomio kiinnitettävä erikoisesti sekä likaantuneen pintaveden (= päällysvesi) paksuuteen, että sen vaikutusalueen horisontaaliseen (= vaakasuoraan) laajuuteen. Talvella, jolloin veden pinta on eristetty, likaantuneen murtoveden pintavesi on yleensä happiköyhempää kuin sen alapuolella oleva puhdas merivesi. Koska likaantuneiden jokivesien mukana tulee tavallisesti myöskin kiinteitä jätteitä, mitkä virtauksen hidastuessa vajoavat alusveteen ja hajoavat vasta siellä, joen suun lähellä esiintyy alusvedessäkin joskus hapen puutetta. Mainittakoon vielä, että murtovesialueilla antaa elektrolyyttisen johtokyvyn mittaus tutkimusten suorittajalle nopeasti ja varmasti tiedon siitä, onko kysymyksessä merivesi vai makea vesi. Se ilmoittaa näinollen nopeasti myöskin makean veden paksuuden. Koska murtovesialueilla kerrostuneisuuteen vaikuttaa lämpötilan ohella myöskin (vielä ratkaisevammin) suolapitoisuus, elektrolyyttisen johtokyvyn mittaamista on pidettävä murtovesialueilla tärkeänä, usein jopa välttämättömänä havaintona.

3. Lämpötilan mittaaminen.

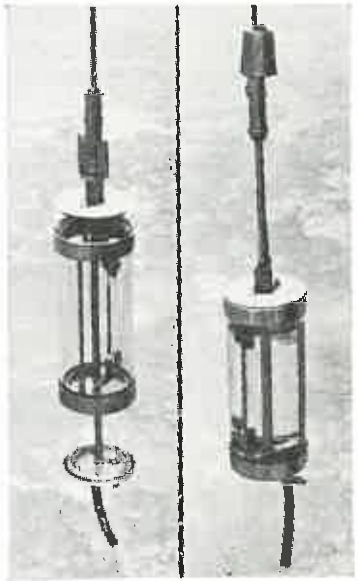
Lämpötilan mittausta on totuttu pitämään varsin vaatimattomana ja yksinkertaisena toimenpiteenä. Sellainenhan se loppujen lopuksi onkin, mutta sen m e r k i t y s on ensiarvoisen tärkeä. Lukijaa kehoitetaan tarkoin perehtymään lämpötilan mittaamiseen kalaveden eri vesikerroksista sekä ennenkaikkea ottamaan opiksensa kaikki hankitut kokemukset ja tiedot lämpötilamittausten antamien tulosten tulkinnasta. Oikein suoritetuilla ja oikein ymmärretyillä lämpötilahavainnoilla on varsin merkityksellinen ja keskeinen asema kalamiehen suorittamien tutkimusten antamien tulosten joukossa.

Lämpötilan mittaamiseen käytetään yleensä tavallista e l o h o p e a l ä m p ö m i t t a r i a. Koska vesitutkimuksissa pienetkin lämpötilassa esiintyvät eroavaisuudet saattavat olla merkityksellisiä, lämpötila on pyrittävä mittaamaan 0,1 asteen tarkkuudella. Kalamies tulee toimeen mainiosti sellaisella mittarilla, jonka asteikko alkaa —1° C (mikä saattaa tulla kysymykseen murtovesialueilla). Ylin lämpötila, mikä kalavedessä voi yleensä esiintyä, on n. 30° C. Mittarin asteikon tulee siis olla mitoitettu —1:n ja 30 asteen välillä 0,1 asteen tarkkuudella.

Pintaveden lämpötila voidaan tietenkin mitata minkäkokoisella lämpömittarilla tahansa, mikä täyttää mainitut ehdot. Mittarin elohopeasäiliö pidetään pintavedessä ja otetaan lukema mittarin säiliön vielä vedessä ollessa. Pinnan alapuolella olevien vesikerrosten lämpötilan mittaaminen ei näin yksinkertaisesti käy, koska mittari on pidettävä tutkittavassa vedessä lukemaa otettaessa. Tavallisimmin vesi nostetaan erikoislaitteilla halutusta syvyydestä, ja lämpötila mitataan tästä näytteestä. Kun nostaminen ja mittaaminen tapahtuu viivytyksettä, ei lämpötila ehdi muuttua.



K u v a 8. *Meyerin pullo.*



K u v a 9. *Vedennoutaja viritettynä ja laukaistuna.*

Jos samalla kertaa ei oteta happinäytettä, lämpötila voidaan mitata tavallisella litran pullolla otetusta vesinäytteestä. Pullo upotetaan painon avulla haluttuun syvyyteen ja tulppa poistetaan nuorasta nykäisemällä (kuva 8). Tällaisen yksinkertaisen noutajan, ns. Meyerin pullon voi jokainen valmistaa itse. Syvemmällä tulpan irroittaminen on suuresta hydrostaattisesta paineesta johtuen vaikeaa. Lämpötilan mittaus voidaan suorittaa myöskin myöhemmin (s. 74) kuvatulla omatekoisella vedennoutajalla, jota kuitenkin voidaan käyttää vain matalissa vesissä. Varsinainen vedennoutaja on lämpötilan mittauksissakin sekä nopeampi että luotettavampi. Kuva 9 esittää erään vedennoutajatyypin, josta seuraavassa muutama sana.

Vedennoutaja. Ruttner-tyyppinen vedennoutaja on molemmista päistään avoin metallikansin suljettava lasilieriö, mikä avattuna lasketaan haluttuun syvyyteen, jolloin vesi virtaa noutajan läpi. Se suljetaan vaijeria pitkin pudotettavan painon avulla, jolloin haluttu vesinäyte jää noutajaan. Vedennoutajan sisään voidaan asentaa lämpömittari, josta näytteenottosyvyydessä vallinnut lämpötila voidaan lukea heti nostamisen jälkeen. Noutajan koko asettaa rajoituksen hankittavalle lämpömittarille, sillä mittarin kumpikaan pää ei saa olla kahta senttimetriä lähempänä suljetun noutajan kansia. Sopivia lämpömittareita ei ole toistaiseksi ollut valmiina saatavissa, vaan ne on täytynyt erikseen tilata ja samalla mainita edellä esitetyt lämpötila-alueja tarkkuusvaatimukset sekä mittarin pituus. Koska auringon suoranainen säteily aiheuttaa helposti ns. säteilyvirheen, mittarin elohopeasäiliö on ympäröitävä ylä- ja alapäästään avoimella alumiinilevysuojuksella. Mittarin särkymisen estämiseksi se on kiinnitettävä noutajan pitimiin kumiletkunpätkillä eristettynä.

Vedennoutajiakaan ei ole ollut valmiina kaupasta saatavissa. Meillä käytetty malli eroaa alkuperäisestä

Ruttnerin vedennoutajasta vain siinä, että viritysjousisysteemiä on parannettu ja lasilieriö kiinnitetty kittauksen asemesta metalliheloihin kahdella pitkällä pultilla, jotka kiristävät lieriön heloissa oleviin uriin kumitiivistettä vasten. Tämän vuoksi lasilieriön on oltava ehdottomasti sekä ala- että yläpäästään suoraksi hiottu, muussa tapauksessa kansien hiontasauma ei voi sulkeutua tarpeeksi tiiviisti.[1] Noutajaa käytettäessä on muistettava tarkistaa, että joka kerta kun noutaja lasketaan veteen, kaikki kierteet ovat kiinni ja vaijeri asianmukaisesti kiinnitetty.

Lämpötilan mittaaminen. Lämpötilan mittaaminen aloitetaan tavallisesti pintavedestä. Avattu noutaja lasketaan veteen niin syvälle, että sen yläkansi tulee veden pinnan tasalle. Noutajaa liikutetaan muutaman kerran hitaasti ylös ja alas ja jätetään sitten hetkeksi paikoilleen. Tämän jälkeen pudotetaan laukaisupaino, noutaja nostetaan ylös ja lämpömittarin lukema todetaan varjossa. Noutajaa käsiteltäessä sitä on kannatettava kannen yläpuolella olevasta varren osasta eikä lieriöstä, ettei vesi karkaisi. Kun pintaveden lämpötila on luettu ja ellei noutajassa olevasta vedestä oteta näytteitä muita määrityksiä varten, lasketaan vesi noutajasta tarttumalla vasemmalla kädellä lasilieriöön ja työntämällä oikealla kädellä vartta alaspäin, jolloin noutajan alakansi avautuu ja vesi pääsee pois. Sen jälkeen noutaja viritetään uutta mittausta varten.

Mittaus syvemmistä vesikerroksista tapahtuu samalla tavalla. Noutajan vaijeriin tai naruun (kyllästetty luja lippunaru!) merkitään metrit ja lisäksi 5, 10, 15 jne. metriä jollakin erikoismerkillä.

1) Vedennoutajia on tilauksesta valmistanut tekn. O. Pakkala, Satakunnankatu 14, Tampere.

Mittaa tarpeeksi tiheään ja merkitse lukemat h e t i muistiin!

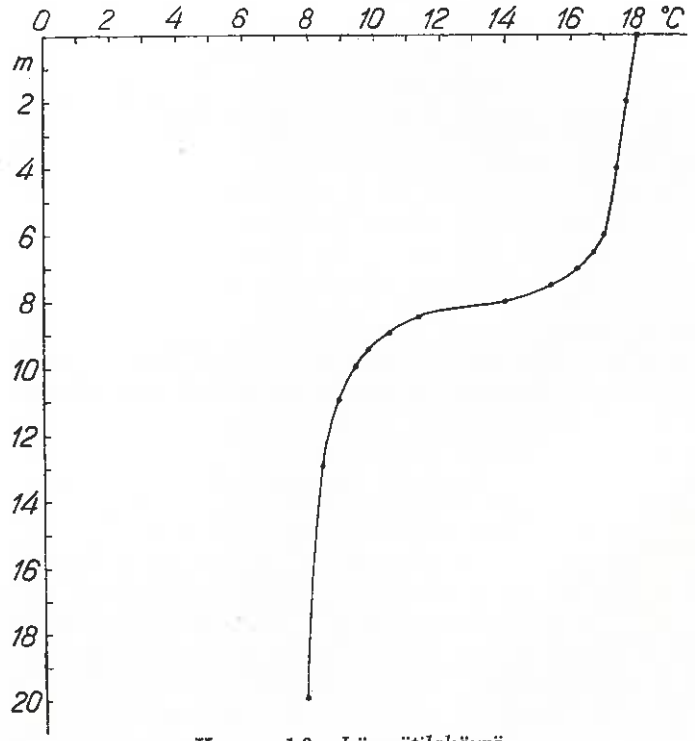
Mikä on sitten seuraavan mittauksen syvyys? Vaikkakin työn tarkkuusvaatimukset saattavat eri tapauksissa olla erilaiset, on yleensä pidettävä kiinni siitä, ettei kahden perättäisen mittaussyvyyden välillä esiinny suurempaa lämpötilaeroa kuin 0.5°. Mittauksia on siis suoritettava tiheämmin sieltä, missä lämpötila jyrkimmin laskee, kuten juuri harppauskerroksesta. Pintaveden lämpötilan mittaamisen jälkeen voidaan noutaja laskea esimerkiksi kolmen metrin syvyyteen. Siellä sitä liikutetaan jälleen pari kolme kertaa hitaasti ylös-alas ja annetaan hetken seisoa. Laukaisun ja nostamisen jälkeen luetaan lämpötila taas varjossa. Tämä varotoimenpide on sitä tähdellisempi, mitä kylmemmistä vesikerroksista näytteitä otetaan. Kun lukema on todettu, se merkitään luonnollisesti h e t i muistiin. Jos se poikkeaa enemmän kuin 0,5° pintavedessä todetusta, suoritetaan mittaus vielä kahdesta metristä jne. Kuten edellä mainittiin, joudutaan mittauksia suorittamaan tiheimmin harppauskerroksesta; siellähän lämpötila laskee jyrkimmin. Yleensä ei kuitenkaan ole tarpeen suorittaa mittauksia tiheämmin kuin puolen metrin syvyyseroin, vaikka lämpötilaerot vielä tällöin olisivatkin suurempia kuin puoli astetta.

Jää saattaa aiheuttaa talvella virheen lämpötilamittauksessa.

Näin kesällä. Talvella tuottaa pakkanen tutkijalle monenlaisia vaikeuksia. Virheiden välttämiseksi on noutajaa laskettaessa varottava, ettei j ä ä t ä jää noutajan helojen tai kansien varaan. Varminta on puhdistaa avanto huolellisesti jäästä. Koska lämpömittarin elohopeasäiliön ulkopinta saattaa pakkasella nopeasti peittyä ohuella jääkerroksella noutajan tyhjennyttyä, on syytä antaa noutajan olla mittaussyvyydessä avonaisena kauemmin kuin kesällä.

Lämpötilakäyrä havainnollistaa tulokset.

Kun koko vesipilarin lämpötilat on edelläkuvatulla tavalla mitattu pinnalta pohjaan saakka, on saatu havaintosarja, jonka perusteella voi jo päätellä monia tärkeitä seikkoja. Lämpötilakerrostuneisuuden ymmärtäminen saattaa pelkkien numerosarjojen valossa olla ainakin tottumattomalle vaikeaa. Siksi olisikin heti totuttauduttava piirtämään



K u v a 10. *Lämpötilakäyrä.*

havaintosarjojen perusteella ns. lämpötilakäyrä, joka antaa havainnollisen kuvan eri vesikerrosten lämpötilasta ja kerrostuneisuudesta (kuva 10).

Koska lukijoiden joukossa lienee sellaisia, jotka eivät ole tottuneet graafiseen esitystapaan, otettakoon seuraavassa esimerkki mittaussarjan perusteella piirrettävästä lämpötilakäyrästä. Oletetaan, että lämpötila on mitattu jostakin 20 metrin syvyisestä järvestä ja saatu seuraavat arvot:

pinta	18,0 ° C
2,0 m	17,7 «
4,0 «	17,4 «
6,0 «	17,0 «
6,5 «	16,7 «
7,0 «	16,2 «
7,5 «	15,4 «
8,0 «	14,0 «
8,5 «	11,4 «
9,0 «	10,5 «
9,5 «	9,9 «
10,0 «	9,5 «
11,0 «	9,0 «
13,0 «	8,5 «
20,0 «	8,1 «

Niinkuin taulukosta nähdään, on tässä tapauksessa jouduttu 6:n ja 10:n metrin välillä suorittamaan mittauksia puolen metrin syvyyseroilla, tässä on siis tavattu vesikerros, missä lämpötila jyrkimmin laskee.

Lämpötilakäyrän piirtämistä varten tarvitaan tavallista millimetripaperia. Kuvassa on pystysuoralle akselille merkitty syvyysasteikko ja vaakasuoralle lämpötila-asteikko.

Ensin merkitään ne pisteet, jotka kuvaavat kussakin syvyydessä vallinnutta lämpötilaa. Pintaveden lämpötila oli 18,0 astetta, piste merkitään 0 metrin syvyyttä osoittavalle viivalle 18,0 asteen kohdalle. Kahden metrin syvyydessä todettiin lämpötilaksi 17,7° C. Tämä piste merkitään siten, että lähdetään pystysuoralta akselilta kahta metriä kuvaavasta pisteestä vaakasuoraa viivaa pitkin 17,7 °:een kohdalle. Tälle kohdalle tulee kahden metrin syvyydessä esiintynyttä lämpötilaa kuvaava piste. Näin jatketaan kunnes kaikki pisteet on merkitty. Lopuksi yhdistetään perättäiset pisteet toisiinsa. Lämpötilakäyrä on valmis.

Lämpötilakäyrästä voidaan havaita, että harppauskerros esiintyi esimerkkitapauksessa kuuden ja kymmenen metrin välillä. Jos vesi on kerrostumaton, ei luonnollisestikaan saada edelläkuvatun tapaista lämpötilakäyrää, vaan lämpötilan kuvaajasta puuttuu harppauskerrosta esittävä mutka. Yleensä on lämpötilakäyrä vain harvoin näin »ihanteellisen» muotoinen, siinä saattaa esiintyä kaksikin harppauskerrosta, harppauskerros saattaa olla paksu, epäselvä jne.

Tutkija voi tehdä johtopäätöksiä monista kalaveden tapahtumista jo pelkän lämpötilakäyrän perusteella. Esimerkkitapauksessa oli tämän 20 metrin syvyisen järven harppauskerros jonkinverran 10 metrin yläpuolella. Koska järviallas on aina yläosastaan laajempi, on harppauskerros tässä tapauksessa todennäköisesti jo vesimassan painopistetasossa (vrt. s. 27), kerrostuneisuuden vakavuus eli stabiliteetti lienee siis lähes suurimmillaan. Täyskierto on keväällä loppunut suurin piirtein silloin, kun vesimassa on lämmennyt 8,1 asteeseen, koska tämä lämpötila havaittiin pohjalla. Senjälkeen ei happitäydennystä ole alusveteen päässyt, päällysveden valaistussa kerroksessa yhteyttämistä suorittavat levät eivät senjälkeen ole myöskään saaneet ravinnetäydennystä alusvedestä käsin. Happikyllästysnomogrammista (kuva 5) voimme todeta, että mikäli hapella kyllästyminen on täyskierron aikana tapahtunut (niinkuin tavallisesti), happea on ollut vedessä kerrostuneisuuden alkaessa 11,4 mg/l. Tämä arvo on happitutkimuksia suorittavalle erittäin tärkeä. Kun happimäärityksillä nyt todetaan, paljonko happea alusvedessä on tutkimusten suorittamishetkellä, voidaan tehdä johtopäätöksiä kalaveden tuotannollisista perustapahtumista.

Tutkimuksen muita tuloksia käsiteltäessä on lämpötilakerrostuneisuuden tunteminen välttämätöntä; lämpötilakerrostuneisuuden kalataloudellisen merkityksen tulkitsemisessa ovat taas muut havainnot tarpeen. Kaik-

ki kalaveden tapahtumat ovat keskinäisessä vuorovaikutuksessa. Tutkija joutuu eri havaintojen merkitystä pohtiessaan monien tukalien kysymysten eteen, mutta toiselta puolen hän voi jo perushavainnoillakin ratkaista monia tärkeitä kysymyksiä. Varsinkin lämpötilamittausten soveltaminen käytännön kalastuksen, kalavesien hoidon, likaantumistapausten jne. tutkimuksissa avaa kalamiehelle lukemattomia mielenkiintoisia mahdollisuuksia. Lyhyt perushavaintojen opas ei voi parhaalla tahdollakaan esittää lämpötilamittausten ja lämpötilakerrostuneisuuden merkityksestä edes tärkeimpiä esimerkkejä, vaan näiden seikkojen pohdinta on jätettävä suureksi osaksi perushavaintojen tekijäin oman harkinnan varaan.

4. Näkösyvyyden ja veden värin määrittäminen.

Kalaveden valaistun vesikerroksen merkitys on lukijalle selvinnyt jo johdannosta. Tämän kerroksen paksuus saattaa vaihdella meikäläisissä vesissä muutamasta kymmenestä senttimetristä pariinkymmeneen metriin. Ohuin on valaistu kerros ruskeissa suolätäköissä ja paksuin taas Lapin kirkkaissa vesissä. Vaikka valaistun kerroksen tuotannollinen merkitys onkin suuri, on kuitenkin todettava, että vain erittäin harvoin valon puute voi olla perustuotantoa rajoittavana tekijänä, minimitekijöitähän ovat yleensä lähinnä fosfori tai typpi. Vesien valaistussuhteiden tuntemisesta on käytännön tutkijalle kuitenkin apua muussa mielessä, niinkuin myöhemmin voidaan osoittaa.

Valaistussuhteiden tarkka tutkiminen edellyttää kalliita ja monimutkaisia välineitä. Limnologit ovat kuitenkin jo vuosikymmeniä käyttäneet erästä varsin yksinkertaista menetelmää, jolla saadut arvot ovat tietenkin puutteellisempia, mutta antavat joka tapauksessa hyvän kuvan kalaveden valaistuksesta. Se on ns. näkösyvyyden mittaus. Se suoritetaan siten, että upotetaan 25 × 25 senttimetrin suuruinen valkoinen levy, ns. valkolevy, niin syvälle veteen, että se juuri lakkaa näkymästä. Valkolevyn naru on varustettu tarpeellisin merkinnöin, joten näkösyvyyden arvo, ts. se syvyys, missä levy lakkaa näkymästä, voidaan todeta suoraan narusta. — Käytännössä voi saman mittauksen suorittaa tyydyttävän tarkasti myös siten, että maalaa noutajan yläkannen valkoiseksi ja vesinäytettä otettaessa toteaa, missä syvyydessä kansi häviää näkyvistä. Tämä keino on nimenomaan talvitutkimuksissa käytännöllisempi, sillä vedennoutaja sopii hyvin tavallisesti käytetyn jääkairan tekemään reikään, valkolevy sensijaan vaatii reiän suurentamista, mikä talvella tuottaa ylimääräistä puuhaa.

Näkösyvyyshavainto veneen varjon läpi. Merkitse sääolosuhteet ja aika tarkoin muistiin!

Veden pinnasta heijastuvan valon häiritsevän vaikutuksen välttämiseksi näkösyvyys mitataan veneen varjon läpi. Näkösyvyyden yhteydessä on aina merkittävä muistiin pilvisyys, aurinko ja tuuli sekä luonnollisesti kelloaika ja päivämäärä. Näiden merkintöjen pohjalla voi myöhemminkin saada tarpeellisen käsityksen mittaushetkellä vallinneista olosuhteista. Tässä yhteydessä on mainittava, että vaikkakin esimerkiksi pilvisyys ja auringonpaiste vaikuttavat mittaustulokseen, niiden vaikutus ei kuitenkaan ole niin ratkaiseva, ettei tämä yksinkertainen menetelmä hyvin puoltaisi paikkaansa vesitutkimuksia suorittavan tutkijan menetelmien joukossa.

Valoa on vedessä vielä näkösyvyysrajan alapuolellakin.

Veden valaistun kerroksen alaraja ei kuitenkaan ole siinä, missä valkolevy lakkaa näkymästä. Silmä havaitsee sen valonsäteen, joka heijastuu valkoiselta levyltä. Kulkiessaan pinnasta valkolevyn kautta silmään valonsäde joutuu kulke-

maan kahdesti vesikerroksen läpi. Ellei se olisi heijastunut, se olisi pystynyt tunkeutumaan yhtä voimakkaana kaksinkertaista näkösyvyyttä vastaavaan syvyyteen. Tutkimustuloksissa on kuitenkin totuttu ilmoittamaan vain näkösyvyyden arvo sellaisenaan, eikä siitä ole lähdetty arvioimaan valaistun vesikerroksen paksuutta. Näin ollen on kalamiehenkin syytä tyytyä vain näkösyvyyden ilmoittamiseen ja pidettävä mielessään, että vedessä on valoa vielä näkösyvyyden osoittaman rajan alapuolellakin.

Veden väri. Veden väri liittyy olennaisesti valaistukseen. Sen määrittäminen voi antaa arvokkaita viitteitä kalaveden tuotannosta, humuspitoisuudesta jne. Laboratorio-olosuhteissa on värin määrittämiseen käytetty eri menetelmiä, tavallisin on veden värin vertaaminen ns. platinakobolttiasteikkoon, jolloin väri ilmaistaan mg/l platinaa. Värin määrittäminen laboratoriossa vaatii kuitenkin suhteellisen kalliit erikoisvälineet, joiden hankkiminen saattaa tuottaa vaikeuksia. Värin silmämääräiselläkin määrittämisellä saadaan käytännön tarkoituksia varten tyydyttävät arvot. Väri todetaan valkolevyä vasten, juuri ennen kuin levy lakkaa näkymästä. Havaitulla veden värillä ei ole itse asiassa mitään tekemistä sen värin kanssa, joka havaitaan kauempaa rannalta ja joka kuvastaa tumman metsän, sinisen taivaan jne. vedestä heijastuvaa värisävyä. — Veden väri valkolevyä vasten kirjoitetaan muistiin tavallisesti siten, että määräävä värisävy kirjoitetaan yhdyssanan jälkiosaksi, siis esimerkiksi »vihertävänkeltainen», »kellertävänruskea», »tummanruskea» jne.

Näkösyvyys ja veden väri täydentävät muita havaintoja. Näkösyvyyden ja veden värin määritysten tulokset selventävät ja täydentävät monin tavoin muita havaintoja. Seuraavassa eräitä yleisiä näkökohtia eri havaintojen antamien tulosten

yhdistämisestä näkösyvyys- ja värihavaintoihin. Jos jonkun kalaveden tutkimuksissa on voitu havaita, että elimellisten aineiden pitoisuus on suuri (jota kuvaa korkea $KMnO_4$-kulutuksen arvo), näkösyvyys pieni ja veden väri (pääsävy) ruskea, voidaan hyvällä syyllä olettaa, että järvi on humusvesi ja että sen elimellisten aineiden valtaosa on kotoisin järven ulkopuolelta. Tosin eräät jäteaineet (selluloosateollisuus) saattavat antaa vedelle ruskean värin, mutta ne ovat tunnettavissa niille ominaisesta hajusta, vaahtoamisesta jne. Myöskin piilevät antavat vedelle toisinaan syksyisin ja keväisin ruskean värisävyn, mutta niiden aiheuttama väri poikkeaa humusvesien ruskeasta, usein kahvinruskeasta väristä. Jos näkösyvyys on pieni ja elimellisten aineiden pitoisuus suhteellisen vähäinen, on tavallisesti kysymyksessä savisamennus, mikä antaa vedelle enemmän tai vähemmän harmaaseen vivahtavan värin. Karuissa järvissä on elimellisten aineiden pitoisuus pieni, vesi kirkasta ja veden väri (ennen valkolevyn häviämistä) vihertävä. Jos näkösyvyys on suhteellisen pieni, veden väri kellertävä ja elimellisten aineiden pitoisuus suuri, havainnot viittaavat ravinnerikkaaseen järvityyppiin.

Edellämainitut esimerkit ovat vain poimintoja erityyppisten vesien näkösyvyyden, värien ja elimellisten aineiden pitoisuuden suhteista. Paljon kauaskantoisempi merkitys tutkijalle on kuitenkin sellaisten vesien näkösyvyyden ja värin määrityksillä, joihin tulee erilaisia lisävesiä. Näkösyvyys- ja värihavainnoilla voidaan usein seurata värillisten lisävesien virtausreittejä järvessä kauas joen tai puron suusta. Varsinkin näytteiden ottamisessa ja värillisten jätteiden seuraamisessa on näitä havaintoja pidettävä erittäin tärkeinä.

Suojaisissa notkelmissa ja hyvin kirkkaissa vesissä saattaa valaistu vesikerros (n. 2 kertaa näkösyvyys) olla niin paksu, että se yltää harppauskerroksen a l a-

puolelle. Koska alusvedessä on runsaammin ravinteita, tästä saattaa olla seurauksena vilkas yhteyttämistoiminta alusveden valaistussa osassa. Kannattavien virtausten puuttumisesta ja alhaisesta lämpötilasta huolimatta eräät lajit saattavat kansoittaa valaistun alusveden osan niin, että niiden toiminta antaa leimansa tämän syvyyden olosuhteille. Happipitoisuus saattaa yhteyttämisestä johtuen keskikesällä nousta alusveden valaistussa osassa yllättävän suureksi. Näkösyvyysmittaus selvittää silloin tutkijalle määritysten antamien tulosten poikkeuksellisuuden syyn.

Veden äkillinen «kirkastuminen».

Ruskean tai samean veden näkösyvyyden äkilliseen kasvamiseen on tavallisesti syynä elektrolyyttipitoisuuden äkillinen kohoaminen. Esimerkiksi mineraalihapot »kirkastavat» veden hyvin nopeasti. Elektrolyyttien aiheuttamissa likaantumistapauksissa tämä veden »kirkastuminen» on kalaveden sairauden silminnähtävä oire. Meidän maassamme ovat verraten yleisiä ns. alunamaiden läheisyydessä sijaitsevien vesien happamuuden äkilliset vaihtelut. Tulvien, ojitusten tai perkaustöiden aikana vesi »kirkastuu» äkkiä ja kalat saattavat joukoittain kuolla. Vaikka näissä tapauksissa olisikin suoritettava lähinnä happamuuden määrityksiä, kalamies voi jo näkösyvyysarvoja ja veden väriä tarkkaamalla todeta muutoksen. Lisäksi tällaiset »kirkastavat» elektrolyytit kohottavat aina elektrolyyttistä johtokykyä (vrt. s. 91).

Mainittu »kirkastuminen» tapahtuu myöskin »vaarattomien» elektrolyyttien vaikutuksesta. Amerikassa (ja viime aikoina myöskin meillä) suoritetuissa pikkuvesien kalkituskokeissa on todettu ruskean humusveden muuttuvan kirkkaammaksi samalla kun sen tuotanto tavallisesti kohoaa. Elektrolyyttinen johtokyky, näkösyvyys ja veden väri (muiden havaintojen lisänä) ovat

näissäkin tutkimuksissa nopeita menetelmiä tilanteessa tapahtuvien muutosten seuraamiseksi.

Veden oma tuotanto vaikuttaa tietenkin olennaisesti sekä näkösyvyyden että veden värin arvoihin. Ottamalla huomioon tuotannon kohoamiseen vaikuttavat tekijät (lannoitusvaikutus, täyskierto jne.) voidaan näillä määrityksillä todeta silmämääräisesti monia tuotannollisessa perustapahtumassa esiintyviä muutoksia. Vaatimattomat mittaukset saattavat olla monen pohdinnan aiheuttajana ja myöhemmin muiden havaintojen antamien tulosten apuna.

5. Näytteiden ottaminen laboratoriossa suoritettavia määrityksiä varten.

Puhdista näytteidenotto-välineistö!

Moitteettomien analyysitulosten edellytyksenä on huolellisuus näytteiden ottamisessa. Huolellisinkin työskentely laboratoriossa on turhaa, jos näytteeseen on jo kentällä päässyt epäpuhtauksia, jotka siihen eivät kuulu. Perusedellytys on luonnollisesti se, että näytteiden ottamiseen käytetty välineistö on ollut puhdas. Uusi (tai likaisena kuivumaan päässyt) vedennoutaja voidaan puhdistaa käyttämällä tavanomaisia puhdistusaineita ja harjaa. Syövyttävien kemikalioiden käyttäminen ei ole suositeltavaa, koska kalliin noutajan metalliosat helposti syöpyvät. Myöskin on varottava liian kuuman veden käyttämistä, koska vedennoutajan lasilieriö ei yleensä kestä suuria lämpötilanvaihteluja. Varmin tapa on huuhdella käytetty noutaja tislatulla vedellä ennenkuin se on päässyt kuivumaan sekä säilyttää se seuraavaa käyttöä varten kotelossa tai kaapissa. Näytepullojen puhdistamisessa voi käyttää »voimallisempia» menetelmiä. Ne voi esimerkiksi keittää väkevässä $KMnO_4$-

Kuva 11. *Happipulloja.*

liuoksessa ja senjälkeen huuhdella väkevällä suolahapolla. Tämän käsittelyn jälkeen pullot on huuhdeltava tavallisella vesijohtovedellä ja lopuksi useaan kertaan tislatulla vedellä (mieluummin monta kertaa pienellä vesimäärällä kuin kerran suuremmalla!). Näytteenottopaikalle tarvitaan mukaan noutajan ja pullojen lisäksi vielä 1/2 ml:n pipetti (kuva 13). Pipetit ovat uutena tavallisesti vaha- tai parafiinikerroksen peitossa. Ne on ennen käyttöä keitettävä ja sitten huuhdottava.

Älä sekoita happinäytepullojen tulppia!

Happinäytteet otetaan happinäytepulloihin (»happipullo»), jotka ovat n. 150 millilitran vetoisia ja hiotulla lasitulpalla varustettuja (kuva 11). Niiden tulpat sopivat tiiviisti tavallisesti vain siihen pulloon, jota varten ne on valmistettu; tulppia ei siis saa vaihtaa. Koska »oikea tulppa oikeassa pullossa» on näytteen moitteettoman säilymisen edellytys, on happipullojen tulppiin merkittävä sama numero kuin vastaavaan pulloon. Pullojen numerointi tapahtuu (ellei valmiiksi numeroituja pulloja ole saatavissa) parhaiten timanttikynällä. Jonkin aikaa säilyy pulloissa myöskin liimapaperi, mikä on moneen kertaan peitetty vedenpitävällä lakalla. Pelkkiä liimapaperiliuskoja ei pullojen kylkiin pidä liimata.

Muut näytteet voidaan ottaa tavallisiin, esimerkiksi 100 ml:n vetoisiin lääkepulloihin, jotka merkitään niinikään juoksevalla numerolla. Hyvin käteviä ja tarkoitukseen sopivia ovat ns. maitonäytepullot, joissa on »matta» rengas lyijykynämerkintöjä varten. Näytepullon tulpaksi sopii tavallinen korkki, joka on huolellisesti puhdistettava. Viime aikoina on näytepulloina alettu käyttää myöskin muovista valmistettuja pulloja, jotka ovat keveitä ja käytännöllisesti katsoen särkymättömiä.

Käsittele bromiliuosta varoen!

Happinäytteisiin lisätään jo kentällä bromiliuosta (reagenssi N:o 1, vrt. s. 97). Se voidaan kuljettaa lasitulpallisessa pullossa, joka on »varmistettu» esimerkiksi kumirenkaalla. Bromiliuos on voimakkaasti syövyttävää, joten sen käytössä on noudatettava tiettyä varovaisuutta. Sitä on varminta säilyttää parissa pienessä pullossa mieluummin kuin yhdessä kookkaammassa, jotta pullon särkyessä nestettä ei pääse leviämään kovin paljoa kuljetusvälineisiin ja että yhden pullon mahdollisesti särkyessä toinen on varalla.

Älä unohda muistiinpanovälineitä!

Muistiinpanovälineiksi on varattava kynä ja paperia. Tutkimuksia suorittavan kalamiehen muistiinpanovälineinä on kova, tavallinen paperi parasta. Ns. kuulakärkikynän jälki kestää hyvin vettä, mutta pak-

kasella tällainen kynä toimii huonosti. Tavallinen pehmeähkö lyijykynä on silloin paras. Muistiinpanot on syytä jäljentää kentältä palattua suoraan laboratoriokirjaan.

Mukaan otettavien näytepullojen määrä riippuu tietenkin tutkimuksen laajuudesta ja tarkoituksesta. Näytteiden lukumäärän ylärajan määrää kuitenkin se, että otetut näytteet on pystyttävä käsittelemään laboratoriossa viimeistään seuraavan päivän aikana. Kun tarpeellinen tottumus on saavutettu, pystyy yksi henkilö tekemään 30—40 happi- ja lisäksi saman määrän $KMnO_4$-kulutusmäärityksiä päivässä (tarpeellisine laskutoimituksineen) edellyttäen, että kaikki tarvittavat liuokset on varattu jo aikaisemmin. Yleisissä kalavesitutkimuksissa (nimenomaan pienten vesien tutkimuksissa) voidaan tulla toimeen pienellä pullomäärällä, mutta yleensä on niistäkin otettava näytteet kuitenkin vähintään viidestä syvyydestä.

Kun tutkimussuunnitelma on tehty ja tarpeelliset esivalmistelut suoritettu, voidaan lähteä järvelle. Jos vene ankkuroidaan asemapaikalle, on käytettävä tarpeeksi pitkää köyttä, ettei ankkurin aiheuttama pohjalietteen sekoittuminen veteen aiheuta virheitä pohjan läheltä otettaviin vesinäytteisiin.

Ota happinäyte oikein!
Lisää oikea määrä bromia.
Sulje pullo ilmakuplattomasti! Sekoita!

Näytesarjan ottaminen on syytä alkaa lämpötilan mittaamisella ja ainakin aloittelevan on syytä mittaustulosten perusteella heti piirtää lämpötilakäyrä, niin kuin aikaisemmin on esitetty. Vasta tämän jälkeen otetaan vesinäytteet seuraavaan tapaan. Vedennoutaja lasketaan avattuna ensiksi pintaveteen. Lämpötila luetaan noutajan nostamisen jälkeen vielä kerran. Happipullo varataan avattuna veneen pohjalle. Kun tarkistuslukema on lämpötilamittarista todettu ja merkitty muistiin, lasketaan noutajan hanalaitteeseen kiinnitetty, n. 15 senttimetrin pituinen kumiletku happipulloon niin, että kumiletkun alapää tulee happipullon pohjalle. Hana avataan ja tarkastetaan, ettei letkusta tule ilmakuplia vaan vesi juoksee letkusta tasaisena »pötkynä» pullon pohjalle. Happipullon annetaan hitaasti täyttyä. Sen jälkeen veden annetaan edelleen virrata (letkun on oltava yhä happipullon pohjalla) pulloon niin kauan, että ylivirtaus on n. 4—5 kertaa niin suuri kuin happipullon tilavuus. (Noutajaan jää näin vettä vain noin puolet.) Sitten letkua kohotetaan hitaasti pullon pohjasta pullon kaulan alareunan kohdalle saakka, vedetään sitten nopeasti pois pullosta ja hana suljetaan. Näin menetellen ei näyte ole joutunut kosketuksiin pullossa olleen ilman kanssa, sillä se vesi, mikä pullon aluksi täytti, ja mihin mahdollisesti oli päässyt sekoittumaan pullossa olleen ilman happea, on virrannut pois. Pullon kaulassa oleva vesi ottaa helposti happea, mutta tämä vesi poistuu pullosta, kun lasitulppa työnnetään paikoilleen. Pulloa ei kuitenkaan suljeta, ennenkuin näytteeseen on lisätty pipetillä 1/2 ml bromiliuosta. Liuos imetään mukana olevalla pipetillä bromipullosta jonkinverran pipetin ylimmän viivan yläpuolelle, pipetin yläpää suljetaan nopeasti etusormella (ei peukalolla), pipetti nostetaan silmien tasalle ja hellitetään hivenen etusormen puristusta, jolloin nesteen pinta pipetissä alkaa laskea. Kun nesteen pinta on ylimmän viivan kohdalla, tiukennetaan jälleen otetta niin, että tippuminen lakkaa. (Pipetin kärki on koko ajan pidetty tietenkin bromipullossa, joten pipetissä ollut liika bromiliuos on virrannut otetta hellitettäessä takaisin pulloon.) Kun pipetissä on tarkoin 1/2 ml bromiliuosta, pipetin kärki asetetaan happipulloon siten, että se tulee vähän pullon kaulassa olevan veden pinnan alapuolelle; etusormen ote hellitetään kokonaan ja bromiliuoksen annetaan virrata happinäytepulloon.

Vasta nyt voidaan pullo sulkea pudottamalla lasitulppa tasaisesti pullon suuhun. Näin tulppa sulkeutuu ilmakuplattomasti. Bromiliuos on muistettava sekoittaa pullossa olevaan veteen. Valitettavan usein aloitteleva unohtaa tämän. Jos bromi on jäänyt sekoittamatta, se painuu raskaampana pohjalle eikä vaikuta pullossa olevaan näytteeseen tasaisesti. Pipetti on asetettava veneeseen siten, ettei siinä oleva bromitippa pääse valumaan pipetin yläpäähän, josta seuraavan näytteen ottamisen jälkeen joudutaan imemään. Muutenkin on bromin käsittelyssä (vahva, suolahappoinen bromiliuos!) muistettava, että se on syövyttävää, ja että esimerkiksi vaatteille pudonnut tippa tekee reiän. On myöskin varottava imemästä liuosta suuhun, ja siksi on pipettiä täytettäessä sen kärki pidettävä varmasti koko ajan bromiliuospullossa olevan nesteen pinnan alapuolella.

Happipullon tulpan hios ei saa kuivua.

Happinäytteiden säilymisen edellytys on, että pullojen hios ei pääse kuivumaan. Pullot on säilytettävä pimeässä paikassa, vesihöyryn kyllästämässä tilassa. Parhaiten tämä tapahtuu erikoisissa vedellä täytetyissä suojuskoteloissa. Happipullot voi myöskin kääriä kostutettuihin flanellinkappaleihin, jolloin ne paremmin kestävät kuljetuksen. Kosteaan flanelliin kärityt happipullot säilytetään jo veneessä tähän tarkoitukseen varatussa laatikossa.

Noutajasta voi happipullon täyttämisen jälkeen ottaa vielä vesinäytteen $KMnO_4$-kulutuksen määrittämistä varten. Sitä otettaessa on huomattava, että vaikka pullot on mahdollisesti huuhdottukin tislatulla vedellä, ne on ennen näytteen ottamista vielä huuhdottava pariin kertaan (myöskin korkit!) tutkittavalla vedellä. Nämäkin näytepullot säilytetään viileässä paikassa, ja ne on tutkittava — mikäli

mahdollista — vielä samana päivänä. Happinäytteet tutkitaan vasta 24 tunnin kuluttua.

Muistiinpanot!

Ennen kuin näytteitä muista vesikerroksista otetaan, on muistettava merkitä muistiinpanovihkoon pullojen numerot ja se syvyys, mistä näyte on otettu. Samalla on syytä vielä tarkistaa, että happipullossa ja sen korkissa on sama numero. Jos näin ei ole, on parasta ottaa uusi näyte.

Tässä yhteydessä on syytä viitata vielä siihen, että muistiinpanoihin merkitään kaikki muutkin suoritetut havainnot, näkösyvyys ja väri, sekä niiden mittaamisen hetkellä vallinnut sää. On aina syytä tarkata noutajassa olevaa vettä, todeta siinä esiintyvät hajut, samennukset, värinmuutokset jne. Talvella on merkittävä muistiin lisäksi lumipeitteen ja jään paksuus. Yleensä on tietenkin merkittävä muistiin kaikki mahdolliset seikat, jotka saattavat vaikuttaa havaintojen tuloksiin, tässä on oltava mieluummin turhantarkka kuin leväperäinen.

Harkitse tarkoin näytteenottosyvyydet!

Seuraava näytteenottosyvyys riippuu tietenkin suuresti tutkimuksen tarkoituksesta. Yleisissä kalavesitutkimuksissa saattaa tarkoitukseen riittää, kun näytteet otetaan pintanäytteen lisäksi päällysveden alaosasta, harppauskerroksesta sekä alusveden ylä- ja alaosista. Esimerkiksi sellaisesta järvestä, jossa esiintyy sivulla 55 kuvattu lämpötilakerrostuneisuus, riittäisi siis näyte pinnalta, 7, 8,5, 11,0 ja 20,0 metrin syvyydestä. Tätä on kuitenkin pidettävä vähimmäisvaatimuksena. Likaantumistutkimuksissa on näytteitä otettava kaikista niistä syvyyksistä, jotka tulosten arvostelun kannalta ovat merkityksellisiä. Erityisesti on huolehdittava siitä, että jätevesikerroksen paksuus syvänteissä saadaan selville. Näytteitä on siis otettava tiheämmin siitä vesikerroksesta, missä oletettu tai todettu jäteveden ja puhtaamman veden raja

sijaitsee. Usein voi jäteveden jo kentällä eroittaa puhtaasta vedestä hajun, samennuksen, värin tms. perusteella. Mikäli luotaukset on suoritettu, niiden antamia tuloksia on käytettävä hyväksi myöskin näytteenottosyvyyksiä valittaessa.

Kun näytteitä otetaan syvemmältä, on muistettava aina tarkistaa lämpömittarin lukema, vaikka lämpötilan mittaus olisikin jo suoritettu. Tämä on välttämätöntä, koska noutaja saattaa laskettaessa veneen heilumisen tai jonkun muun syyn takia sulkeutua. Jos siis lämpötila osoittaa toista arvoa kuin aikaisemmin todettu, saattaa jommassa kummassa näytteenotossa olla virhe, joka on tietenkin korjattava. (Tottunut näytteenottaja kykenee tosin tuntemaan noutajan vaijerista painon pudottamisen jälkeen, onko noutaja sulkeutunut jo aikaisemmin). Suurissa järvissä harppauskerros voi olla hitaassa aaltoliikkeessä, yhtenä hetkenä alempana ja toisena ylempänä. Näin ollen ei tarkistusmittauksissa harppauskerroksesta saada ehkä toisella kerralla samaa arvoa kuin ensimmäisellä. Tämän ilmiön vaikutus on sitä selvempi, mitä jyrkempi harppauskerroksen lämpötilaputous on.

Talvityöskentelyn vaikeuksia ja varotoimenpiteitä.

Kesällä näytteiden ottaminen on tavallisesti helppoa. Talvella pakkanen asettaa työskentelylle omat rajoituksensa. Jo lämpötilan mittaamisessa on pidettävä huoli siitä, että noutajan sisälle ei ole jäänyt jäätä. Noutajan kansien hionnat jäätyvät myös helposti. Pakkasella noutajaa on pidettävä veden pinnan yläpuolella vain näytteiden ottamiseen tarvittava aika. Muistiinpanoja tehtäessä ja näytteitä käsiteltäessä on noutaja laskettava a v o n a i s e n a avannosta veteen, missä se pysyy sulana. Bromipipetin kärjen jäätymisen välttämiseksi on varminta pitää sitä muovikotelossa esimerkiksi povitaskussa.

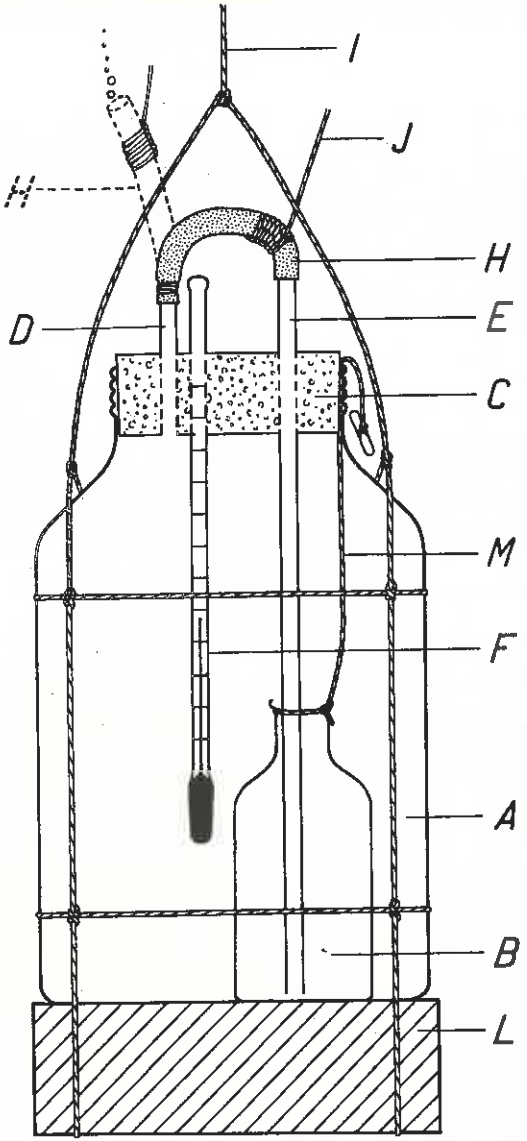
Pullojen jäätyminen lienee kuitenkin talvitutkijan suurin vaikeus. Happipullojen tulpat pyrkivät nousemaan, pahimmassa tapauksessa pullot särkyvät. Talvityöskentelyssä ovat erikoistoimenpiteet tarpeen, jos näytteitä yleensä aiotaan pakkasella ottaa (10 asteen pakkasessa on työskentely jo erittäin vaikeaa, ellei ole esim. lämmitettävää telttaa). Pullot voidaan säilyttää sulina erityisissä kuljetuslaatikoissa. Jos laatikko on hyvin eristetty, pitää esim. lämmintä nestettä sisältävä pullo näytteet pitkään sulana. Tällainen lämmitysneste voidaan kentällä valmistaa esimerkiksi kaatamalla väkevää rikkihappoa veteen (lämpöä kestävä pullo!). Jokainen voi suunnitella omiin tarkoituksiinsa sopivat laitteet pullojen säilyttämiseksi sulana. Olipa kuljetuslaatikko lämmitetty miten tahansa, sen kansi on pidettävä suljettuna ja pullot on pantava sinne nopasti. Kun tutkimuksia suoritetaan kaukana tiestä olevilla pikkujärvillä, joille laatikoiden ja muiden painavien laitteiden kuljettaminen on vaikeata, pullot voidaan pitää sulana tarkoitusta varten valmistetussa, patruunavyön tapaisessa vyössä, jota pidetään päällysvaatteiden alla. Jos taas on tarkoituksena suorittaa havaintoja tilanteen seuraamiseksi jollakin suuremman järven syvänteellä, jolloin näytteitä tarvitaan runsaasti ja usein, on syytä pystyttää avannolle teltta, lumimaja tai muu suoja, mikä voidaan sitten nopeasti lämmittää esimerkiksi »Petromaxilla» tms.

Talvella on k y l m e m p i vesi lämpimämmän päällä. Lämpötilakäyrä ei näin ollen ole kuvassa 10 esitetyn kaltainen. Talvinen kerrostuneisuus o n k ä ä n t e i n e n k e r r o s t u n e i s u u s, josta tavallisesti puuttuu selvästi eroittunut päällysvesi. Sekoittavien voimien vaikutus on talvella hyvin pieni. Tästä johtuu, että kerrostumista tapahtuu jo vähäisten ominaispainoerojen (jätevedet yms.) esiintyessä. Talvella ei näytteitä yleensä oteta lämpötilakerrostuneisuuden mukaises-

ti, vaan tutkimuksen luonteen vaatimista syvyyksistä. Koska työskentely jäällä on vaikeata ja koska kalavesi saattaa olla talviaikana hankalan matkan takana näytteitä on otettava mieluummin liian paljon kuin liian vähän. Jos näytteitä on runsaasti, ei muutaman pullon särkyminen ehkä pilaa kokonaiskuvaa, ja säästytään uudelta matkalta. On syytä muistaa, että määrityksiä voi sarjatyönä yleensä suorittaa lähes samalla vaivalla suuremman määrän kuin mitä minimivaatimus edellyttäisi. Kuljetuslaatikossa pullot pysyvät sulana sitä paremmin, mitä enemmän siellä on vettä, näin ollen ei tässäkään mielessä ole estettä suuremman näytemäärän ottamiseen. Varsinkin pohjan läheinen vesikerros saattaa olla niin lämmin (jopa 4° C), että sieltä otettu iso pullo vettä pitää kuljetuslaatikon sisälämpötilan pitkään jäätymispisteen yläpuolella.

Tässä yhteydessä on syytä mainita vielä eräs mahdollisuus, jolla voi kalamiehenkin kannalta olla merkitystä tietynlaatuisissa tutkimuksissa. Varsinkin vesihuolto- ja viemäröimistekniikassa käytetään ns. biologisen hapenkulutuksen määrittämistä. Eri menetelmistä kuvataan tässä yhteydessä vain kaikkein yksinkertaisin, koska se on suoritettavissa suhteellisen helposti ja «perusmäärityksissä« tarvittavilla välineillä. Jos otetaan kaksi happinäytettä ja suoritetaan hapen määritys toisesta heti ja toisesta vasta tietyn ajan kuluttua, saadaan käsitys vesinäytteessä tapahtuneesta hapen kulumisesta. Toinen näyte otetaan kuten edellä on kuvattu ja käsitellään bromiliuoksella. Toinen otetaan samasta syvyydestä, mutta ei käsitellä bromilla. Jälkimmäinen pidetään 48 tuntia pimeässä paikassa 20 asteen lämpötilassa. Tämän jälkeen sen tulppa avataan ja pulloon lisätään 1/2 ml bromiliuosta, sekä annetaan sitten seisoa 24 tuntia. Määritys suoritetaan sitten loppuun varsinaisen happimäärityksen tapaan. Määritys perustuu siihen tosiasiaan, että mitä enemmän vedessä on happea kuluttavia aineita, sitä nopeammin happi siitä kuluu. Tuloksista voidaan siis päätellä hapen kulumisen mahdollisuus. Tuloksia arvosteltaessa on otettava huomioon eräitä näkökohtia. Tärkein niistä on se, että olosuhteet pullossa eivät vastaa olosuhteita näytteenottopisteessä (lämpötila, valaistus jne.). Tästä taas seuraa, että veden bakteerit (jotka hapen «kuluttavat«) joutuvat kokemaan ympäristötekijöissään suuren muutoksen. Suuri osa niistä ei ehkä siedä muuttuneita olosuhteita vaan menehtyy, eivätkä nekään, jotka hengissä säilyvät, voi ehkä toimia täydellä teholla. Vesinäytteessä rikastuvat taas toiselta puolen sellaiset bakteerit, jotka parhaiten kykenevät kilpailemaan muuttuneissa olosuhteissa (saattaa käydä niin, että toiseen näytteeseen on tällainen paremmin toimeentuleva bakteeri näytettä käsiteltäessä päässyt, toiseen ei). Lisäksi valaistun vesikerroksen yhteyttävät levät, jotka valoisan aikana tuottavat happea pintaveteen, eivät kykene yhteyttämään pimeässä pullossa vaan kuolevat ja kuluttavat happea. Eri levät ja erilaiset jäteaineet hajoavat myöskin erilaisella nopeudella jne. Lisäksi on huomattava, että tässä kuvatulla yksinkertaisimmalla menetelmällä saadaan tuloksia vain silloin, kun näytteessä on happea näytteenottohetkellä. Määritys puoltaa paikkaansa etenkin silloin, kun on tiedettävä jotakin veteen laskettavien jätteiden vaikutusten mahdollisuudesta ilman, että voidaan riittävästi seurata niiden takia syntyvää tilannetta.

Koska monelle kalamiehelle, jonka tarkoituksena on suorittaa vain oman pienen kalavetensä tutkimuksia, saattaa tuottaa vaikeuksia hankkia tai lainata näytteiden ottamisessa tarvittavaa kallista vedennoutajaa, esitetään seuraavassa eräs mahdollisuus näytteiden ottamiseksi omatekoisella, pienin kustannuksin valmistettavalla laitteella. Tämä noutaja (malli Kaartotie) on esitetty piirroksessa (kuva 12). Vedennoutajan osat ovat: n. 1 ½ litran vetoinen pullo (A), happinäytepullo (B), korkkitulppa (C), ilmanpoistoputki (D), täyttöputki (E), lämpömittari (F), kumiletkulukko (H), ohut rihma happinäytepullon nostamista varten (M), ripustin (I), laukaisin (J) ja paino (L). Noutaja lasketaan ripustimen avulla haluttuun syvyyteen antaen laukaisinnarun samalla juosta vapaasti riittävän kaukaa sivulta (on suotavaa, että molempia naruja käsittelee eri henkilö). Siirretään laukaisin ripustimen viereen ja kiristetään sitä. Tämänjälkeen nykäistään laukaisinnarusta, jolloin kumiletkun pää irtaantuu täyttöputkesta. Kun nyt pidetään laukaisinta kevyesti kireällä, tunkeutuu vesi täyttöputken kautta näytepulloon ajaen sieltä edellään ilman pois ja täyttäen senjälkeen vähitellen ison pullon. Samanaikaisesti poistuu ilma poistoputken ja lukkoletkun kautta niin kauas, että täyttöputkesta sisään työntyvä vesi ei joudu kosketukseen ilmakuplien kanssa. Jos oletetaan, että näytepullon tilavuus on 150 ml ja ison pullon (lasipurkin) tilavuus 1,5 litraa, uusiutuu



Kuva 12. *Omatekoinen vedennoutaja.* (Malli: Kaartotie.)
Selitykset tekstissä.

vesi näytepullossa 10 kertaa. Lopullinen vesinäyte ei siten ole joutunut lainkaan kosketukseen pullossa olleen ilman kanssa.

Lasiputkien särkyvyyden vuoksi on parasta käyttää, mikäli mahdollista, messinkiputkia täyttö- ja poistoputkina. Riittävän tiiviin rakenteen saavuttamiseksi on korkin oltava virheetön ja putkia sekä lämpömittaria varten porattujen reikien erittäin tiukkoja. Rakenteen kunnon kokeilemiseksi upotetaan vedennoutaja ennen käyttöön ottamista täydessä laukaisukunnossa suurimpaan tutkittavaksi aiottuun syvyyteen, annetaan olla siellä ainakin sen ajan, minkä noutajan täyttyminen vaatisi, sekä nostetaan sitten laukaisemattomana ylös. Mikäli vettä ei ole tunkeutunut pulloon kuin korkeintaan hyvin pieni määrä, on laite käyttökelpoinen. Lukkoletku on kiinnitettävä hyvin tiukasti poistoputkeen. Se, miten tiukkaan kumiletku on kulloinkin työnnettävä täyttöputken päähän on kokeiltava erikseen. Laukaisinsiima kiinnitetään noin 2 sm:n päähän täyttöputken (E) päästä moninkertaisella kaksoispolvella («petlaamalla») siten, että sidos on noin 3 sm:n pituinen. Tällainen sidos ei luista eikä kurista letkua. Painon tulee olla vähintään kaksi kertaa niin raskas kuin käytettävä lasipurkki vedellä täytettynä. Kiinteä lämpömittari ei ole välttämätön, sillä lämpötilan mittaaminen voidaan suorittaa erilliselläkin mittarilla tavallisiin tarkoituksiin riittävällä tarkkuudella.

Kuvatulla vedennoutajalla ei näytteitä voi ottaa kovin syvältä. Lisäksi laite on tietenkin jatkuvaan työskentelyyn hankala ja hitaampi kuin varsinainen vedennoutaja. Laitteen särkymisvaara on myöskin otettava huomioon. Narujen on oltava kiertymättömiä, muuten laukaisin- ja ripustinnarujen sotkeutuminen tapahtuu helposti näytteitä vähänkin syvemmältä otettaessa.

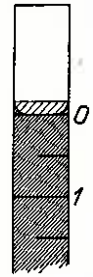
III. MÄÄRITYKSET.

Oppaan tässä osassa käsitellään yksityiskohtaisesti vesinäytteistä tehtävät määritykset. Mukaan on jouduttu ottamaan joukko sellaisia ohjeita, jotka ovat ilman muuta selviä jokaiselle, joka on vähänkin perehtynyt laboratoriotyöskentelyyn. Aloittelevan on syytä muistaa, että ohjeiden tunnontarkka seuraaminen on välttämätöntä käyttökelpoisten tulosten saamiseksi. Toiselta puolen tekijät rohkenevat toivoa, että vasta-alkajakin kykenee määritykset helposti suorittamaan annettujen ohjeiden perusteella. Mikäli epäonnistumisia sattuu, on syytä vielä kerran lukea kaikki ohjeet huolellisesti läpi ja kiinnittää huomio kaikkein vähäpätöisimmältäkin tuntuviin yksityiskohtiin: sekoittamiseen, byretin lukemiseen, laskutoimituksiin jne.

1. Välineistö.

Määritysten moitteeton suorittaminen edellyttää asianmukaista välineistöä. Oppaan lopussa on luettelo kaikista tarvittavista laboratoriovälineistä ja reagensseista. Lasivälineistön voi jokainen tilata itse suoraan alan liikkeistä, mutta reagenssit on syytä hankkia joltakin asiantuntijalta tai uskoa niiden valmistaminen jollekin alan laboratoriolle, koska niille on asetettava yleensä melko suuret vaatimukset. Mittaliuokset on syytä säilyttää värillisissä pulloissa. Reagenssien ja mittaliuosten säilytyspulloista otetaan kulloinkin tarvittava määrä

Kuva 13. *Asteikollisia pipettejä.*



Kuva 14. *Nesteen pinta pipetin (tai byretin) 0-viivalla.*

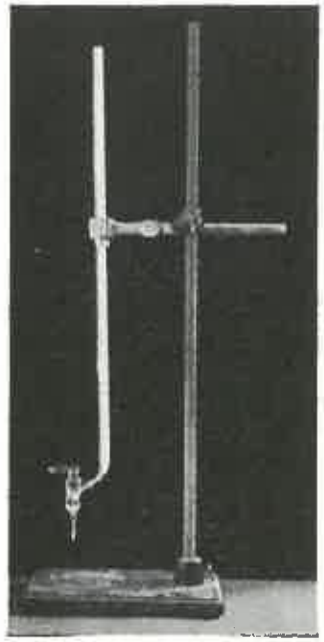
pienempiin pulloihin. Tämä varovaisuustoimenpide siksi, että pullo saattaa käsiteltäessä särkyä, joskus voi erehtyä ottamaan reagenssia likaisella pipetillä jne. Silloin on varastopullossa aina tarvittavaa liuosta, eikä tarvitse keskeyttää työskentelyä.

Pipetit. Tutkimuksissa tarvitaan vähintään viisi puolen millilitran, yksi asteikollinen yhden millilitran ja yksi asteikollinen viiden millilitran pipetti (kuva 13).

Poikkeustapauksessa voi tulla tosin toimeen pienemmälläkin pipettimäärällä, mutta vähänkin laajemmassa työskentelyssä on edellämainittua määrää pidettävä vähimmäisvaatimuksena. Pipetin käyttämisestä oli jo happinäytteen ottamisen yhteydessä puhe (s. 67). Tottumattoman on syytä harjoitella pipetin käyttämistä ennen työhön ryhtymistään. Nesteen pinta ei pipetissä ole koskaan suora vaan yleensä kovera. Pipetin asteikko luetaan kuvan 14 osoittamalla tavalla. Pipettejä käytettäessä on muistettava, että samalla pipetillä ei saa ottaa eri reagensseja, ellei sitä ole välillä huuhdeltu huolellisesti tislatulla vedellä. Juuri tämän takia onkin toivottavaa, että on käytettävissä edellämainittu vähimmäismäärä pipettejä, sillä niitä kaikkia tarvitaan samassa työssä. Käytön jälkeen pipetit on aina huuhdeltava tislatulla vedellä ja asetettava tarkoitustaan vastaavaan telineeseen kuivumaan. Koska kalamies joutuu usein siirtämään laboratoriotaan, olisi jo aluksi varminta valmistaa pipettejä varten esimerkiksi tanakasta pahvista omat kotelonsa. Jos pieni pipetti särkyy, voi tietysti käyttää asteikollista suurempaa pipettiä, jolla myös voi suorittaa »annostelun» sarjatyössä. Tällöin täytyy kuitenkin jo tottumusta olla sen verran, että pystyy pipetistä tosiaankin laskemaan oikeat annokset »lorauttamatta» liikaa. Koska pipetti erityisesti kentällä työskenneltäessä helposti särkyy, pidetään mukana sopiva varapipetti. Pipetit ovat suhteellisen halpoja, joten varakappaleiden hankkiminen ei yleensä tuota taloudellisia vaikeuksia (vrt. välineistöluettelo oppaan lopussa).

Byretti ja titraus. Varo ilmakuplia byretin kärjessä!

Byretit. Byretit (kuva 15) ovat lasivälineistön kalleimmat välineet. Ne ovat oikeastaan hanallisia, asteikollisia pipettejä, joita käytetään ns. mittaliuosten lisäämiseen eli titraamiseen (kuva 16) ja niitä tarvitaan ainakin 2, mie-



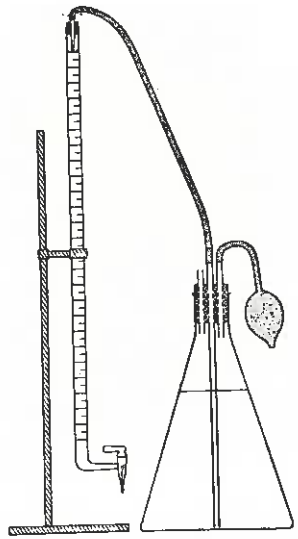
Kuva 15. *Byretti statiivissa.*

Kuva 16. *Titraus. Huomaa valkea titrausalusta ja -tausta.*

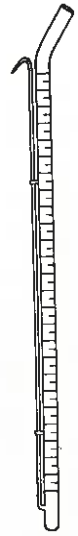
luimmin 3 kappaletta. Byretti kiinnitetään sopivaan telineeseen, ns. statiiviin, josta se on helppo irroittaa täyttöä tai puhdistusta varten (kuva 15). Byretti on pidettävä ehdottomasti puhtaana. Puhtauden voi todeta laskemalla siitä tislattua vettä. Jos byretin seinään jää vesipisaroita, se ei ole puhdas. Puhdistamiseen voidaan käyttää lämmintä vettä, rasvaisiin byretteihin esimerkiksi eetteriä. Käytön jälkeen on aina muistettava suorittaa perusteellinen huuhtelu. $KMnO_4$-liuos jättää byrettiin aikojen kuluessa ruskeita laikkuja, jotka

voi poistaa väkevällä suolahapolla (reag. N:o 3). Kun byrettiä ei käytetä, se asetetaan statiiviinsa ylösalaisin hana irroitettuna. Mittaliuoksella täyttämistä varten puhdaskin byretti on ensin huuhdottava samalla mittaliuoksella. Ennen käyttöä on muistettava tarkistaa, ettei byretin kärjen yläpuolelle jää ilmaa, joka aiheuttaa aina mittausvirheen. Byretti luetaan yleensä samaan tapaan kuin pipetti. Koska byretin hanan liikuttaminen on kuivana vaikeaa, on hana (lasihanaisissa byreteissä) rasvattava hanarasvalla, joista parasta on silikonirasva (reag. N:o 2). Rasvaa ei pidä panna liikaa, muuten voi byretin hanan hieno reikä tukkeutua. Koska titrattaessa joudutaan koko ajan toisella kädellä sekoittamaan näytettä voimakkaasti, on parasta heti alunperin opetella käsittelemään kaikkien byrettien hanaa vasemmalla kädellä (kuva 16).

Suuria näytemääriä käsiteltäessä byretin tavalliseen tapaan täyttäminen on hankalaa. Tällaisissa tapauksissa on ns. automaattibyretti kätevä. Koska varsinainen automaattibyretti on kallis, seuraavassa esitetään mahdollisuus yksinkertaisen automatisoinnin järjestämiseksi. Mittaliuosta sisältävä pullo (esim. iso kartiopullo) varustetaan sopivalla korkilla, johon poratan reiät kolmea lasiputkenpätkää varten. Kaksi lasiputkea yltää vain juuri korkin läpi, kolmas sensijaan lähelle pullon pohjaa (kuva 17). Byretin yläpäähän asetetaan korkki, jonka läpi on porattu reikä lasiputkea varten ja jonka reunaan on leikattu lovi ilman kulkua varten. Byretissä olevaan korkkiin asetetun lasiputken byretin sisässä oleva pää on teräväkärkinen ja se yltää byretin 0-viivan kohdalle. Tämä putki ja säiliöpullon korkin läpi pohjaan ulottuva putki yhdistetään sopivalla kumiletkulla. Säiliöpullon korkissa oleva toinen putki yhdistetään kumipallopumppuun, kolmas jää vapaaksi. Täytettäessä sormi asetetaan vapaan



Kuva 17. *Omatekoinen automaattibyretti.*



Kuva 18. *Kaatobyretti.*

putken suulle ja pumpataan painetta säiliöpulloon, jolloin neste alkaa virrata byrettiin. Kun nesteen pinta on vähän 0-viivan yläpuolella, hellitetään sormi, jolloin pinta asettuu 0-viivan kohdalle ja byretti on valmis käytettäväksi. — Varsinkin sarjatöissä ja ennenkaikkea $KMnO_4$-kulutuksen määrityksissä nopeuttaa mainittu täyttökeino suuresti työskentelyä.

Kalamies joutuu usein titraamaan näytteet olosuhteissa, joissa tavallisen byretin käyttäminen on hankalaa. Silloin voidaan käyttää ns. kaatobyrettiä (kuva 18), jossa ei ole lainkaan hanaa, mutta josta voidaan tiputtaa mittaliuosta byrettiä kallistamalla. Kaatobyretin käyttäminen on kuitenkin hidasta ja tulee kysymykseen vain pieniä näytemääriä poikkeuksellisissa olo-

Kuva 19. *Kartiopullo.*

Kuva 20. *Mittapulloja.*

suhteissa käsiteltäessä. Niitä ei ole ollut valmiina saatavissa, vaan ne on jouduttu teettämään tilauksesta. Hinta ei ole tavallisen byretin hintaa korkeampi.

Eräissä byreteissä on lukemisen helpoittamiseksi valkoinen takaseinä ja sillä pystysuora sininen juova. Nämä byretit luetaan siniseen juovaan muodostuvan kärjen kohdalta. Tällainen byretti on silloin tietenkin myöskin nollitettava niin, että kärki osoittaa byretin 0-viivaa.

Kartiopullot. Näytteet käsitellään tavallisesti kartiopulloissa (kuva 19). Tarkoitukseen soveltuvat tavalliset 300 millilitran pullot. Koska niissä täytyy myös voida k e i t t ä ä ($KMnO_4$-kulutus), on niiden oltava lämpötilavaihteluja kestävää lasia (Pyrex, Hysil jne.). Kartiopulloja on paras hankkia ainakin 5—6 kappaletta, koska niitä silloin tällöin särkyy. Sarjatyöskentelyn kannalta on eduksi, jos useampia näytteitä voidaan käsitellä samanaikaisesti.

Mittapullot. Mittapulloilla mitataan ja laimennetaan tutkittavia näytteitä, laimennetaan mittaliuokset jne. Oppaassa esitettyjen perusmääritysten suorittamisessa tarvitaan 100 ml:n ja 1000 ml:n mittapullot (kuva 20). Mittapullojen kaulaosassa on viiva, joka osoittaa mittatilavuuden.

Mittausvälineet (mittapipetit, byretit ja mittapullot) on mitoitettu tavallisesti 20° C lämpötilaa varten. Mittaukset on siis suoritettava tässä lämpötilassa. Tämä vaatimus koskee ennen kaikkea mittaliuosten valmistamista ja niiden laimentamista sekä titrausta. Sen sijaan reagenssien (esimerkiksi bromin) lisäämisessä ei tätä tarvitse ottaa huomioon.

2. $KMnO_4$-kulutuksen määritys.

Kaliumpermanganaatti ($KMnO_4$) hapettaa näytteessä olevat hapettumiskelpoiset aineet. Näin ollen sen »kuluminen» (pelkistyminen) antaa kuvan hapettuvien aineiden määrästä. Vaikka kaikki pelkistyneet yhdisteet (rikkivety, metaani jne.) aiheuttavat $KMnO_4$-kulutuksen nousun, kulutus kuvaa kuitenkin tavallisissa olosuhteissa lähinnä elimellisten aineiden suhteellista määrää.

Puhdista kartiopullot $KMnO_4$-kulutusta varten!

Määritystä varten on kartiopullot puhdistettava keittämällä niissä $KMnO_4$-liuosta (reagenssi N:o 6 b) 10 minuuttia. Tämän jälkeen pullot huuhdotaan ensin väkevällä suolahapolla (reag. N:o 3) ja sitten tislatulla vedellä. Näin perusteellista puhdistamista ei tarvita, jos pulloja ei välillä ole käytetty muihin tarkoituksiin. Olisikin syytä varata määrätyt pullot yksinomaan tätä määritystä varten ja säilyttää ne tislatulla vedellä huuhdottuna pölyttömässä paikassa.

Huomaa: Tarkat määrät mittaliuoksia byretistä! Keitä näytteitä aina sama aika (10 min.)! Sekoita voimakkaasti titrauksen aikana! Älä unohda merkitä lukemia muistiin!

a) Mittapullolla mitataan vesinäytteestä (lääke- tai maitonäytepullo) 100 ml vettä puhdistettuun kartiopulloon, lisätään 5 ml laimennettua rikkihappoa (reag. N:o 4), ja kartiopullo asetetaan keittolevylle. Kun näyte kiehuu, siihen lisätään nopeasti byretistä 15,0 ml $KMnO_4$-liuosta (reag. N:o 6 b) ja pullo pannaan takaisin keittolevylle tai hellalle. Tämän jälkeen on tarkattava, milloin kiehuminen alkaa uudelleen, siis milloin ensimmäinen vesihöyrykupla, joka pullon pohjalla muodostuu, nousee nesteen pintaan saakka. Tärkeintä on, että tässä vaiheessa kiehumisen alkamishetki todetaan aina samalla tavalla. Kiehumisen uudelleen alkamisesta lähtien näytettä keitetään tasan 10 minuuttia. Sen jälkeen näytteeseen lisätään toisesta byretistä nopeasti tasan 15,0 ml oksaalihappoliuosta (reag. N:o 7 b), ja pullon annetaan seisoa, kunnes näyte on tullut värittömäksi. Tällä välin molemmat byretit täytetään uudelleen ja niiden lukema merkitään muistiin (vaikka se olisikin 0). Näytteeseen tiputetaan byretistä $KMnO_4$-liuosta (samaa kuin edellä, reag. N:o 6 b) siksi, kunnes liuokseen jää heikko punertava väri. Titrauksen aikana näytettä on koko ajan voimakkaasti sekoitettava. Heikon punertavan värin huomaa parhaiten valkeaa taustaa vasten, jota titrauksissa on aina pyrittävä käyttämään. Tällaiseksi sopii esimerkiksi valkoinen paperi tai vielä paremmin kaakelilevy. Kun titraus on päättynyt, merkitään muistiin kulunut $KMnO_4$-liuosmäärä sekä näytepullon numero. Titraus on pyrittävä suorittamaan niin nopeasti, että näyte ei ehdi titrauksen aikana liiaksi jäähtyä (lämpötilan alaraja n. 60° C).

Näytettä on usein laimennettava.

b) Varsin usein käy kuitenkin niin, että näyte sisältää elimellisiä aineita siksi runsaasti (esim. likaantumistapauksissa ja ruskeissa vesissä), ettei edellisessä kohdassa mainittu 15,0 ml:n $KMnO_4$-lisäys riitäkään kaikkien niiden hapettamiseen. Tämän voi todeta siitä, että näyte tulee keittämisen aikana ruskeaksi, eikä siinä voi havaita punertavaa väriä sekoitettaessa ja valoa vasten katsottaessa. Koska $KMnO_4$-liuoksen väkevyys saattaa jonkin verran vaihdella, on jo silloin, kun titrauksessa kuluu $KMnO_4$:a yli 12 ml, tehtävä uusi määritys laimennetusta näytteestä. (Koska tutkijan on vaikeaa kentällä tietää, kuuluuko vesinäyte näihin laimennettaviin vai voiko määrityksen tehdä laimentamatta, on syytä jo näytteenottovaiheessa pitää tämä mielessä ja ottaa vettä muutamista kohdin enemmän). Laimentaminen suoritetaan niin, että mitataan 100 ml tutkittavaa vettä kartiopulloon, johon lisätään samaa mittapulloa käyttäen 100 ml tislattua vettä. Tätä laimennosta otetaan 100 ml:n erä, mikä pannaan toiseen kartiopulloon määritystä varten. Toinen osa säilytetään, jotta laimentamista voidaan tarvittaessa jatkaa. Laimennetusta näytteestä suoritetaan analyysi kuten kohdassa a) on esitetty.

Laimennuksissa muistettava laimennuksen määrä (laimennuskerroin).

c) Monissa likaantumistutkimuksissa ei vielä kohdassa b) esitetty laimennus riitä. Silloin lisätään varalle jätettyyn kartiopulloon vielä 100 ml tislattua vettä. Tästä pullosta, missä siis nyt on vettä 200 ml, otetaan taas 100 ml määritystä varten ja jätetään 100 ml jälleen varalle — mahdollista lisälaimennusta varten. Määritys suoritetaan taas niin kuin kohdassa a) on esitetty. Tässä tapauksessa on näytteessä tietenkin enää 25 ml tutkittavaa vettä ja 75 ml tislattua vettä 100 ml kohti; toisin sanoen laimennuskerroin on neljä. Kohdassa b) oli lai-

mennuskerroin kaksi. (Laimennus on otettava huomoon laskutoimituksissa, joista vähän myöhemmin.)

Tämäkään laimennus ei aina riitä. Silloin lisätään vielä 100 ml vettä jälelle jääneeseen osaan, jolloin laimennus tulee kahdeksankertaiseksi jne. Menettelyä jatketaan siksi, kunnes tarpeellinen laimennus on saatu.

Tislattu vesi kuluttaa myös $KMnO_4$:a.

d) Koska tislatulla vedelläkin on tavallisesti vähäinen $KMnO_4$-kulutus, sen osuus on otettava huomioon laskutoimituksissa. Tämän takia on tislatun veden $KMnO_4$-kulutus määritettävä kohdan a) mukaisesti.

Murtovesialueilla oma menetelmä.

e) Koska kloridit häiritsevät a-kohdan mukaista määritystä, murtovesialueella lisätään näytteeseen laimennetun rikkihapon asemasta ½ ml natriumhydroksidiliuosta (reag. N:o 8). Laimennettu rikkihappo (5 ml) lisätään vasta keittämisen jälkeen ennen oksaalihappoa. Oksaalihappolisäyksen (15,0 ml) jälkeen menetellään kohdan a) mukaisesti. Murtovesialueilla tapahtuu siis $KMnO_4$:n kuluminen (keittäminen) emäksisessä liuoksessa, kun se sisävesitutkimuksissa yleensä tehdään happamassa (rikkihappolisäys).

Murtovesien laimennukset suoritetaan samalla tavalla kuin kohdissa b) ja c) on esitetty, vain jatkokäsittely tapahtuu kohdan e) mukaisesti.

Koska laimennetuista näytteistä saadaan laimentamattomista poikkeavia tuloksia, on saman vesistön kaikki näytteet pyrittävä käsittelemään samalla tavalla (laimennettava, vaikka kaikki näytteet eivät ehkä laimennusta kaipaisi). Likaantumistapauksissa on kuitenkin runsaasti jätteitä sisältävät vesinäytteet käsiteltävä omana ryhmänään eikä sovellettava niiden $KMnO_4$-kulutuksen määrityksissä tarvittavaa laimennussuhdetta koko tutkittavaan alueeseen. Murtovesialueen näytteet on kaikki syytä käsitellä kohdan e) mukaisesti, vaikka kaikkiin näytteisiin ei ehkä tarvitsisikaan käyttää emäksistä menetelmää, sillä määritys antaa happamalla menetelmällä ainajonkinverranerilaisettuloksetkuin emäksisellä.

Koska $KMnO_4$-liuoksen väkevyys muuttuu hyvin helposti, se on säilytettävä väkevämpänä (0,1-normaalisena) ja laimennettava käyttöä varten siten, että mitataan mittapullolla 100 ml väkevämpää liuosta (reag. N:o 6 a) 1000 ml:n mittapulloon, pienempi mittapullo huuhdotaan tislatulla vedellä ja huuhteluvesikin kaadetaan isompaan, joka lopuksi täytetään tislatulla vedellä merkkiin saakka. Vaikka oksaalihappoliuos (reag. N:o 7 b) onkin pysyvämpää, on sekin syytä tilata väkevämpänä (reag. N:o 7 a). Näin säästytään turhalta veden lähettämiseltä. Oksaalihappo laimennetaan samalla tavalla kun $KMnO_4$-liuoskin.

$KMnO_4$-liuoksen väkevyys muuttuu, korjausarvo todettava päivittäin.

Koska $KMnO_4$-liuosta ei voida säilyttää täysin muuttumattomana ja koska se muuttuu aluksi nopeammin kuin myöhemmin, se olisi pyrittävä valmistamaan viikkoa tai kahta ennen käyttämistä. Sama koskee sen laimentamista. Joka tapauksessa on liuoksen väkevyys määritettävä tutkimuksen aikana päivittäin.

f) $KMnO_4$-liuoksen väkevyyden (reag. N:o 6 b) määrittäminen tapahtuu seuraavasti: Puhdistettuun kartiopulloon päästetään byretistä tarkoin 15,0 ml oksaalihappoa (reag. N:o 7 b), lisätään 100 ml tislattua vettä sekä 5 ml laimennettua rikkihappoa (reag. N:o 4). Tämän jälkeen kartiopullo lämmitetään kiehuvan kuumaksi ja siihen tiputetaan byretistä $KMnO_4$-liuosta (reag. N:o 6 b) kunnes punertava väri jää pysymään niinkuin kohdassa a) on esitetty. Lukema merkitään muistiin ennen titraamisen alkamista ja sen jälkeen. Mikäli

$KMnO_4$-liuos on ollut tarkoin oikean väkevyistä, sitä kuluu tasan 15,0 ml. Näin käy kuitenkin harvoin, tavallisesti kuluu vähän enemmän. Titraustuloksen perusteella lasketaan k o r j a u s a r v o $KMnO_4$-liuokselle siten, että käytetyn oksaalihapon määrä (15,0) jaetaan titrauksessa kuluneen $KMnO_4$-liuoksen määrällä. Jos titraustulos on ollut esimerkiksi 15,9 ml, korjausarvo on 15.0 : 15.9 = 0,94.

Laske oikein! Laskutoimituksen helpottamiseksi eräitä esimerkkejä. Jos oletetaan, että näytettä ei tarvinnut laimentaa, vaan määritys voitiin suorittaa kohdan a) mukaisesti, laskutoimitus on varsin yksinkertainen. Oletetaan, että $KMnO_4$-liuosta kului titrattaessa 7,2 ml ja että $KMnO_4$-liuoksen väkevyyden määritys kohdan f) mukaisesti antoi korjausarvoksi 0,94. Titraustulokseen (7.2) lisätään 15.0. Summa kerrotaan korjausarvolla (0,94), tulosta vähennetään 15,0 ja jäännös kerrotaan 3,16:lla. $KMnO_4$-kulutus olisi siis ollut 18.5 mg/l.

Jos näytettä joudutaan laimentamaan, ei laskutoimitus ole aivan näin yksinkertainen. — Merkitään laimennuskerroin kirjaimella b. (Jos näytettä ei ole tarvinnut laimentaa ollenkaan, laimennuskerroin on 1.) Laimennuskerroin saadaan jakamalla luku 100 sillä ml-määrällä, mikä t u t k i t t a v a a vettä on lopullisessa määrityksessä (vrt. s. 85). Merkitään titraustulos kirjaimella a, korjausarvo kirjaimella f ja tislatun veden $KMnO_4$-kulutuksen määrityksessä saatu titraustulos kirjaimella c. Alkuperäisen näytteen $KMnO_4$-kulutus on silloin

$$3{,}16 \cdot [f \cdot (a \cdot b - b \cdot c + c + 15) - 15] \text{ mg/l.}$$

Oletetaan, että kohdassa b) esitetty laimennus on ollut riittävä (laimennuskerroin on siis 2), titraustulokseksi on saatu 7,2 ml, tislatun veden titraustulos on ollut 1,4 ml (kohta d) ja korjausarvo 0,94. Kaavaan kirjoitetaan a:n paikalle 7,2, b:n paikalle 2, c:n paikalle 1,4 ja f:n paikalle 0,94. Siis:

$$3{,}16 \cdot [0{,}94 \cdot (7{,}2 \cdot 2 - 2 \cdot 1{,}4 + 1{,}4 + 15) - 15] = 35.7712$$

Esitettyä kaavaa voidaan käyttää tietenkin myöskin siinä tapauksessa, että näytettä ei ole tarvinnut laimentaa. Siinä tapauksessa on laimennuskerroin (b) = 1 ja tislatun veden $KMnO_4$-titraustulos (c) = 0.

$KMnO_4$-kulutuksen arvo lausutaan tavallisesti milligrammoina litraa kohti (mg/l). Näin ollen esitetään esimerkkitapauksessa laskettu $KMnO_4$-kulutus seuraavasti:

»$KMnO_4$-kulutus 35,8 mg/l».

(Laskutoimitus antaa tulokseksi 35,7712. mutta käytännössä ilmoitetaan $KMnO_4$-kulutus vain yhden kymmenesosan tarkkuudella).

Määrityksen suorittaminen tapahtuu loppujen lopuksi verrattain nopeasti. Aloittelevan on syytä erityisesti muistaa laimennuskertoimen laskeminen, pidettävä siis mielessä, paljonko t u t k i t t a v a a vettä on siinä 100 ml:ssa, josta määritys loppujen lopuksi suoritetaan.

3. Hapen määritys.

Lisää salisylaatti ja sekoita heti! Happinäytepullot ovat seisoneet näytteen ottamisen jälkeen pimeässä paikassa esim. kosteisiin flanellilappuihin käärittynä 24 tuntia. Happipullo asetetaan pöydälle ja tulppa poistetaan varovasti. Näytteeseen lisätään 1/2 ml salisylaattiliuosta (reag. N:o 9) puolen millilitran pipetillä. Tulppa pudotetaan omalla painollaan paikoilleen ja näyte sekoitetaan h e t i. Pulloon ei saisi jäädä ilmakuplaa. Ellei näytettä sekoiteta nopeasti salisylaatin lisäämisen jälkeen, salisylaatti saattaa saostua. Kun pullo on huolellisesti sekoitettu kääntämällä

sitä nopeasti ympäri, sen annetaan seisoa rauhassa 15 minuuttia. Tämän käsittelyn aikana bromin väri häviää näytteestä. Mikäli näytteessä on runsaasti rautaa, se värjäytyy salisylaattilisäyksestä enemmän tai vähemmän violetiksi. Värin voimakkuus on syytä merkitä muistiin (esimerkiksi käyttämällä merkintöjä + tarkoittamaan heikkoa väriä, ++ suhteellisen voimakasta ja +++ erittäin voimakasta väriä).

Kun pullo on seisonut 15 minuuttia, tulppa poistetaan jälleen ja näytteeseen lisätään 1/2 ml manganokloridiliuosta (reag. N:o 10) sekä sen jälkeen 1/2 ml natriumhydroksidipitoista kaliumjodidia (reag. N:o 11). Vasta tämän lisäyksen jälkeen pullo suljetaan jälleen ja sekoitetaan, kunnes syntyvä sakka on sekoittunut tasaisesti pulloon. Pullo saa tämän jälkeen jälleen seisoa 10—15 minuuttia. Sakan väri antaa tutkijalle jo ennakkokäsityksen hapen määrästä näytteessä, sillä mitä ruskeampi sakka on, sitä enemmän näytteessä on happea. Valkoinen sakka on hapettoman näytteen merkki.

Fosforihappolisäys. Sekoitus. Happinäytepullosta 100 ml titrattavaksi.

Sakan laskeuduttua lisätään pulloon 2 ml fosforihappoa (reag. N:o 12), tulppa suljetaan ja sekoitetaan voimakkaasti, jolloin sakka liukenee. Pullo avataan sakan liuettua, ja siitä mitataan 100 ml:n mittapullolla tarkoin 100 ml näytettä kartiopulloon.

Titraus. Huomaa voimakas sekoitus!

Näyte on nyt valmis titrattavaksi. Byretti täytetään natriumtiosulfaattiliuoksella (reag. 13 b), joka on laimentamalla valmistettu väkevämmästä varastoliuoksesta (reag. N:o 13 a). Näytteeseen tiputetaan byretistä mittaliuosta niin kauan, että vielä voidaan selvästi havaita näytteessä keltainen väri. Tämän jälkeen lisätään 1 ml tärkkelysliuosta (reag. N:o 14), joka värjää näytteen siniseksi. Titrausta jatketaan

kunnes sininen väri näytteestä juuri häviää. Jos titraus on oikein suoritettu, näyte sinistyy muutaman hetken kuluttua uudelleen, mutta sitä ei enää oteta huomioon. Titrauksen päätyttyä byretin lukema merkitään laskutoimituksia varten muistiin. Jos näyte on jo alunperin hyvin vaalea, on tärkkelysliuos syytä lisätä siihen heti titrausta aloitettaessa. Näytettä on ravisteltava voimakkaasti titrauksen aikana, muussa tapauksessa ei mittaliuos sekoitu tarpeeksi tehokkaasti.

Laskutoimitus on hyvin yksinkertainen. Kun titraustulos kerrotaan luvulla 0,8, saadaan hapen määrä milligrammoina litraa kohti (mg/l). Jos natriumtiosulfaattiliuosta on kulunut 11,1 ml, on tulos 8,88 mg/l. Koska happi on totuttu ilmoittamaan vain kymmenesosan tarkkuudella, se ilmoitetaan:

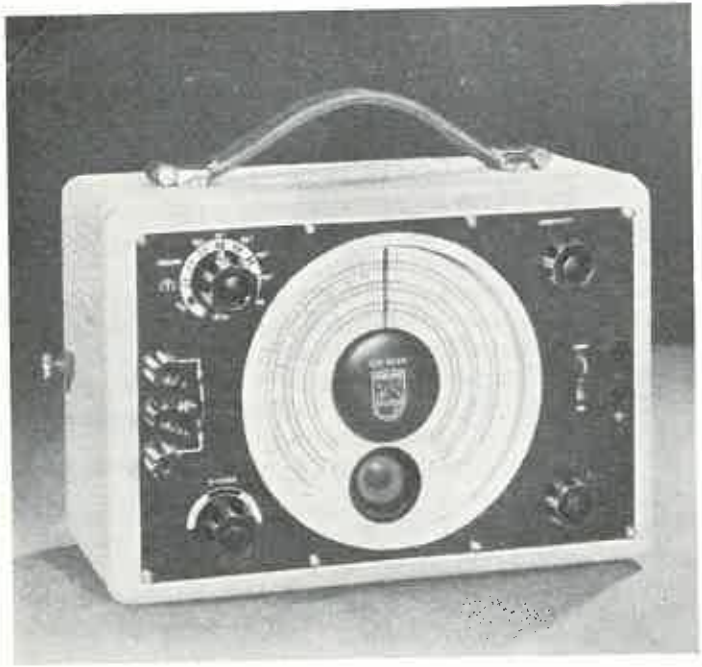
»Happea 8,9 mg/l.»

Kyllästysprosentti todetaan nomogrammista (kuva 5).

Jos on otettu näyte myös hapen kulumisen määrittämiseksi (vrt. s. 72) ja tämä näyte on ensin seisonut käsittelemättömänä 48 tuntia 20 asteen lämpötilassa pimeässä paikassa sekä sen jälkeen 1/2 ml:lla bromia käsiteltynä 24 tuntia, voidaan näytteen happi määrittää edellä esitetyllä tavalla. Samasta pisteestä otettu varsinainen happinäyte on käsitelty jo 24 tunnin kuluttua näytteen ottamisesta. Kun tästä vähennetään hapenkulutusnäytteessä todetun hapen määrä, saadaan hapenkulutus milligrammoina litraa kohti.

4. Veden elektrolyyttisen johtokyvyn mittaaminen.

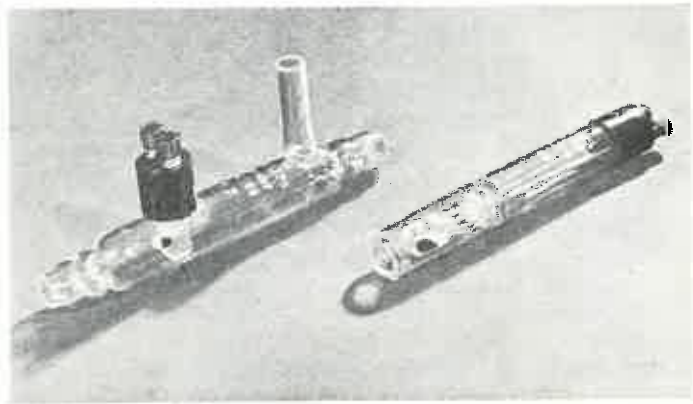
Liuenneiden elektrolyyttien määrä vaikuttaa veden ominaispainoon. Varsinkin murtovesialueilla ovat suolapitoisuuden erot tärkeä kerrostuneisuuden aiheuttaja ja ylläpitäjä (vrt. s. 30). Suhteellisen suolapitoisuuden



Kuva 21. *Ominaisvastusmittaussilta.*

määrittäminen käy mukavimmin ja tarkasti elektrolyyttisen johtokyvyn mittauksella. Mittaukseen käytettävä laite on ns. nesteiden ominaisvastusmittaussilta, minkä käyttö perustuu siihen, että vesi johtaa sitä paremmin sähköä mitä enemmän elektrolyyttejä (»suoloja») se sisältää.

Johtokyvyn mittaaminen on erittäin käyttökelpoinen tapa myös sisävesien vähäisten elektrolyyttipitoisuuserojen selvittämiseksi, koska se on nopea ja helppo suorittaa muun työn ohessa. Tätä menetelmää käyttäen



Kuva 22. *Nesteiden ominaisvastusmittauskennoja. Oikealla tavallisesti käytetty malli (GM 4221).*

voidaan vaivattomasti seurata esim. tiettyjen ns. epäorgaanisten likaantumistapausten vaiheita (vrt. s. 45).

Kuvan 21 esittämä mittari on PHILIPS'in laite GM 4249. Vastus mitataan käyttäen erityisiä elektrodeja, ns. nesteiden ominaisvastusmittauskennoa (kuva 22). Suora, tavallinen elektrodi on yleisimmin käytetty ja soveltuu mittauksiin vesinäytteistä, suoraan vedestä jne. Kuvassa vasemmalla oleva elektrodi on tarkoitettu lähinnä virtaavan veden jatkuvaan tarkkailuun erikoistapauksissa.

Mittarin käyttö on hyvin yksinkertainen. Laboratorio-olosuhteissa sitä voidaan syöttää tavallisella vaihtovirralla. Jos sitä halutaan käyttää kentällä, on lisäksi hankittava akkukäyttöinen värähdinmuuntaja.

Laite ilmoittaa ominaisvastuksen. Koska eri elektrodeissa on jonkinverran eroavaisuuksia, on jokaisen elektrodin kylkeen painettu ns. k o r j a u s k e r r o i n, joka tarkoittaa sitä, että vastuslukema on vielä kerrot-

tava tällä luvulla. Kuvassa 22 olevan tavallisen elektrodin kerroin on 1,46. Vastuksen asemasta on totuttu ilmoittamaan veden elektrolyyttinen johtokyky (= vastuksen käänteisarvo). Oletetaan, että mittarin ilmoittama ominaisvastus on 2300 Ω ja elektrodikerroin 1,46. Silloin ominaisjohtokyky ($\varkappa$) on

$$\frac{1}{1{,}46 \,.\, 2300} \text{ siemens'iä (S)} =$$

$$\frac{1.000.000}{1{,}46 \,.\, 2300} \text{ mikrosiemens'iä } (\mu s) = 298\ \mu S$$

Koska johtokyky on riippuvainen lämpötilasta, lämpötila on mitattava 0,1 asteen tarkkuudella. Lämpötila otetaan huomioon siten, että saadut tulokset korjataan 18° C lämpötilaa vastaaviksi taulukosta 3 saatavaa korjauskerrointa käyttäen. Taulukossa on ensimmäiselle pystysuoralle sarakkeelle merkitty kokonaiset asteet ja ensimmäiselle vaakasuoralle sarakkeelle asteiden kymmenesosat. Jos näytteen lämpötila olisi 19,6° korjauskerroin on 0,965, ja tulos siis

$$\frac{0{,}965 \cdot 1.000.000}{1{,}46 \cdot 2300} = 289\ \mu S.$$

Tulos ilmoitetaan seuraavasti:

»Elektrolyyttinen johtokyky ($\varkappa_{18}$) 289 μS»

Mittarin ja sen elektrodien tarkistus tapahtuu annettujen ohjeiden mukaisesti.

Elektrodien tarkistaminen on annettava asiantuntijan tehtäväksi; hän suorittaa myöskin elektrodien »nuorentamisen» platinoimalla ja merkitsee uuden kertoimen. Kerrointa osoittava merkintä kuluu helposti elektrodin kyljestä. Tämän vuoksi onkin varminta merkitä kerroin esimerkiksi käyttöohjeeseen. Elektrodi on käytön jälkeen huuhdottava huolellisesti ja säilytettävä tislatussa vedessä. Sitä olisi myös silloin tällöin huuhdottava alkoholilla.

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1,706	1,700	1,694	1,687	1,681	1,674	1,668	1,661	1,655	1,648
1	1,642	1,636	1,630	1,624	1,618	1,612	1,606	1,600	1,594	1,588
2	1,582	1,576	1,570	1,565	1,559	1,554	1,548	1,543	1,538	1,532
3	1,527	1,521	1,516	1,511	1,505	1,500	1,495	1,490	1,485	1,480
4	1,475	1,470	1,465	1,460	1,455	1,450	1,445	1,441	1,436	1,431
5	1,427	1,422	1,417	1,413	1,408	1,403	1,399	1,395	1,390	1,385
6	1,381	1,377	1,372	1,368	1,364	1,360	1,355	1,351	1,347	1,343
7	1,339	1,335	1,330	1,326	1,322	1,318	1,314	1,310	1,307	1,303
8	1,299	1,295	1,291	1,287	1,284	1,280	1,276	1,272	1,269	1,265
9	1,261	1,257	1,254	1,250	1,247	1,243	1,239	1,236	1,232	1,229
10	1,225	1,222	1,219	1,216	1,212	1,209	1,205	1,202	1,199	1,195
11	1,192	1,189	1,186	1,183	1,179	1,176	1,173	1,169	1,166	1,163
12	1,160	1,157	1,154	1,151	1,148	1,145	1,146	1,139	1,136	1,133
13	1,130	1,127	1,124	1,121	1,118	1,115	1,112	1,109	1,106	1,104
14	1,101	1,098	1,095	1,093	1,090	1,088	1,085	1,082	1,080	1,077
15	1,074	1,071	1,068	1,066	1,063	1,061	1,058	1,055	1,053	1,050
16	1,048	1,045	1,043	1,040	1,038	1,036	1,033	1,031	1,028	1,026
17	1,024	1,021	1,019	1,016	1,014	1,012	1,009	1,007	1,004	1,002
18	1,000	0,998	0,996	0,993	0,991	0,989	0,987	0,985	0,982	0,980
19	0,978	0,976	0,974	0,971	0,969	0,967	0,965	0,963	0,960	0,958
20	0,956	0,954	0,952	0,950	0,948	0,946	0,944	0,942	0,940	0,938
21	0,936	0,934	0,932	0,930	0,928	0,926	0,924	0,922	0,920	0,918
22	0,916	0,914	0,912	0,910	0,908	0,906	0,904	0,902	0,900	0,899
23	0,897	0,895	0,893	0,892	0,890	0,888	0,886	0,885	0,883	0,881
24	0,879	0,877	0,876	0,874	0,872	0,870	0,868	0,867	0,865	0,863

Taulukko 3. Elektrolyyttisen johtokyvyn arvojen korjauskertoimet eri lämpötiloissa (18,0° = 1,000). Taulukon käyttö tekstissä.

Yleismittauslaite.

Laajemmissa tutkimuksissa on tärkeätä, että kartoitusvaiheen lukemattomat määritykset voidaan suorittaa nopeasti ja samalla tarkoin. Työskentely tavanomaisesti käytetyin menetelmin tuottaa silloin usein voittamattomia vaikeuksia. Näiden vaikeuksien voittamiseksi on Ryhänen suunnitellut mittauslaitekombinaation, jolla voidaan tehdä lämpötilahavainnot, hapen määritys sekä elektrolyyttisen johtokyvyn ja ns. hapetus-pelkistyspotentiaalin

Kuva 23. *Yleismittauslaitteen uppoelektrodisto hapen, lämpötilan, johtokyvyn ja hapetuspelkistysasteen mittaamista varten.* (Malli: Sormunen ja Ryhänen.)

mittaus suoraan vedestä näytettä ottamatta. Kuvassa 23 on esitetty mittauslaitteen uppoelektrodisto. Laite on vielä osittain kehitysvaiheessa. Ilmeistä kuitenkin on, että lähitulevaisuudessa tulee olemaan saatavissa malleja, jotka soveltuvat hyvin käytettäviksi myös tavallisen kenttämiehen tutkimuksissa.

Jos on tarkoitus suorittaa tutkimuksia laajemmalla yhtenäisellä alueella, on aina syytä kääntyä alan asiantuntijoiden puoleen, sillä tutkimuksen tarkoituksesta riippuen voidaan jo nyt esittää sopivia ja nopeita menetelmäkombinaatioita perushavaintojen suorittamiseksi. Tämä on välttämätöntä varsinkin likaantumistapausten tutkimisessa, jossa monet erikoishavainnot (plankton- ja pohjaeläintutkimukset, vesikemialliset erikoismääritykset ja veden bakteerien tutkiminen) ovat niin suuritöisiä, että näytteet on osattava ottaa tarkoin oikeista kohdista. Tämä taas edellyttää tarkkaa kartoitusta sekä vaakasuorassa että pystysuorassa suunnassa. Liian pienen kartoitusaineiston perusteella tehtyjen erikoishavaintojen antamien tulosten yhdistäminen ja niiden yleistäminen koko tutkittavaa vesialuetta kuvaavaksi on erittäin uskallettua.

Yleismittauslaite, jota Vanajaveden ja Kokemäenjoen likaantumistutkimuksissa v. 1952—57 jo osittain käytettiin, on yhdistelmä, jossa lämpötilamittaukset tehdään käyttäen elektristä vastuslämpömittaria, happianalyysit yksinkertaisella polarografilla sekä johtokyvyn ja hapetus-pelkistyspotentiaalin mittaukset tavanomaisilla mittausperiaatteilla. Laitetta voidaan lisäksi käyttää useiden muiden vesikemiallisten määritysten suorittamiseen, jolloin määritys on tehtävä vesinäytteestä. Eräissä tapauksissa laitteella voidaan määrittää veden puhtausaste suoraan uppoelektrodia käyttäen (polarografinen adsorptioanalyysi).

Reagenssit ja mittaliuokset.

Reagenssi 1. Bromiliuos. Valmistetaan liuottamalla 3 g kaliumbromaattia ($KBrO_3$), 20 g natriumbromidia (NaBr) ja 25 ml 25 %:sta suolahappoa (HCl) tislattuun veteen 100 ml:ksi. Valmistus vetokaapissa tai ulkona.

Reagenssi 2. Byretin «hanarasva».

Saatavana useita eri laatuja. Silikonivalmisteet parhaita. Ostetaan valmiina.

Reagenssi 3. Väkevä suolahappo.

Reagenssi 4. Laimennettu rikkihappo. Puhdas («pro analysi») rikkihappo laimennetaan tislatulla vedellä (1 osa happoa ja 3 osaa vettä). Laimennettaessa kaadettava rikkihappo veteen, eikä päinvastoin. Laimennukseen käytetyn astian tulee olla lämmönkestävää lasia.

Reagenssi 5. Tislattu vesi.

Reagenssi 6 a. 0,1-normaalinen kaliumpermanganaattiliuos. Valmistetaan liuottamalla 3,16 g kaliumpermanganaattia ($KMnO_4$) litraksi tislattuun veteen. Värillinen säiliöpullo!

Reagenssi 6 b. 0,01-normaalinen kaliumpermanganaattiliuos. Valmistetaan laimentamalla 100 ml edellistä (reag. 6 a) tislatulla vedellä litraksi. Värillinen säiliöpullo!

Reagenssi 7 a. 0,1-normaalinen oksaalihappoliuos. Valmistetaan liuottamalla puhtainta («pro analysi«!) oksaalihappoa 6,30 g ja 20 ml 25 %:ista rikkihappoa litraksi tislattuun veteen. Värillinen säiliöpullo!

Reagenssi 7 b. 0,01-normaalinen oksaalihappoliuos. Valmistetaan laimentamalla 100 ml edellistä (reag. 7 a) tislatulla vedellä litraksi. Värillinen säiliöpullo!

Reagenssi 8. 33 %:nen natriumhydroksidiliuos 33 g kiinteää NaOH liuotetaan 100 ml:ksi tislattuun veteen.

Reagenssi 9. Natriumsalisylaattiliuos. Valmistetaan liuottamalla 10 g salisyylihappoa [$(C_6H_4)OH.COOH$] ja 20 ml 15 %:sta puhtainta natriumhydroksidiliuosta 100 ml:ksi tislattuun veteen.

Reagenssi 10. Manganokloridiliuos. Liuotetaan 50 g puhtainta, kiteistä manganokloridia ($MnCl_2.4H_20$) 100 ml:aan tislattua vettä. On tärkeää, että käytetty manganokloridi ei sisällä rautaa!

Reagenssi 11. Natriumhydroksidipitoinen kaliumjodidi. 50 g puhtainta, nitriittivapaata natriumhydroksidia (NaOH) liuotetaan 100 ml:aan tislattua vettä ja lisätään tähän vielä 30 g puhtainta kaliumjodidia (KJ).

Reagenssi 12. Väkevä, siirappimainen fosforihappo (85 %:nen).

Reagenssi 13 a. 0,1-normaalinen natriumtiosulfaattiliuos. Valmistetaan liuottamalla 24,83 g kiteistä natriumtiosulfaattia ($Na_2S_2O_3.5H_20$) tislattuun veteen litraksi. Värillinen pullo.

Reagenssi 13 b. 0,01-normaalinen natriumtiosulfaattiliuos. Valmistetaan laimentamalla 100 ml edellistä (reag. 13 a) tislatulla vedellä litraksi. Värillinen säiliöpullo.

Reagenssi 14. Tärkkelysliuos. Valmistetaan liuottamalla n. 0,5 g liukenevaa tärkkelystä 100 ml:aan kuumaa (90°) vettä. Tärkkelys on paras sekoittaa ensin pieneen määrään kylmää vettä. Säilyvyyden parantamiseksi voidaan liuokseen lisätä 0,1 g bentsoehappoa.

VÄLINEISTÖ.

		Vähimämismäärä kpl
Vedennoutaja	n. 21 000: —	1
Valkolevy	50: —	1
Lämpömittari	1 000: —	1
Happinäytepullo	91: —	5
100 ml vesinäytepullo (maitonäytepullo)	29: —	5
0,5 ml mittapipetti	75: —	5
1,0 « « (asteikollinen)	70: —	1
5,0 « « (asteikollinen)	80: —	1
25,0 byretti	620: —	2
300 ml kartiopullo	120: —	5
100 ml mittapullo	490: —	1
1000 ml mittapullo	970: —	1
100 ml säiliöpullo	160: —	n. 10
1000 ml «	380: —	n. 5
Nesteiden ominaisvastusmittaussilta GM 4249	38 950: —	
Nesteiden ominaisvastusmittauskenno GM 4221	4 050: —	

Luettelossa on mainittu tärkeimpien välineiden kappalehinnat (1957).

SISÄLLYSLUETTELO.

I. Johdanto 5

II. Kentällä tehtävät havainnot ja näytteiden ottaminen 39

1. Syvyyssuhteiden merkitys ja luotaus 39
2. Havaintopisteet ja -aika 43
3. Lämpötilan mittaaminen 50
4. Näkösyvyyden ja veden värin määrittäminen 58
5. Näytteiden ottaminen laboratoriossa suoritettavia määrityksiä varten 63

III. Määritykset 76

1. Välineistö 76
2. $KMnO_4$-kulutuksen määritys 83
3. Hapen määritys 89
4. Veden elektrolyyttisen johtokyvyn mittaaminen 91

Yleismittauslaite 95

Reagenssit ja mittaliuokset 97

Välineistöluettelo 99

0,5 Mang
0,5 Kol
Sek
1,0 fosf
Sek
80 ml.
Tärkle
Natr. tiosulf.