

YMPÄRISTÖOPAS | 2008

Vesistötietoa näytteenottajille

Ilppo Kettunen, Ari Mäkelä ja Pertti Heinonen



Suomen ympäristökeskus | EDITA

YMPÄRISTÖOPAS | 2008

Vesistötietoa näyttäjille

Ilppo Kettunen, Ari Mäkelä ja Pertti Heinonen

Helsinki 2008

Suomen ympäristökeskus | EDITA



YMPÄRISTÖOPAS | 2008
Suomen ympäristökeskus

Taitto: Oy Graaf Ab/Jani Osolanus
Graafisten kuvien toteutus: Oy Graaf Ab/Jani Osolanus

Kansikuva: Kasvi- ja eläinplanktonin määrän ja lajistorakenteen näytteet ovat keskeisiä vesistöjen ekologisen tilan ja kehityssuunnan määrittämisessä. SYKEkuva/Erno Forsström

Julkaisu on saatavana myös internetistä:
www.ymparisto.fi/julkaisut

Edita Prima Oy, Helsinki 2009

ISBN 978-951-37-5448-8 (nid.)
ISBN 978-952-11-3238-4 (PDF)
ISSN 1238-8602 (pain.)
ISSN 1796-167X (verkkokj.)



ESIPUHE

Tämä kenttäopas antaa yleiskuvan vesistötutkimusten näytteenotosta sekä yksityiskohtaista käytännön tietoa nykyisistä näytteenottomenetelmistä ja niiden soveltamisesta. Opasta voidaan käyttää oppimateriaalina erilaisissa ympäristönäytteenottoon liittyvissä koulutustilaisuuksissa. Erityisesti se on tarkoitettu niille, jotka joutuvat omassa työssään jatkuvasti ylläpitämään näytteenottotaitojaan tai valmistautuvat hankkimaan tai uusimaan ympäristönäytteenottajan henkilösertifikaatin vesi- ja vesistönäytteenoton erikoistumisalalta.

Oppaan kirjoittajat ovat pitkän linjan vesistötutkijoita, limnologeja, jotka ovat aktiivisesti osallistuneet vesi- ja vesistötutkimuksen eri tehtäviin. He ovat myös toimineet käytännössä näytteenottajina.

- **Ilppo Kettunen** toimi noin 40 vuoden ajan Kaakkois-Suomen ja Etelä-Savon ympäristökeskuksissa mm. tutkimuksen toimialapäällikkönä. Hän oli mukana jo 1960-luvulla suunnittelemassa valtakunnallisten ja alueellisten vesistöseurantojen ohjelmia ja käytännössä myös osallistui ja ohjasi vesistötutkimuksen ja -seurantojen näytteenottoa. Hänellä oli pitkään keskeinen rooli erityisesti ympäristöhallinnon kenttähenkilökunnan jatkokoulutuksessa. Kettunen on kehittänyt merkittävästi näytteenottokalustoa käytännöllisemmäksi.
- **Ari Mäkelä** on toiminut Helsingin vesilaitoksella, Helsingin vesipiirissä (nyk. Uudenmaan ympäristökeskus), Ilmatieteen laitoksella ja Suomen ympäristökeskuksessa noin 25 vuoden ajan erilaisissa tutkimus- ja seurantatehtävissä. Hänen erikoisalansa on näytteenoton laadunvarmistus. Hän on osallistunut vesistönäytteenoton laadunvarmistuksen kehittämiseen kansainvälisen näytteenoton laadunvarmistusstandardoinnin ja nykyisen henkilösertifiointijärjestelmän kehittäneen työryhmän valmistelutyöhön yhteensä noin viiden vuoden ajan. Näytteenoton ja laboratoriotoininnan kehittäminen on jatkunut Keski-Aasiassa vuosina 1998–2006 kolmessa perättäisessä ympäristöseurannan kehityshankkeessa, joissa näytteenottokohteina ovat olleet entisen Neuvostoliiton merkittävät kaivos- ja uraanjalostuslaitosten saastuttamat pinta- ja pohjavesialueet, voimakkaasti virtaavat suurjoet ja maailman neljänneksi syvin järvi Issyk-Kul.
- **Pertti Heinonen** on toiminut erilaisissa vesistötutkimuksiin liittyvissä tehtävissä vuodesta 1962 alkaen mm. Saimaan vesiensuojeluyhdistyksessä ja Suomen ympäristökeskuksessa. Näytteenottoon ja vesistöseurantaan liittyvään koulutustoimintaan hän on osallistunut aktiivisesti vuodesta 1964 alkaen. Lisäksi hän on osallistunut vesistönäytteenoton laadunvarmistuksen kehittämiseen ja toiminut mm. ympäristönäytteenoton pätevyystodistuksia myöntävän sertifiointielimen ensimmäisenä puheenjohtajana 1998–2003. Heinonen on toiminut OECD:n, EU:n ja ECE:n vesistöseurantoja kehittämissä työryhmissä vuosina 1973–2006 ja eräissä vesistöseurantojen kehityshankkeissa mm. Venäjällä, Virossa ja Bosnia-Herzegovinassa.

Opasta valmistellessamme monet työtoverimme ovat aktiivisesti avustaneet meitä eri tavoin. Tästä haluamme heille kaikille esittää parhaat kiitoksemme. Erityisesti kiitämme pitkään ympäristötutkimuksessa ja -seurannassa toiminutta ja monin eri tavoin kenttätöskentelyyn ja näytteenottotekniikkaan perehtynyttä erikoistutkija **Olavi Sandmania** Etelä-Savon ympäristökeskuksesta. Hän on valmistellut kokonaan luvun 24 (Sedimenttinäytteet) ja antanut arvokkaita neuvoja ja tietoja oppaan muidenkin lukujen kirjoittamiseen.

Luvun 25 (Uimavesitutkimukset) tekstin ovat valmistelleet ylitarkastaja **Jari Keinänen** sosiaali- ja terveysministeriöstä ja erikoissuunnittelija **Outi Zacheus** Kansanterveyslaitoksesta. Myös heille osoitamme parhaat kiitoksemme.

Arvokkaita neuvoja oppaan rakenteesta ja monista yksityiskohdista olemme saaneet osastopäällikkö **Kari Kilpiseltä** Kalatalouden Keskusliitosta. Ylitarkastaja **Karri Eloheimo** ympäristöministeriöstä sekä vanhempi tutkija **Olli-Pekka Pietiläinen** ja erikoistutkija **Marko Järvinen** Suomen ympäristökeskuksesta ovat meitä avustaneet monilla hyvillä asiantuntevilla neuvoillaan ja kommentteillaan.

Opas on jaettu kahteen pääosaan, joista ensimmäinen antaa yleiskuvan Suomen vesivaroista sekä niiden hydrologiasta ja limnologiasta. Oppaan toisessa pääluvussa annetaan runko tavanomaisessa vesistötutkimuksessa tarvittavaan kenttätöskentelyyn.

Opas esittää vesistönäytteenottoa koskevia yleisiä neuvoja ja ratkaisuja sekä käsittelee erityisesti kokemusperäisesti opittuja sovelluksia ongelmakohtiin, joihin kätkeytyy näytteenotossa eniten virhemahdollisuuksia.

Opas esittelee monet tärkeät vesistötutkimuksen osa-alueet varsin lyhyesti. Niiden kohdalla on kuitenkin aina pyritty antamaan viite siitä, mistä yksityiskohtaisempaa tietoa ja neuvoja on löydettävissä.

Toivomme, että laatimamme opaskirja omalta osaltaan parantaa ympäristönäytteenotossa erilaisissa tehtävissä toimivien henkilöiden ammatillisia mahdollisuuksia toteuttaa tärkeää tehtäväänsä luotettavan ympäristötiedon tuottajina.

SISÄLLYS

Esipuhe	3
----------------------	---

YLEISTIETOA VESISTÖISTÄ JA NIIDEN TUTKIMISESTA

1 Vesitutkimuksen historiaa	9
2 Vesistöjen erityispiirteet	11
Järvet.....	11
Joet.....	14
3 Järven lämpötila	17
Kevättäyskierto	17
Syystäyskierto	19
Talvikerrostuneisuus	19
4 Järven kaasutalous	20
5 Järven ravinnetalous	24
6 Rehevöityminen	26
7 Järven plankton	29

KENTTÄTUTKIMUKSEN OPAS

8 Yleistiedon hankinta	37
9 Näytteenoton ohjelmointi ja ennakkovalmistelut	41
10 Kenttätyöskentelystä	43
11 Järvinäytteenotto	45
Vesinäytteenoton yleisohjeet	45
Erityisohjeita ja muuta huomioon otettavaa	46
Näkösyyvyys.....	47
Kenttämuistion täyttäminen	48
12 Järvitutkimuksen tärkeät määritykset	49

I3 Jokinäytteenotto	50
Näytteenoton erityispiirteitä	50
Näytteenotto sillalta tai laiturilta	50
I4 Jokitutkimuksen tärkeät määritykset	52
I5 Rannikkovesinäytteenotto	53
I6 Rannikkovesien tärkeät määritykset	54
I7 Näytteenoton ja näytteiden dokumentointi	55
I8 Kentältä laboratorioon	56
I9 Kasviplanktonnäytteet	57
20 Pohjaeläinnäytteet	59
21 Päällyskasvustonnäytteet	61
22 Vesikasvitutkimukset	63
23 Kalatutkimukset	64
24 Sedimenttinäytteet	65
Näytteenottolaitteet.....	65
Limnos-sedimenttitiön.....	67
Näytteiden säilytys.....	68
Virhelähteet.....	68
25 Uimavesitutkimukset	69
26 Yhteenveto näytteenoton periaatteista ja virhemahdollisuuksista	71
Lisätietoa	73
Kirjallisuutta	
Työsuojeluoppaita	
Hyödyllisiä linkkejä	
Liitteet	74
Liite 1. Valmiit vesitutkimuksen standardit	
Liite 2. Valmisteilla olevat vesitutkimuksen CEN-standardit	
Kuvailulehti	76
Presentationsblad	77
Documentation page	78

YLEISTIETOA VESISTÖISTÄ JA NIIDEN TUTKIMISESTA



1 Vesitutkimuksen historiaa

Vanhimmat vesistötutkimukset Suomessa ajoittuvat 1800-luvun puoliväliin, jolloin hydrologiset tutkimukset ja seurannat aloitettiin. Ensimmäisenä vesistötutkimuksena pidetään järvien veden korkeuden seurannan aloittamista Saimaalla, Lauritsalan asteikolla vuonna 1847. Hydrologinen seuranta kehittyi ja laajeni 1900-luvun alkupuolelle tultaessa selvästi. Vuoden 1899 suurtulvan jälkeisen selvittelyn tuloksena perustettiin 1908 Hydrografinen toimisto jatkuvan ja käyttökelpoisen hydrologisen tiedon tuottamiseksi.

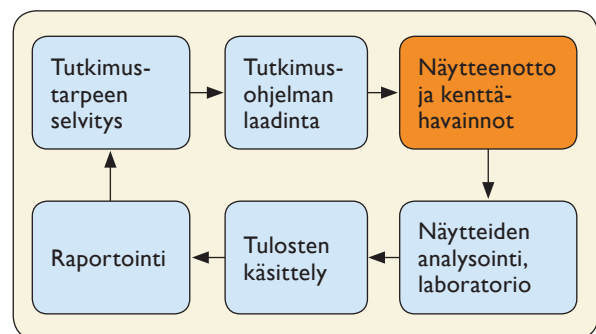
Varhaisimmat vesistöjen tilaa tai niiden eliöyhteisöjä kuvaileet tutkimukset tehtiin 1800-luvun viimeisinä vuosina. Nämä ja vielä 1900-luvun alkupuoliskonkin tutkimukset toteutettiin lähes yksinomaan yliopistoissa, ja tutkijat ottivat itse kaikki näytteet. Hitaasti alkanut tutkimustoiminta organisoitui vähitellen, ja voimakkaasti lisääntyvä vesistöjen likaantuminen sai liikkeelle yhä useampia tutkimushankkeita. Merkittävä muutos tapahtui vasta sotien jälkeen, kun 1950-luvulla herättiin vesien kiihtyvään likaantumiseen.

Vesi- ja vesistötutkimukset lisääntyivät huomattavasti 1960-luvulta alkaen. Samaan aikaan elinkeinoelämä elpyi ja monipuolistui voimakkaasti. Uusi vesilainsäädäntö tutkimus- ja seurantavelvoitteineen tuli voimaan 1.4.1962. Vesien suojeleviranomaiset, maataloushallituksen vesien suojelelutoimisto ja maanviljelysinsinööripiirit aloittivat omat vesitutkimuksensa ja ensimmäiset vesistöjen laatua selvittävät seurannat aloitettiin. Myös ”likaajat” toteuttivat 1960-luvulla vesilain

velvoittamina erilaiset lupahakemuksiin liittyvät tutkimuksensa ja aloittivat vesioikeuksien myöntämien lupien määrääminä niin jätevesien kuin vesistöjenkin velvoitetarkkailut.

Kuluneiden kymmenien vuosien aikana näytteenottomenetelmät ja käytännöt ovat vähitellen kehittyneet ja näytteenoton luotettavuus on lisääntynyt erityisesti näytteenottajien ammattitaidon parantuessa. EU:n vesiin liittyvien direktiivien laajojen seurantavelvoitteiden pakollisuus ja seurantatulosten suuri taloudellinen merkitys ovat lisänneet edelleen vaatimuksia näytteenoton yhdenmukaistamisesta ja laadullisen tason kohottamisesta. Tämä on johtanut vähitellen kansainvälisten näytteenottostandardien luomiseen. Näytteenoton onnistumisen ratkaisee viime kädessä kuitenkin näytteenottajan ammattitaito.

Näytteenotto on vesitutkimuksen ja vesistöseurannan keskeinen osa (kuva 1). Tutkimus- tai



Kuva 1. Näytteenotto tutkimustoiminnan osana.

seurantaohjelmien suunnittelu alkaa määrittämällä tarkasti tutkimuksen tavoite. Ohjelmissa tulee näytteenottoaikat ja näytteenottoajankohdat esittää riittävällä tarkkuudella, jotta kenttätoiminta voidaan suunnitella ja toteuttaa.

Näytteistä tehdään ohjelman mukaiset kemialliset, fysikaaliset, biologiset ja mikrobiologiset määritykset laboratoriossa. Kuitenkin eräitä määrittämiä voidaan tehdä tai aloittaa niiden tekeminen

jo kentällä. Määritysten valmistuttua aloitetaan tulosten käsittely ja johtopäätösten teko. Ohjelman viimeinen vaihe on tulosten raportointi, jossa samalla arvioidaan, onko tutkimus- tai seurantaohjelma ollut riittävä, vai joudutaanko aineistoa täydentämään tai ohjelmia mahdollisesti muuttamaan. Kenttähavaintomuistiinpanot ovat tärkeä osa raportointia ja tulosten tulkintaa.



SYKEkuva

Hydrologista mittausta 1920-luvulla.

2 Vesistöjen erityispiirteet

Suomen vesivarat ovat luonteeltaan erilaisia. Pintavesimuodostumat, kuten EU:n vesipuitedirektiivi vuodelta 2000 vesien esiintymismuotoja nimittää, jaetaan järviin, jokiin, vaihettumisvyöhykkeisiin (joen laskukohtaan rajautuva lähialue meressä) ja rannikkovesiin.

Maamme pintavedet ovat vähäsuolaisia, humuspitoisia ja lievästi happamia. Vesivaramme ovat myös luontaisesti erittäin herkkiä ihmistoiminnoista johtuville muutoksille ja niiden aiheuttamille haitoille.

Järvet

Järvi on tyypillinen suomalainen vesimuodostuma. Järvien peitossa on noin 32 000 km² eli lähes 10 % maamme kokonaispinta-alasta. Erityisen paljon järviä on keski- ja itäosissa, missä ns. Järvi-Suomen alueella suuret järvet peittävät lähes puolet monien kuntien kokonaispinta-alasta.

Toisilla alueilla, kuten Inarin takaisessa Lapisissa, on runsaasti pieniä järviä ja lampia. Puhtaana säilyneillä järvillä on tällaisilla alueilla suuri taloudellinen merkitys niin kalastus- ja virkistyskäytön turvaajana kuin juomaveden ja muun käyttöveden lähteenä. Lisäksi järvillä on huomattava maisemallinen merkitys.

Järvien lukumäärän laskeminen on vaikea tehtävä, koska järven määritelmä ei ole yksiselitteinen. Yli 5 aarin järviä on maassamme noin 188 000. Kaikkiaan Euroopassa on noin sata yli 100 km²:n suurjärveä, joista peräti 47 sijaitsee Suomessa. Tyypillisimpiä Suomessa ovat pienet ja matalat lammet ja järvet. Järvien jakautuminen eri suuruusluokkiin on esitetty taulukossa 1.

Suurimmat järvemme ovat Saimaa, Inari ja Päijänne. Järvien pinta-alojen määrittäminen on

Taulukko 1. Suomen järvien jakautuminen eri kokoluokkiin (Raatikainen ja Kuusisto 1988).

Järvien kokoluokka km ²	Lukumäärä	Yhteinen pinta-ala km ²
> 1000	3	3 303
100–1000	44	10 825
10–100	279	7 227
1,0–10	2 283	5 703
0,1–1,0	13 114	3 934
0,01–0,1	40 309	1 330
0,0005–0,01	131 876	341



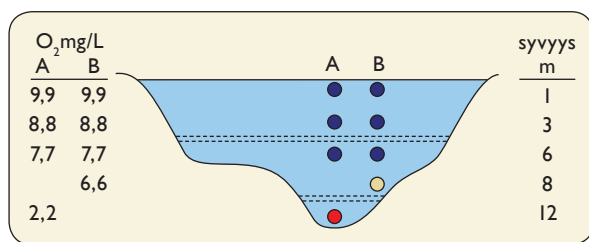
Anne Tarvainen

Pienet metsäjärvet ja lammet muodostavat lukumäärältään pääosan maamme järvistä. Saarijärvi Suomussalmella.

Taulukko 2. Maamme suurimmat (yli 200 km²) järvet. Tiedot perustuvat Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämään järvierekisteriin (10/2006 tiedot).

Nimi	Pinta-ala km ²	Suurin syvyys m
Saimaa	1 377	85,5
Inarijärvi (Ånarjärvri)	1 040	92,0
Päijänne	1 081	94,5
Pielinen	894	61,0
Oulujärvi	887	35,0
Haukivesi	560	55,0
Orivesi	601	74,0
Kallavesi	478	75,0
Keitele	493	66,0
Lokka*	216–417	12,0
Pyhäselkä	361	67,0
Pihlajavesi-Haapaselkä	713	72,0
Puula	331	69,0
Puruvesi	416	61,0
Höytiäinen	283	59,0
Kemijärvi**	130–285	24,0
Näsijärvi	257	61,0
Suvasvesi	234	90,0
Juojärvi	220	51,0
Porttipahta*	34–214	30,0
Yli-Kitka	237	41,2
Karjalan Pyhäjärvi	248 ***	27,0

* tekojärvi tai **voimakkaasti säännöstelty järvi, pinta-alat säännöstelyn alarajalla ja ylärajalla, *** Suomen puolella 207 km².



Kuva 2. Näytteenottoaikojen tarkkan sijainnin merkitys on suuri arvioitaessa järven happitilannetta. Liian matalaan siirtyneessä näytteenotossa alimman syvyyden antama kuva happipitoisuudesta on usein väärä. Jos näytteenottoaikoja A virtauksien tai tuulen vuoksi siirtyy kohtaan B, niin tuloksena on virheellinen kuva sekä syvyydestä että happipitoisuudesta. Näytteenotokohdalla pysyminen tulee tarkistaa rannoilta määritettyjen linjojen, satelliittipaikantimen ja/tai kaikuluotaimen avulla.

haastavaa varsinkin reittijärvissämme. Esimerkiksi Saimaan pinta-alat vaihtelevat 1000–4000 km²:in välillä riippuen siitä, onko erillisiä ja vain kapeiden salmien erottamia järven osia pidetty itsenäisinä järvinä vai suuremman järven osina.

Suurten järvien joukkoon mahtuu meillä myös kaksi tekojärveä, Kemijoen sivujokien Luiron ja Kitisen rakentamisen yhteydessä padotut Lokka ja Porttipahta. Ne vaikuttavat merkittävästi luonostaan vähäjärvisen Kemijoen vesistöalueen säännöstelymahdollisuuksiin ja vesivoiman tuottamiseen.

Luettelo maamme yli 200 km² suuruisista järvistä ja niiden suurimmista syvyyksistä on esitetty taulukossa 2.

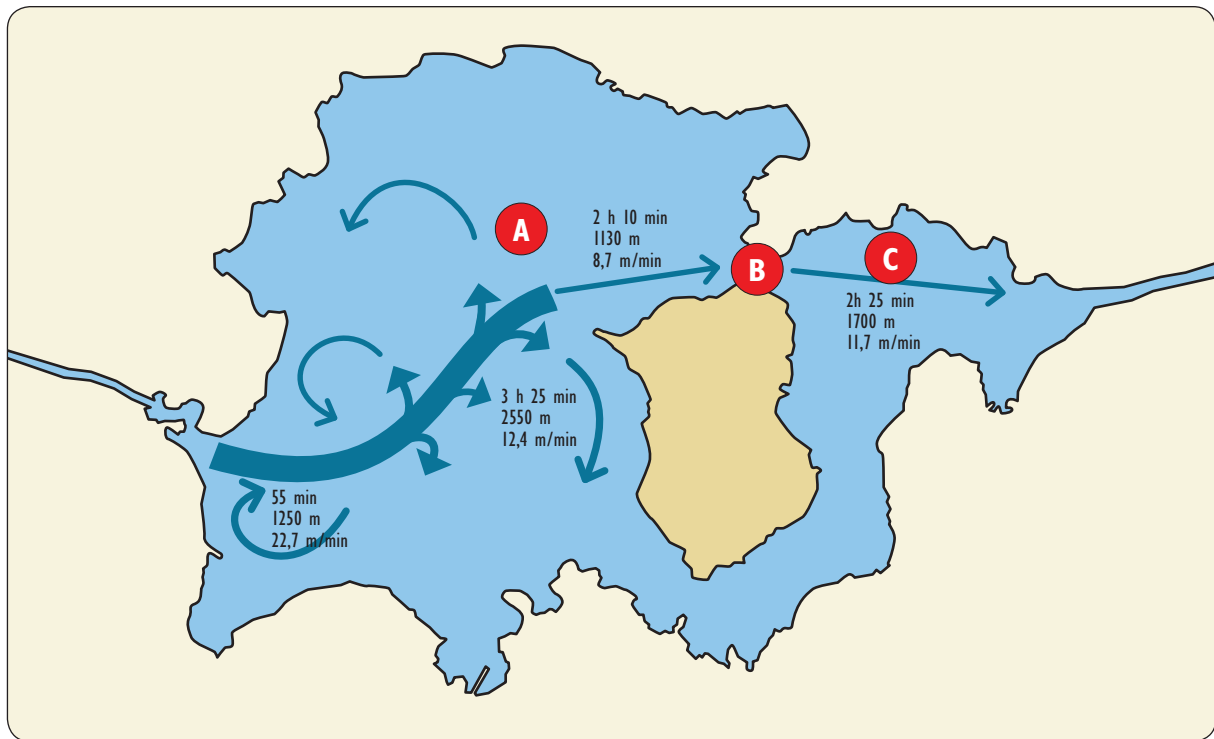
Syvyystiedot voivat hieman muuttua, kun järvien syvyyskarttoitus etenee ja tarkentuu. Suomen järvet ovat keskimäärin varsin matalia ja niiden keskisyvyys on arviolta vain noin seitsemän metriä (mediaanisyyvyys 5,4 m). Syvimmistäkään järvistämme (Saimaa, Inari ja Päijänne) ei löydy yli 100 metrin syvännettä. Vertailuna mainittakoon, että Laatokan syvin kohta on 228 metriä. Järviemme kokonaisuustilavuus on noin 235 km³, mikä on esimerkiksi alle 30 % Laatokan tilavuudesta ja vain noin prosentti maailman tilavimman järven Baikalin vesimäärästä.

Pieni vesitilavuus merkitsee, että vähäisenkin jätevesikuormitus voi huonontaa veden laatua. Toisaalta pienestä tilavuudesta johtuen veden viipymä järvissä on yleensä pieni, keskimäärin vain noin 1–2 vuotta, mitä voidaan pitää puhdistumisen kannalta hyvänä ominaisuutena.

Vaikka järvien vesi näyttäisi seisovan, sisäiset vaakasuorat (horisontaaliset) ja pystysuorat (vertikaaliset) virtaukset pitävät koko ajan veden liikkeessä. Virtausnopeudet ja niiden suunnat voivat vaihdella nopeasti. Vaihtelevuuteen vaikuttavat mm. sää ja sen vaihtelut, vuodenajat ja veden pinnan korkeuden muutokset. Lämpötilasta aiheutuvia virtauksia on selostettu laajemmin järvien lämpötiloutta käsittelevässä luvussa 3.

Vaihtelut ovat suurimpia ja nopeimpia monimuotoisissa, pienehköissä reittivesistöjen järvissä, joiden valuma-alue muodostuu useista ojitetuista pienvesistöistä. Vakaimmat virtausolot ovat hitaasti vaihtuvissa, tuulilta suojatuissa, pienissä järvissä.

Mitä suurempia ja vaihtelevampia virtaukset ovat, sitä suurempi on myös suhteellinen (ts.



Kuva 3. Järven sisäisten virtojen merkitys veden laatuun voi olla merkittävä. Näytteenottoaikat A ja C ovat hitaiden virtausten alueilla, joilla maalta tuleva valunta kuormituksineen

muuttaa veden laatua. Kohde B on kapea alue järven läpivirtauksen alueella, jossa veden virtaama voi olla pyörteistä ja laatu vaihdella huomattavastikin lyhyen ajan kuluessa.

havaintopaikan sisäinen) vedenlaadun vaihtelu näytteenottokohteessa. Veden laatu vaihtelee paitsi hetkellisesti syvyysuunnassa, myös ajallisesti jokaisessa näytteenottosyvyudessa. Tämän vuoksi näytteenottokerran näytesarjaa tai sarjan jotakin syvyyttä ei voi "paikata" uudella näytteenotolla esimerkiksi seuraavalla viikolla. Laadun vaihtelun merkittävyyteen vaikuttaa luonnollisesti edellä mainittu järven oma muutosherkkyys.

Veden laatu vaihtelee järven eri osissa jätevesien, kuivatusvesien tai erilaisilta alueilta purkautuvien jokivesien vuoksi. Näytteenotossa on huomattava havaintopaikan tarkan sijainnin merkitys (kuva 2) ja virtauksista johtuvat mahdolliset järvensisäiset jyrkät vedenlaatumuutokset (kuva 3).

Rantavyöhykkeen näytteenotossa on huomattava, että kasvusto ja alueelle purkautuvat pohjavedet voivat aiheuttaa suuriakin alueellisia laatueroja. Lisäksi paikallisia laatueroja aiheuttaa ojien ja pienten purojen tuoman veden poikkeava laatu.

Rantavyöhykkeen veden laatuun vaikuttavat myös aiemmin mainitut horisontaaliset virtaukset. Kovat tuulet työntävät ulappavesiä rantamatalaan, jolloin veden laatu muuttuu alueelle tyypillisestä laadusta. Tuulet painavat lämpimän pintakerroksen tuulen alapuoliselle rannalle, mutta yläpuolisella rannalla ne aiheuttavat kylmempien vesikerrosten kohoamista. Meren rannikolla nämä erot ovat vieläkin tuntuvampia.

Esimerkit osoittavat, että näytteenotossa kenttäpöytäkirjaan on erityisen huolellisesti kirjattava kaikki mahdolliset poikkeukselliset veden laatuun vaikuttavat tekijät. Näytteenottohetken muistiinpanot tarjoavat luotettavan lähtökohdan esimerkiksi tutkimustuloksista mahdollisesti myöhemmin löydettävien ristiriitaisuuksien selvittämiseen. Muistiinpanot on tehtävä heti, eikä vasta päivän päätyttyä laboratorioissa.



1 Juha Kauhanen

Joet

Maamme alueella virtaa vesiä yhteensä 74 vesistöalueella. Niiden koko vaihtelee pienistä rannikkoalueen lähes järvettömistä vesistöalueista aina laajoja alueita kattaviin, runsasjärvisiin suurvesistöihin. Samalla tavalla vaihtelevat vesistöalueiden laskujokien virtaamatkin (taulukko 3).

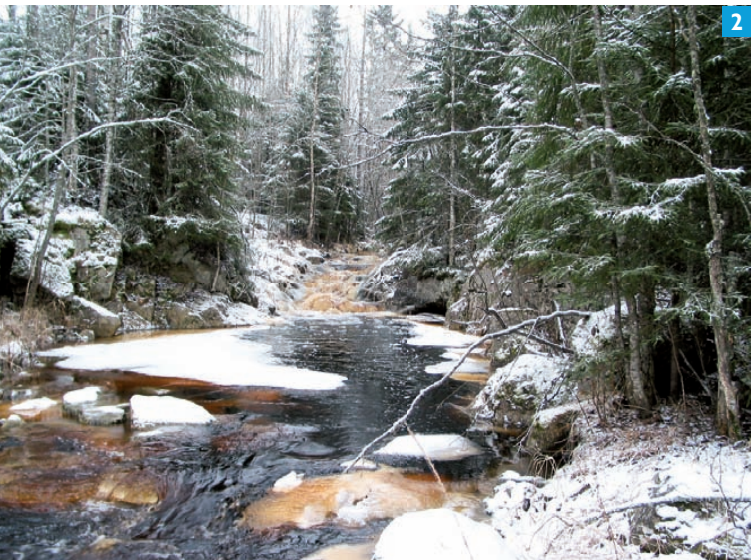
Joet ja vuolaat virrat poikkeavat luonteeltaan täysin järvistä. Joki kuljettaa vettä koko ajan alaspäin kohti merta ja veden pyörteisyys johtuu veden virtausnopeudesta ja sen kulloisestakin putouk korkeudesta. Pyörteisyys ja veden jatkuva vaihtuvuus antavat omat piirteensä myös näytteenotolle.

Näytteenottajan tulee muistaa, että virratessaan uomassaan jokivesi kuormittuu luonnontilaisilla-kin alueilla ja ilman ihmistoimintojen suoraa vaikutusta.

Alkulähteellään jokivesi voi olla täysin kirkasta pohjavettä tai ehkä lähteen ympärillä olevan suon humuksen tai maaperästä huuhtoutuvan raudan värjäämää. Jokeen laskee myös oja- ja purovesiä, joiden laatu vaihtelee. Uomassa virtaava vesi kuluttaa mekaanisesti uoman pohjaa. Näin syntyvä luontainen ainevirtaama suurenee virran voimakkuuden lisääntyessä. Myös joen kasvustot vaikuttavat osaltaan veden laatuun. Jokiveden laatu muuttuu niin mineraaliaineksen kuin orgaanisen kuormituksenkin osalta ylävirralta alavirtaan mentäessä.

Erityisesti jätevesipäästöt muuttavat nopeasti purkupaikan veden laatua ja vaikutusalueensa eliöstöä. Myös maa- ja metsätaloudesta aiheutuva hajakuormitus muuttaa joen tilaa. Muutettujen vesistöjen rakentaminen, joihin liittyy tavanomaisesti myös vesivoimalaitosten käyttö, on merkityksellinen tekijä arvioitaessa veden laadun ja eliöstön muuttumisen syitä.

Näytteenoton periaate voidaan tiivistää yhdeksi lauseeksi: Ota aina näytteet puhtaasta likaisempaan päin (kuva 4). Näin menetellen vähennät näytteenottimen likaantumisen mahdollisia vaikutuksia seuraavina otettaviin näytteisiin. Peri-



2 Anne Tarvainen



3 Tero Pajukallio

Erilaiset joet halkovat maisemaamme:

1. Vantaanjoen Ruutinkoski.
2. Vieremän Teerijoki.
3. Tornionjoki keväisen tulvan aikana.

Taulukko 3. Suomen suurimmat vesistöalueet (Ekholm 1992).

Vesistöalue	Pinta-ala km ²	Järvisyys %	Laskupaikka	Keskivirtaama m ³ /s (1961–1990)
Vuoksi	68 501	19,8	Laatokka	596 (Tainionkoski)
Kemijoki	51 127	4,3	Perämeri	553 (Isohaara)
Tornionjoki	40 131	4,6	Perämeri	387 (Karunki)
Kymijoki	37 159	18,3	Suomenlahti	300 (Anjala)
Kokemäenjoki	27 046	11,0	Selkämeri	231 (Harjavalta)
Oulujoki	22 841	11,5	Perämeri	259 (Merikoski)
Teno	14 891	3,1	Jäämeri	177 (Alaköngäs)
Paatsjoki	14 512	12,4	Jäämeri	153 (Kaitakoski)
Iijoki	14 191	5,7	Perämeri	181 (Raasakka)

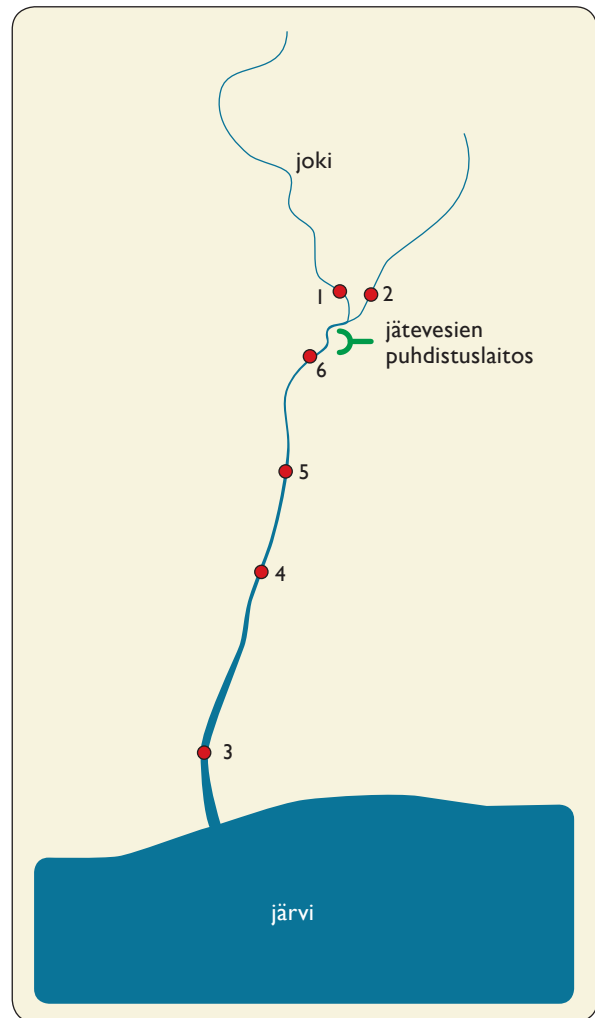
aate on erityisen tärkeä jokivesien näytteenotossa. Kuormittamattomassa jokivesistössä näytteet otetaan latvoilta alavirtaan päin. Jos jokeen tulee kuormittavia purkuvesiä, on näytteet otettava ensiksi latvoilta kuormitettuun kohtaan saakka, ja sen jälkeen näytteenottoa on jatkettava alavirralla vastavirtaan purkukohtaa kohti.

Suurten jokireittien näytteenotto on harkittava tapauskohtaisesti pitäen pääsääntönä puhtaasta likaisempaan päin -periaatetta.

Suuret joet ja vuolaat vesireitit eroavat huomattavasti pienemmistä virtavesistä. Yleensä vuolaalla vesireitillä virtaa suurehkoja vesimääriä. Paikoitellen virtaus on hitaampaa, ja joesta muodostuu virtaavien paikkojen, suvantojen ja jopa lämpötilaltaan kerrostuvien välijärvien kokonaisuus. Näytteenoton kannalta kokonaisuus koostuu joista ja järvistä. Vesinäytteillä tulee kuitenkin saada kuva koko suuren kokonaisuuden tilasta ja muutoksista. Tiedonhankinta nopeasti vaihtuvista vesimassoista asettaa näytteenotolle erityisiä vaatimuksia. Erilaiset ratkaisumallit tulee pohtia jo etukäteen.

Työskentelyn laadullisen tason varmistamiseksi on tärkeätä, että näytteenottaja tietää tutkimuksen tarkoituksen ja varsinkin näytteenottoon liittyvät keskeiset ongelmakohdat. Näitä voivat olla mm.:

- alueelle purkautuu kuormitusta useista erilaisista lähteistä (yhdyskuntajätevedet, teollisuusviemärit, tulvaojat pelloilta jne.)
- kuormittavien vesien laatu poikkeaa joen peruslaadusta (erittäin ravinnerikkaat jätevedet puhdistamoilta, happamat päästöt teollisuudesta jne.)
- mahdollinen sisäinen kuormitus syvissä joen suvannoissa ja varsinkin järvioltaissa,



Kuva 4. Näytteenottojärjestys tutkittaessa kuormitettua jokea. Näytteenotto aloitetaan puhtailta havaintopaikoilta (1 ja 2) luotettavan vertailun saamiseksi, sitten siirrytään ottamaan näytteet joen kuormitetulta alueelta. Ensin näytteet otetaan oletettavasti puhtaimmista havaintopaikoilta (3 ja 4) ja viimeisenä likaisimmista paikoilta (5 ja 6).

joissa voivat vaikuttaa mm. aikaisemmat teollisuuspäästöt

- veden korkeuden ja virtaaman suuret (vuorokautisetkin) vaihtelut säännöstellyissä vesistöissä
- näytteenottoa haittaavat ulkoiset tekijät, kuten virran vuolaus, kosket ja heikot jäät
- näytteenottoa vaikeuttavat rakenteet, kuten rakennetut penkereet ja puomit
- muut poikkeukselliset virtaukset uomassa.

Sillat ja laiturit ovat hyviä näytteenottoa palvelevia rakenteita. Näytteitä otettaessa tulee kuitenkin ottaa huomioon:

- rakenteissa olevan likaisuuden tuoma kontaminaatiovaara (kura, maantiesuola, kyllästysaineet)
- näytteenoton vaikeudet, kuten näytteenotussyvyyden arviointi
- työturvallisuustekijät.

Silta, laituri tai muu kiinteä rakenne ei kuitenkaan saa houkutella ottamaan näytteitä edustavamman näytteenottokohdan sijaan.

Näytteenotto sekoittumisalueilla vaatii tapauskohtaista arviota. Alueen keskimääräistä (edustavaa) laatua kuvaavien näytteiden otto saattaa olla jopa mahdotonta. Sekoittumisalueita ovat esimerkiksi suurten jokien purkualueet meressä sekä viemäreiden ja kuivatusvesien purkukohteen joet ja järvet. Näissä tapauksissa korostuu edelleen tarkan näytteenottopöytäkirjan pitäminen mm. silmävaraisista sekoittumishavainnoista.

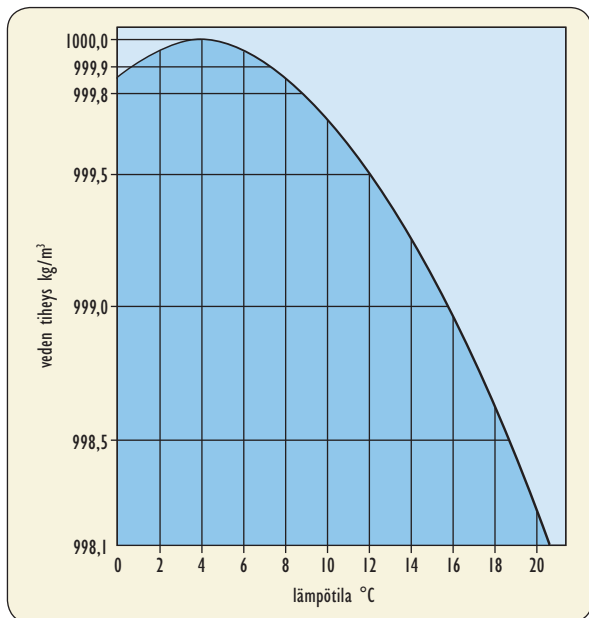
Merialueelle leviävä vähäsuolainen, mutta hyvin kiintoainespitoinen jokivesi ulottuu erittäin tarkkarajaisena, pyörteisenä virtausalueena useita kilometrejä merialueelle päällysveteen. Tuulet ja merivirrat muokkaavat leviämisalueen kokoa ja muotoa. Tällaisen purkualueen näytteenotto edellyttää kohteen tarkkaa havainnointia ja kirjaamista kenttäpöytäkirjaan.

Kaivannoissa, ojissa ja keinotekoisissa uomissa on vaikeutena näytteenotossa vesimäärän vähäisyys ja pohjasedimentin läheisyys näytteenottiin. Näytteet otetaan suoraan näyteastioihin, tai käytetään tähän tarkoitukseen kehitettyjä erityisiä apuvälineitä.

3 Järven lämpötalous

Seuraavissa luvuissa käydään läpi keskeisimmät järvitutkimuksen kohteet, jotka ovat toisiinsa keskinäisessä kytkennässä: järven lämpötalous, kaasutalous ja ravinnetalous. Lisäksi käsitellään vesistöjen rehevöitymistä ja eliötoimintaa lyhyesti.

Tärkein vesistöjen lämmönlähde on niihin suoraan kohdistuva auringon säteily. Vähäisemmässä määrin vesistön lämpötilaa kohottaa maasta ja ilmasta purkautuva lämpöenergia; esimerkiksi järven pohjaan purkautuva lähde nostaa talvella järviveden lämpötilaa. Lämpöä vähentäviä tekijöitä ovat poissäteily, haihtuminen ja lämmön johtuminen ilmaan ja maahan. Vesistöjen läpivirtaukset ovat myös merkittäviä lämmön vähentäjiä varsinkin kesäaikana.



Kuva 5. Puhtaan nestemäisen veden tiheyden riippuvuus lämpötilasta.

Järven lämpötaloudessa voidaan erottaa neljä vaihetta, jotka seuraavat vuodenaikojen rytmiä. Ennen kuin näitä tarkastellaan yksityiskohtaisemmin, on syytä esitellä eräs tärkeä veden ominaisuus ja samalla omalaatuisuus: nestemäisen veden tiheyden riippuvuus lämpötilasta (kuva 5).

Vesi esiintyy luonnossa kolmessa eri olomuodossa: kaasumaisena (vesihöyry), nestemäisenä (vesi) ja kiinteänä (jää). Olomuodon ratkaisee kulloinkin vallitseva ilman lämpötila ja ilmanpaine. Yleensä aineiden tiheys kasvaa siirryttäessä kaasumaisesta olomuodosta nesteen kautta kiinteään olomuotoon. Vesi on tässä suhteessa poikkeus.

Veden jäähtyessä sen tiheys kasvaa ja maksimitiheys ($1\,000\text{ kg/m}^3$) saavutetaan jo $+4\text{ °C}$ lämpötilassa. Kun veden jäähtyminen jatkuu $+4\text{ °C}$ alapuolelle, tiheys alkaa hitaasti vähentyä, toisin sanoen tilavuus kasvaa. Vesi jäätyessään laajenee noin 9 %:lla ja jään tiheys 0 °C lämpötilassa on n. 917 kg/m^3 .

Lämpötilayksikköä vastaava tiheysero on neljän asteen lähettyvillä vähäinen, mutta suurenee lämpötilan kasvaessa. Veden tiheysmaksimin poikkeuksellisuudella on hyvin suuri merkitys vesistöjen lämpötiloille ja siten myös niiden biologialle.

Kevättäyskierto

Jonkin aikaa jäidenlähden jälkeen koko vesipatsas on pinnalta pohjaan asti jokseenkin tasalämpöistä. Heikkokin tuuli pystyy sekoittamaan vesimassaa ja saa sen kiertämään aina pohjaa myöten. Tätä järven tilaa nimitetään kevättäyskierroksi.

Keväinen täyskierto tapahtuu suurissa järvissä jo jään alla. Se alkaa viimeistään silloin, kun koko vesimassa on lämmitettyä saavuttanut $+4\text{ °C}$:n lämpötilan, jolloin vesi on siis ominaispainoltaan



Esko Kuusisto

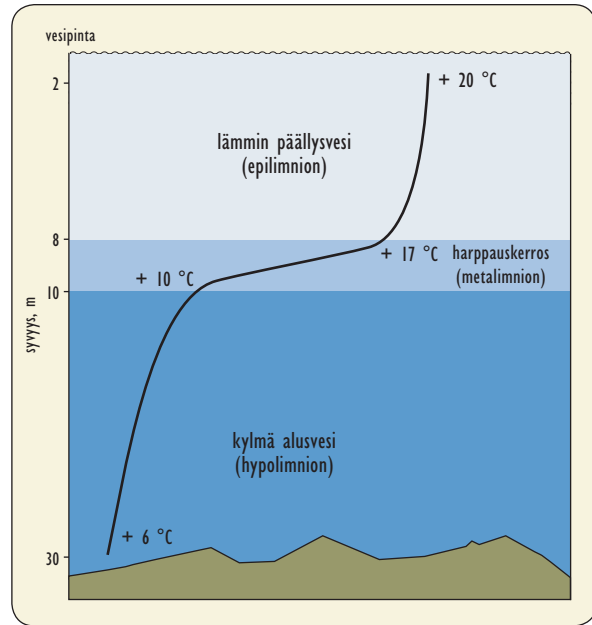
Jäidenlähtö on aina merkittävä tapahtuma vesistöissä. Pitkän talven jälkeen vedet sekoittuvat tehokkaasti ja erityisesti happitilanne paranee.



Juha Kauhanen

Syysmyrskyt kierrättävät ja ilmastavat koko vesimassan tehokkaasti.

raskainta. Tämän jälkeen auringon säteily lämmitää eniten vesipatsaan yläosaa ja saa siellä aikaan veden tiheyden pienenemisen. Lämmennyt vesi pyrkii tästä syystä kerrostumaan syvällä olevan kylmemmän ja siis raskaamman veden päälle. Lähellä +4 °C:n lämpötilaa yhtä astetta vastaava tiheysero on kuitenkin varsin pieni, ja tästä syystä



Kuva 6. Esimerkki tavanomaisista veden lämpötiloista järven eri vesisyvyyksissä kesäkerrostuneisuuden aikana.

pienikin tuuli pitää helposti yllä täyskiertoa niin kauan, että syvälläkin olevat vesikerrokset ehtivät lämmetä.

Lämpötilan kohotessa yhtä astetta vastaava tiheysero kasvaa jyrkästi, ja lämpenevällä pintavedellä on yhä voimakkaampi pyrkimys asettua kerrokseksi kylmemmän syväveden päälle. Tyyneenä lämpimänä kautena vesipatsaan pintaosaan syntyykin helposti lämpimän veden kerros, jonka tiheys eroaa jo siinä määrin syvällä olevan kylmemmän veden tiheydestä, että täyskiertoa ei enää tapahdukaan.

Kesän myötä vesipatsaan yläosa lämpenee edelleen, ja pintakerroksen ja syväveden tiheysero kasvaa. Tiheysero on yleensä suurimmillaan keskikesällä. Silloin kylmin ja tihein vesi on lähinnä pohjaa ja lämpimin ja kevein vesi lähinnä pintaa. Tästä tilasta käytetään nimitystä kesäkerrostuneisuus.

Kesäkerrostuneisuuden vallitessa vesi on syvissä järvissä selvästi jakaantunut kolmeen eri kerrokseen (kuva 6). Ylinnä oleva suhteellisen tasalämpöinen, lämmin vesikerros on nimeltään päällysvesi (epilimnion). Tämän alla on vesikerros, jossa lämpötila syvyyden lisääntyessä jyrkästi laskee. Tämä on harppauskerros (metalimnion). Alinna on jälleen suhteellisen tasalämpöinen kylmä alusvesikerros (hypolimnion).

Matalat järvet ovat kokonaisuudessaan päällysvettä. Harppauskerros asettuu eri järvissä eri

syvyyteen riippuen mm. siitä, kuinka tuulet pääsevät vaikuttamaan. Suojaisissa harjulammissa ja myös suojaisissa humusjärvisissä harppauskerros voi löytyä jo 2–3 metrin syvyydestä, mutta aavoilla suurten järvien selillä se saattaa alkaa vasta 15 metrin syvyydessä.

Syystäskierto

Päällysvesi on koko kerrostuneisuuskauden ajan tuulten vaikutuksen alainen ja jatkuvassa kierrossa. Viiletessään päällysvesi vetää kiertoon mukaansa vastaavan lämpöisen osan harppauskerrosta. Päällysvesi ulottuu vähitellen syvemmälle, jolloin alusveden ja päällysveden välinen tiheusero pienenee ja kerrostuneisuuden vakavuus vähenee. Lopulta tuuli saa yliotteen ja murtaa kerrostuneisuuden. On alkanut syksyinen täyskierto. Käytännössä täyskierto alkaa viimeistään päällysveden jäähtyttyä noin kymmenen asteen lämpöiseksi.

Talven lähestyessä ilmat kylmenevät ja vesi jatkaa jäähtymistään täyskierrossa. Pinnalla jäähtyvä vesi saa suuremman tiheyden kuin alapuolinen vesimassa. Pystysuorat konvektiovirtaukset pitävät täyskiertoa yllä vaikkei tuulisikaan.

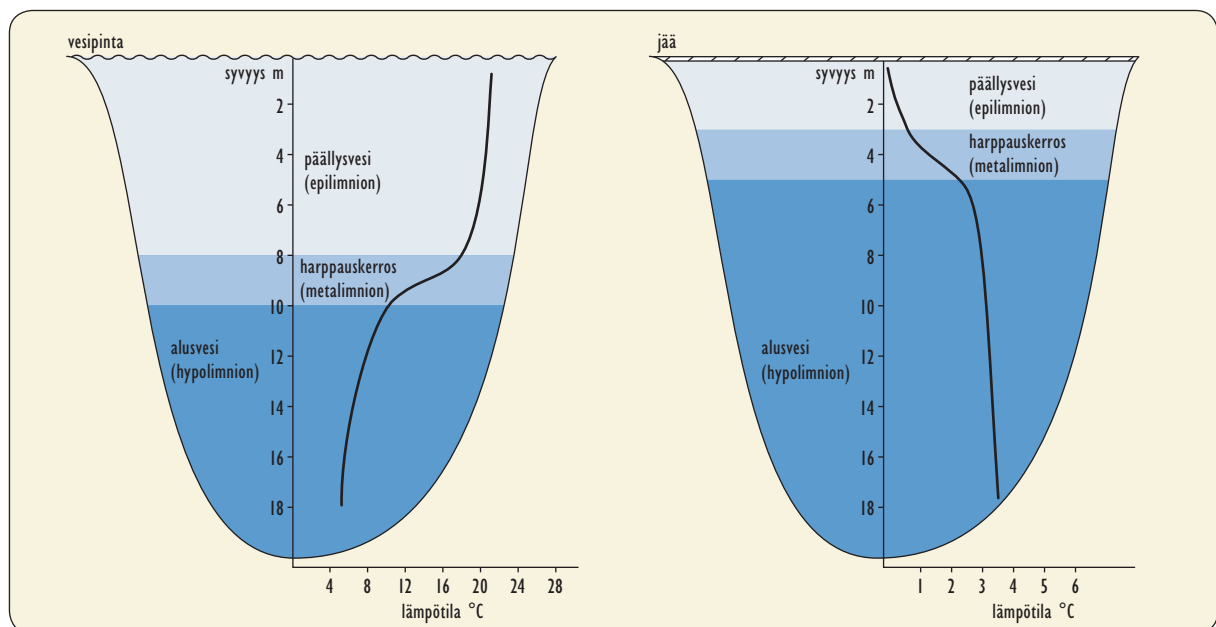
Täyskierto jatkuu, kunnes jäähtyvä vesi on saavuttanut +4 °C lämpötilan, jossa veden tiheys on maksimissaan. Tämän jälkeen pintakerroksen

tiheys alkaa jäähtymisen jatkuessa pienentyä. Seurauksena on luonnollisesti pyrkimys termisen kerrostuneisuuden syntymiseen, tällä kertaa kuitenkin siten, että kevyempi kylmä vesi kerrostuu raskaamman ja lämpöisemmän veden päälle.

Tiheuserot ovat näissä lämpötiloissa vähäisiä, ja heikkokin tuuli pystyy pitämään täyskiertoa yllä. Kun koko vesipatsas on saavuttanut maksimiheitensä lämpötilan, +4 °C, veden pinta voi jäättyä minä tahansa tyynenä riittävän kylmänä pakkasyönä. Loppusyksyn sääolot ratkaisevat, mikä tulee olemaan koko jäänalaisen vesipatsaan lämpötila. Vesi voi jatkaa jäähtymistään vielä jonkin verran +4 °C:n alapuolelle.

Talvikerrostuneisuus

Jääpeitteen muodostuttua tuulet eivät enää pääse sekoittamaan vesikerroksia. Niinpä jäätymis-hetkellä vallinnut lämpötilanne jää pysyväksi ja kestää lähes jäidenlähtöön asti. On syntynyt talvikerrostuneisuus. Siinä lämpötila kasvaa syvyyden lisääntyessä, ja siksi sitä nimitetään usein käänteiseksi kerrostuneisuudeksi. Myös talvikerrostuneisuuden aikana vesipatsaasta voidaan erottaa päällysvesi, harppauskerros ja alusvesi. Kerrostuneisuus ei kuitenkaan ole yhtä selvä kuin kesällä. Tavallisesti harppauskerros on talvella huomattavasti lähempänä pintaa kuin kesällä (kuva 7).

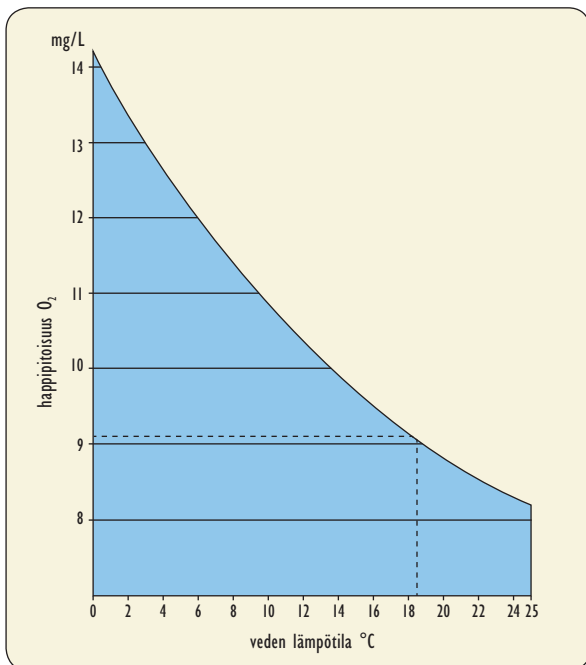


Kuva 7. Kesäinen (vasemmalla) ja talvinen (oikealla) kerrostuneisuus.

4 Järven kaasutalous

Ilmakehästä veteen liukenevista kaasuista tärkein on happi. Se on vesien elämää säätelevistä tekijöistä määräävin. Happipitoisuus ratkaisee useimmissa luonnonvesissä kulloinkin esiintyvän bakteri-, pohjaeläin- ja kalayhteisön lajistollisen koostumuksen sekä määrän. Vesistöjen likaantuminen näkyy matalissa järvissämme erittäin nopeasti nimenomaan happitalouden yleisenä heikkene misenä.

Vesistö, järvi tai joki, voi saada happea kolmea eri tietä. Pääasiällisin hapenlähde on ilmakehä, jonka happipitoisuus on noin 21 tilavuusprosenttia. Hap-
pea liukenee ilmakehästä veteen avovesikautena



Kuva 8. Puhtaaseen veteen liunneen hapen määrän riippuvuus veden lämpötilasta.

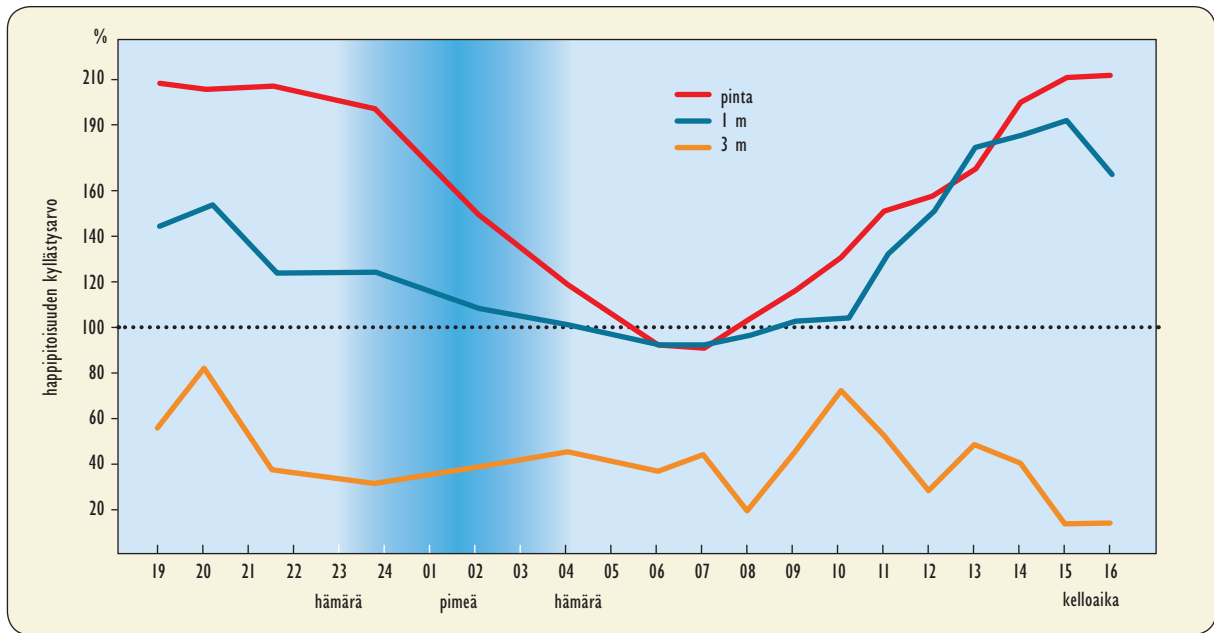
ilmakehän ja veden rajapinnoilla. Liukeneminen riippuu kulloinkin vallitsevasta ilmanpaineesta ja veden lämpötilasta. Ilmanpaineen vaikutus on Suomen vähäisistä maanpinnan korkeuseroista johtuen pieni eikä sitä ole otettu huomioon maasamme tehdyissä käytännön vesitutkimuksissa. Sen sijaan veden lämpötila vaikuttaa hapen liukenemismääriin erittäin merkittävästi.

Koko vesimassan happitäydennys tapahtuu keväällä ja erityisesti syksyllä täyskiertojen aikana. Syyskierto kestää pitkään ja koko vesimassa ennättää ilmastua. Happipitoisuudet ovatkin syystäyskierron loppuvaiheessa yleensä lähellä kulloisenkin lämpötilan edellyttämää teoreettista maksimia.

Veden happipitoisuus ilmaistaan yleensä milligrammoina litraa kohti [1 milligramma (mg) = 0,001 grammaa (g)]. Seuraavassa taulukossa on esitetty eräitä veden lämpötiloja sekä niitä vastaavat teoreettiset hapen liukenemismäärät eli ns. 100 % kyllästysarvot:

lämpötila °C	happea mg/L
0,0	14,2
5,0	12,4
10,0	10,9
15,0	9,8
20,0	8,8
25,0	8,1

Veden hapenkyllästysarvot pienenevät veden lämpötilan noustessa. Tämä ei kuitenkaan tapahdu suoraviivaisesti. Kuvan 8 perusteella voidaan arvioida eri lämpötiloja (0–25 °C) vastaavat hapen liukenemismäärät 0,2 mg:n tarkkuudella ja esimerkkinä on 18,5-asteisen veden kyllästysarvo, joka on 9,1 mg/L.



Kuva 9. Happipitoisuuden vuorokausivaihtelut lämpiminä kesäaikana rehevässä järvestä. Tilanne on mitattu Lappeenrannan Haapajärvestä.

Jotta eri lämpötiloissa määritettyjä happitiloksia voitaisiin paremmin verrata keskenään, ilmoitetaan happianalyysien tulokset milligramma-arvojen lisäksi myös ns. kyllästysprosentteina, jotka ilmaisevat, kuinka monta prosenttia näytteen happimäärä (mg/L) on tietyn lämpötilan edellyttämästä teoreettisesta kyllästysarvosta (mg/L).

Kuvan 8 esimerkissä kyllästysarvo laskettiin seuraavasti: näytteestä, jonka lämpötila oli 18,5 °C, määritettiin liuennut happi ja saatiin tulokseksi 8,8 mg/L. Kuvasta 8 nähdään, että 18,5-asteinen vesi sisältää normaalipaineessa 9,1 mg/L happea. Laskemalla, kuinka monta prosenttia 8,8 on 9,1:stä saadaan hapen kyllästysarvo. Tulos ilmoitetaan 1 %:n tarkkuudella. Tässä tapauksessa hapen kyllästysarvo on 97 %.

Toinen liuenneen hapen pitoisuuksia lisäävä tapahtuma on perustuotanto eli vesistön mikroskooppisen pienten kasvien (levät) ja suurkasvillisuuden (makrofytyt) yhteyttäminen.

Yhteyttämisessä, fotosynteesissä, lehtivihreälliset kasvit muodostavat hiilidioksidista ja vedessä olevista erilaisista ravintuesuoloista valoenergian avulla orgaanista ainesta. Perustuotannossa vapautuu happea sitä runsaammin, mitä enemmän hiilidioksidia sitoutuu ts. mitä voimakkaampaa

fotosynteesi on. Vapautunut happi liukenee ympäröivään veteen.

Varsinkin runsasravinteisten asutusjätevesien aiheuttamissa vesistöjen likaantumistapauksissa levätuotanto lisääntyy voimakkaasti, jolloin päivän valoisana aikana veteen saattaa liueta huomattavasti kyllästysarvon ylittäviä määriä happea (kyllästysprosentti on tällöin yli 100).

Kuva 9 esittää happitilannetta erittäin rehevässä Lappeenrannan Haapajärvestä heinäkuussa vuorokauden eri aikoina.

Happea vapautuu vuorokauden valoisana aikana. Pimeällä vallitsevana tapahtumana on levien hengitys (käänteinen reaktio fotosynteesille), jolloin happea kuluu ja ”palamistuloksena” syntyy hiilidioksidia. Tähän liittyy oleellisesti myös heterotrofisten bakteerien orgaanisen aineen hajotustoiminta. Mitä rehevämpi järvi on, sitä suuremaksi muodostuu vuorokauden aikana mitattujen liuenneen hapen maksimi- ja minimipitoisuuksien välinen ero.

Tuloksia tulkittaessa on siis erittäin tärkeää tietää, mihin vuorokauden aikaan happinäyte on otettu. Jatkuvien seurantojen näytteenotossa tulisi vertailukelpoisuuden parantamiseksi pyrkiä vuodesta toiseen täysin samoihin näytteenottoaikoihin, erityisesti hyvin rehevissä vesistöissä.

Vesistö saa happea myös runsashappisten lisävesien, erityisesti sulamisvesien mukana. Niiden merkitys likaantuneiden vesistöjen happitilanteen parantajana on suurin matalissa vesistöissä.

Happi on vesien elämää rajoittavista tekijöistä tärkein. Esimerkiksi kalat hengittävät kiduksiensa avulla ja ottavat kaiken toimintoihinsa tarvitsemansa hapen vedestä. Jos happitilanne jollakin alueella käy kestäättömäksi, eivätkä kalat pysty pakenemaan, ne tukehtuvat.

Kalojen käyttäytyminen ennen kuolemaa on seuraava:

- Aluksi hengitysrytmi tihenee,
- Useat pohjan lähellä elävät kalat (kuha, lahna) nousevat pintaan uimaan,
- Pinnemmassa uivat kalat (salakka, siika) hyppivät ilmaan,
- Eräät kalat pyrkivät jopa rannalle tai avannosta jälle (hauki),
- Lopuksi kuolevat kramppiin kiduskannet harottaen ja suut avoinna.

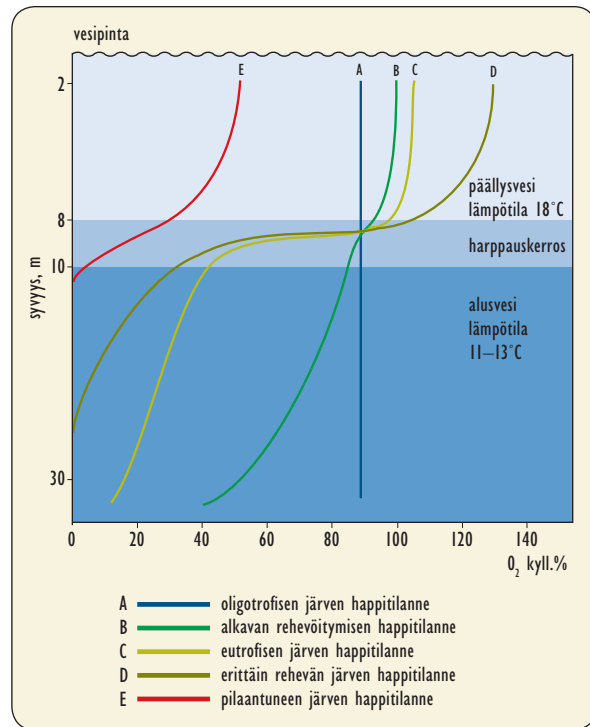
Eri kalalajit tarvitsevat happea eri määriä. Seuraavassa esitetään eräitä kirjallisuudessa mainittuja kalojen happirajoja (hapen vähimmäispitoisuuksia) 10–14 °C lämpötilassa:

kalalaji	happipitoisuus mg/L
taimen	4,0
siika	3,5
muikku	3,5
hauki	2,2
kuha	2,0
ahven ja särki	1,2–1,5
lahna	1,2–1,5
ruutana	0,6

Arvot ovat vain suuntaa-antavia. Etenkin kalojen mädin kehitys edellyttää paljon esitettyä korkeampia happipitoisuuksia. Samoin huonon happipitoisuuden sieto riippuu siitä, minkä ajan kala joutuu kyseisessä vedessä olemaan.

Kuvassa 10 tarkastellaan tavallisimpien järvi-tyyppien happitilannetta sekä luonnontilassa että jätevesien kuormittamana. Kaikki esimerkit ovat kesällä lämpötilaltaan kerrostuneista järvistä.

Kuvassa 10 käyrä A esittää kaavamaisesti, millainen happitilanne vallitsee kesällä puhtaassa, kirkaassa ja melko syvässä järvessä (esim. Puruvesi, Inari, Puulavesi, Pielinen sekä Päijänteen ja Saimaan puhtaat osat).



Kuva 10. Happitilanne erilaisissa järvissä kesäkerrostuneisuuden aikana.

Koska vesistö on riittävän syvä, lämpötilakerrostuneisuus on päässyt syntymään. Ylimpänä on noin 18-asteinen päällysvesi, pohjanläheisen veden eli alusveden lämpötila on 11–13 °C. Näiden välissä on harppauskerros. Happitilanne on hyvä kaikissa vesikerroksissa. Eniten happea on aivan päällysveden yläosassa. Pitoisuudet pienevät tasaisesti kohti pohjaa. Sielläkin on happea noin 80 % lämpötilan edellyttämästä teoreettisesta maksimiarvosta.

Käyrä C esittää (puhtaan) runsasravinteisen (eutrofisen) järven happitilannetta. Runsaamman ravinnepitoisuutensa ansiosta järven päällysvesi pystyy tuottamaan enemmän kasviplanktonia kuin vähäravinteisen järven päällysvesi. Suuremman yhteyttämistoiminnan vuoksi päällysveteen vapautuu enemmän happea kuin sieltä ennättää veden ja ilman rajapinnasta haihtua pois. Näin syntyy hapen ylikyllästystä.

Kasviplanktonin kuollessa se alkaa vajota ja samalla alkaa bakteeritoiminnasta johtuva hajoaminen ja hapettuminen. Kun kuollut plankton vajoaa harppauskerrokseen, jossa lämpötilan lasku ja siitä johtuva veden tiheyden lisääntyminen ovat

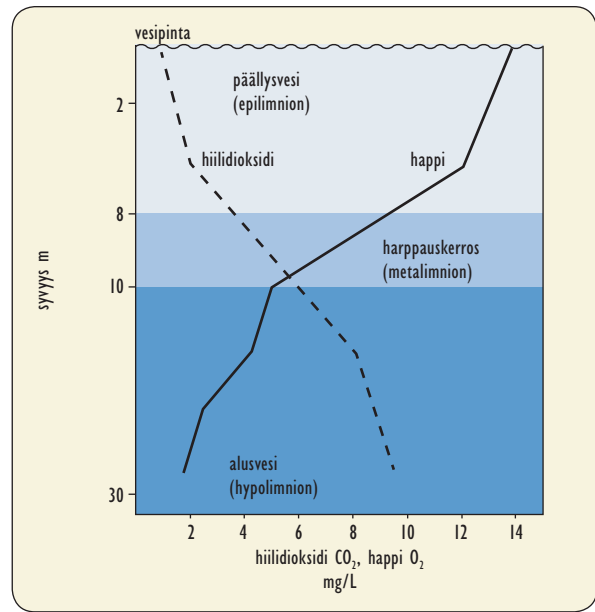
suurimmillaan, sen vauhti hidastuu harppauskerroksessa. Kuolleen planktonin ja muun vajoavan orgaanisen aineen hajoaminen kuluttaa runsaasti happea. Hajoaminen alkaa jo päällysvedessä, mutta sen happea vähentävä vaikutus alkaa näkyä vasta harppauskerroksessa. Happikäyrän laskun jyrkin osa onkin yleensä harppauskerroksessa.

Kun järveen on jonkin aikaa johdettu jätevesiä, niin esim. oligotrofisen eli karun järven (käyrä A) ravinnepitoisuus kasvaa, ja kehitys alkaa nopeasti kulkea kohti eutrofisen järven (C) happitilannetta. Kehitystä nopeuttaa se, että usein jätevedet valuvat raskaampina suoraan alusveteen. Happipitoisuus laskee nopeasti varsinkin pohjalietteen lähellä.

Eutrofisessa eli runsasravinteisessa järvessä tilanne jo luonnostaan on heikompi. Jätevedet lisäävät planktonituotantoa entisestään, ja seurauksena on käyrän D esittämä tilanne. Päällysvedessä yhteyttämistoiminta nostaa happipitoisuuden päiväsaikaan huomattavasti yli 100 %:n kyllästysarvon. Harppauskerroksessa hapen määrä pienenee voimakkaasti, ja alusvedessä on jo täydellinen happikato.

Käyrä E kuvaa täysin pilaantuneen järvenosan happitilannetta. Happivajaus on suuri jo päällysvedessä ja heti harppauskerroksesta alkaa täysin hapeton tila. Hapettomuuden vallitessa alusveteen alkaa kehittyä pelkistyneitä yhdisteitä, kuten metaania ja rikkivetyä. Kun nämä aineet täyskierron yhteydessä joutuvat yhteen hapellisen päällysveden kanssa, ne riistävät happea voimakkaasti ja saattavat kuluttaa koko päällysveden happivaraston loppuun. Keväiset kalojen joukkokuolemat ovatkin usein tällaisen täyskierron yhteydessä syntyvän hetkellisen hapettomuuden seurauksia.

Jokaisella järvellä on oma luonteenomainen happikerrostuneisuusutensa johon vaikuttavat suuresti järven fysikaalis-kemialliset ominaisuudet, kuten lämpötila, ravinnepitoisuus ja humuspitoisuus. Myös järvioltaan muoto ja varsinkin syvyysuhteet vaikuttavat happitilanteeseen. Puhtaasti hydrologiset tekijätkin voivat aiheuttaa eri vuosina erilaisia happitilanteita. Pienien humusjärvillä



Kuva 11. Happi- ja hiilidioksidipitoisuudet kerrostuneessa järvessä.

alusveden hapettomuus talvella ja kesän kerrostuneisuuden aikana on yleistä johtuen liuenneiden orgaanisten aineiden hajotuksesta.

Orgaanisen aineen perustuotanto on huomattavimmalta osaltaan lehtivihreällisten kasvien fotosynteesiä. Hiilen lähteenä levät käyttävät veteen liunnutta hiilidioksidia ja bikarbonaatteja. Vapaa hiilidioksidia liukenee veteen ilmakehästä sekä kasvien ja eläinten hengityksestä. Hiilidioksidia vapautuu veteen varsinkin bakteerien hajottaessa orgaanista ainesta.

Hajotustoiminnan seuraukset ovat selvemmin havaittavissa alusvedessä. Lämpötilaltaan kerrostuneen järven happi- ja hiilidioksidipitoisuuksia kuvaavat käyrät muodostavat usein ristikuvion (kuva 11). Päällysvedessä fotosynteesi kuluttaa hiilidioksidia orgaanisen aineen tuottamiseen, ja ympäröivään veteen vapautuu happea. Alusvedessä hajotustoiminta "polttaa" happea ja lopputuloksena syntyy hiilidioksidia.

5 Järven ravinnetalous

Vesistöjen vesi ei ole luonnontilaisillakaan alueilla kemiallisesti täysin puhdasta, vaan siihen on aina liennut tai sekoittunut maaperästä ja ilmasta pieniä määriä eri aineita. Oman ryhmänsä muodostavat ravinteet eli ne aineet, joiden pitoisuudet suoranaisesti vaikuttavat vesistön perustuotannon määrään.

Ravinteita joutuu vesistöihin luontaisesti maaperästä huuhtoutumalla ja toisaalta ihmistoiminnan seurauksena. Jätevesien ohella vesistöjen ravinnepitoisuuksia lisää hajakuormitus, erityisesti huuhtoutumat pelloilta. Myös ilmaperäisen laskeuman mukana tuleva kuormitus voi olla merkittävä. Rehevyyden kannalta tärkeimpiä ravinteita ovat fosfori ja typpi.

Levämassassa typen ja fosforin painosuhde on noin 7:1. Tämä merkitsee sitä, että fotosynteesissä tarvitaan yhtä sitoutunutta fosforigrammaa kohti 7 grammaa typpeä. Esimerkiksi, jos tietyssä vesimäärässä on leville käyttökelpoista fosforia 1 gramma ja typpeä vain 4 grammaa, typpi on tuotantoa ensisijaisesti rajoittava minimitekijä. Tilanne on päinvastainen, jos typpeä on 15 grammaa ja fosforia 1 gramma. Silloin kasvua rajoittaa fosfori.

Suomen vesistöt ovat luonnostaan karuja eli niiden ravinnepitoisuudet ovat hyvin alhaisia. Fosforia huuhtoutuu kallio- ja maaperästä vesistöihin sangen pieniä määriä. Savialueet ovat tästä selvä poikkeus. Järvien fosforipitoisuudet vaihtelevat oligotrofisen eli karun järven muutamasta mikrogrammasta ($\mu\text{g} = 0,001 \text{ mg}$) eutrofisen eli rehevän järven pariin kolmeen sataan mikrogrammaan fosforia litrassa. Vastaavasti typen pitoisuudet ovat yleensä 300–900 $\mu\text{g/L}$.

Suomen järvien päällysveden typpi-fosfori-suhteen keskiarvo on noin 25:1. Jokivesistöissä vastaava keskiarvo on noin 15:1. Näiden arvojen

perusteella fosfori on yleensä sisävesissä perustuotannon kasvua rajoittava minimitekijä.

Fosfori esiintyy vesissä joko epäorgaanisina suoloina tai sitoutuneina orgaanisina yhdisteinä. Kun levämassa, jossa fosfori on orgaaniseen aineeseen sitoutuneena, alkaa hajota, siinä olevat ravinteet muuttuvat epäorgaaniseen mineraalimuotoon. Osa levämassasta ei ennätä hajota päällysvedessä, vaan sedimentoituu pohjalle. Mineralisoitumisensa yhteydessä fosfori sitoutuu helposti hapettuneessa ferrimuodossa olevaan rautaan.

Niin kauan kun happipitoisuus säilyy riittävän korkeana (yli 0,5 mg/L), fosfori pysyy pohjassa rautaan sitoutuneena. Mikäli happi kuluu pohjalta ja varsinkin pohjanläheisestä vesikerroksestä loppuun, rauta pelkistyy ferromuotoon, jolloin siihen sitoutuneena ollut fosfori vapautuu veteen. Alusveden hapettomuus merkitsee pohjaan sitoutuneen fosforin liukenemistä ja vapautumista, ja järven ravinnetason nousua. Sen seurauksena on rehevöityminen, eli ns. sekundäärinen likaantuminen, jota kutsutaan myös sisäiseksi kuormitukseksi. Vesiensuojelun kannalta onkin tärkeintä, ettei jätevesiä vastaanottavan vesistön happitilannetta päästetä niin huonoksi, että alusveden happipitoisuus kerrostuneisuuskausien aikana laskisi alle 0,5 mg/L.

Toinen vesien rehevöitymisen kannalta tärkeä kasvinravinne on typpi. Se esiintyy vesissä orgaanisina yhdisteinä sekä epäorgaanisina suoloina, nitraattina, nitriittinä ja ammoniumina. Ilmakehästä typpeä liukenee veteen aivan kuten happeakin. Tämän kaasumaisen typen merkitys ravinnetaloudessa on kuitenkin vähäinen typpi-suoloihin verrattuna. Orgaanisista typpiyhdisteistä tärkeimpiä ovat aminoyhdisteet.

Varsinaisten liukoisten typpisuolojen esiintymismuoto riippuu ratkaisevasti vesistön happi-

tilanteesta. Kun happea on liuenneena vedessä, typpisuolat ovat pääasiassa nitraatteina (NO_3). Jos vesi muuttuu hapettomaksi, typpi esiintyy myös ammoniumina (NH_4). Näiden kahden tilanteen välissä (usein harppauskerroksessa) esiintyy nitriittiä (NO_2).

Joillakin vesialueilla typpi voi olla tuotannon minimitekijä. Varsinkin pitkään asutusjätevesillä

kuormitetuilla rehevillä vesialueilla tyvellä voi olla suuri merkitys. Lisäksi on luonnostaan korkean fosforipitoisuuden omaavia vesiä, kuten Iisalmen reitti Vuoksen vesistössä ja monet savialueiden vesistöt.

Ari Mäkelä



Ravinteita valuu järviin luontaisesti maaperästä huuhtoutumalla ja hajakuormituksena pelloilta ja metsistä.

6 Rehevöityminen

Rehevöitymisellä ymmärretään vesistön perustuotannon kasvua kaikkine siihen liittyvine, usein haitalliseksi koettuine ilmiöineen. Valon ja lämmön ohella ravinteiden, fosforin ja typen, pitoisuudet säätelevät merkittävästi perustuotantoa. Ravinteiden pitoisuus vesistössä riippuu joko vesistön sadealueen tai vesistön itsensä ominaisuudesta tai ihmisen toiminnasta. Vesistöjen liiallinen rehevöityminen rajoittaa monien vesistöjemme käyttöä.



Tero Pajukallio

Karulla Vuoksen vesistön järviolueella vesikasvien määrä rannoilla on paikoitellen vähäinen.

Rehevöitymisen seurauksena kalakannat ovat muuttuneet särkivaltaisiksi arvokkaina pidettyjen kalalajien kantojen taantuessa. Levämäärän kasvu on aiheuttanut ongelmia vedenhankinnalle ja vesistöjen virkistyskäytölle. Virkistyskäyttöä ovat lisäksi rajoittaneet mm. hajuhaitat ja joissakin vesistöissä esiintyneet myrkylliset tai muuten haitalliset levälajit.

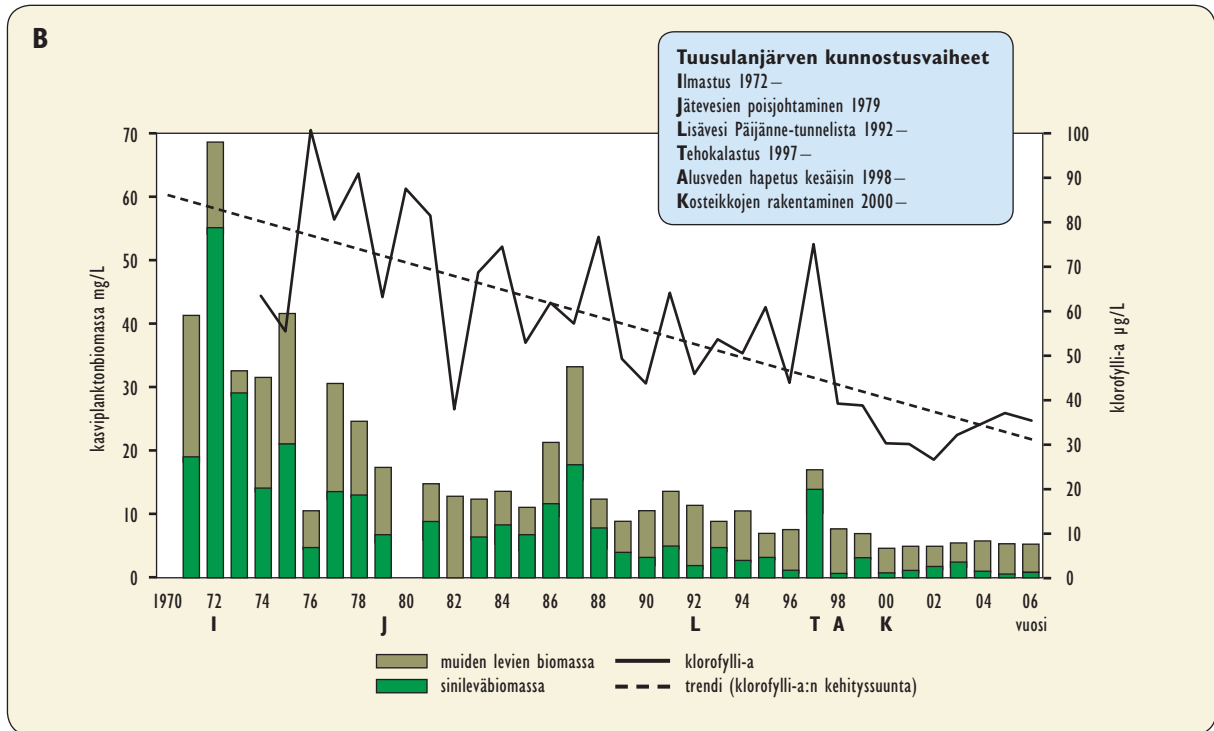
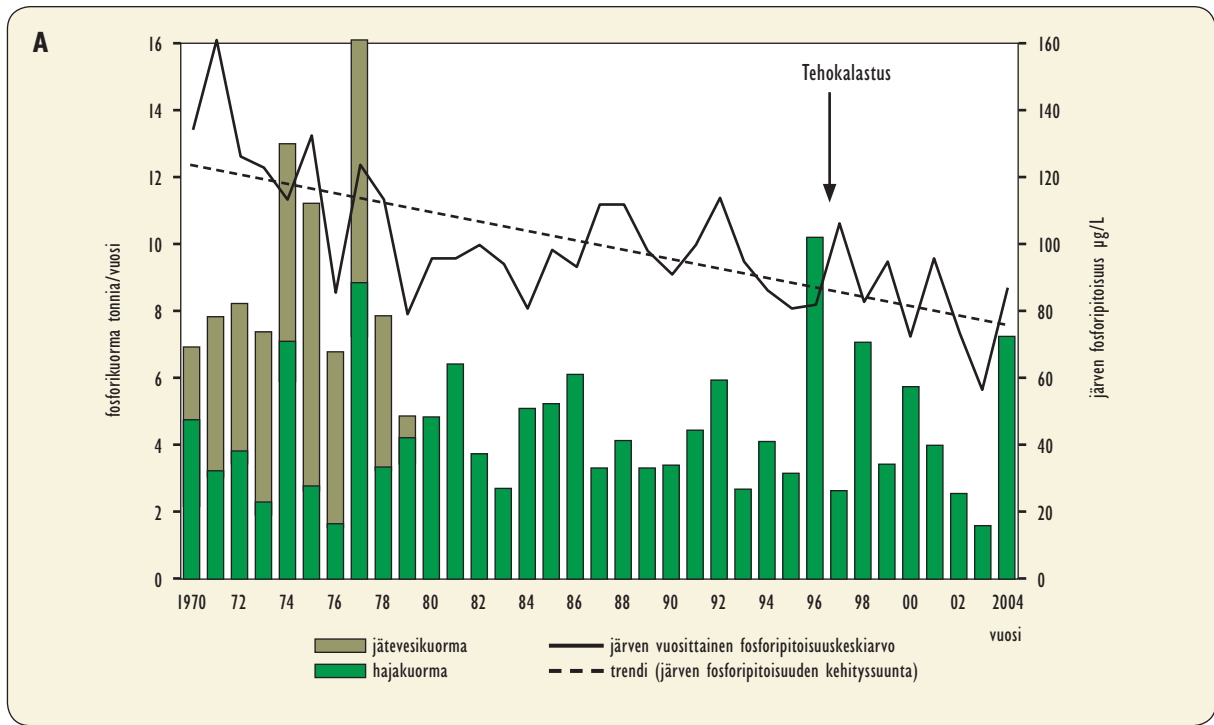
Vesistöjen rehevöityminen on seurausta liian korkeasta ravinnevirtaamasta. Ravinteiden lähteet voidaan jakaa luonnonhuuhtoutumaan, jätevesikuormitukseen ja hajakuormitukseen. Kokonaisvuosikuormituksen ohella rehevöitymiseen vaikuttavat ravinteiden purkautumisajankohta ja ravinteiden käyttökelpoisuus levätuotantoon.

Vesistöjen rehevöityminen on luonnollinen ilmiö, jonka eteneminen on luonnostaan erittäin hidasta. Ihminen on omilla toimillaan lisännyt vesistöjen rehevöitymisnopeutta niin paljon, että rehevöitymisen haitat voivat näkyä jo suhteellisen lyhyessä ajassa ja hyvin monissa vesistöissä. Selvimmin tämä on näkynyt järvissä, joihin on johdettu huonosti käsiteltyjä yhdyskuntajätevesiä.

Kun kuormitus on jatkunut pitempään, muuttuvat vähitellen myös pohjasedimentit. Tällöin niiden kyky pidättää rehevöitymisen kannalta keskeistä ravinnetta, fosforia, heikkenee.

Sedimentti muuttuu pintaosiltaan hapettomaksi, jolloin pohjaan sitoutunut fosfori liukenee suhteellisen nopeasti veteen. Nopeasti kohonnut fosforipitoisuus aiheuttaa leväkukinnan.

Yhtä vakava – ellei jopa vakavampikin – on tilanne järvillä, joiden rehevöityminen johtuu hajakuormituksesta. Hajakuormitusta aiheuttaa erityisesti maatalous, mutta myös metsätalous ja mikä tahansa muu maan käyttöön ja sen vedenkiertoon vaikuttava toiminta. Jätevesien aiheuttama rehevöitymistä voidaan hillitä tehostamalla



Kuva 12. Kokonaisfosforipitoisuuksien (A) ja kasviplanktonbiomassojen (B) muutoksia Tuusulanjärvellä vuosina 1970–2006. (Ympäristöhallinnon tiedoista koontanut Mauri Pekkarinen)



Anne Tarvainen

Hyvin rehevää järvaluetta. Rehevyyttä näkyy laajoina vesikasvivyöhykkeinä.



Tore Lindholm

Kalvasärviä voi täyttää koko järven. Österträsk Ahvenanmaalla.

viemäröintiä ja ravinteiden poistoa puhdistamoilla. Hajakuormituksen merkittävä vähentäminen sen sijaan edellyttää muutoksia kuormitusta aiheuttaviin maankäytön muotoihin.

Rehevöitymisen pysäyttäminen ja järven palauttaminen aiempaan tilaan on erittäin vaikea ja aina erittäin hidas prosessi. Rehevän järven runsas särkivaltainen kalakanta pystyy ylläpitämään omilla elintoiminnoillaan merkittävää järven rehevyyttä. Monien suurten jätevesillä rehevöitettyjen järvien palautuminen voi kestää kymmeniäkin

vuosia, vaikka jätevesikuormitus olisi lopetettu kokonaan.

Varsinkin sellaiset järvet, jotka sijaitsevat vesistöalueiden yläjuoksulla ja joiden viipymä voi olla useita vuosia, ovat vaikeita palauttaa karumpan kuntoon. Jätevesien johtaminen Tuusulanjärveen lopetettiin jo 1970-luvun lopulla, mutta rehevöitymisen merkit näkyvät edelleen selvänä (kuva 12). Tehokalastuksen ansiosta 1997–1998 järven tila parani. Yksi perussyy fosforipitoisuuden hitaaseen pienenemiseen on Tuusulanjärven sijainnissa luontaisesti rehevällä savialueella ja myös pohjasedimenttien pitkäaikaisella vaikutuksella.

Vesistöjen rehevöitymistä voidaan seurata mittaamalla ravinteiden pitoisuuksia sekä tekemällä mittauksia perustuottajien eli kasviplanktonin määrästä. Varsin yleinen menetelmä on tehdä keskikesällä järven päällysveden kokoomanäytteenä (esimerkiksi 0–2 m) ravinteiden ja klorofyllin määritykset.

Kasviplanktonin ohella tärkeitä rehevöitymisen ja järven ekologisen tilan seurannan tarkkailukohteita ovat eläinplankton, vesistöjen suurkasvit eli makrofytyt, pohjaeläimet ja kalasto.



Seppo Knuuttia

Sinileväkukinta voi kerääntyä tuulien mukana paksuiksi lautoiksi lahden pohjukoihin ja tuulen alapuoliselle rannalle.

7 Järven plankton

Järvi muodostaa oman biologisten toimintojen kokonaisuutensa, ekosysteemin. Sen päätapahtumia ovat fotosynteesi eli perustuotanto sekä tämän käänteisprosessi, orgaanisen aineen hajotustoiminta. Kuvassa 13 esitetään kaavamaisesti toimintojen pääasiallinen jakautuminen lämpötilaltaan kerrostuneessa järvestä.

Valaistua päällysvettä muodostaa vesistön tuottavan eli trofogeeneisen kerroksen. Suurimman osan järven perustuotannosta hoitavat mikroskooppisen pienet levät, jotka muodostavat kasviplanktonin.

Käsitteellä plankton tarkoitetaan vedessä vapaasti keijuvaa eliöstöä, jonka liikkeet ovat ensisijaisesti riippuvaisia veden liikkeistä. Plankton jaetaan kolmeen pääryhmään:

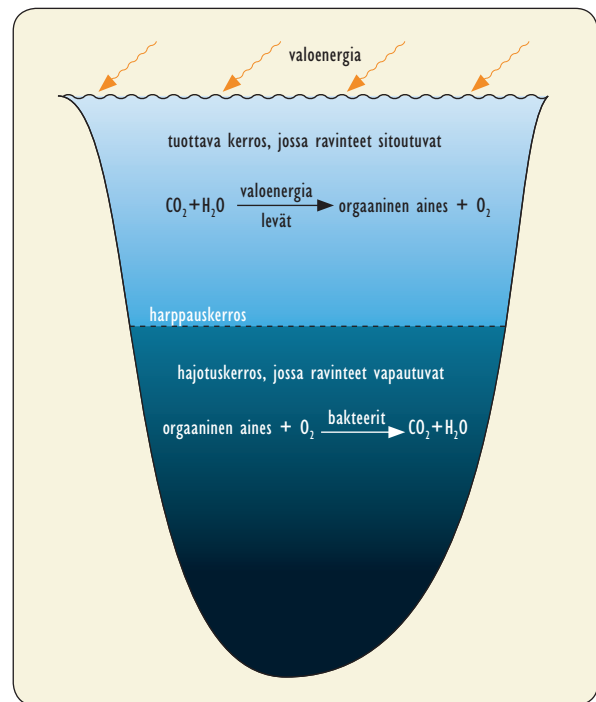
- **Kasviplankton** eli levät ovat vesien perustuotantoketjun ensimmäinen taso. Lehtivihreänsä (ja/tai muiden fotoenergeettisten väriainesten) ja auringon valoenergian avulla ne pystyvät syntetisoimaan yksinkertaisia epäorgaanisista aineista (mm. vesi, hiilidioksidi, ravintosuolat) orgaanisia yhdisteitä.
- **Eläinplankton** muodostaa vesien tuotantoketjun toisen tason. Eläinplankton tarvitsee energian lähteeksi orgaanista ainetta levisistä, levien hajoamistuotteista ja bakteereista.
- **Bakteerit** muodostavat järven planktonin kolmannen tason. Niiden tehtävänä on orgaanisen aineen, niin vesistöön ulkopuolelta tulleen (alloktonisen) kuin vesistössä syntyneenkin (autoktonisen), hajottaminen yksinkertaisiksi epäorgaanisiksi yhdisteiksi, joita levät pystyvät jälleen käyttämään.

Seuraavassa tarkastellaan yksityiskohtaisemmin vain kasviplanktonia, koska se muodostaa vesien tuotannon keskeisen perustan.

Levät ovat yksisoluisia alkeellisia eliöitä. Niiden koko vaihtelee tuhannesosamillimetristä noin yhteen millimetriin. Levien tarkempi tutkiminen vaatii mikroskooppia.

Suurin osa kasviplanktonlajeista on väriltään vihreitä, mutta muitakin värejä esiintyy yleisesti. Niistä tavallisimpia ovat sinivihreät, ruskeat ja kellanruskeat värisävyt. Levien esiintyessä hyvin suurina tiheyksinä (esim. muodostaessaan tyyneellä säällä pintakukinnan) niiden väri voidaan erottaa jopa paljain silmin.

Planktiset levät ovat hyvin monimuotoisia. Tavallisimpia ovat pallomaiset ja sauvamaiset yksittäiset solut sekä näiden muodostamat soluryhmät



Kuva 13. Kaaviokuva biologisista tapahtumista lämpötilaltaan kerrostuneessa järvestä.



Jaakko Jaskari

Kasviplanktonlajisto määritetään mikroskooppin avulla. Planktonnäytteen tarkastelua tutkimusalus Muikulla kesällä 2004.

(yhdyskunnat). Sangen yleisiä ovat myös levymäiset, nauhamaiset ja spiraalimaiset muodot.

Planktisen elämän perusedellytys on kyky keijua vedessä. Koska levät ovat hieman vettä raskaampia, ne pyrkivät vajoamaan vesistön pohjalle. Miten sitten on selitettävissä levien kyky keijua, toisin sanoen kyky pysytellä päällyksivedessä ilman aktiivista liikettä? Keijumiseen vaikuttavat tekijät voidaan jakaa kahteen pääryhmään:

- Ympäristötekijöiden vaikutus
- Eliöstä itsestään johtuvat tekijät.

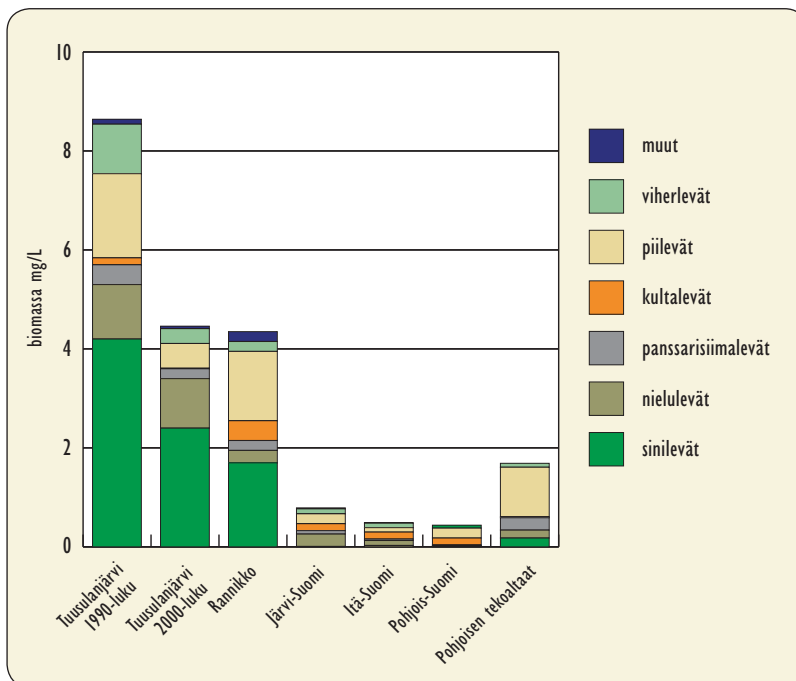
Ympäristötekijöistä tärkeimpiä ovat veden lämpötilan ja tämän vaihteluja noudattelevan veden sitkoisuuden, eli viskositeetin muutokset. Veden sitkoisuus lisääntyy lämpötilan laskiessa. Tästä johtuen levät vajoavat kylmässä vedessä hitaammin kuin lämpimässä. Ympäristötekijöistä tärkeimmät ovat kuitenkin vedessä esiintyvät erilaiset virtaukset ja näistä ennen kaikkea turbulenssiset eli pyörrevirtaukset, joita aiheuttavat mm. tuuli ja lämpötilan vaihtelut.

Eliöistä itsestään ja niiden elintoiminnoista johtuvia keijuntaan vaikuttavia tekijöitä ovat eliöiden muoto ja niiden erittämät vettä kevyemmät aineet. Hitaasti vajoavia eliöitä ovat esimerkiksi levymäiset levät ja monisoluiset yhdyskunnat (koloniat),

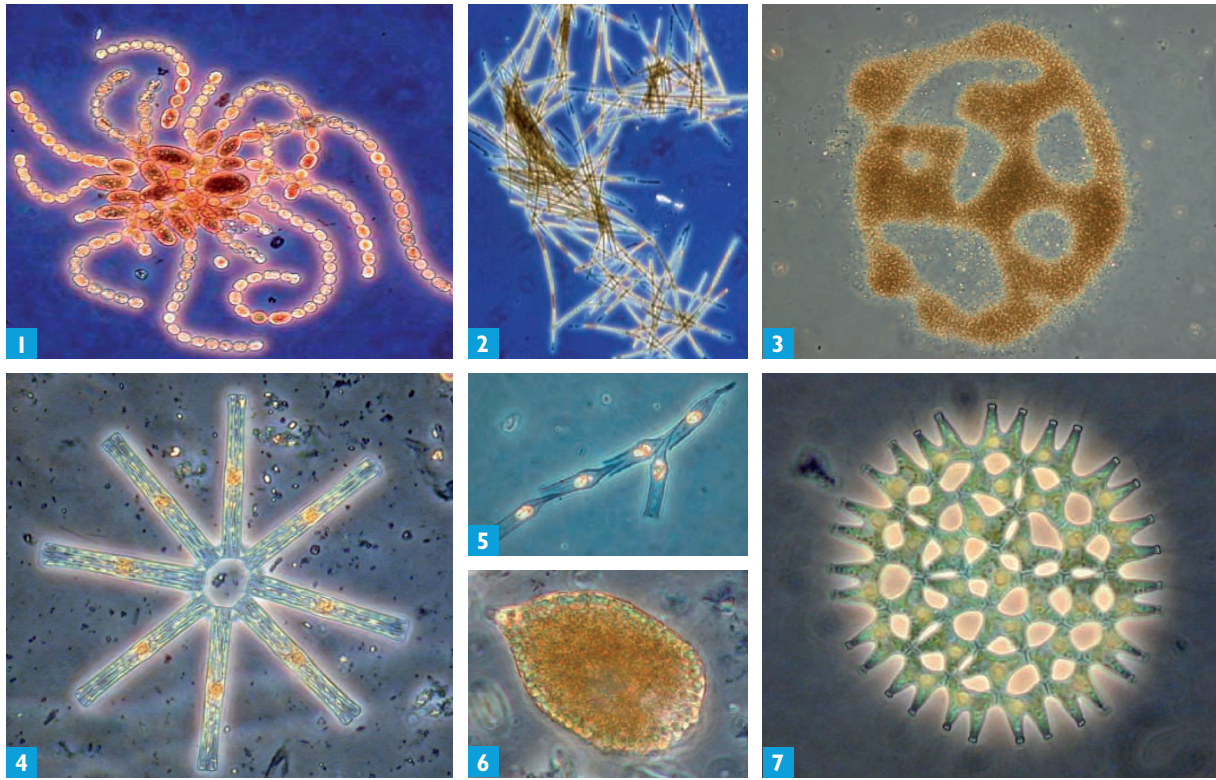
joiden soluvälien kautta kulkeva vesi muodostaa vajoamista hidastavia pyörrevirtauksia. Vajoamista hidastavat huomattavasti levien erilaiset ulokkeet, kuten sukaset ja piikit. Tämän tapaisia ulokkeita on etenkin pallomaisilla levillä, joiden solumuoto on muuten epäedullinen keijunnalle. Osalla levistä on yksi tai useampia uimasiiimoja, jotka auttavat myös valoisassa päällyksivedessä pysymistä.

Monien levien keijuntaa auttaa niitä ympäröivä hyytelö, joka sisältää runsaasti vettä. Useilla levillä hyytelö yhdistää erilliset solut yhdyskunniksi. Hyytelöitä esiintyy monissa leväryhmissä. Yleisin se on sinilevillä ja tavallinen viherlevillä.

Sinilevillä keijuntaa auttaa lisäksi erityisesti kaasurakkuloihin (-vakuoleihin) kerääntyvä



Kuva 14. Kasviplanktonin määrä Suomen eri alueiden järvissä ja tekoaltaissa. Tuusulanjärven eri vuosikymmenien tuloksissa on nähtävissä kasviplanktonin herkkyyden muutoksen ilmentäjänä. (Kuva Liisa Lepistön mukaan)



Reija Jokipii

typpi. Kaasurakkulalliset levät ovat vettä kevyempiä ja nousevat helposti pyörrevirtausten vähetessä veden pintakerroksiin. Tyynellä säällä ne voivat muodostaa tiiviin esiintymän veden pinnalle. Tätä kutsutaan vedenkukaksi. Eräillä levillä keijunnan helpottajana voi toimia aineenvaihdunnan tuloksena syntynyt öljy.

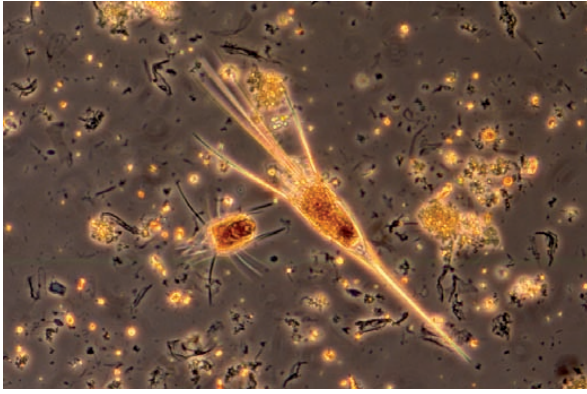
Plankton leviää paikasta toiseen virtaavan veden, vesieläinten ja tuulen mukana. Tärkein leviämistapa on luonnollisesti virtaava vesi, mutta myös vesilinnut ja kuljetusalukset voivat myötävaikuttaa leviämiseen.

Kasviplankton noudattaa kasvussaan tiettyä vuosirytmää. Sen määrään ja koostumukseen vaikuttavat myös vesistön maantieteellinen sijainti ja siihen tuleva kuormitus (kuva 14). Keväällä jäiden lähdettyä ja veden alkaessa lämmitä kasviplanktonin määrä nousee hyvin nopeasti. Monissa järvissä pääosa keväisistä planktonin massaesiintymistä on piilevien aiheuttamia. Veden lämmitessä edelleen planktonin kokonaismäärä pysyy vesistössä talvisiin arvoihin verrattuna korkeana ja piilevät väistyvät, jolloin viher- ja sinilevät muodostavat pääosan planktonmassasta.

Levät ovat alkeellisia eliöitä, jotka tuottavat kasvien tavoin yhteyttäessään happea ja runsastuvat vesien rehevöityessä.

- 1–2 *Anabaena* ja *Aphanizomenon* ovat tyypillisiä sinileväkuintoja muodostavia lajeja suomalaisissa järvissä.
- 3 *Microcystis*-sinilevä, joka monen muun sinilevän lailla voi muodostaa myrkyllisiä kasvustoja.
- 4 *Tabellaria*-piilevä on melko karujen vesien laji.
- 5 *Dinobryon*-kultalevä on yleinen erilaisissa vesissä.
- 6 *Gonyostomum*-limalevä, joka viihtyy humuspitoisissa, ruskeissa järvesivesissä.
- 7 *Pediatrum*-viherlevä on tyypillinen runsasravinteisissa vesissä.

Planktonmäärä ja lajisuhteet vaihtelevat kesän aikana huomattavasti. Yleensä planktonin määrällinen huippu saavutetaan heinä-elokuussa. Syksyllä vedet viilenevät ja tapahtuu syystäyskierto. Tällöin tavataan yleisesti toinen piilevien massaesiintyminen. Vesien edelleen jäähtyessä ja saadessa lopulta jääpeitteen kasviplanktonin määrä vähenee voimakkaasti. Talvinen levämäärä onkin yleensä vain murto-osa kesäisestä. Kasviplanktonin tutkimus ja seuranta keskittyvätkin yleensä kesän lämpimiin aikoihin ja alkusyksyyn.



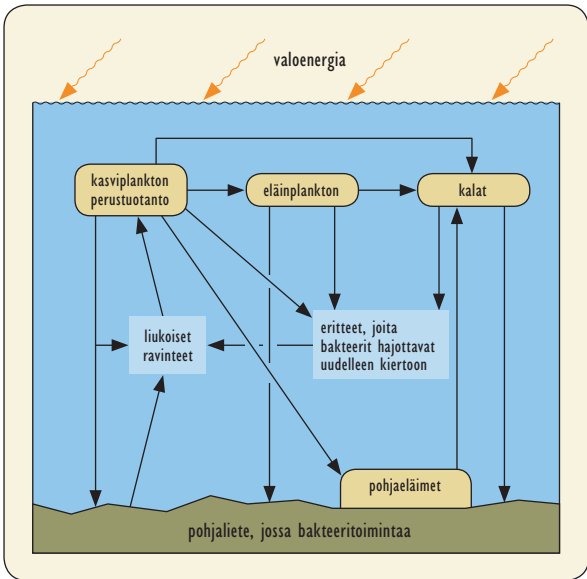
SYKEkuva

Eläinplanktonia (*Kellicottia longispina*) Koitere-järvessä.



Terhi Rytönen

Rantakasvusto on oleellinen osa tasapainoista järviökosysteemiä.



Kuva 15. Järviökosysteemi koostuu kasviplanktonista, eläinplanktonista, kaloista, pohjaeläimistä, bakteereista ja vesikasveista.

Kesällä lämpöisen veden aikana levätuotannon ollessa voimakkaammillaan kasviplanktonin määrät eroavat suurestikin eri vesikerrosten välillä. Suurin levien yksilötiheys tavataan melkein pä poikkeuksetta järven ylimmissä vesikerroksissa, päällysvedessä. Vain harvat planktonlevät ovat mukautuneet elämään ja lisääntymään harppauskerroksessa ja alusvedessä.

Voimakkaalla tuulella kasviplankton on jakaantunut melko tasaisesti koko päällysvesikerrokseen. Tyynemmällä ilmalla planktonlevät kerrostuvat myös päällysvedessä ja tihein kasvusto sijaitsee yleensä n. 0,5–1,0 metrin syvyydessä.

Planktonin laskennan kvalitatiiviseen (lajistoliseen) tutkimiseen kelpaa tavallinen, riittävästi suurentava (n. 250 x) mikroskooppi, mutta tarkempien kvantitatiivisten (määrää koskevien) tutkimusten perusedellytys on kunnollinen planktonmikroskooppi (käänteismikroskooppi).

Jo levien lajilukumäärästä saadaan joissakin tapauksissa viite tutkittavan vesistön ravinnepitoisuudesta. Yleensä vähäravinteisissa, oligotrofisissa vesistöissä on enemmän lajeja kuin rehevissä, eutrofisissa järvissä. Rehevissä järvissä yksittäisten lajien ja leväryhmien merkitys biomassasta on suuri, mikä alentaa lajiversiteettiä.

Karun ja rehevän järven planktonmäärät eroavat selvästi toisistaan. Kun rehevän (eutrofisen) järven keskimääräinen kasviplanktonbiomassa on kesällä yli yksi gramma yhdessä kuutiometrissä (g/m^3), karun (oligotrofisen) järven arvo on noin $0,05\text{--}0,3 \text{ g}/\text{m}^3$. Rehevöittävät asutusjätevedet voivat nostaa planktonmäärän huomattavasti korkeammaksikin.

Vesistön muuttuessa jätevesien tai hajakuormituksen vaikutuksesta karusta reheväksi kehitys on aluksi hidasta. Tällöin kasviplanktonin lajilukumäärän ja kokonaismäärän muutokset eivät useinkaan kuvaa riittävän selvästi tilanteen kehittymistä, vaan se näkyy parhaiten planktonin laadullisina muutoksina.

Vähäravinteisille vesille ominaiset levälajit, ns. oligotrofian indikaattorilajit, alkavat ravinnetason kohotessa vähetä ja tilalle tulevat vähitellen runsasravinteisuutta suosivat levät, ns. eutrofian indikaattorit. Indikaattorilevien määrä (biomassa) on alussa erittäin pieni, vain murto-osa levien kokonaismäärästä.

Jos eutrofiaa suosivia leviä kutsutaan E-lajeiksi ja oligotrofian ilmentäjiä O-lajeiksi, saadaan rehevöitymisestä verrattain hyvä kuva laskemalla

suhde E:O. Tämä lajilukumäärästä laskettu suhdelu, eli kvotientti, suurenee eutrofitumisen lisääntyessä. Myös eri leväryhmien prosentuaalinen osuus planktonin kokonaismäärästä ilmentää joissakin tapauksissa vesistön rehevyys- eli trofia-astetta.

Sinilevien hallitsema planktonnäyte on melkoisella varmuudella rehevästä järvestä. Eräät toiset leväryhmät taas edustavat tavallisesti karua vesistöä. Tällaisia ovat mm. viherleviin kuuluvat koristelevät (*Desmidiaceae*). Seuraamalla leväryhmien keskinäisten suhteiden muuttumista pystytään arvioimaan tutkimusvesistöjen mahdollista likaantumista tai rehevöitymistä.

Tiettyjen levälajien on todettu suosivan jätevesien likaamaa ympäristöä. Tällaisia levälajeja on löydetty mm. selluloosateollisuuden ja kaivoste-

ollisuuden jätevesien likaamilta alueilta. Toisaalta on paljon levälajeja, jotka ovat hyvin herkkiä näille jätevesille. Seuraamalla tällaisten lajien esiintymistä jätevesien leviämistä voidaan usein jäljittää sellaisille alueille, joilla kemialliset määritykset eivät enää riitä jätevesien osoittamiseen.

Kuvassa 15 on esitetty vesistöjen biologisten perustapahtumien keskinäiset suhteet erittäin pelkistettynä kaaviona.

Kokonaistuotanto määräytyy perustuotannon suuruuden mukaan, joka vuorostaan riippuu liukoisten ravinteiden määrästä ja niiden keskinäisistä suhteista. Hajotustoiminnan kautta ravinteet joutuvat uudelleen kiertoon tai sedimentoituvat. Mikäli pohjasedimentti ja pohja läheinen vesikerros muuttuvat hapettomiksi, ravinteet liukenevat uudelleen kiertoon.



Ulla-Maija Hyytiäinen

Monet kirkasvetiset hyväkuntoiset järvet olivat vaarassa happamoitua 1980-luvulla.

Planktonin näytteenotossa käytetään eri silmäkoon haavikankaita, joista tulee olla merkinnät näytteenottimissa.

