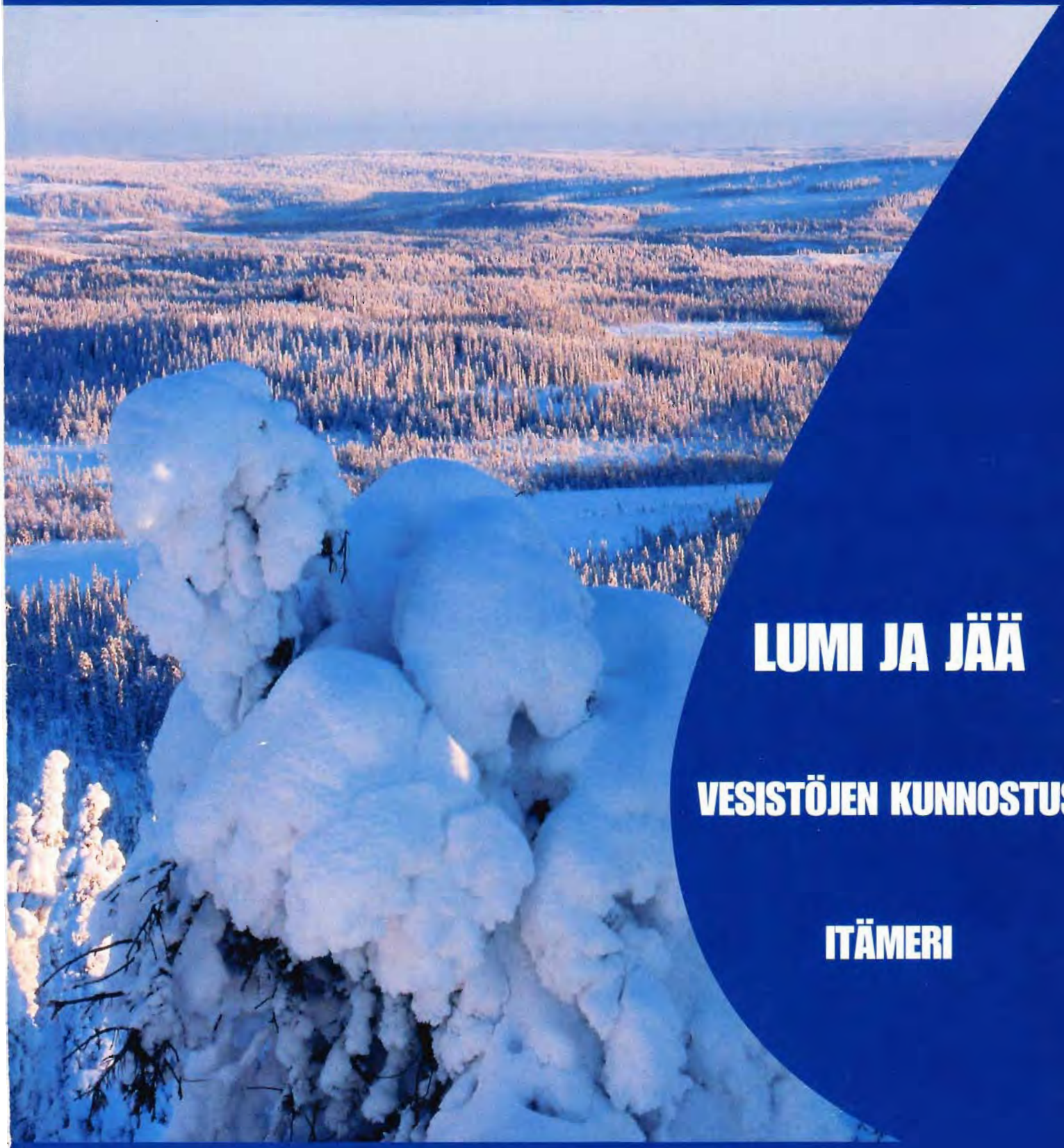
VESITALOUS

6/2001



LUMI JA JÄÄ

VESISTÖJEN KUNNOSTUS

ITÄMERI

www.vesitalous.com

VESITALOUS

2001

Vol. XLII

Julkaisija
YMPÄRISTÖVIESTINTÄ YVT Oy
(omistajat:
Maa- ja vesitekniikan tuki ry ja
Vesi- ja viemärilaitosyhdistys ry)

Päätoimittaja
TIMO MAASILTA
dipl.ins.
E-mail: timo.maasilta@mvtt.fi

Toimitus, talous ja tilaukset
MARJA-LEENA JÄRVI
toimitussihteeri

Tontunmäentie 33 D
02200 Espoo
Puhelin (09) 412 5530
Faksi (09) 412 5207
E-mail: vesitalous@mvtt.fi
Merita 120030-29108

Kannen kuva
ESKO KUUSISTO

Painopaikka
FORSSAN KIRJAPAINO Oy
ISO 9002

ISSN 0505-3838

Ilmestyy kuusi kertaa vuodessa.
Vuosikerran hinta 40 €.

www.vesitalous.com

Tämän numeron kokosi ja toimitti
ESKO KUUSISTO

SISÄLTÖ

Valkeat varastot
Esko Kuusisto
5

Suomalaista jäätikkötutkimusta
Anna Sinisalo ja Anja Pälli

Maatutka on osoittautunut erinomaiseksi jäätutkijan työkaluksi niin Etelämantereella kuin Huippuvuorilla. Tuloksia voidaan käyttää apuna selvitettäessä jäätiköiden käyttäytymistä muuttuvassa ilmastossa.
6

Lumitutkimusta Suomesta Etelämantereelle
Eija Kärkäs, Tari Oksanen, Sirpa Rasmus ja Kai Rasmus

Lumitutkimuksessa on menossa nuoren sukupolven esiinmarssi. Tutkimuskohteina ovat Suomen ja Etelämantereen lumipeitteen rakenne sekä optiset ominaisuudet.
11

Merten jääolot
Matti Leppäranta

Nykyiset tutkimukset koskevat merijään roolia maapallon ilmastosysteemissä, jääolojen kartoitusta ja ennustamista sekä jääolojen ja ekologian välisiä kytkentöjä.
18

TOIMITUSKUNTA

MATTI ETTALA
tekn.tri, dosentti
Matti Ettala Oy
Kuopion yliopisto

JUHANI KETTUNEN
tekn.tri, dosentti
tutkimusjohtaja, professori
Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
Teknillinen korkeakoulu

ESKO KUUSISTO
fil.tri, hydrologi
Suomen ympäristökeskus, ympäristövaikutusyksikkö

MARKKU MAUNULA
dipl.ins., vesiylitarkastaja
maa- ja metsätalousministeriö, maaseutu- ja luonnonvaraosasto, vesivarayksikkö

MARJA LUNTAMO
dipl.ins., johtaja
Porin Vesi

RAUNO PIIPPO
dipl.ins., toimitusjohtaja
Vesi- ja viemärilaitosyhdistys

LEA SIIVOLA
dipl.ins., ympäristöneuvos
Länsi-Suomen ympäristölupavirasto

RIKU VAHALA
dipl.ins.
Vesi- ja viemärilaitosyhdistys

OLLI VARIS
tekn.tri, dosentti, akatemiatutkija
Teknillinen korkeakoulu

ERKKI VUORI
lääket.kir.tri, oikeuskemian professori
Helsingin yliopisto, oikeuslääketieteen laitos

Erikoistoimittajat

HARALD VELNER
professori

PIPSA POIKOLAINEN
dipl.ins., maat.metsät.kand

HENRIIKKA TUOVINEN
tekn.yo.

Suomen järvien jäinen talvi
Matti Leppäranta ja Lauri Arvola

Kaikki Suomen järvet jäätyvät joka talvi. Mikä merkitys jääpeitteellä on ihmisen ja järvien ekosysteemin näkökulmasta? **24**

Hyödynarviointi järvien kunnostushankkeissa
Hannu Majuri

Uusia hyödynarviointitapoja järvien kunnostushankkeisiin. **29**

Itämeren tuntematon ymäristöhistoria
Simo Laakkonen

Nykyiset ympäristöongelmat ovat menneisyydessä tehtyjen poliittisten päätösten seurausta. Siksi ympristöongelmien ymmärtämiseen tarvitaan sekä historiallista että yhteiskunnallista tutkimusta. Huolimatta monitieteiseen ympäristöhistorian tutkimukseen kohdistuvasta mielenkiinnosta, ovat Suomen ja Itämeren alueen ympäristöhistoriat vielä käytännössä tutkimattomia alueita. **34**

Suomen Itämeren suojeluohjelma – Yhdyskunnat ja haja-asutus
Tapani Kohonen

Suomen kansallinen vesiensuojelun tavoite- ja toimenpideohjelmaan perustuva Itämeren suojeluohjelma on valmistunut. **38**

Ekotehokkuusanalyysi – menetelmä vesi- ja viemärilaitosten toiminnan kokonaisarviointiin
Jyrki Tenhunen

Luonnonvarojen käytön ja ympäristökuormituksen vähentäminen sekä toiminnan taloudellisuuden ja tuotetun palvelun parantaminen ovat ekotehokkuusajattelun tavoitteita, jotka voidaan integroida myös osaksi vesi- ja viemärilaitosten kokonaisvaltaista päätöksentekoprosessia. **41**

Liikehakemisto **46**

Uutisia **51**

Abstracts **55**

Vieraskynä
Mauri Määttänen **56**

Asiantuntijat ovat tarkastaneet lehden artikkelit.

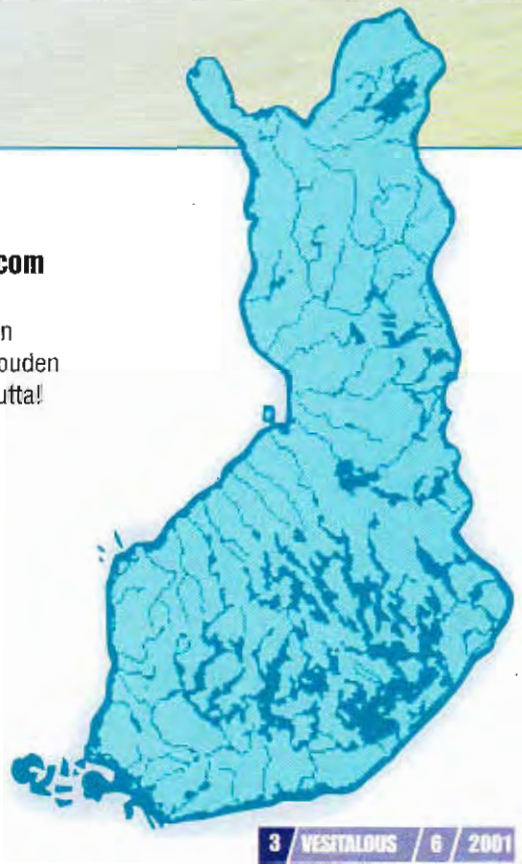
VESITALOUS 1/2002

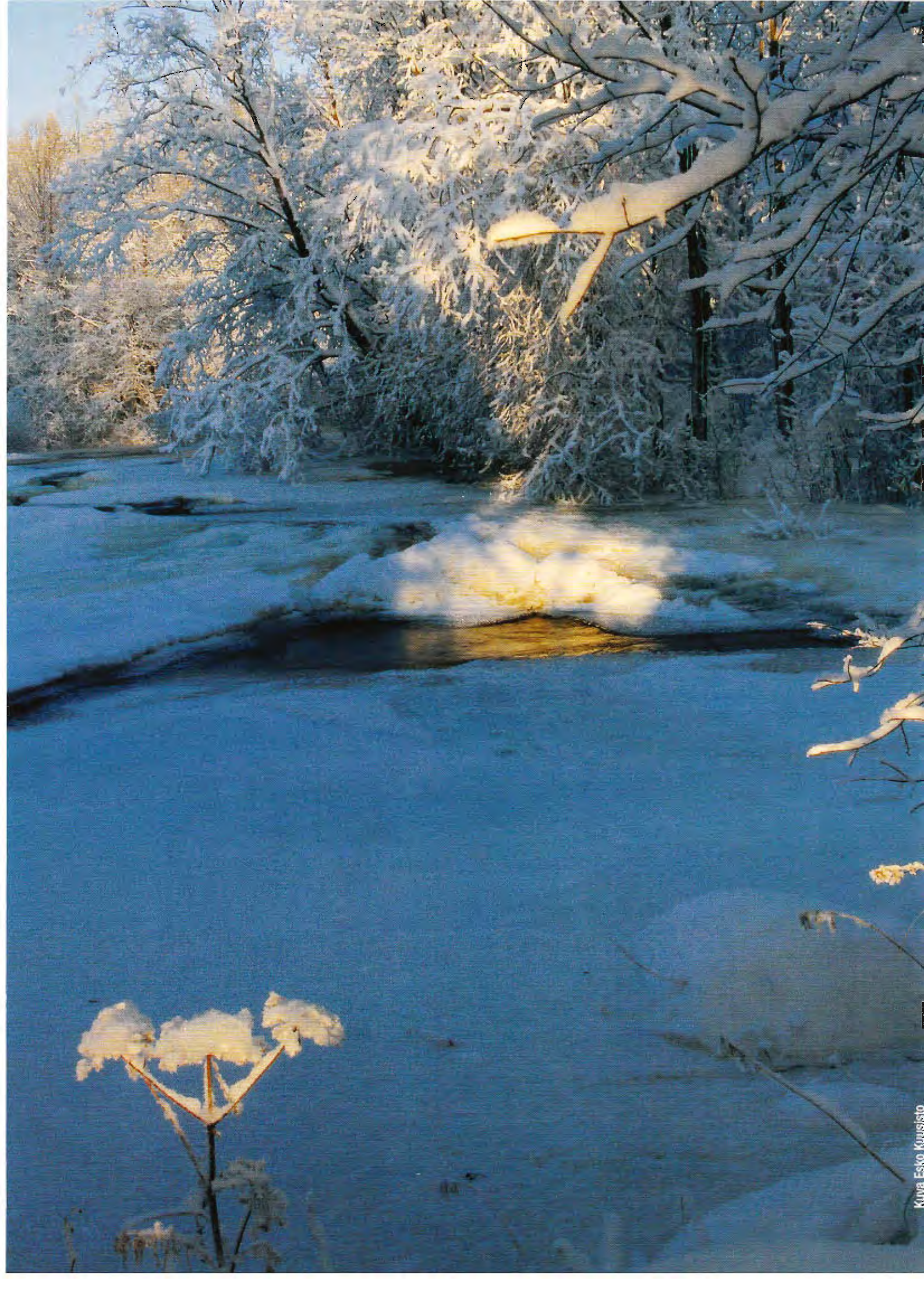
ilmestyy 28.2., miniteeman aihe on vesi ja kehitys. Numeron kokoaja ja toimittaja on Olli Varis.

Ilmoitusvarausten pitäisi olla toimituksessa 31.1. mennessä.

www.vesitalous.com

Pyydä vesihuollon tarviketarjous Vesitalouden markkinapaikan kautta!





Kuva Esko Kuusisto

VALKEAT VARASTOT

Esko Kuusisto

Maapallon sadannasta tulee lumena noin viisi prosenttia. Suomen kilpailukyky on tässä tilastossa huippuluokkaa: olemme maailman ykkösmaa noin 37 prosentin osuudella. Seuraavina ovat Kanada, Venäjä, Norja ja Ruotsi. Jos tanskalaiset saavat ottaa Grönlannin mukaan, he ohittavat meidät. Ja Mongolian osalta tilastot ovat melko epätarkat.

Lumisateen pienestä osuudesta huolimatta maapallo on aikojen kuluessa kerännyt muhkeat valkoiset varastot. Mannerjäissä on entistä lumisadetta niin paljon, että sen kaiken muuttuminen vedeksi nostaisi valtamerten pintaa 70 metriä. Tuo varasto vastaa nykyilmaston vuotuisten lumisateiden määrää 1500-kertaisena.

Kuinka monen ihmisen ikkunan takana on tänä vuonna valkea joulu?

Koska joulusää kiukuttelee niin Suomessa kuin muualla, tarkkaa vastausta ei voi antaa. Mutta jos sää olisi kaikkialla keskimääräinen, valkeaan jouluaamuun heräisi noin 800 miljoonaa ihmistä. Heistä kuitenkin kolmannes on kiinalaisia ja toinen kolmannes entisen Neuvostoliiton alueella asuvia, joten varsinaisia joulun viettäjiä on vain se kolmas kolmannes, joka asuu Pohjois-Amerikassa sekä Keski- ja Pohjois-Euroopassa.

Kaikkiaan lumi peittää keskimääräisenä jouluna maapallon pintaa noin kahdensadan Suomen laajuudelta. Viisikymmentä lumista Suomea kelluu meren jäällä; yhtä monen alla on Etelämantereen tai Grönlannin ikijäätikkö.

Lumen peittämää maankamaraa voi siten jouluna ihailla noin sata kertaa Suomen kokoisella alueella.

Lumen peittämän alueen laajuutta on seurattu satelliittikuvista vuodesta 1974 alkaen. Tämä kartan valkea alue on supistunut, voimakkaimmin kevätkuukausina. Lumet sulavat aiempaa nopeammin niin Euraasiassa kuin Pohjois-Amerikassa.

Suomen lumioloja on runsaan vuosikymmenen ajan luonnehtinut äärevöityminen. Lunta on monina talvina ollut runsaasti Pohjois- ja Itä-Suomessa, mutta muualla niukasti. Jopa ensimmäiset helmikuiset tulvat ovat ilmestyneet hydrologisiin tilastoihin. Pääkaupunkiseudun hiihtäjät ovat liittymässä ilmastopakolaisiin: heille aletaan louhia turvalatua Hakunilan kallioiden alle.

Lumen ja jään tutkimuksella on Suomessa pitkät perinteet. Myös havaintojen osalta olemme olleet edelläkävijöitä: Tornionjoen jäänlähtöä on seurattu vuodesta 1693 alkaen. Lumipeitteen vesiarvon määritys lienee Suomessa maailman tarkin.

Erityisen ilahduttavaa on, että moni nuori suomalainen tutkija on lumesta ja jäästä kiinnostunut. Tämä ilmenee myös tämän Vesitalous-lehden teemanumeron sisällöstä. Suomalaista lumi- ja jäätutkimusta tehdään Etelämantereelta Huippuvuorille saakka. Myös kuva kotimaan lumioloista on viime vuosina merkittävästi tarkentunut.

Mitä lumelle ja jäälle tapahtuu tulevina vuosikymmeninä?

Uutiset ovat pääasiassa huonoja. Jäätiköiden kutistuminen jatkuu monilla alueilla. Esimerkiksi Kilimanjaro menettänee valkoisen lakensa kokonaan vuoteen 2020 mennessä. Pohjoisen pallonpuoliskon lumipeitteen, ikiroudan ja merijään laajuus pienenee edelleen.

Ilmastonmuutoksen odotetaan olevan napa-alueilla rajumpi kuin missään muualla. Napa-alueiden ekosysteemit ovat hyvin herkkiä ilmastonmuutokselle, ja niiden sopeutumiskyky on huono. Koko globaalin ilmastonmuutoksen kannalta juuri napa-alueet voivat olla avainasemassa. Heijastusvaikutukset saattavat ulottua niin Golfvirtaan kuin ilmakehän kiertoliikkeisiin koko pohjoisella pallonpuoliskolla. Merkityksettömiä eivät ole myöskään lumipeitteen laajuuden muutokset.

Mustista tulevaisuudenkuvista huolimatta **Hyvää, valkoista, vanhanajan joulua Vesitalouden lukijoille!**

SUOMALAISTA JÄÄTIKKÖTUTKIMUSTA

Etelämantereella ja Huippuvuorilla

Anna Sinisalo

tutkija, fil.maist.
Arktinen keskus, Rovaniemi
E-mail: Anna.Sinisalo@urova.fi

Anja Pälli

tutkija, fil.maist.
Arktinen keskus, Rovaniemi
E-mail: anjapa@utu.fi

Kirjoittajat ovat jatko-opiskelijoita Oulun yliopiston geofysiikan osastolla. Anja Pälli kuuluu Lumen ja jään tutkijakouluun.

Artikkelissa esitellään lyhyesti kaksi suomalaista jäätikkötutkimusprojektia, joissa molemmissa keskeisenä työvälineenä on maatutka. Ensimmäisessä tutkitaan Etelämantereen ilmastohistoriaa Kuningatar Maudin maalta kerätyistä jää- ja luminäytteistä. Toisessa monitoroidaan Huippuvuorten jäätiköitä, jotka reagoivat selvästi nopeammin ilmastonmuutoksiin kuin Etelämanner.

Ilmastomuutosta tutkittaessa on tärkeää tuntea maapallon ilmastohistoria. Sitä voidaan tutkia jäätiköistä, sillä niihin arkistoituu lumisateen mukana tietoa kulloinkin vallitsevasta ilmastosta. Jäätiköt ovat syntyneet pitkien aikojen kuluessa alueille, joilla vuotuiset lumikerrokset säilyvät sulamatta koko kesän. Lumikerrosten kasautuessa ja tiivistyessä on lopulta syntynyt kiinteää jäätä. Jäästä otetuista kairausnäytteistä voidaan määrittää ilmastohistoria jopa 250 000 vuotta taaksepäin. Lisäksi jäätiköt reagoivat vallitsevan ilmaston muutoksiin ja siten jäätiköissä tapahtuvia muutoksia seuraamalla voidaan tehdä erilaisia ilmastoa koskevia päätelmiä. Pienet jäätiköt, esimerkiksi Skandinavian, Keski-Euroopan ja Huippuvuorten jäätiköt, reagoivat nopeammin ilmastomuutoksiin kuin Grönlannin ja Etelämantereen jääkentät. Ilmasto-olojen muuttuessa jäätiköiden koko muuttuu ja niistä saattaa lohkeilla jäävuoria. Nämä voivat edelleen aiheuttaa huomattavia paikallisia ilmastollisia ja hydrologisia muutoksia sekä vaikuttaa maapallon merenpinnan korkeuteen.

Mitä jäätiköillä mitataan?

Jäätiköistä kairataan näytteitä ilmastohistorian tutkimuksia varten. Kairausten sekä jäätiköillä tehtävien mui-

den mittausten tarkoituksena on myös selvittää jäätikön sen hetkinen massatase: kasvaako jäätikkö vai pieneneekö se? Massatasapainon selvittämiseksi on määritettävä jäätikköalueen vuotuinen sadanta ja sulaminen. Lisäksi on tärkeää tuntea jäätikön sisäinen rakenne, paksuus, muoto sekä virtausnopeus, jolla tarkoitetaan jään liikkumisvauhtia yleensä jäätikön yläosista kielekkeen suuntaan. Tämä liike voi koostua jäätikön sisäisen deformaation lisäksi jäätikön liukumisesta alustaansa pitkin.

Jäätikön paksuus ja sisäinen rakenne sekä lumikerrosten paksuudet ja sadannan alueellinen jakauma voidaan selvittää maatutkamittauksin. Maatutkaus on sähkömagneettinen menetelmä ja sillä mitataan jään dielektristen ominaisuuksien vaihteluita. Ne johtuvat yleensä jään tiheyden tai sähkönjohtavuuden äkillisestä muutoksesta, joka syntyy esimerkiksi jään vesipitoisuuden muuttumisen tai jään sisäisen tulivuoriperäisen tuhkakerroksen takia. Mittauslaitteisto koostuu lähetin- ja vastaanotinantenneista, keskusyksiköstä ja kannettavasta tietokoneesta. Mittauksiin käytetään eri taajuisia antenneja sen mukaan, kuinka syvältä ja kuinka yksityiskohtaista tietoa halutaan. Yleensä käytetyt tutkataajuudet vaihtelevat välillä 50–800 MHz. Maatutkamittaukset yhdessä muiden mittausten kanssa tuottavat arvokasta tietoa siitä, kasvavatko vai kutistuvatko jäätiköt. On tärkeää toistaa osa mittauksista joka vuosi ja kerätä tietoja jäätikön käyttäytymisestä useiden vuosikymmenien ajan. Vasta pitkän aikavälin tilastoista pystytään tulkitsemaan, miten jäätikkö on reagoinut muuttuvaan ilmastoon.

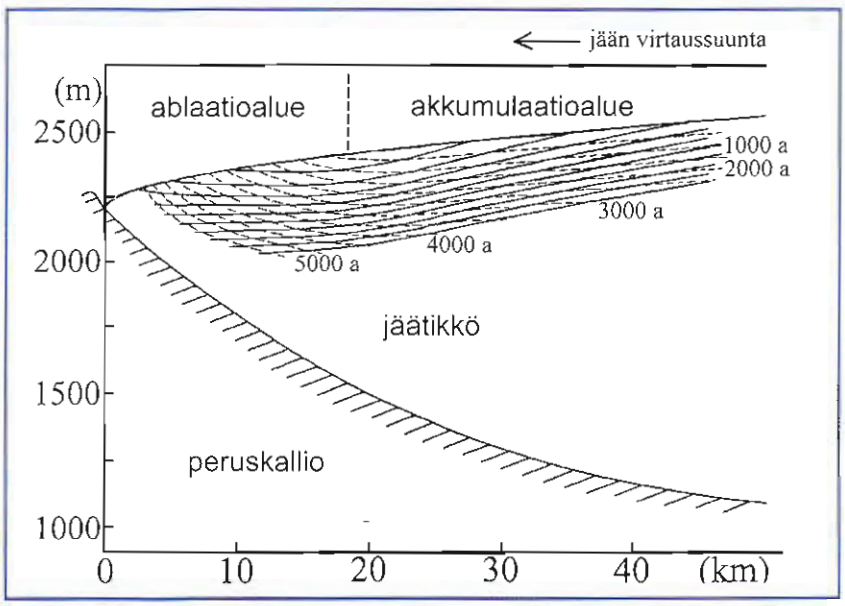
Sinisen jään tutkimus Etelämantereella

Etelämantereen puhtaus ja eristyneisyys tekevät siitä erinomaisen tutkimuskohteen jään kemiallisia analyysejä ajatellen. Perinteisesti ilmastohistoriaa on tutkittu syvältä jäätiköistä kairattavien jäänäytteiden avulla. Tällaisia jäänäytteitä on kuitenkin vähän kairauksien kalleuden sekä menetelmään liittyvien huolto-ongelmien vuoksi. Vanhaa jäätä on myös jäätikköjen pinnalla erityisillä sinisen jään alueilla (kuva 1), jotka ovat yleisiä Kuningatar Maudin maalla.

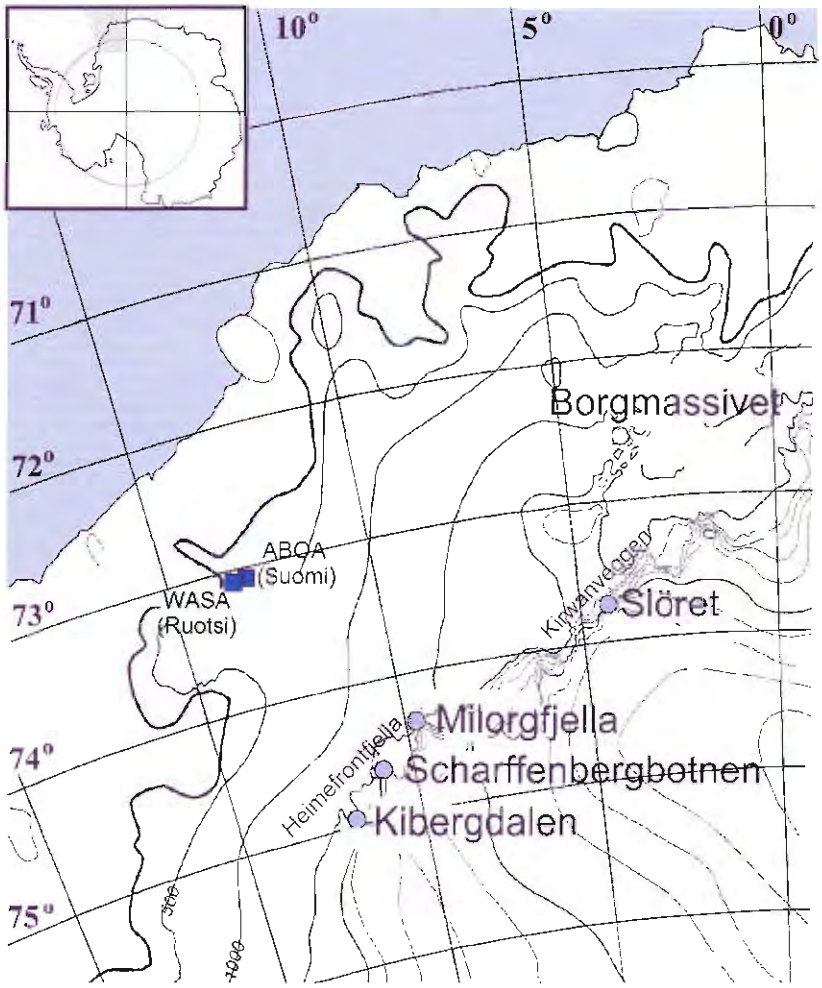
Kuva: FINNARP/Jari Vehviläinen

Kuva 1. Tutkimuskohteena ollut tyypillinen sinisen jään alue Etelämantereella.

Sinisen jään alueet vastaavat yhtä prosenttia Etelämantereen pinta-alasta. Yleensä näillä jääalueilla ei tapahdu sulamista, vaan ainoa poistuma tapahtuu sublimoitumalla kiinteästä jäästä suoraan vesihöyryksi. Tämän vuoksi jään kemiallinen koostumus ei häiriinny sulamisvesien takia kuten usein muiden jäätikkötyyppien ablaatio- eli sulamisalueilla. Tyypillisiä sinisen jään alueille ovat suhteellisen alhainen albedo sekä aerodynaamisesti tasainen pinta. Näiden alueiden herkkyyttä ilmastonvaihteluille on tutkittu myös muun muassa satelliittikuvien avulla (Orheim ja Lucchita 1990). Useimmiten vanha jää nousee näillä alueilla jäätikön pintaan vuoren padotessa jäätikön virtauksen (kuva 2). Joillakin sinisen jään alueilla pintajään on arvioitu olevan kymmeniä, jopa satoja tuhansia vuosia vanhaa (Bintanja 1999).



Kuva 2. Sinisen jään virtausmalli (muokattu, Naruse ja Hashimoto, 1982).



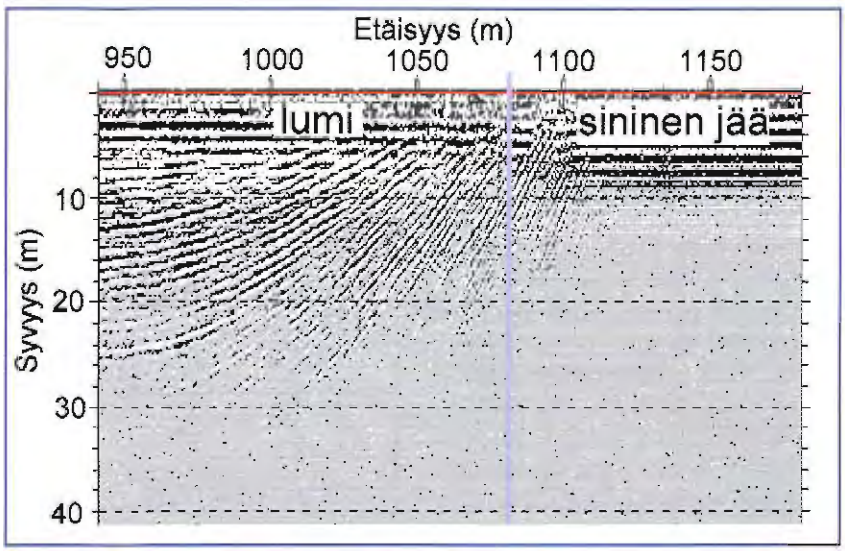
Kuva 3. Tutkimuskohteena olevat viisi sinisen jään aluetta Kuningatar Maudin maassa.

Mittaukset tehtiin viidellä sinisen jään esiintymällä Heimefrontfjellan, Kirwanveggenin ja Borgmassivetin vuoristoalueilla (kuva 3). Projektin aikana näiden alueiden pintaosien vanhasta jäästä kairattiin ilmastotutkimuksia varten sarja 1–10 metriä pitkiä jäänäytteitä, joista analysoitiin jään ionipitoisuudet. Ilmamassojen mukana kulkeutuneet ionit ovat alun perin peräisin merivedestä ja tulivuorenpurkauksista tai biologisesta toiminnasta. Ne edustavat sen ajan ilmastoa, jolloin lumi on satanut. Ongelmana on kyseisen jään iän määrittäminen edes kohtuullisen tarkasti.

Tutkimusryhmä teki maatutkamittauksia kairausalueilla ja näiden ympäristössä. Mittauksilla pyrittiin havainnoimaan lumipeitteisillä jäätiköillä jään sisäisiä, tulivuoren purkauksista peräisin olevien happojen aiheuttamia heijastuksia. Heijastuspintojen syvyyksien perusteella on mahdollista määrittää jään ikä normaaleilla jäätikkötieteellisillä menetelmillä, koska purkausten ajankohdat tiedetään. Jäätikköjen paksuudet vaihtelivat alle sadasta metristä ja yli kilometriin. Tutkalla pystyttiin mittaamaan pohjatopografia noin 350 metrin syvyyteen saakka. Tutkalla havaittujen kerrosten sijainti määritettiin jäätikön lumipeitteisiltä akkumulaatio- eli kasaantumisalueilta aina sinisen jään alueille, joilla jääkerrokset nousevat kohti pintaa (kuva 4). Kerrosrakenne voitiin selvittää noin 50–60 metrin syvyyteen saakka. Tutkakuvien avulla voidaan kohtuullisella tarkkuudella määrittää ne alueet, joilla vanha jää esiintyy pinnassa.

Projektin aikana tehtiin sinisen jään alueilla myös jäänvirtausmittauksia tarkkaa satelliittipaikannusjärjestelmää (DGPS) apuna käyttäen. Myös maatutkalinjat paikannettiin samalla menetelmällä.

Jäänäytteet säilytettiin jäisinä ja kuljetettiin Suomeen. Kaikki Etelämantereelta kerätty mittausaineisto käsitellään ja tulkitaan Rovaniemellä. Tulokset ovat aikanaan arvokas lisä Etelämantereen ilmastohistorian tutkimukselle. Käytettävä menetelmä on uusi tapa hankkia vanhaa jäätä tutkimuksiin. Tiedot lumen kertymisnopeudesta ovat myöhemmin hyödyllisiä arvioitaessa Etelämantereen jäätiköiden massatasapainoa, joka tunnetaan vielä melko huonosti. Iän ja syvyyden yhteyden tuntemus kehittää myös sinisen jään alueiden jäätiköiden dynaamista mallintamista ja ilmastotiedettä.



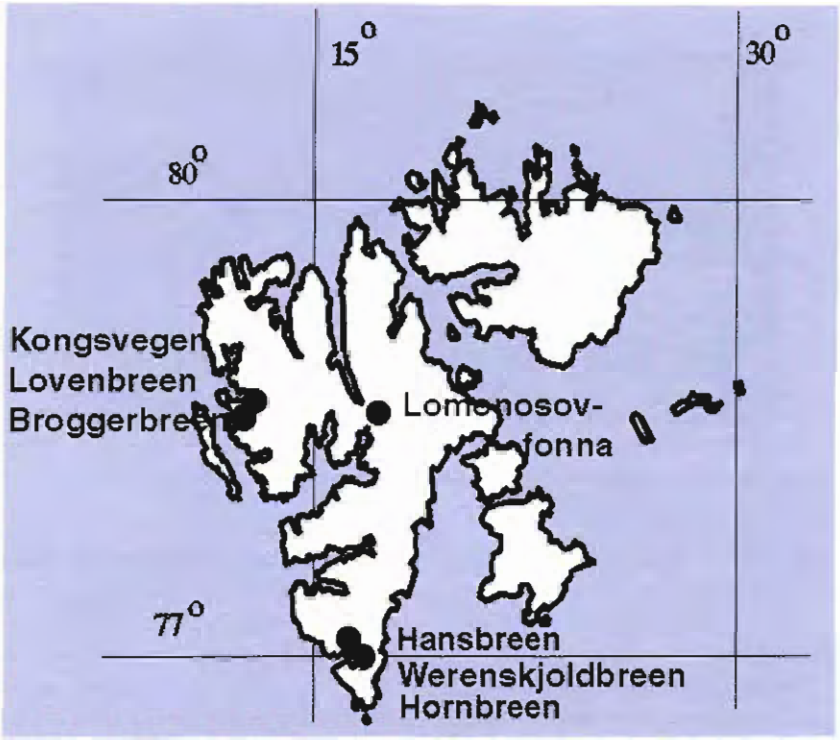
Kuva 4. 50 MHz:n antenneilla mitattu tutkaprofiili Scharffenbergbotnenilla (vrt. Kuva 2).

Jäätikkötutkimus Huippuvuorilla

Tämänhetkiset ilmastomuutosten vaikutukset näyttävät olevan selvemmin havaittavissa pohjoisen pallonpuoliskon korkeilla leveysasteilla kuin millään muulla alueella maapallolla (Folland ym. 1990, Wigley ja Barnet 1990). Pohjoisen pallonpuoliskon arktisen alueen jäätiköiden tilaa voidaan pitää luotettavana indikaattorina ilmastomuutoksista niiden nopean vasteen takia. Noin kaksi kolmasosaa maapallon pienistä jäätiköistä sijaitsee tällä alueella.

Huippuvuorilla tutkimuskohteena ovat polytermiset jäätiköt, jotka edustavat saarten yleisintä jäätikkötyyppiä. Polyterminen jäätikkö koostuu pääosin lämpimästä, lähellä sulamispistettään olevasta jäästä. Jäätikön sulamisalueella on kuitenkin vaihtelevan paksuinen kylmän jään kerros. Tällainen muodostuu ainoastaan ablaatioalueelle, sillä akkumulaatioalueella jäätikköä suojaa koko vuoden lumipeite, joka estää talven kylmän aallon tunkeutumisen pintakerroksia syvemmälle (kuva 5). Kesällä suojaava lumikerros osittain sulaa ja muuttuu vetiseksi sohjoksi. Syksyllä sohjoisen lumikerroksen vesi jäätyy uudestaan, jolloin vapautuu lämpöä. Vapautunut lämpömäärä riittää estämään talven kylmän aallon tunkeutumisen pintakerroksia alemmas. Ablaatioalueella kaikki lumi sulaa kesällä, ja niinpä syksyllä talven kylmä aalto pääsee tunkeutumaan syvälle jäähän.

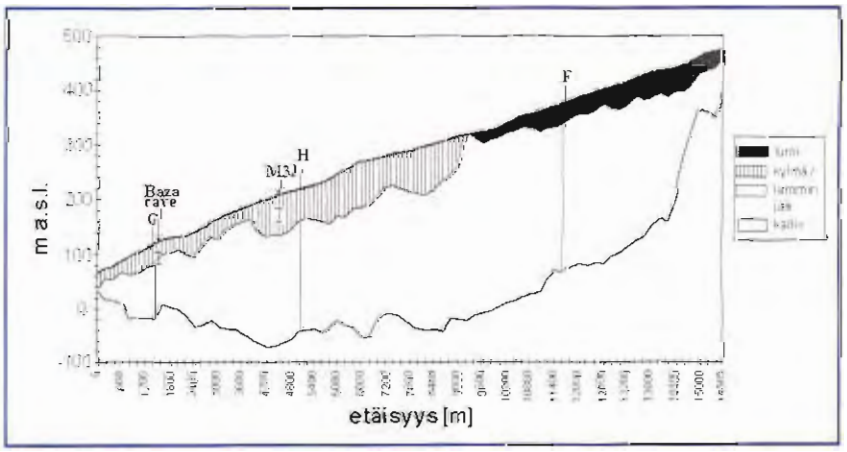
Tutkimuskohteina olevat jäätiköt sijaitsevat eri puolilla Huippuvuorten pääsaarta Spitsbergeniä (kuva 6). Pääosin tutkimus on keskittynyt saaren eteläosaan Hornsundiin kolmelle jäätiköille. Hansbreen on noin 16 km pitkä jäätikkö, Werenskjoldbreen on voimakkaasti etuosastaan vetäytyvä ja noin 10 km:n pituinen. Myös Hornbreen on noin kymmenen kilometrin pituinen, voimakkaasti vetäytynyt jäätikkö, joka sijaitsee saaren eteläisimmän kärjen ja pääsaaren välissä.



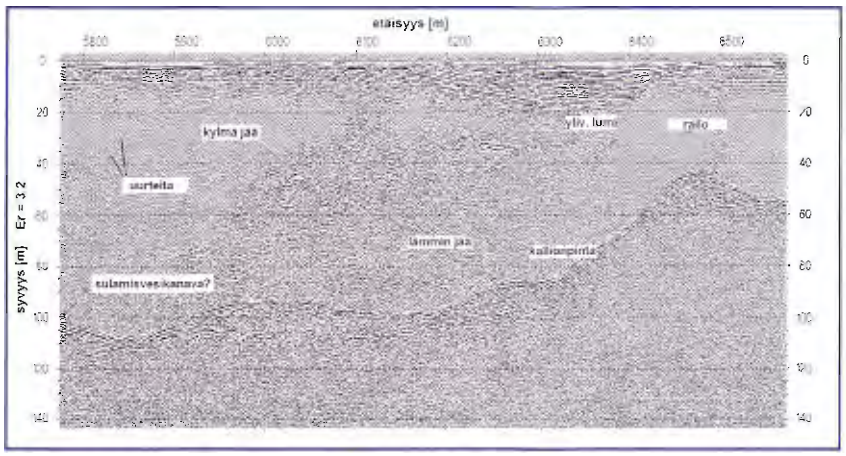
Kuva 6. Huippuvuoret. Tutkimuskohteina olevat jäätiköt on merkitty karttaan mustilla palloilla.

Maatutkamittauksin on selvitetty näiden kolmen jäätikön massatasapainoon vaikuttavat ominaisuudet kuten niiden omat ja niihin laskevien pienempien jäätikköjen paksuudet. Samoin on kartoitettu jäätikköjen sisäisen kylmän ja lämpimän jääkerroksen väliset rajapinnat sekä suurimmat sulamisvesikanavat. Lisäksi lukuisista yksittäisistä hyperbeliheijasteista on laskettu jäätikön lämpimän jääkerroksen ja suurten sulamisvesikanavien vesipitoisuusarvot. Ne kertovat suuntaa antavasti, onko kanavassa jatkuvasti hieman sulana olevaa vettä vai kuivuuko ja sulkeutuuko kanava välillä.

Hansbreenin paksuus sekä kylmän ja lämpimän jään välisen rajapinnan sijainti vaihtelevat huomattavasti jäätikön pitkittäis- ja poikittaissuuntaisilla linjoilla. Hansbreen on paksuimmillaan akkumulaatioalueella, jossa maatutka ei enää saanut heijastetta kaikkialta kallioperästä. Kairaustulosten perusteella jäätikön maksimipaksuuden on arvioitu olevan noin 400 metriä. Käytössä olleilla antenneilla pääsimme parhaimmillaan 370 metrin syvyyteen. Ohuimmillaan jäätikkö on etuosassaan, vain 40 metriä. Keskimääräinen paksuus on



Kuva 5. Polytermisen jäätikön pitkittäissuuntainen läpileikkaus.



Kuva 7. Hansbreen, tyypillinen maatutkakuva 50 MHz:n antennein mitatusta linjasta.

noin 300 metriä, joka on tyypillinen arvo Hansbreenin (pituus 16 km, pinta-ala 57 km^2) kokoisille jäätiköille Huippuvuorilla.

Kylmän jääkerroksen paksuus vaihteli Hansbreenin pitkittäissuuntaisella linjalla 20 metristä 90 metriin (kuva 7). Kylmä jääkerros oli ohuempi jäätikön kielekkeellä sekä alueilla, joissa jäätikössä oli paljon railoja. Kylmän ja lämpimän jään rajapinta oli syvemmällä paikoissa, joissa sivujäätiköt yhtyivät Hansbreenin jäävirtaan, sekä ympäröivien vuorten seinämien läheisyydessä. Lumikerroksen paksuus vaihteli 1,3 metristä 2,5 metriin. Mittaustuloksia on vertailtu kairanrei'istä tehtyihin jään lämpötilamittauksiin sekä suurten sulamisvesikanavien vedenpinnan korkeuksiin. Maatutkamittauksista saadut tulokset korreloivat hyvin näiden mittaustulosten kanssa.

Kylmän ja lämpimän jään rajapinnan sijainti vaikuttaa jäätikön sulamisvesikanavien syntyyn ja sitä kautta koko jäätikön hydrologiaan. Mikäli tiedetään jäätikön pinnan ja pohjan sijainti merenpintaan nähden, voidaan laskea jäätikön hydraulinen potentiaali eri puolilla jäätikköä (Shreve 1972) ja mallintaa sulamisveden todennäköisin valumareitti (esimerkiksi Björnsson 1988, Homlund 1988). Polytermisen jäätikön sisäisen rakenteen ja hydrologian tuntemus on erittäin tärkeää, jotta jäätikön todellinen tasapainotila (kasvu tai kutistuminen) ja siihen johtaneet syyt saadaan selville.

Lomonosovfonnan jääkentällä (kuva 6) tehdyissä mittauksissa määritettiin maatutkaa ja kairanreikämittauksia apuna käyttäen lumen sadanta-arvot vuosille 1986–1999 ja 1963–1986. Tulokset osoittivat lumen kerrospaksuuden alueellisten vaihtelujen olevan suuria lyhyilläkin etäisyyksillä sekä keskimääräisen sadannan olleen 40 % suurempi vuosina 1986–1999 kuin 1963–1986. Tämä tarkoittaa sadannan lisääntyneen 1980-luvun lopulla sekä 1990-luvun alussa verrattuna keskimääräiseen vuotuiseen normaalisadantaan, joka tällä alueella on noin 0,40 m w.eq. (tarkoittaen 40 g/cm^2).

Yhteenveto

Maatutka on osoittautunut erinomaiseksi työkaluksi jäätikkötutkimuksissa. Projektien aikana on kerätty kattava mittausaineisto useilta alueilta Etelämantereella ja Huippuvuorilla. Maatutkaustuloksia voidaan käyttää apuna Etelämantereen sinisen jään alueiden pintajään iänmäärityksessä sekä jään virtausta mallinnettaessa. Huippuvuorilla maatutkaa käytetään muun muassa jäätiköiden paksuuksien ja hydrologisen rakenteen määrittämiseen. Lisäksi tutkaamalla voidaan kartoittaa vuotuisten lumikerrosten paksuudet ja sadannan alueellinen jakauma laajoilta alueilta. Kaikki edellä mainitut tutkimukset ovat tärkeitä selvitettäessä jäätiköiden käyttäytymistä muuttuvassa ilmastossa.

Projektit jatkuvat edelleen. Kehitteillä on sinisen jään alueen virtausmalli, jonka avulla voidaan arvioida pintajään ikäjakaumaa kyseisillä alueilla. Tämä on välttämätöntä myös kemiallisia jääanalyysejä ajatellen, kun tuloksista aletaan tulkita ilmastomuutoksia. Vuoden 2003 kuluessa valmistuu kaksi Etelämanner-projektiin liittyvää väitöskirjaa, joista toinen tehdään Lumen ja jään tutkijakoulussa. Tutkimusaiheina ovat sinisen jään virtaus- ja ikämääritys maatutkan avulla sekä jäänäytteiden analysointi ja tulosten käyttö ilmastotieteellisessä tutkimuksessa. Huippuvuorten jäätiköiden hydrologista rakennetta käsittelevä väitöskirja valmistuu vuoden 2002 lopulla Lumen ja jään tutkijakoulussa. Sen toivotaan antavan arvokasta tietoa polytermisten jäätiköiden sisäisestä rakenteesta, jonka tunteminen auttaa ymmärtämään näiden jäätiköiden monimutkaista vastetta ilmastomuutoksiin.

Kirjallisuus

Bintanja, R. 1999. On the glaciological, meteorological, and climatological significance of Antarctic blue ice areas. Reviews of Geophysics 37(3): 337–359.

Björnsson, H. 1988. Hydrology of Ice Caps in Volcanic Regions. Societas Scientarium Islandica, Rit XLV. Reykjavik. 139 p.

Folland, C.K., Karl, T. & Vinnikov, T.A. 1990. Observed climate variations and change. In: Climate Change. The IPCC Scientific Assessment. Cambridge, Cambridge University Press. P. 195–238.

Holmlund, P. 1988. Internal geometry and evolution of moulins, Storglaciären, Sweden. Journal of Glaciology, 34 (117): 242–248.

Naruse, R. & Hashimoto, M. 1982. Internal flow lines in the ice sheet upstream of the Yamato Mountains, East Antarctica. Memoirs of National Institute of Polar Research. Special issue 24: 201–203.

Orheim, O. & Lucchitta, B. 1990. Investigating climate change by digital analysis of blue ice extent on satellite images of Antarctica. Annals of Glaciology 14: 211–215.

Shreve, R.L. 1972. Movement of Water in Glaciers. Journal of Glaciology 11(62): 205–214.

Wigley, T.M.L. & Barnett, T.P. 1990. Detection of the greenhouse effect in the observations. In: Climate Change. The IPCC Scientific Assessment. Cambridge. Cambridge University Press. P. 239–256.

LUMITUTKIMUSTA SUOMESTA ETELÄMANTEREELLE

Eija Kärkäs
fil.maist., tutkija

Tari Oksanen
fil.maist., tutkija

Sirpa Rasmus
fil.maist., tutkija

Kai Rasmus
fil.maist., assistentti

Kaikki kirjoittajat työskentelevät Helsingin yliopiston fysikaalisten tieteiden laitoksen geofysiikan osastolla. Sähköpostit: etunimi.sukunimi@helsinki.fi

Lumen ja jään tutkijakoulussa selvitetään erityisesti Suomen lumipeitteen alueellisia ja ajallisia eroja sekä Etelämantereen lumipeitteen ominaisuuksia. Tärkeäksi osaksi lumitutkimusta on kehittynyt myös lumen optisten ominaisuuksien havainnointi. Kuiva lumi heijastaa jopa 90 % tulevasta auringonsäteilystä, joten pienetkin muutokset heijastuskyvyssä voivat olla energiataseen kannalta merkittäviä.

Lumitutkimuksella on Suomessa pitkät ja arvostetut perinteet (Angervo 1952). Lumen vesiarvon parissa on Suomessa tehty tutkimusta jo 1900-luvun alkupuolelta asti (Korhonen 1917). Vesiarvon tutkimuksen lisäksi on Suomessa tehty valuntamallien kehitystyötä sekä niihin liittyvää perustutkimusta (Vakkilainen ja Karvonen 1982, Vehviläinen 1982, Kuusisto 1984, Virta 1987, Vehviläinen 1992), ja lumen kaukokartoituksen alalla on Suomella kansainvälisesti vahva osaaminen (mm. Hallikainen et al. 1990, Kuittinen 1992). Ilmatieteen laitoksen havainnot lumipeitteen tulo- ja lähtöajoista sekä lumen syvyydestä antavat hyvän pohjan lumitutkimukselle (Simojoki 1947, Palosuo 1978, Solantie et al. 1996). Kattavan historian suomalaisten 1900-luvulla tekemästä lumitutkimuksesta antavat Leppäranta et al. (2001) sekä Vehviläinen (1992).

Lumitutkimus oli viime vuosiin asti keskittynyt vesitalouteen liittyvien kysymysten ympärille. Vuonna 1999 Helsingin yliopiston geofysiikan laitoksella alkaneen lumen ja jään tutkijakoulun myötä tutkimuksen painopiste on siirtynyt lumen sisäisen rakenteen ymmärtämiseen. Tutkijakoulun ympärille on kasvanut nuorten lumitutkijoiden sukupolvi, ja tehty lumitutkimus on ulottunut arktisista oloista aina Etelämantereelle asti. Tällä hetkellä tutkimuskohteina ovat Suomen ja Etelämantereen lumipeitteen rakenteen alueellinen sekä ajallinen vaihtelu, vesihöyryn diffuusio arktisessa lumipeitteessä, lumen optiset ominaisuudet ja

tulevaisuuden lumipeitteen rakenteen mallintaminen.

Tutkijaksi kouluttautuvat ovat tehneet yhteistyötä monen kansainvälisen laitoksen kanssa. Näitä ovat Sveitsissä sijaitseva Davosin lumi- ja lumivyörytutkimuskeskus (SLF), japanilaiset Institute of Low Temperature Science (ILTS) ja Cryospheric Environment Simulator (CES), Norjan yliopistojen The University Courses on Svalbard (UNIS) Huippuvuorilla sekä Sherbrooken ja Saskatoonin yliopistot Kanadassa.

Koska Suomi sijaitsee leveyspiirien 60 °N ja 70 °N välissä, soveltuu luontomme lumen alueellisten erojen tutkimuksen koekentäksi. Suomen lumipeitteen kestoaika vaihtelee etelän noin 100 päivästä pohjoisen yli 250 päivään. Suomen lumipeitteen maaliskuinen maksimisyvyys vaihtelee etelän ajoittain lumettomista alueista aina Metsä-Lapin lähes kaksimetrisiin hankiin. Suomen maaperän topografian tasaisuus helpottaa tulosten käsittelyä ja syysuhteiden löytämistä.

Toinen päätutkimusalue on ollut Etelämantereen, jonka pinta-alasta 98 % on lumen ja jään peittämänä, mukaan luettuna ympäröivä merijää. Etelämantereen lumipeitteellä on suuri vaikutus maailmanlaajuisesti ilmastoon, sillä kuiva lumi heijastaa jopa 90 % siihen osuneesta auringon lyhytaaltoisesta säteilystä takaisin avaruuteen. Pinnan korkeus kasvaa mentäessä rannikolta sisämaata kohden, ja rannikkoalueen topografiset piirteet vaikuttavat sadannan määrään. Vuosittainen sadanta vaihtelee rannikon jopa 800 mm:stä mantereen sisäosien alle 50 mm:iin (Bromwich 1988).

Etelämantereen lumipeite eroaa Suomen lumipeitteestä lähinnä voimakkaiden tuulien, voimakkaan kesäaikaisen auringonsäteilyn ja kuivan ilmaston ansiosta. Painovoiman ajamat vuorituulet kuljettavat ja pakkaavat lunta tehokkaasti sekä muokkaavat lumipeitteen pinnan aaltomaiseksi sastrugi-topografiaksi. Sekä tuuli että säteily muodostavat lumipeitteen pintaan ohuita jääkuoria.

Suomen jako lumiluokkiin

Lumipeite muodostuu useista kerroksista. Kerrokset eroavat toisistaan kidekoon ja -muodon sekä lumikiteiden sidostuneisuuden suhteen. Nämä puolestaan aiheuttavat eroja lumipeitteen fysikaalisiin ominaisuuksiin. Lumikiteitä ja niiden välisiä sidoksia muovaavat metamorfoosit ovat jatkuvia termomekaanisia prosesseja, jotka alkavat heti lumen satamisen jälkeen ja jatkuvat lumen sulamiseen asti. Tuuli aiheuttaa mekaanista, mikroterminen lämpötilagradientti hajottavaa ja makroterminen lämpötilagradientti rakentavaa metamorfoosia. Sulamismetamorfoosi puolestaan ilmenee sulamis-jäätymisprosesseina. Kaikkien näiden johdosta lumipeitteen fysikaaliset ominaisuudet muuttuvat ajan myötä. Lumipeitteen alaosiin lämpötilagradientin seurauksena syntyvää kidekooltaan suurta ja löysästi sidostunutta kerrosta kutsutaan syväkuuraksi.

Lumipeitteen hienorakennetta on havaittu säännöllisesti Suomen eri osissa talvesta 1997–1998 lähtien. Lumipeitteen kerrosrakenne on määritetty 1–2 metriä leveän lumikuopan seinämästä (kuva 1). Seinämästä on mitattu seuraavien ominaisuuksien profiilit: lämpötila, tiheys, kovuus, kidekoko ja kidemuoto. Sähkönjohtokyky ja pH on mitattu sulatetuista näytteistä laboratoriossa.

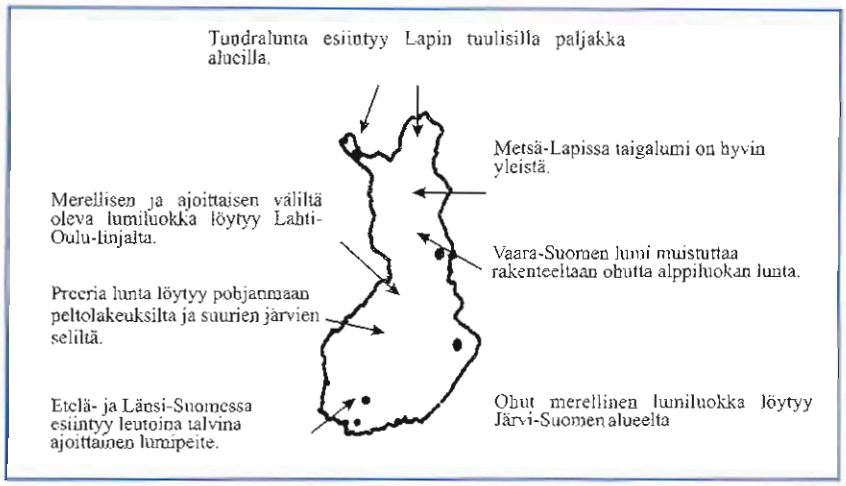
Ensimmäisen talven perusteella Suomi jaettiin lumiluokkiin Sturmin et al. (1995) esittämän lumiluokkajaon perusteella. Luokituksen mukaan tundralumi on kylmää ja ohutta. Se koostuu syväkuurasta ja tuulen pakkaamista kiteistä. Taigalumi on puolestaan havumetsän lumityyppi. Se on yleensä syvää, huokoista ja tasalaatuista ja koostuu pääosin syväkuurasta. Vaara-Suomessa havaittava vuoristolumi muistuttaa taigaluokan lunta, mutta koska sademäärä on suurempikuin taigalla, myös hanki kehittyy paksummaksi. Hangesta voi löytyä sulaneita ja uudelleen jäätyneitä kerroksia.

Preerialuokan lumi on tuulen pakkaamaa kuten tundralumikin, mutta koska se on kehittynyt lämpimämmissä ilmasto-oloissa, syväkuuran määrä on vähäinen ja hangesta löytyy jääkerroksia. Suomessa tätä luokkaa edustavat Pohjanmaan peltoaukeiden ja suurien järvien talvinen lumipeite. Merellisen lumiluokan hangessa näkyvät useiden talvenaikaisten sulamisten ja jäätymisten jäljet, ja syväkuuraa löytyy lumipeitteestä vähemmän kuin pohjoisemmassa. Etelä- ja Länsi-Suomen ajoittainen lumipeite sataa ja sulaa useaan kertaan talven aikana.

Kuvassa 2 on esitetty alustava Suomeen soveltuva lumiluokkajako (Oksanen 1999, Rasmus 1999). Lumipeitteen rakenne ja sen mukana lumiluokkien rajat vaihtelevat suuresti vuodesta toiseen, mikä merkitsee pidempien havaintosarjojen tarpeellisuutta lumipeitteen rakenteen tutkimuksissa.

Vuodesta 2000 lähtien mittauspaik-

Kuva 1. Lumipeitteen rakenneprofiilit määritetään lumikuopan seinämästä. Kuva Etelämantereelta kaudelta 2000–2001. (Kuva Kimmo Kanto)



Kuva 2. Suomen lumiluokkajako. Palloina karttaan on merkitty Santalan, Lammin, Mekrijärven, Oulangan ja Kilpisjärven sijainnit.

koina ovat olleet Santala, Lammi, Mekrijärvi, Oulanka ja Kilpisjärvi. Jokaisella mittauspaikkakunnalla havaitaan lumipeitteen rakennetta alku- ja lopputalvesta, sekä aukealla maalla että metsässä. Tutkimuksen tavoitteena on lumiluokkajaon tarkentaminen, lumipeitteen ominaisuuksien paikallisten ja ajallisten vaihteluiden kartoittaminen sekä biotooppien erojen havainnointi paikkakunnittain.

Lumipeitteen rakenteen vaihtelu Suomessa

Kuvassa 3 on esitetty metsässä havaittu lumipeitteen rakenne eri lumiluokissa neljänä talvena tammi- tai maaliskuussa. Kerrokset on jaettu erilaisten kidetyyppien mukaan, jotka kertovat vallinneista metamorfooseista. Kuvasta nähdään rakenteessa muutoksia siirryttäessä lumiluokasta toiseen. Sulamisjäätymiskerroksia havaitaan runsaammin etelässä, kun taas rakentava metamorfoosi on yleisempää pohjoisessa. Myös neljän talven erityispiirteistä johtuvat erot ovat havaittavissa. Esimerkiksi huhtikuussa 2001 havaittiin Kilpisjärvellä tavallista vähemmän syväkuuraa ja paljon rakentavaa metamorfoosia, mikä ei ole tundraluokalle ominainen piirre.

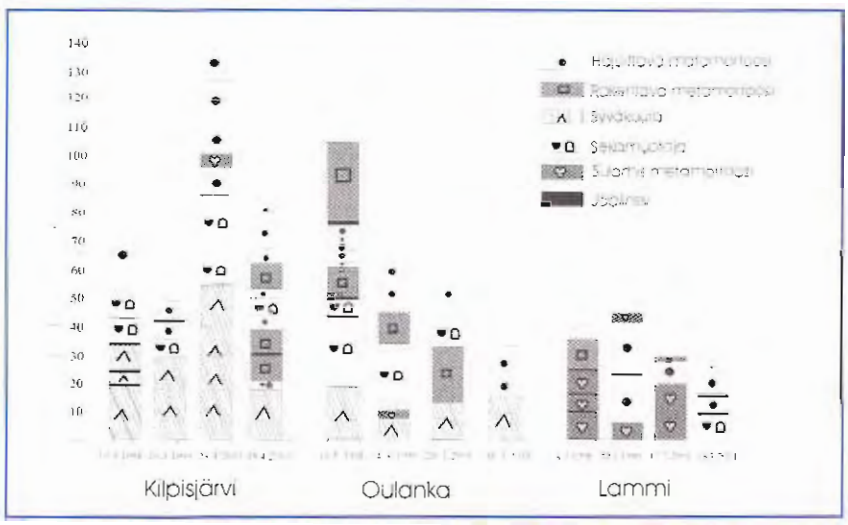
Taulukkoon 1 on koottu tammikuussa 2000 eri biotoopeissa mitattujen suureiden variaatiokertoimia, jotka kertovat suureiden suhteellisesta vaihtelusta. Variaatiokerroin saadaan jakamalla keskihajonta keskiarvolla. Lumen syvyyden ja kerrosten määrän variaatiokerroin on laskettu suoraviivaisesti kaikkia biotoopin havaintoja käyttäen; sen sijaan muille, kerroksittain havaituille suureille (kerrospaksuus, tiheys, kovuus ja kidekoko) se on laskettu biotoopin sisällä ensin jokaiselle kerrokselle erikseen, ja tämän jälkeen on lasketuista variaatiokertoimista otettu keskiarvo. Tällainen tilastollinen lähestymistapa on hyvin perusteltu syvyyden osalta silloin kun havaintojen lukumäärä on suuri, mutta muiden suureiden osalta sen voi sanoa antavan vain aavistuksen vaihtelun määrästä eri olosuhteissa.

Taulukosta 1 nähdään, että Lammilla ja Oulangalla lumen syvyyden vaihtelu on metsässä suurempaa kuin aukealla maalla. Kilpisjärvellä tilanne on päinvastainen. Yleensä muiden suureiden vaihtelu seuraa paljolti syvyyden vaihtelua. Kovuudelle ja kerrospaksuudelle laskettujen variaatiokertoimien havaittiin olevan säännöllisesti suurimpia ja kerrosten määrälle, tiheydelle ja kidekoolle laskettujen pienimpiä. Variaatiokertoimen huomataan yleensä pienenevän siirryttäessä eteläisemmistä lumiluokista pohjoiseen. Kilpisjärvi on tässäkin erikoisasemassa: etenkin avoimen alueen – eli tässä tapauksessa tunturiylängön – vaihtelu on suurta muuhun maahan verrattuna lähes kaikkien suureiden osalta.

Taulukkoon 1 on vertailun vuoksi lisätty myös Solantien (2000) laajasta lumen syvyyden aineistosta laskettuja variaatiokertoimia eri alueilla Suomessa metsässä ja aukealla maalla. Nämä kertoimet ovat suurempia kuin säännöllisesti mitattujen suureiden kertoimet. Tämä voi johtua valittujen mittausalueiden epäedustavuudesta tai pelkästään vuoden 2000 erityispiirteistä.

Etelämantereen kesäaikainen lumipeite

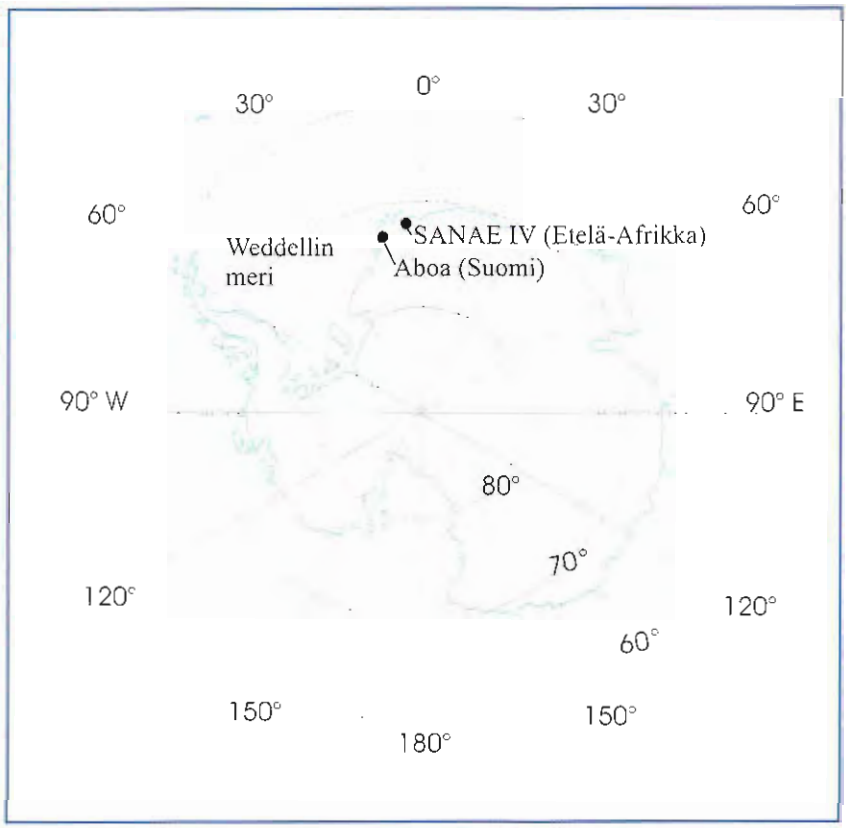
Suomen Etelämantereen-tutkimusasema Aboa (73° 03´S, 13° 25´W) sijaitsee läntisellä Kuningatar Maudin maalla (kuva 4), ja suurin osa suomalaisesta Etelämanner-tutkimuksesta on tehty



Kuva 3. Lumipeitteen rakenne metsässä eri mittauspisteissä ja eri lumiluokissa neljänä talvena.

Taulukko 1. Eri suureiden variaatiokertoimia Suomen havaintopisteissä (m = metsä, a = aukea).

Paikkakunta	Syvyys	Syvyys (Solantie)	Tiheys	Kovuus	Kidekoko	Kerrosten määrä	Kerrosten paksuus
Lammi (m)	0,38	0,56	0,09	0,71	0,46	0,31	0,61
Lammi (a)	0,30	0,61	0,21	0,36	0,37	0,16	0,24
Mekrijärvi (m)	0,21	0,23	0,13	0,62	0,12	0	0,15
Mekrijärvi (a)	0,21	-	0,18	0,43	0,08	0	0,26
Oulanka (m)	0,13	0,22	0,12	0,25	0,09	0	0,14
Oulanka (a)	0,05	-	0,05	0,16	0,05	0	0,11
Kilpisjärvi (m)	0,12	-	0,45	0,85	0,5	0,11	0,45
Kilpisjärvi (a)	0,65	-	0,63	0,98	0,22	0,35	0,89



Kuva 4. Etelämantereella lumitutkimusta on tehty Kuningatar Maudin maalla Suomen tutkimusasemalta Aboalta käsin sekä Etelä-Afrikan tutkimusaseman SANAE IV:n läheisyydessä.

tällä alueella. Kahden suomalaisen tutkimusretkikunnan, FINNARP 1999:n ja FINNARP 2000:n, ollessa siellä mitattiin vuoden kuluessa sataneen lumipeitteen fysikaalisia ominaisuuksia.

Lumipeitteen yläosien rakennetta mitattiin noin 350 km:n linjalla rannikolta kohti sisämaata. Mittausalue käsittää korkeudet merenpinnan tasosta aina 2 500 metriin. Lumikuopan seinämästä mitatut suureet olivat lämpötila, tiheys, dielektrisyys sekä kidekoko ja -muoto. Sulatetuista näytteistä mitattiin pH, sähkönjohtokyky ja hapen isotooppien suhde. Mitattujen lumikuoppien syvyydet käsittävät vähintään yhden vuoden sadannan, joka maksimissaankin rannikkoalueilla oli alle metrin.

Eteläisen kesän 1999–2000 aikana mittauspisteitä oli 18, joista yksi sijaitsi merijään päällä lähellä mannerjäätikön reunaa. Kauden 2000–2001 aikana mittaukset toistettiin 11 edustavassa pisteessä. Ensimmäisen kauden mittausten perusteella havaittiin joidenkin suureiden korreloivan sekä etäisyyteen merestä (lämpötila –0,88, kidekoko –0,55, sähkönjohtokyky –0,52 ja jääkerrosten lukumäärä 0,66) että pinnankorkeuteen (lämpötila –0,91, pH –0,56 ja jääkerrosten lukumäärä 0,70). Etäisyys merestä ja samalla kosteudesta näkyi osittain siinä, että mitatut arvot pienenivät liikuttaessa mannerjäätikön reunasta kohti sisämaata. Tutkimusalueella voidaan erottaa viisi erilaista lumiympäristöä (Kärkäs 2000):

i Merijään päällä oleva ohut, vuosittainen lumikerros on, suolainen (2 ppt), ja sillä on hyvä sähkönjohtokyky (3,9 $mScm^{-1}$) ja suuri dielektrisyys (2,9).

ii Mannerjäätikön mereen päättyvällä jäähyllyn reunalla tapahtuu kesällä sulamista, ja samalla muodostuu paksuja jääkerroksia (1–5 cm) sekä isoja kideryppäitä. Lumi on kovaa, ja sillä on sisämaan lumeen verrattuna hyvä sähkönjohtokyky (99 (Scm^{-1}) ja suuri dielektrisyys (2,1).

iii Meren päällä olevan jäähyllyn muissa osissa esiintyy paikoin paksuja jääkerroksia.

iv Maarajan ja siihen liittyvän vuoriston takana lumipeitteen yläosissa esiintyi ohuita (0,5–2 mm) tuulen ja säteilyn synnyttämiä jääkuoria. Vuosittainen lumen kertymä vähenee liikuttaessa kohti sisämaata.

v Poikkeuksena ympäristössään ovat

paikalliset topografiset kohoumat, joiden lumipeitteen pinta oli tasaisempi ja lumen dielektrisyys pienempi verrattuna läheisten laaksojen lumeen. Kohoumat jäävät osittain tuulen kuluttavan vaikutuksen ulkopuolelle, ja lumikiteiden sakaramainen muoto säilyy lumipeitteessä kauemmin.

Poikkeavina lumiympäristöinä voidaan lisäksi todeta vi) sinisen jään alueet ja vii) nunatakkien eli jäätiköstä läpi työntyvien vuorien lumipeite.

Taulukossa 2 nähdään yhteenveto kahden kauden mittaustuloksista 11 mittauspisteessä. Kausien välillä on paljon vaihtelua, joka todennäköisesti johtuu meteorologisista eroista. Kaudella 2000–2001 esiintyi voimakasta sulamista kauempana sisämaassa kuin myrskyisellä kaudella 1999–2000. Pintalämpötilaeroihin vaikuttavat mittausten ajankohdat. Vuorokausivaihtelut näkyivät lämpötiloissa ylimmän 30 cm:n matkalla, joka on jätetty pois lämpötilagradientista. Vuosikertymä on arvioitu lumikuopan kerrostuneisuuden, sähkönjohtokyvyn vaihteluiden ja hapen isotooppiarvojen perusteella. Ensimmäisen kauden tiheysarvot ovat suuremmat, mihin voivat olla syynä tuulisemmat olot. Useamman vuoden aikasarja antaisi varmuutta alueen pysyvistä lumipeitteen rakenteellisista ominaisuuksista ja aluetta luonnehtivista arvoista.

Lumen albedomittauksia Etelämantereella

Lumen pintakerroksen optisiin ominaisuuksiin vaikuttavat pääasiassa lumikiteen koko ja lumessa olevien epäpuhtauksien määrä. Säteily vaimenee tehokkaasti jo ylimmän 10 cm:n matkalla. Lumipeitteessä oleva kosteus kasvattaa lumikiteen optista kokoa, sillä jään ja nestemäisen veden taitekertoimet ovat näkyvillä aallonpituuksilla lähellä toisiaan. Lumikiteen koko riippuu paikallisista olosuhteista ja lumipeitteen iästä. Epäpuhtauksien määrän voi ajatella riippuvan siitä, millainen etäisyys on epäpuhtauksien lähteeseen. Etelämantereella tulee lumipeitteeseen mm. pölyä vuorilta ja tutkimusasemilta sekä kaukokulkeumana muualta maapallolta.

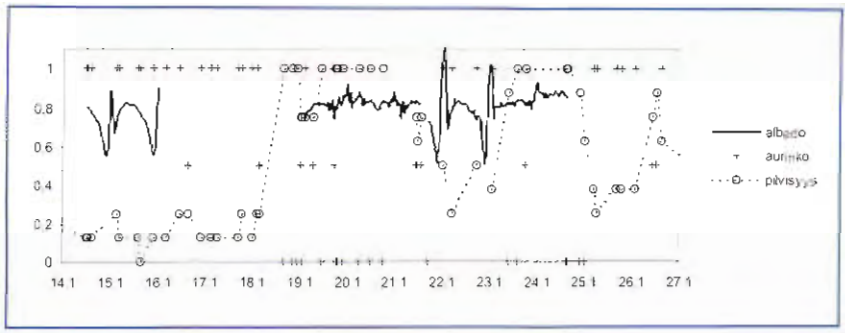
Albedolla, joka on heijastuvan ja tulevan auringonsäteilyn suhde, on suuri merkitys Etelämantereen lumipeitteen energiataseeseen. Lumella on hyvin suuri albedo, joten pienetkin muutokset siinä voivat olla energiataseen kannalta merkittäviä. Kokonais- ja spektrisen albedon mittauksia on tehty Etelämantereella kahtena kautena: vuosina 1999–2000 ja 2000–2001. Ensimmäisellä kaudella mittausalueena oli vain Suomen tutkimusaseman Aboan ympäristö 200 km:n säteellä, mutta jälkimmäisellä kaudella mittauksia tehtiin myös Etelä-Afrikan tutkimusaseman SANAE IV:n (71° 40´S, 02° 49´W) ympäristössä (kuva 4).

Albedo on mitattu kahdella laitteella: LI1800UW spektroradiometrillä joka mittaa säteilyä 300 ja 1100 nm välillä kuuden nanometrin resoluutiolla ja Middleton EP16 pyranoalbedometrillä, jossa on päällekkäin kaksi pyranometriä, jotka ovat herkkiä valolle välillä 300 ja 3000 nm.

Osa kokonaisalbedon aikasarjasta toi-

Taulukko 2. Tiivistelmä kausien 1999–2000 ja 2000–2001 aikana Etelämantereella tehdyistä mittauksista. Suureiden keskiarvot (Ka), keskihajonnat (S.D.) ja keskiarvon keskivirheet (S.E.) on laskettu. Pisteiden numerointi vastaa niiden etäisyyttä merestä. Piste 1 sijaitsee jäähyllyn reunassa lähellä merta. Pisteet 2 ja 7 sijaitsevat paikallisilla topografisilla kohoumilla. Piste 4 sijaitsee rannikolta katsoen ensimmäisen vuoristoketjun edessä, ja loput pisteet sijaitsevat tämän vuoristoketjun takana.

Piste	Etäisyys merestä (km)	Pinnan korkeus (m)	Pinta-lämpötila 1999–2000 (°C)	Pinta-lämpötila 2000–2001 (°C)	Lämpötila-gradientti 30–100 cm 1999–2000 (°Ccm^{-1})	Lämpötila-gradientti 30–100 cm 2000–2001 (°Ccm^{-1})	Vuosiker-tymä vesiarvona 1999–2000 (mm)	Vuosiker-tymä vesiarvona 2000–2001 (mm)
1	3	45	–0,2	–8,8	–0,05	–0,04	340	240
2	15	240	–1,6	–4,8	–0,05	–0,04	260	300
3	20	60	–1,5	–0,7	–0,07	–0,08	-	340
4	110	270	–2,1	0,2	–0,06	–0,07	335	180
5	125	235	–2,9	0,1	–0,04	–0,04	230	190
6	130	375	–4,1	0,2	–0,02	–0,06	-	165
7	140	99	–3,4	–5,7	–0,04	–0,04	-	-
8	170	905	–8,3	–6,2	–0,04	–0,05	-	160
9	230	980	–4,8	–6,1	–0,05	–0,04	160	195
10	275	1100	–9,4	–7,8	–0,07	–0,05	-	180
11	355	2540	–16,5	–14,7	–0,07	–0,06	100	-
Ka			–5,0	–4,9	–0,05	–0,05	240	215
S.D.			4,7	4,7	0,02	0,01	95	65
S.E.			1,4	1,4	0,005	0,004	40	20



Kuva 5. SANAE IV:ltä mitatun kokonaisalbedon aikasarjaa toiselta mittauskaudelta.

selta mittauskaudelta on esitetty kuvassa 5. Siinä näkyy sekä kirkkaan sään että pilvisen sään vaikutus. Keskellä yötä kirkkaalla säällä albedo pienenee alle 0,6:n. Tässä tilanteessa aurinko on jo hyvin matalalla ja albedomittarin kolmijalan takana, mikä aiheuttaa luonnottoman pienen ylös kumpuavan säteilyvuon.

Kuvassa 6 on esitetty spektrisiä albedoja toiselta kaudelta. Siinä on kuvattu spektrin muodonmuutos mentäessä lumipeitteiseltä alueelta niin sanotulle sinisen jään alueelle. Sinisen jään alueella mannerjäätikön pinta on lumesta vapaa. Sinisen jään käyrän 2 esittämä mittaus tehtiin sellaisen jään päältä, joka oli sekoitus pienikiteistä jäätä (lähes lunta) ja sinistä jäätä. Käyrä 1 kuvaa puhdasta jäätä.

Spektrinen albedo voidaan jakaa komponentteihin:

$$\alpha_\lambda = \Sigma \frac{A_i}{A} \alpha_{i\lambda}$$

jossa α_λ on spektrinen albedo, $\alpha_{i,\lambda}$ on jokaisen komponentin spesifinen albedo, A_i on komponentin osapinta-ala ja A on kokonaispinta-ala. Tästä voidaan sitten laskea matriisialgebralla osapinta-alat, jos spesifiset albedot tunnetaan. Tässä tapauksessa spesifiset albedot ovat puhdas lumi ja puhdas sininen jää. Muut spektrit tulevat näiden kahden yhdistelmistä. Lumipeitteen ollessa kyseessä spesifiset albedot voisivat olla puhtaan lumen ja epäpuhtauksien spesifiset albedot. Tällä menetelmällä on suora sovellus Etelämantereen kaukokartoituksessa.

Kiitokset

Kiitetään Yrjö, Kalle ja Vilho Väisälän säätiötä sekä Sohlbergin Delegaatiota työn rahallisesta tukemisesta. Lumen ja jään tutkijakoulun rahoituksesta vastaa opetusministeriö, Etelämanner-tutkimuksen on taloudellisesti mahdollistanut Suomen Akatemia. Hapen isotooppianalyyseistä kuuluu kiitos Tönu Matrmalle ja Tallinnan Teknillisen yliopiston laboratoriolle.

Kirjallisuus

Angervo, J. M. 1952. Lumitutkimuksesta. Terra , årg. 64. No. 4.

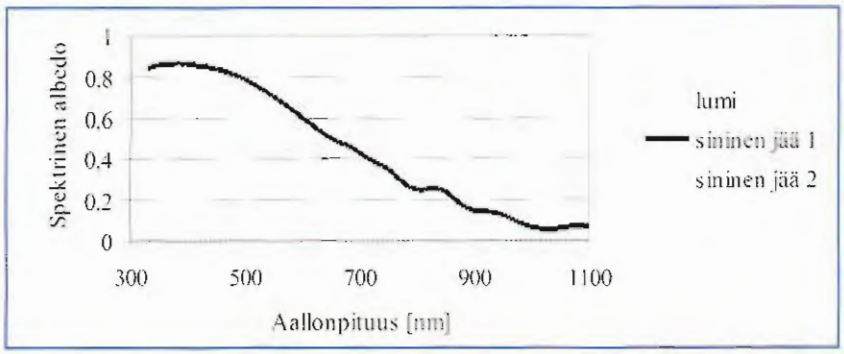
Bromwich, D. H. 1988 Snowfall in high southern latitudes. Reviews of Geophysics 26(1): 149–168.

Hallikainen, M., Jääskeläinen, V. & Van Oijen, J. 1990. Effect of land cover categories to microwave remote sensing of snow. IGARSS '90. 10th Int. Geosc. And Remote Sensing Symp.

Korhonen, V. 1917. Lumisateista Suomessa. Suomalaisen tiedeakatemian esitelmät ja pöytäkirjat, Helsinki.

Taulukko 3.

Piste	Tiheys 0–100 cm 1999–2000 (kgm^{-3})	Tiheys 0–100 cm 2000/2001 (kgm^{-3})	Kidekoko 1999–2000 (mm)	Kidekoko 2000–2001 (mm)	Pinnan dielektrisyys 1999–2000	Pinnan dielektrisyys 2000–2001	Sähkönjohtokyky 0–100 cm 1999–2000 (µScm^{-1})	Sähkönjohtokyky 0–100 cm 2000–2001 (µScm^{-1})
1	420	349	5	1,6	2,07	1,17	99,4	18,3
2	390	383	-	1,6	1,44	1,26	13,2	9,8
3	445	383	2	1,5	1,89	1,62	16,9	5,3
4	425	387	1	2,6	1,83	1,49	4.7	3,3
5	465	388	0,75	1,5	1,81	1,79	9,9	3,7
6	435	393	1,5	2,5	1,85	1,75	4,8	3,7
7	320	387	1,5	1,3	1,34	1,21	4,3	3,8
8	410	345	1	1,5	1,71	1,33	6,5	2,5
9	430	390	-	1,6	1,65	1,38	7,6	3,3
10	390	374	1,25	1,4	1,69	1,45	3,4	2,7
11	380	350	-	1,5	2,30	1,59	-	2,5
Ka	410	375	1,75	1,7	1,78	1,46	17,1	5,4
S.D.	39	18	1,4	0,4	0,27	0,21	29,2	4,8
S.E.	12	6	0,5	0,1	0,08	0,06	9,2	1,4



Kuva 6. Joitakin spektrisen albedon spektrejä lumelta ja siniseltä jäältä.

Kuittinen, R. 1992. Remote sensing for hydrology. Progress and prospects. World meteorological Organization. Operational Hydrology Report No. 36.

Kuusisto, E. 1984. Snow accumulation and snowmelt in Finland. Publications of the Water Research Institute 55. 149 p.

Kärkäs, E. 2000. Kesäaikaisen lumipeitteen fysikaaliset ominaisuudet Kuningatar Maudin maalla, Etelämantereella. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, Geofysiikan laitos.

Leppäranta, M., Palosuo,E., Kuusisto, E. & Makkonen, L. 2001. Geophysics of snow and ice in Finland during the 1900s. Geophysica 34(1–2): 261–285.

Oksanen, T. 1999. Suomen lumipeitteen alueellinen vaihtelu. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, Geofysiikan laitos.

Palosuo, E. 1978. Hiihtokauden ajoittumisesta Suomessa. Report Series in Geophysics. No. 11. Helsingin yliopisto, Geofysiikan laitos.

Rasmus, S. 1999. Lumipeitteen rakenne ja rakenteen muutos talven aikana Etelä- ja Pohjois-Suomessa. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, Geofysiikan laitos.

Simojoki, H. 1947. Über die zeitpunkt des Entstehens und des verschwindenns der dauernden schneedecke in Finnland. Societas Geographica. Fennia 70:3.

Solantie, R., Dreps, A., Hellsten, E. & Saurio, P. 1996. Lumipeitteen tulo-, lähtö- ja kestoajoista Suomessa talvina 1960/61 – 1992/93. Meteorologisia julkaisuja 34. Ilmatieteen laitos.

Solantie, R. 2000. Snow depth on January 15th and March 15th in Finland 1919-98 and its implications for soil frost and forest ecology. Helsinki. Ilmatieteen laitos. Meteorologisia julkaisuja 42.

Sturm, M., Holmgren, J. & Liston, G.E. 1995. A seasonal snow cover classification system for local to global applications. Journal of Climate 8(5): 1261–1283.

Vakkilainen, P. & Karvonen, T. 1982. Adaptive rainfall-runoff model. SATT-I. Acta Polytechnical Scandinavica. Civil engineering and Building Construction Series. No. 81. 54 p.

Vehviläinen, B. 1982. Valuntamallien sovellutus ennustekäyttöön Kala-, Ähtävän- ja Lapuanjoella. Vesihallituksen monistesarja 145. 38 s.

Vehviläinen, B. 1992. Snow cover models in operational watershed forecasting. Helsinki, National Board of Waters and the Environment, Finland. Publications of Water and Environment Research Institute 11. 112 p.

Virta, J. 1987. Determination of the spring runoff for a basin with abundant lakes using a stepwise linear storage model. Aqua Fennica 17(2): 115–121.

Ei nolla-asteista vaan jääkylmää

Käsitteistön samanaikainen yksikäsitteisyys, kaikenkattavuus ja suppeus ovat ihanteita alalla kuin alalla. Vesistön jääpeitteen arviointi selkeytyy, jos käsitetään, että jään kanssa kosketuksissa oleva vesi voi olla vain kolmenlaista: lämmintä, jääkylmää ja alijäähtynyttä.

Lämmin vesi sulattaa jäätä. Alijäähtynyt vesi edistää jäätymistä. Jääkylmä vesi ei aiheuta jäälle sitä eikä tätä.

Jääkylmän ja 0-asteisen merkitysero on pienin, kun kyseessä on makea vesi. Nolla-asteisuus voi merkitä yhtä hyvin 0,0, 0,00 jne. –asteisuutta. Jos jokivesi on esimerkiksi 0,01-asteista, se on myös 0,0-asteista. Jääkylmää se ei kuitenkaan ole, koska se pystyy sulattamaan joen jäätä.

Murtovedestä puhuttaessa käsitteen 'jääkylmä vesi' käyttökelpoisuus on erityisen ilmeinen. Jos vesi jäätyy vasta - 0.2 … - 0.3 asteen lämpötilassa, kuten Suomen rannikoilla enimmäkseen tapahtuu, ei veden nolla-asteisuus tunnu tärkeältä asialta, mutta veden jäähtyminen jääkylmäksi ansaitsee täyden huomion.

Olipa vedessä suolaa tai ei, sen ylin kerros alijäähtyy pakkasessa ja jakautuu kahteen faasiin, jääksi ja jääkylmäksi vedeksi. Jos lämmin vesi pääsee kosketukseen jään kanssa, se sulattaa jäätä. Jää on vakaata ja luotettavaa vain, jos se kelluu jääkylmän veden varassa.

Jyrki Hari
fil.kand.

MERTEN JÄÄOLOT

Merten jääpeitteellä on kaksi keskeistä ominaispiirrettä. Merijää ajelehtii, minkä vuoksi jääpeite on rikkonainen ja sisältää avovesialueita sekä jäälohkareiden kasautumia eli ahtojäitä. Suolaisesta vedestä muodostuvan jään sisään jää suolaliuostaskuja, jotka vaikuttavat niin jään ominaisuuksiin kuin merten suolan kiertokulkuun.

Merissä jäätä muodostuu keskimäärin 60° korkeammilla leveysasteilla. Suurena poikkeuksena on Pohjois-Atlantti, jossa Golfvirran kuljettama lämpö auttaa pitämään meren avoinna pohjoisessa aina Huippuvuorille ja idässä ohi Murmanskin alueen. Alemmilla leveysasteilla jäätä esiintyy pienillä merillä kuten Itämeri, Saint Lawrencen lahti ja Ohotanmeri. Lähinnä päiväntasaajaa oleva vuosittain jäätyvä meri on Bohainmeri, Keltaisenmeren pieni lahti Kiinan rannikolla leveysasteilla 36–40.

	Arktis	Antarktis	Itämeri
Talvinen pinta-ala (milj. km²)	11,7	18,8	0,2
Kesäinen pinta-ala (milj. km²)	5,2	2,6	0
Jään paksuus (m)	0–5	0–2	0–1

Napamerten ja vertailun vuoksi Itämeren keskimääräiset jääpiirteet ovat: Vuotta nuorempaa merijäätä sanotaan alivuotiseksi ja sitä vanhempaa jäätä taas ylivuotiseksi. Yleensä merijää ei ole 20 vuotta vanhempaa. Merivedestä muodostuneen merijään lisäksi napamerillä esiintyy jäävuoria ja jääsaaria, jotka ovat lohjenneet mereen ulottuvista jäätiköistä. Itämeren murtovedestä muodostunut jää on merijään kaltaista, mitä tulee sekä jään rakenteeseen ja suolaisuuteen (suhteellisesti) että ajojääkenttien syntymiseen.

Merivesi jäätyy

Meriveden jäätymispiste alenee likimain suolaisuuteen verrannollisena ja on –1,8 °C, kun suolaisuus on 35 % (normaali merivesi). Jää kiteytyy vain vesimolekyyleistä, ts. jäätyminen separoi veden siihen liuenneista aineista, mutta luonnonoloissa jää kasvaa niin nopeasti, että jään sisään jää suolaliuostaskuja. Lämpimässä jäässä suolaliuoksen suolaisuus on pieni eli suola sitoo itseensä runsaasti vettä, ja merijään huokoisuus voi sen takia olla suuri. Esimerkiksi jos lämpötila on –5 °C ja suolaisuus 10 %, suolaliuosta on 15 % jään

Matti Leppäranta

professori, fil.tri (geofysiikka)
Helsingin yliopisto, geofysiikan osasto
matti.lepparanta@helsinki.fi
Kirjoittaja on väitellyt v. 1981 Perämeren jääoloista ja on toiminut lumi- ja jäätutkimuksessa vuodesta 1975.

Kuva 1. Satelliittikuva Perämereltä 3.3.1990 (Resurs-01, lähi-infrapunakanava).

tilavuudesta; jos taas lämpötila on –20 °C ja suolaisuus 5 %, suolaliuosta on 2 %.

Merijään muodostumista ja suolaisuuden kehitystä on tutkittu kolmen vuoden ajan Tvärminnessä lähellä Hankoa. Uuden jään suolaisuus on 25–50 % meriveden suolaisuudesta. Jään lämmetessä keväällä suolaliuoksen määrä kasvaa ja suolataskut laajenevat verkostoksi, josta liuosta pääsee valumaan merivetcen. Edelleen Pohjanpitäjänlahdelle mentäessä vesi muuttuu merivedestä makeaksi, ja sen myötä muuttuu myös jään laatu. Muutos näiden kahden jäätyypin välillä tapahtuu, kun veden suolaisuus on 1–2 %. Samassa yhteydessä on tutkittu myös valaistusoloja jäässä ja jään alla. Kun lumi on jäältä sulanut, auringonvalo tunkeutuu jään läpi valaistuksen puoliintuessa 10–30 cm:n matkalla; meidän oloissamme valoa tulee jään alle riittävästi biologisen tuotannon käynnistymiseksi.

Koska jää on vettä makeampaa, jäätyminen lisää pintakerroksen suolaisuutta. Pintaveden stabiliteetti heikkenee, ja syvät vesikerrokset uudistuvat. Oikeastaan valtamerten tuuletusta eli syvää pystysuoraa kiertoliikettä tapahtuu vain napa-alueilla, ennen kaikkea Grönlannin- ja Weddellinmerellä, ja yksi ilmastotutkimusten tärkeistä merikysymyksistä on juuri tämän tuuletuksen säilyminen. Jään sulaminen puolestaan tuo makeaa vettä pintakerrokseen, mikä vahvistaa veden stabiliteettia. Tämä on biologisen tuotannon kannalta hyvin edullista, sillä kasviplankton pysyttelee ja kasvaa suhteellisen ohuessa pintakerroksessa, jossa auringonvaloa on runsaasti saatavilla. Jään reunavyöhyke onkin biologisesti tuottoisaa aluetta.

Merijään kiderakennetta analysoitaessa löydetään samantyyppisiä kerrostumia kuin järvissä (ks. Leppärannan ja Arvolan artikkeli tässä numerossa). Näiden lisäksi avovesialueilla ja konvektiovirtauksissa voi muodostua hienokiteistä suppoa sekä matalilla alueilla pohjajäätä. Erityisesti Antarktikassa suppoa muodostuu paljon, arvioiden mukaan suurin osa merijäästä on siellä suppojäätä.

Merijään paksuus

Merijään horisontaalista laajuutta voidaan helposti seurata kaukokartoitussatelliittien avulla, mutta vertikaalidimension eli jään paksuuden mittaus on hyvin vaikeaa. Reiän kairaus on tietysti yksinkertainen ja tarkka, mutta merijään paksuus vaihtelee ajan ja paikan mukana liian paljon (0 – 50 m). Paras mittausmenetelmä on sukellusveneestä tai ankkuroidusta asemasta tehty kaikuluotaus ylöspäin jään pohjaan. Sen sijaan ylhäältä päin katsottuna voidaan saada vain epäsuoraa informaatiota käyttäen lämpökuvausta, yläpinnan topografian laser-profilointia tai sähköisiä malminetsintämenetelmiä, jotka perustuvat merijään ja meriveden erilaiseen sähkönjohtavuuteen. Itämeren alueella on paljon tutkittu paksuusmittausta ilma-aluksesta käsin, ja päätelmänä on selkeästi käyttää mieluummin menetelmien yhdistelmää kuin yhtä menetelmää.

Lämpötalouden antama kasvu tuottaa maapallon olosuhteissa aina 5 m paksuista jäätä. Sitä voidaan yksinkertaisesti arvioida Stefanin lain avulla: jään paksuus on $h = a\sqrt{S}$, missä a = 2–3 cm/(d°C)1/2, ja S on pakkassumma. Talven aikana jää voi kasvaa yli 1 m:n paksuiseksi Suomessa ja napailmastossa jo 2 m:iin asti. Kesällä auringonsäteily sulattaa jäätä määrän $b \approx 0{,}5$ m, jolloin siis osa jäästä säilyy kesän yli. Jos h_n on jään paksuus n:nnen talven jälkeen, niin

$$h_n^2 = [h_{n-1} - b]^2 + a^2S.$$

Ylivuotinen jääkin vielä paksuntuu, mutta muutaman vuoden kuluttua se saavuttaa ns. tasapainopaksuuden $h_n = h_n\text{-}1 = a^2S/(2b) + b/2 \approx 3$–4 m. Pohjoisnavallakaan oleva merijää ei ole tätä paksumpaa (kilometrien paksuisia jäämassoja ovat vain mannerjäätiköt). Jään paksuuskasvu on tässä muodossa hyvin laskettavissa, mutta lämpötaloustarkastelujen laajentaminen kohva- ja suppojäähän on vielä käynnissä. Kohvajääongelmaan saatiin geofysiikan laitoksessa erinomainen malli Tuomo Salorannan pro gradu -työstä v. 1998.

Rannikon tuntumassa on tasaista ja ehyttä kiintojäätä mutta ulompana on rikkonaista ja epätasaista ajojäätä, Tarkasteltaessa ajojääkenttiä laajemmalti nähdään, että jäämaisema on vaihteleva ja monipuolinen järvien jääpeitteeseen verrattuna. Jääkentät koostuvat jäälautoista, joiden pituus ja leveys vaihtelee 1 m:n ja 100 km:n välillä. Niiden lomassa voi olla avovesialueita, ja osa jäästä voi olla mekaanisten prosessien muokkaamaa. Jääolojen kuvaukseen tarvitaan näin ollen useita parametreja: jäälaatuja omine paksuuksineen, jäälautat ja avovesialueet.

Avovesialueita on kahta laatua. Railoja avautuu ja sulkeutuu tuulten ja virtausten vaikutuksesta. Railoksi luonnehditaan repeämää, jossa voidaan kulkea laivalla eli repeämä on leveydeltään ainakin yhden ja pituudeltaan useamman (jopa kymmeniä) kilometrin. Polinjat (*ven. polynya*) ovat pysyvämpiä avopaikkoja ja pyöreämmän muotoisia. Niitä pitävät avoimina lämpöä tuovat vertikaaliset konvektiovirtaukset, myös tuulet ja virtaukset voivat edistää niiden säilymistä. Polinjoita syntyy usein samoille paikoille eri vuosina, tunnettuja ovat esimerkiksi Pyhän Annan polinja Novaja Zemljan pohjoispuolella ja

Kuva 2. Kenttätutkimuksia Pohjoisen jäämeren ajojäillä.

Weddellinmeren polinja Eteläisellä jäämerellä. Tärkeä merijääkenttää kuvaava parametri onkin jään peittävyys C eli kuinka paljon alueesta on jään peitossa. Kun $C < 30$ %, puhutaan hyvin harvasta ajojäästä, harvassa ajojäässä 30 % $< C <$ 50 %, tiheässä 50 % $\leq C$ 70 %, hyvin tiheässä 70 % $\leq C$ 90 % ja kompaktissa $C > 90$ %.

Ajojään liikkeen vaikutuksesta syntyy erilaisia jäälaatuja jäiden puristuessa yhteen. Ahtojää on tärkein tällainen jäätyyppi. Sitä muodostuu, kun pieniksi teleiksi rikkoutunut jää kasautuu röykkiöiksi. Suurimmat röykkiöt ovat pitkulaisia, vallinmuotoisia muodostelmia. Pohjoisella jäämerellä suurimmat ahtojääröykkiöt ovat noin 50 m:n vahvuisia, ja niistä Arkhimedeen lain mukaisesti 90 % on vedenpinnan alapuolella. Itämerellä ahtojäitä esiintyy myös runsaasti; yleensä vallit ovat 5–15 m:n vahvuisia, ja suurin mitattu valli on ollut 31,5 m. Itämeren oloissa ahtojäät ovat vaikein liikenteellinen jääeste, ja sen takia ahtojäätutkimuksia on tehty paljon. Aiheesta ilmestyi väitöskirja Helsingin yliopistossa v. 1998 (Paula Kankaanpää). Toisinaan ahtojäitä muodostuu rannikon tuntumaan matalaan veteen, jolloin ne voivat tukeutua pohjaan ja vedenpäällinen osa voi kasvaa hyvinkin korkeaksi. Esimerkiksi Hailuodon edustalle nousi maaliskuussa 1986 noin 15 m korkeita ahtojäitä. Perämeren rannikolla onkin luotoja ja matalikoita, joiden nimessä on pohjautuvia ahtojäitä tarkoittava kalla-sana, kuten Ulkokalla Kalajoen edustalla ja Merikallat Hailuodosta länteen.

Merijään ajelehtiminen

Merten laajoilla ulapoilla ajojääkentät ovat liikkeessä. Niiden absoluuttinen liike on tärkeä kuljetusmekanismi, joka siirtää jäätä ja siihen varastoitunutta makeaa vettä, kylmää ja kiintoainesta pitkiäkin matkoja. Esimerkiksi Pohjoisella jäämerellä Siperian rannikolla muodostuva jää ajelehtii Euraasian puolella länteen työntyen Pohjois-Atlantille, jossa se sitten sulaa. Amerikan puolella Beaufortinmerellä on laaja jääpyörre. Suhteellinen liike jääkentässä puolestaan avaa ja sulkee avovesialueita, mikä suuresti muovaa meren ja ilmakehän välistä energian ja materian vaihtoa ja muodostaa ahtojäitä. Ajojään liikeyhtälöä dominoivat tuulten ja veden vastusvoimat, sisäinen kitka sekä Coriolis-kiihtyvyys.

Vapaa ajelehtiminen on tilanne, jossa jään sisäinen kitka on pieni. Käytännössä näin on, kun jään peittävyys on alle 80 %. Tällöin on jään nopeus seuraa tuulen ja veden vaikutuksen tasapainosta, ja ratkaisu on yksinkertaisesti

$$u = u_a' + u_w ,$$

jossa u_a' on puhdas tuulen vaikutus, jolle $u_a'/u_a \approx 2$–3 % ja suunta noin 30° tuulen suunnasta oikealle (vasemmalle) pohjoisella (eteläisellä) pallonpuoliskolla. Periaatteessa kaikki kelluvat kappaleet ajelehtivat samanlaisen lain mukaan, kullakin on vain omat tuulen vaikutusta kuvaavat parametrinsa.

Peittävyyden kasvaessa kasvaa jään sisäinen kitka, joka fysikaalisesti aiheutuu jäälauttojen törmäilyistä, hankauksista, rikkoutumisista ja ennen kaikkea röykkiöitymisestä. Olennainen kysymys on reologisen yhtälön konstruointi: yleensä ajojäätä tarkastellaan rakeisena tai jatkuvana materiana ja sen sisäinen kitka riippuu yleisesti venymästä, venymänopeudesta, paksuudesta ja peittävyydestä. Viimeksi kuluneen 25 vuoden ajan on melko menestyksellisesti käytetty plastista reologian mallia. Sen mukaan jään liike hidastuu ja voi täysin pysähtyäkin, vaikka siihen vielä kohdistuisi ulkoinen voima. Esimerkiksi ahtaissa altaissa kuten Perämerellä saattavat jäät pysyä paikallaan kovallakin tuulella. Yleisesti siis jään vaste tuuliin ja virtauksiin on hyvin vahvasti epälineaarinen. Yksinkertaista kaavaa ei kitkallisen jään liikkeeseen ole, vaan laskelmat tehdään yleensä numeeristen mallien avulla.

Ajojään dynamiikan tutkimuksia on tehty ajelehtivilla jääasemilla paljon niin meillä Itämerellä kuin napamerilläkin. Viimeaikainen tutkimus on Itämerellä koskenut reunavyöhykkeitä kiintojään reunan tuntumassa ja ulkomerellä vapaan avovesireunan tuntumassa. Erityisesti dynamiikan tutkimuksissa Itämeri on hyvä napamerten laboratorioallas, sillä altaiden koot ja jään paksuudet skaalautuvat sopivasti. Esimerkiksi Pohjoisen jäämeren keskusaltaan ja Perämeren jäämaisema on samannäköinen, mittasuhteet edellisessä vain ovat viisinkertaiset. Logistiikka kuten reunaehdotkin ovat Perämerellä huomattavasti helpommat hallita kuin napamerillä, ja niinpä Perämeren jääntutkimuksissa on saatu merkittäviä tuloksia ajojäiden fenomenologiasta sekä matemaattisten mallien parametrisoinneista.

Jäämallit

Laajassa mitassa jääpeite on ohut kalvo meren ja ilmakehän välissä, ja se kasvaa, sulaa ja ajelehtii vuorovaikutuksessa veden ja ilman kanssa. Jään vaikutuksesta meren ja ilmakehän välinen kytkentä muuntuu; jää modifioi tuulivoiman siirtymistä veteen, puskuroi veden lämpötilan jäätymispisteeseen, eristää lämpöä, modifioi meren suolataloutta ja viivästyttää materian siirtymistä ilmasta veteen. Jääolojen kehitystä varten on kehitetty matemaattisia malleja, jotka koostuvat liikemäärän ja jään säilymislaeista ja ratkaistaan numeerisesti tietokoneilla. Tuntemattomia jääsuureita ovat jään ajelehtimisnopeus, paksuus ja peittävyys.

Jääkenttää tarkastellaan jatkumona, jonka elementtien koko on 1–100 km jäälauttojen koon mukaan. Edellä mainitut säilymislait ovat

$$\rho H[\partial u/\partial t + u\cdot\Delta u + f\,\mathrm{k}\times u] = \Delta\cdot\sigma + \tau_a + \tau_w + G$$

$$\partial\{H, A\}/\partial t + u\cdot\Delta\{H, A\} = \Psi + \Phi$$

jossa ρ on jään tiheys, H keskipaksuus, f Coriolis-parametri, k ylöspäin suunnattu yksikkövektori, σ jään sisäinen jännitys, τ_a ja τ_w ovat tuulen ja veden leikkausjännitykset jään ylä- ja alapintaan, G on painegradientti meren pinnassa, A on peittävyys, Ψ mekaanisen deformaation vaikutus ja Φ antaa jään termodynaamisen kasvun ja sulamisen; molemmissa yhtälöissä $u\cdot\Delta$ on advektio-operaattori. Jään sisäistä fysiikkaa hallitsevat funktiot

$$\sigma = \sigma(H, A; \varepsilon),\ \Psi = \Psi(H, A; \varepsilon),$$
$$\Phi = \Phi(H, A; Q_a, Q_w)$$

eli reologia, mekaaninen deformaatio sekä faasimuutokset; tässä ε on venymänopeustensori ja Q_a sekä Q_w kuvaavat jään lämmönvaihtoa ilman sekä veden kanssa. Malleja säädetään jään sisäisen fysiikan funktioiden sekä jää-ilma- ja jää-vesi-vuorovaikutusten parametrien avulla.

Jäämalleja on sovellettu lyhytaikaiseen (1–10 vrk) ennustamiseen tai jääskenarioiden tuottamiseen ilmastotutkimuksessa. Malleihin perustuva ennustustoiminta aloitettiin ensimmäisenä Suomessa 1970-luvulla, ja sittemmin ennusteita on alettu tehdä niin globaalisesti kuin pienillä merillä. Viime vuonna valmistui geofysiikan laitoksessa kaksi jäämalliväitöskirjaa: Jari Haapalan Itämeren jääilmastotutkimus sekä Zhang Zhanhain Itämeren ja Bohainmeren jään dynamiikan mallityö.

Kuva 3. Talvimerenkulku on ollut tärkein taustatekijä suomalaiselle merijään tutkimukselle.

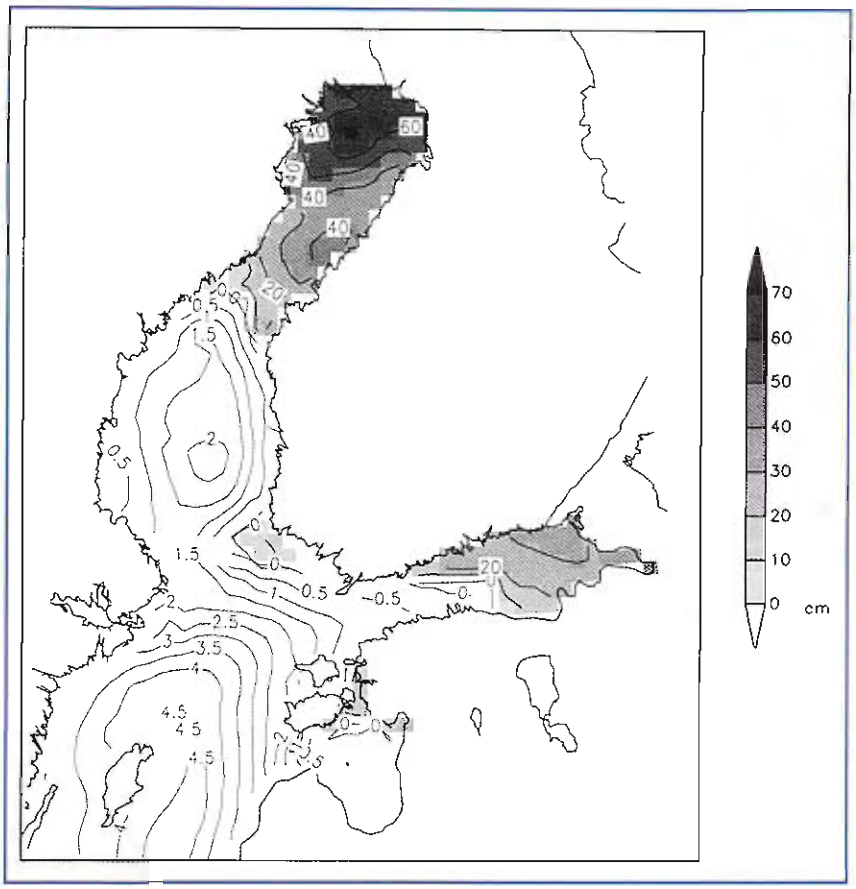
Itämeren jääilmastosta

Itämeren jääoloista on pitkiä havaintosarjoja, joita on kerätty merenkulullisista syistä sekä luonnosta kiinnostuneiden ihmisten toimesta. Havaintosarjat kuvaavat yleensä jääoloja rannikolla; pisin aikasarja (1720–) on suurimmasta vuotuisesta jään pinta-alasta. Havaintosarjoja hallitsee voimakas, satunnaiselta näyttävä vaihtelu ilman muuta ajallista struktuuria. Jääpeitteen laajuuden vaihtelu on ollut 12–100 % koko Itämeren alasta, keskiarvona 45 %; hyvin ankarina talvina koko Itämeri on jäätynyt, kun taas hyvin leutoina talvina vain Perämeri on ollut jäässä. Jäätalven kesto on ollut 5–7 kk Kemissä ja 0–4 kk Utössä. Syksyinen jäätyminen on vaihdellut 2–3 kk, kun taas auringonsäteilyyn vahvemmin sitoutunut keväinen jäänlähtö on vaihdellut vähemmän. Jään vuotuinen suurin paksuus on Kemissä ollut 50–110 cm.

Lokaalisesti jäätalvea voidaan tarkastella yksinkertaisilla analyyttisillä ilmastomalleilla, joiden mukaan jäähtymistä, jään kasvua ja jäänlähtöä hallitsevat ilman lämpötilan kehitys ja säteilytase. Yhden asteen ilman keskilämpötilan kasvuun vastaa jäätalvi Itämerellä seuraavasti: jäätymispäivä tulee 6

vrk myöhemmäksi, jään suurin vuotuinen paksuus 5 cm pienemmäksi ja jäänlähtö 3 vrk aiemmaksi. Täysi malli antaa yksityiskohtaisempaa tietoa jäätalven kulusta, erityisesti ajojääkenttien luonteesta kuten railojen ja ahtojäiden esiintymisestä.

Merijään tutkimus on ja on pitkään ollut Suomessa vireää. Itämeri on ollut perinteinen tutkimusalue, mutta viimeksi kuluneen 15 vuoden aikana on napamerten jäiden tutkimus hiljalleen kasvanut. Itämeren jääntutkimuksessa tehdään tällä hetkellä yksityiskohtaisia prosessitutkimuksia perustietämyksen kartuttamiseksi ja sitä kautta myös mallien ja ennusteiden kehittämiseksi. Helsingin yliopiston geofysiikan osaston tutkimus on vahvasti keskittynyt Suomenlahteen. Keskeiset kysymykset ovat kiintojään kerrosrakenne ja paksuus, suolaisuusvaihtelujen vaikutus jään rakenteeseen, itä-länsisuuntaisen paksuusprofiilin vaikutus ajojään dynamiikkaan sekä hienoresoluutioisen mallin kehittäminen altaan jääpeitteelle. Kenttätutkimuksia on tehty Hankoniemellä, Kymijoen suistoalueella sekä Tallinnan lähellä läheisessä yhteistyössä virolaisten ja japanilaisten tutkijoiden kanssa.



Kuva 4. Matemaattisen mallin avulla tehty ennuste keskimääräiseksi jäätalveksi v. 2050.

Suomessa Itämeren jää on ollut myös merkittävä yhteiskunnallinen tekijä. Viime vuosisadan lopulle asti jää eristi maamme Länsi-Euroopasta useaksi kuukaudeksi vuosittain. Nykyisin kaikki tärkeät satamat Kemiin asti pidetään avoimina ympäri vuoden yhdeksän jäänmurtajan voimalla. Suurimmat Itämeren jääosaamisen tarvitsijat ovat olleet talvimerenkulku ja kiinteiden merirakenteiden teknologia merillä. Nykyisin myös ympäristökysymykset (esimerkiksi öljyvahingot) ja ekologia (esimerkiksi jäälevät) ovat tärkeitä taustatekijöitä.

Kirjallisuus

Leppäranta, M. (ed.). 1998. Physics of Ice-Covered Seas I-II: lecture notes from a summer school in Savonlinna, Finland 6–17 June 1994. Helsinki, University of Helsinki. 830 p.

Merentutkimuslaitos. Jääkartta. Karttalehti, julk. maan. ja torst. Helsinki.

Wadhams, P. 2000. Ice in the Ocean. Amsterdam, Gordon and Breach Science Publishers. xi, 351 p.

Kuvat kirjoittajan.

www.separtec.fi

HOH Water Technology

Water Technology

Talousvesisuodattimet
Teollisuussuodattimet
Kemikaalien annostelulaitteet
Ultrapuhtaan veden laitokset
Käänteisosmoosi ja nanosuodatus
UV-sterilisaattorit
Uraanin ja radonin poistolaitteet
Uima-allaslaitteet

HOH Separtec OY
Orwa Insinööritoimisto VARTIAINEN

Varppeenkatu 28 PL19 21201 Raisio puh. (02) 4367 300 fax (02) 4367 311 e-mail separtec@separtec.fi

SUOMEN JÄRVIEN JÄINEN TALVI

Matti Leppäranta

professori, fil.tri (geofysiikka)
Geofysiikan osasto, Helsingin yliopisto
E-mail: matti.lepparanta@helsinki.fi
Kirjoittaja on väitellyt v. 1981 Perämeren jääoloista ja on toiminut lumi- ja jäätutkimuksessa vuodesta 1975.

Lauri Arvola

asemanjohtaja, fil.tri (kasvitiede)
Lammin biologinen asema
E-Mail: lauri.arvola@helsinki.fi

Kirjoittaja on väitellyt v. 1986 järvien planktonekologiasta ja on toiminut vuodesta 1979 alkaen erilaisissa tutkimusprojekteissa.

Suomalaiseen identiteettiin ja luontoon kuuluvat erottamattomasti lumi ja jää. Järvijään tutkimusta on tehty meillä pitkään, mutta melko pienellä panostuksella, mikä johtuu kriittisten ongelmien puutteesta. Viime vuosina tutkimus on saanut enemmän jalansijaa: veden laadun, vesistöjen ekologian ja ilmastonmuutoksen takia järven vuotuista sykliä pyritään ymmärtämään paremmin.

Kun auringon lämpö heikkenee syksyllä, negatiivinen säteilytase ja kylmään ilmaan suuntautuva turbulenttinen lämmönsiirto jäähdyttävät järviämme. Vertikaalinen syyskierto saavutetaan, kun veden lämpötila on 4 °C, ja sen jälkeen vesirunko stabiloituu. Heikki Simojoki on esittänyt empiirisen kaavan, jonka mukaan järvi jäätyy 56–540/(syvyys[m] + 9) päivää sen jälkeen, kun ilman lämpötila on pysyvästi laskenut nollatason alle. Sen mukaisesti matalat järvet jäätyvät aiemmin kuin syvät. Keskimääärin jäänmuodostus alkaa lokakuun puolivälissä Lapissa ja joulukuun alkupuolella Varsinais-Suomessa.

Luonnonvedet alijäähtyvät hieman ennen kuin jäätä alkaa kiteytyä. Virtaava vesi alijäähtyy alle 0,1 °C, kun taas tyven järven pinta voi alijäähtyä jopa 1 °C:n. Kiteytymiseen tarvitaan kiteytymisytimiä, joita on aina luonnonvesien kiintoaineksessa. Myös veteen satava lumi voi käynnistää kiteytymisen. Jääkiteet luokitellaan muotonsa puolesta raemaisiin ja pylväsmäisiin.

Jäätä muodostuu myös joissa. Virtaavassa vedessä alijäähtymistä ei pääse paljon tapahtumaan, koska vesi sekoittuu koko ajan eikä ohutta kylmää pintakerrosta muodostu. Turbulenttisessa virtauksessa muodostuu suppoa, joka voi kiinnittyä kiinteän jään alakanteen, rantoihin tai joen pohjaan. Edelleen joen jääpeite voi rikkoutua ja lähteä virran mukana ajelehtimaan ja kasautua paikoin jääpadoiksi. Jääpeitteen kiderakenne seuraa jäänmuodostumisprosesseista sekä jossain määrin vedessä olevista vieraista aineksista. Jääpeitteessä erottuu kolme pääkerrosta: ensijää eli varhaisin kerros, alusjää ja päällysjää.

Suomen järvien jääpeitteen luonne on staattinen. Aivan alku- ja lopputalvea lukuun ottamatta jääpeite on ehyt, yhtenäinen ja tasainen. Jään rikkoutuminen ns. ajojääksi riippuu järven laajuudesta suhteessa paksuuteen, ja karkeasti ottaen se tapahtuu, kun $L/h > c$x105, jossa L on järven koko, h on jään paksuus ja c on noin 2–4 jään lujuuden mukaan. Suomen suuret järvet ovat aivan rikkoutumisen rajalla, kun sen sijaan esim. Laatokalla ja Vänern-järvellä ajojään esiintyminen on tyypillistä. Mikäli ilmasto lämpenee, jään paksuus pienenee ja suhde L/h kasvaa, mikä voi pian johtaa järven talvisen luonteen muuttumiseen.

Järvien jäätyminen on tärkeää myös talviselle liikunnalle. (Kuva M. Leppäranta)

Jääpeite vaikuttaa energian ja materian vaihtumiseen ilman ja veden välillä. Jos jääpeite on kiinteä, tuulen energian siirtyminen veteen estyy, mikä näkyy esim. Suomen järvien talvisissa virtausoloissa. Jää toimii eristeenä, joka pysäyttää veden jäähtymisen jäätymispisteeseen ja hidastaa huonon lämmönjohtavuutensa takia voimakkaasti lämmön siirtymistä vedestä ilmakehään. Jäälle satava lumi vielä parantaa eristävyyttä oleellisesti. Toisaalta jää heijastaa hyvin auringonsäteilyä, mikä hidastaa lämpenemistä keväällä ja kesällä. Jääpeite vaikuttaa puskurin tavoin ilman ja veden väliseen materian (erityisesti kaasujen) vaihtumiseen. Esimerkiksi sade keräytyy jäälle pitkän ajan kuluessa (lumena) ja vapautuu veteen suhteellisen nopeasti lyhyen sulamisvaiheen aikana.

Jään laatu

Ensijää on alijäähtyneessä vedessä muodostunut jääpeitteen varhaisin kerros. Tyynessä vedessä kiteet kasvavat veden pinnalla alijäähtymisen asteen mukaan erimuotoisiksi ja -kokoisiksi neulasiksi ja ohuiksi levyiksi. Ääritapauksissa kiteet voivat olla metrin levyisiä, mutta vain millimetrin paksuisia. Kun kiteet saavuttavat toisensa, muodostuu yhtenäinen jääkansi. Jos vedenpinta on häiriöinen (veden liike, tuuli, lumisade), muodostuu pienempiä raemaisia kiteitä. Alusjää kasvaa ensijäästä alaspäin joko pylväsmäisinä kiteinä tai suurina makrokiteinä, jotka ovat sitä suurempia, mitä syvemmällä jäässä ne ovat. Ensijää ja alusjää muodostavat yhdessä ns. teräsjään.

Päällysjää muodostuu ensijään yläpinnalle. Sitä voi muodostua lumisohjosta, sulamisvedestä tai jäälle sataneesta vedestä. Lumisohjosta muodostuvaa pienikiteistä kohvajäätä on 10–50 % jään kokonaispaksuudesta. Lumipeitteinen jää kelluu Arkhimedeen lain mukaisesti eli

$$\rho_s h_s + \rho_i h_i = \rho_w h_w$$

jossa ρ_s, ρ_i ja ρ_w ovat lumen, jään ja veden tiheys, h_s ja hi ovat lumen ja jään paksuus ja h_w on vedenpinnan alapuolella olevan lumen ja jään paksuus. Kun hi on suurempi kuin h_w, jään pinta on vedenpinnan alapuolella; heti kun jäähän tulee halkeamia, vesi pääsee sekoittumaan lumeen ja voi muodostua kohvajäätä. Jos ρ_s/ρ_i on noin 0,3, kriittinen raja on $h_s/h_i \approx 1/3$: tällöin 50 cm:n paksuinen jää kantaa korkeintaan 15–20 cm lunta.

Jääpeitteessä on myös epäpuhtauksia kiteiden välissä. Tärkeimpänä epäpuhtautena ovat kaasut, joita vapautuu vedestä tai järven pohjasta ja kertyy teräsjäähän. Kohvajäähän taas yleensä jää ilmakuplia lumisohjon jäätyessä. Kaasukuplien suhteellinen tilavuus on yleensä 1–3 %, kohvajäässä 5–10 %, ja ne vaikuttavat jään ominaisuuksiin. Tämän lisäksi jäähän jää kiteiden väliin vedessä olevaa liuennutta ainesta ja kiintoainesta. Niiden määrä on kuitenkin niin vähäinen, että likaisienkin järvien jää näyttää puhtaan kirkkaalta.

Jään paksuus

Etelä-Suomessa jäästä tulee 30–50 cm:n paksuista, kun taas Lapissa jäätä voi tulla metrin verran. Jään paksuuden kehitys on klassinen geofysiikan ongelma, johon on olemassa likimääräisiä analyyttisiä ratkaisuja. Jään kasvaessa jäätymisessä vapautuvan lämmön on johtumalla siirryttävä jään ja lumen läpi ilmakehään. Mitä paksumpi jää on, sen hitaampi on lämmön johtuminen eli kasvaessaan jää eristää itsensä. Sulamisvaiheessa jää taas sulaa, kun siihen siirretään lämpöä auringosta, ilmasta tai vedestä.

Jään paksuuntumisen perusratkaisu on Stefanin laki vuodelta 1898. Sen lähtöoletukset ovat seuraavat: termistä hitautta, auringonsäteilyä ja vedestä tulevaa lämpöä ei tarvitse huomioida, ja jään pinnan lämpötila on tunnettu. Ratkaisuna on kaava h [cm] = $\alpha\sqrt{S}$, missä S on pakkassumma [°C d] ja $\alpha \approx 3$ on kerroin. Esim. jos lämpötila on 40 päivän ajan –10 °C, S = 400 °C vrk ja h on 60 cm. Pintalämpötila arvioidaan yleensä ilman lämpötilan perusteella, mikä

johtaa yliarvioon kun jäällä on lunta; kaava siis antaa järvijään paksuuntumisen äärimmäisessä paljaan jään tapauksessa. Suurin Suomessa mitattu jään paksuus on 120 cm, kun taas kylmimmille talvillemme Stefanin laki antaa jään paksuudeksi 135 cm. Usein käytetään analogisia semiempiirisiä kaavoja, joissa kerroin α on korvattu havaintoihin sovitetulla kertoimella α^*, joka on pienempi kuin α. Kertoimen α^* pienin arvo on noin $\alpha/2$, joka vastaa lumen tehokkainta eristyskykyä. Kohvajää kasvaa heti lumen alla, mutta lämmön siirtyminen lumen läpi on vaikeata. Siksi kohvajää kasvaa hitaammin kuin paljas teräsjää. Tällöin α^* on pienempi tai yhtä suuri kuin 0,7.

Yksi järvijään fysiikan tärkeitä käytännöllisiä ongelmia on jään kantokyky. Milloin esimerkiksi ihminen tai auto voi liikkua jäällä? Vesialustalla lepäävän jään paino ja jään pohjaan kohdistuva hydrostaattinen paine ovat tasapainossa. Kun jäälle lisätään kuorma, jää painuu ja hydrostaattinen paine kasvaa, kunnes tasapaino saavutetaan. Tällöin jää taipuu ja rikkoutuu, kun sisäiset jännitykset yltävät lujuusarvoihin. Lyhytaikaisessa staattisessa kuormituksessa jää käyttäytyy lineaarikimmoisan materian tavoin. Käytännön laskuissa sovelletaan yksinkertaistettua muotoa: jää kantaa kun $P[\mathrm{kg}] < k\,h^2[\mathrm{cm}]$, jossa P on kuorma ja c on noin 5. Toisin sanoen 5 cm:n jää kantaa 125 kg, 25 cm:n jää kantaa 3 000 kg, ja 100 cm:n jää kantaa 50 000 kg. Kun kuorma on liikkuva (nopeus > 15 km/h), on huomioitava myös hitausvoimat. Liikkuva taipuma aiheuttaa aaltoliikkeen vesirunkoon, ja jos aallon etenemisnopeus vedessä on samanlainen kuin kuorman liikenopeus, seuraa resonanssi. Kriittinen nopeus on $\sqrt{gH}$ eli pitkän aallon etenemisnopeus vedessä, kun g on painovoiman kiihtyvyys. Taipuman arvo käytännössä kaksin- tai kolminkertaistuu kriittisellä nopeudella liikuttaessa.

Jääpeite ja ekologia

Jääpeitteellä on suuri vaikutus järvien ekologiaan. Erityisesti luminen jääkansi estää tehokkaasti valon tunkeutumisen vesirunkoon. Valon määrä ja laatu puolestaan säätelevät kaikkien fotosynteettisten eliöiden aktiivisuutta eli tuotantoa ja kasvua. Talvella fotosynteettisten levien tuotanto jää tästä syystä yleensä erittäin pieneksi. Ravintoverkoston kannalta kysymys on syötäväksi kelpaavan vähäisyydestä. Ennen muuta ravintoketjun perustuottajaportaan laiduntajille eli eläinplanktonille ei ole tarjolla kovin paljon syötäväksi kelpaavaa ravintoa.

93 (0-10.5 cm)

93 (10.5-20.5 cm)

93 (20.5-31 cm)

Esimerkki jään kiderakenteesta Pääjärveltä vuodelta 1993, kun jään kokonaispaksuus oli 31 cm. (Kuvat Pekka Kosloff)

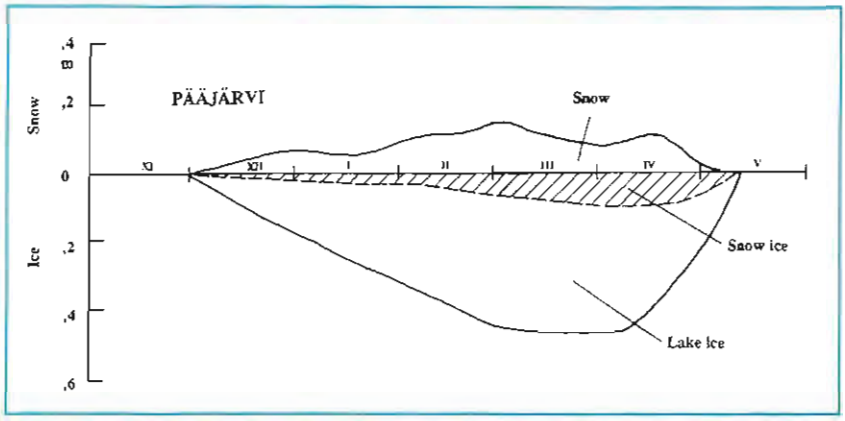
Järvissä ja laboratorioissa tehdyt kokeet osoittavat, että koko planktonyhteisön kannalta fotosynteettisen valon (400–700 nm) määrä on talvella ekologinen minimitekijä. Jos valon määrä kasvaa esim. lauhdevesien sulattaessa jään jo helmi–maaliskuussa, seurauksena on yhteyttävien levien voimakas lisääntyminen, vaikka veden lämpötila pysyy lähellä nollaa. Samanlainen tulos saadaan laboratoriossa, jos vesinäytteitä altistetaan matalassa lämpötilassa erilaisille valon määrille. Keväällä lumen sulaminen lisää suuresti jään läpi tunkeutuvan valon määrää ja levien yhteyttäminen ja kasvu kiihtyvät. Yhteyttämiskykyiset levät esiintyvät tavallisesti hyvin tiheänä kerroksena heti jääkannen alla. Syvemmällä vesirungossa elää vain osaksi tai kokonaan toisenvaraisia (miksotrofisia tai heterotrofisia) leviä ja alkueläimiä. Yhteistä jään alla eläville leville näyttäisi olevan suuri yhteyttämispigmenttien määrä, joka luonnollisesti lisää niiden kykyä imeä valoa.

Jäätalvi merkitsee melkoista muutosta vesirungon kaasupitoisuuksissa. Happipitoisuus voi etenkin rehevissä vesistöissä huomattavasti pienentyä, jolloin lopputalvella uhkaa happikato. Vastaavasti hiilidioksidin pitoisuus kasvaa talven aikana, ja arvot ovat suurimpia lähellä pohjaa. Siinä, millaisiksi olosuhteet kehittyvät on jääpeitteen merkitys ratkaiseva. Aikainen jäätyminen voi johtaa verrattain suuren lämpövaraston säilymiseen järvessä, mikä puolestaan voi pitää järven toisenvaraisten bakteerien aktiivisuuden suhteellisen suurena läpi talven. Pitkä jääpeitteinen aika yhdistyneenä "tavallista" vilkkaampaan bakteeritoimintaan lisää varsinkin rehevissä järvissä happikadon riskiä. Jo lähellä pohjaa olevien vesikerrosten hapettomuus voi saada järvessä aikaan kohtalokkaan tapahtumaketjun, kun pohjaan kerrostuneet ra-

vinteet (ennen muuta fosfori) vapautuvat takaisin veteen. Seurauksena voi olla veden ravinnepitoisuuden äkillinen suurentuminen ja järven tuottavuuden hyppäyksenomainen lisääntyminen keväällä ja kesällä. Tämä voi jopa laukaista kroonisen rehevöitymiskierteen, jonka katkaiseminen saattaa olla hyvin vaikea tehtävä. Myöhäinen jäätyminen puolestaan merkitsee pientä lämpövarastoa ja yleensä tavallista lyhyempää jääpeitteistä aikaa, ja riski on vastaavasti pienempi. Pohjan ja sitä lähellä olevien vesikerrosten happitilanne on tärkeä minimitekijä monien pohjaeläinten ja kalojen – mm. järviemme reliktiäyriäisten sekä talvikutuisten kalojen, kuten muikun ja siian – kannalta.

Biologisen aktiivisuuden vähenemisen talvella näkyy myös veden ravinnepitoisuuksissa: epäorgaanisen typen ja fosforin pitoisuudet ovat suurempia kuin kesällä, jolloin mikro-organismit ja muu ravintoverkosto sitovat ne itseensä. Toisaalta lumen muodossa kertyneen sateen sisältämä nitraatteina oleva typpi purkautuu keväällä sulamisvesien mukana jokiin ja järviin. Seurauksena voi olla lyhytaikainen nitraattihuippu ja samanaikainen pH-minimi, etenkin järvissä, joiden valuma-alue on järven vesitilavuuteen nähden suuri. Läpivirtausjärvissä pH-minimi voi rajoittua aivan jääpeitteen alapuoliseen vesirungon osaan. Varsinkin happamissa järvissä, joissa puskurikapasiteetti on huono, sulavesien aiheuttama pH-muutos voi olla huomattava. Ääritapauksissa happamuus voi aiheuttaa siihen liittyvien muiden kemiallisten muutosten kanssa jopa kalakuolemia.

1990-luvun aikana eteläisessä ja keskisessä Ruotsissa keväinen jäidenlähtö on aikaistunut jopa 3–4 viikkoa siitä, mikä tilanne oli ennen (1950–1980). Koska pysyvän lumipeitteen kesto on niin ikään, mm. Tukholman ja Uppsalan alueella, jäänyt lyhyeksi, talviset olosuhteet järvissä ovat muuttuneet suuresti. Vaikka esimerkiksi Hämeessä ei ole havaittu selkeää jäätalven lyhenemistä, on oletettavaa, että lounaisimmassa Suomessa ja Ahvenanmaalla olosuhteet ovat muuttuneet. Poikkeavia talvia on tosin koettu Hämeessäkin: Esimerkiksi Lammin Pääjärven jäätalven kesto oli



Lumen (snow), kohvajään (snow ice) ja teräsjään (lake ice) tyypillinen kasvu ja oheneminen talven aikana.

1900-luvulla keskimäärin lähes päivälleen viisi kuukautta, mutta viime talvena se oli vain kolme kuukautta. Järvi jäätyi lopullisesti vasta tammikuun 21. päivän vastaisena yönä, mutta jo huhtikuun 20. päivänä järvi lainehti jälleen vapaana. Tavallista aikaisempi vapautuminen jääpeitteestä ei kuitenkaan kaikissa järvissä merkitse sitä, että olosuhteet levätuotannon nopealle kasvulle olisivat suotuisat. Syvissä ja tummissa humusjärvissä yksi perusedellytys on vesipatsaan yläosan nopea lämpeneminen, koska vain lämpötilakerrostuminen voi estää levien joutumisen pimeään alusveteen ja siten pois tuottavasta vesikerroksesta.

Vaikka talven vaikutuksesta vesistöjen veden laatuun ja eliöyhteisöihin on paljon yksittäistä tietoa, talvi on kuitenkin yhä edelleen selvästi huonoimmin tutkittu vuodenaika. Usein on ajateltu, ettei talvi ole yhtä tärkeä jakso järven elämässä kuin kesä, jolloin monet eliöt ovat aktiivisimmillaan ja myös lisääntyvät. Toisaalta tarkastelukulma voidaan kääntää vastakkaiseksi: eikö juuri vuodenaika, jolloin olosuhteet ovat ankarimmillaan ja monen eliön kannalta kriittiset, ole yksittäisten lajien, ravintoverkoston ja koko ekosysteemin näkökulmasta keskeinen?

Jäät lähtevät

Keväällä auringonpaisteen voimistuessa säteilytase kääntyy taas positiiviseksi ja jään sulaminen alkaa. Jäänlähtö alkaa Varsinais-Suomessa keskimäärin vappuna. Rintama etenee pohjoiseen, eivätkä järven koko ja muoto vaikuta jäänlähdön ajankohtaan paljonkaan. Tunturi-Lapin järvet vapautuvat jäistä kesäkuun alkupuolella. Sulamiskautena jään ja lumen lämpötila on 0 °C, ja lisälämpö menee aina sulamiseen. Yläpinnalta sulaa ensin lumi ja sitten jää; lumipeite suojaa jäätä sulamiselta. Auringonsäteily tunkeutuu lumen ja jään sisään ja sulattamalla haurastuttaa jäätä sisäisesti, mutta sisäinen sulaminen käynnistyy kunnolla vasta kun lumi on sulanut pois. Sulamista arvioidaan yleensä ns. lämpösummakaavoilla

$$dh/dt \approx A \min\{T, 0\}$$

jossa T on ilman lämpötila, $A = A(t)$ on astepäiväkerroin, joka on noin 0,1 cm/(°C vrk). Valon vaimenemismatka on jäässä 10–100 cm eli pieni osa säteilystä menee jopa jään läpi ja lämmittää alapuolista vettä. Jään sisällä aurinko sulattaa jäätä lähtien kiteiden rajapinnoilta. Jos jää on pylväskiteistä (kuten usein Suomen järvissä), jään sanotaan kansankielellä puikkoutuvan, kun pylväsmuodot alkavat hahmottua. Kun jää on sisältä syöpynyt 20–50 % (kiderakenteen mukaan), se menettää lujuutensa ja hajoaa veteen.

Mikäli ilmasto lämpenee, myös jäätalvet muuttuvat. On arvioitu, että yhden asteen lämpeneminen lyhentää jäätalvea viikon molemmista päistä ja pienentää jään vuotuista maksimipaksuutta noin 10 cm. Jos lämpeneminen on sadassa vuodessa 2–3 °C, muutos ei ole vielä suuri jäätalven pituuteen nähden. Etelän suurilla järvillä ohene-

minen voi johtaa siihen, että jää rikkoutuu talvimyrskyissä, jolloin ei enää muodostuisi yhtäjaksoista ehyen jääpeitteen aikaa.

Lopuksi

Järvien jääpeite on vaikuttanut myös arkielämäämme Suomessa. Laivojen talviliikennettä on vain Saimaan vesistöalueella. Jäissä kulkevat laivat on vahvistettava jään kuormituksia silmällä pitäen, on ylläpidettävä jäänmurtajia laivaliikenteen avuksi ja liikenteen turvalaitteet on mitoitettava jään voimat kestäviksi. Toisaalta jääpeitteestä on myös liikenteellistä hyötyä, kun jäälle tehdään jääteitä ja lentokenttiä. Suomen järvien ehyt jääpeite tarjoaa hyvät mahdollisuudet virkistyskäyttöön kuten, luisteluun, hiihtoon ja pilkkimiseen. Entisaikaan järvijäätä kerättiin kylmävarastojen jäähdyttäjäksi ja sitä säilytettiin sahajauhon alla sulamisen hidastamiseksi. Nykyaikaa on jään kerääminen veistosmateriaaliksi. Tähän sopii varsinkin sellainen järvijää, jossa on mahdollisimman vähän kaasukuplia.

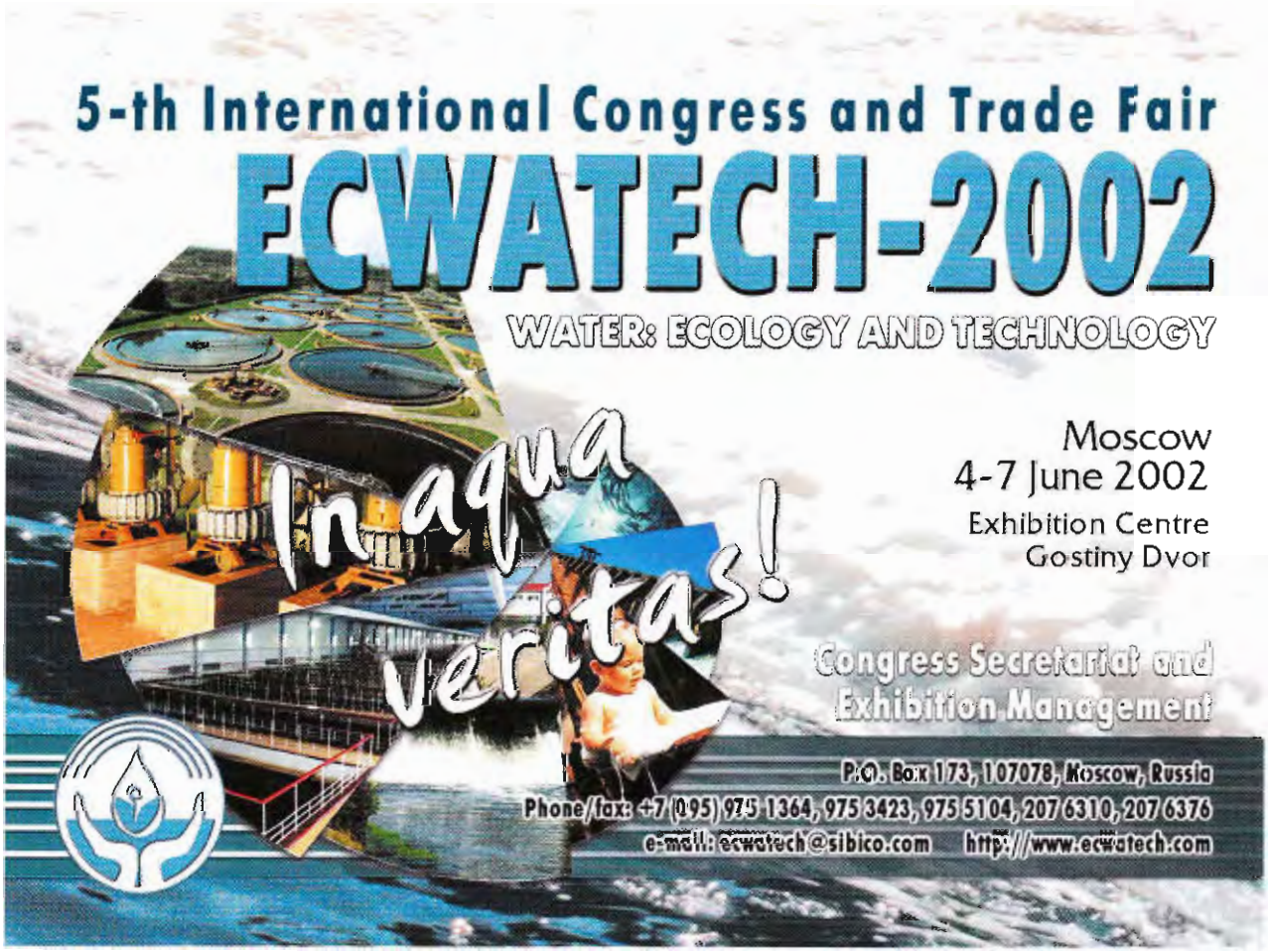
Suomessa järvien jääoloja ja niiden vaikutuksia on tutkittu vielä melko vähän. Rutiinikartoitusten lisäksi on tehty enemmän tai vähemmän satunnaisia geofysikaalisia tutkimuksia 1930-luvulta lähtien. Nykyaika edellyttäisi kuitenkin huomattavasti suurempaa panostusta tutkimukseen. Ilmastotutkimukset ja monet vesiekologian ajankohtaiset haasteet edellyttävät, että järvien koko vuotuinen sykli otetaan tarkastelun kohteeksi. Tällöin talven erityispiirteet, kuten jään ja lumen aiheuttamat suorat ja epäsuorat ekologiset vaikutukset, on huomioitava esim. matemaattisissa malleissa. Järvijään tutkimuksen uutta suuntaa luonnehtivatkin poikkitieteellisyys ja maantieteellinen laaja-alaisuus. Jääolojen kytkentä veden laatuun ja ekologiaan lisää ymmärrystämme järvien ja niiden eliöyhteisöjen toiminnasta. Tutkijat eri puolilla pohjoista, jäätyvää, pallonpuoliskoa ovat myös paremmin löytäneet toisensa. Syvenevä yhteistyö toivottavasti myötävaikuttaa siihen, että tutkimus edistyisi ripeästi.

Kirjallisuus

Leppäranta, M. (ed.). 1998. Physics of Ice-Covered Seas I-II: lecture notes from a summer school in Savonlinna, Finland 6–17 June 1994. Helsinki, University of Helsinki. 830 p.

Ashton, G.D. 1986. River and Lake Ice Engineering. Littleton, Water Resources Publications. 485 p.

Shumskii, P.A. 1952. Principles of Structural Glaciology. Dover Publications [käännetty venäjästä].



Hannu Majuri

tekn.tri
Pirkanmaan ympäristökeskus
E-mail: hannu.majuri@vyh.fi
Kirjoittaja on toiminut vuodesta 1974 lähtien vesilain valvontatehtävissä. Hän väitteli aiheesta Tampereen Teknillisessä korkeakoulussa tänä vuonna.

HYÖDYNARVIOINTI

järvien kunnostushankkeissa

Maassamme on runsaasti järviä, jotka ovat kunnostuksen tarpeessa. Kuunostaminen on kallista ja rahaa tarvittaisiin lisää. Yhtenä mahdollisuutena olisi kerätä rahaa niiltä, jotka hyötyvät kunnostamisesta. Lainsäädäntö ei tällä hetkellä velvoita hyödynsaajia osallistumaan vesistöjen kunnostus- eikä hoitohankkeisiin. Yhtenä syynä rahan puutteeseen on myös se, ettei ole ollut olemassa luotettavia hyödyn arviointitapoja, jotka soveltuvat vesistöjen kunnostushyötyjen arviointiin. Seuraavassa tarkastellaan hyödynarviointia juuri valmistuneen tutkimuksen perusteella.

Suomessa on 56 000 yli hehtaarin suuruista järveä. Näistä on aikanaan laskettu noin 3 000 – 5 000 maatalouden tarpeiden vuoksi (Majuri 1997). Noin 3 000 järven voidaan arvioida olevan fosforipitoisuuden perusteella rehevöitynyt. Noin 1500 järven katsotaan olevan kunnostuksen tarpeessa (Turunen ja Äystö 2000).

Vesistöjen kunnostus- ja hoitomenetelmät voidaan jakaa rehevöitymisen hallintaan ja estämiseen, happamoitumisen torjuntaan, vedenkorkeuksien muuttamiseen, kasvillisuuden vähentämiseen, kalaston hoitoon, maisemarakentamiseen sekä erityisesti haitallisten levien ja leväkukintojen hallintaan (Dahlström et al.1990). Ulkoisen kuormituksen pitää vähentyä, jotta yksikään kunnostusmenetelmä voisi olla tehokas ja tulokseltaan pysyvä. Kunnostus- ja hoitohankkeiden suora kustannusrasitus koostuu tutkimus-, suunnittelu- ja luvanhakemiskustannuksista sekä työ- ja materiaalikustannuksista. Vesistöjen kunnostaminen maksaa keskimäärin 2 000 – 3 000 mk/vesihehtaari. Maassamme tarvittaisiin vesistöjen kunnostamiseen rahaa noin 160 milj. mk vuodessa kymmenen vuoden ajan. (Turunen ja Äystö 2000). Valtio osallistuu työhön nykyään noin 26 miljoonalla markalla vuosittain.

Aiheuttamisperiaate on ympäristönsuojelussa ja -hoidossa yleisesti hyväksytty periaate maassamme ja kansainvälisestikin. Vesistöjen kunnostuksessa periaatteen noudattaminen tarkoittaa sitä, että likaaja osallistuu tai velvoitetaan osallistumaan vesistön kunnostamiseen. Niin kutsuttu vapaamatkustaja -ilmiö on yleinen erityisesti vesistöjen kunnostushankkeissa. Se tarkoittaa sitä, ettei oteta osaa vesistön kunnostus- eikä hoitokustannuksiin, vaikka ne ilmiselvästi korottavat esimerkiksi oman kiinteistön arvoa. Vesistön kunnostamiseen aiheuttamisperiaatteen noudattaminen ei usein sovi tai se ei riitä, koska kunnostustarve on syntynyt miltei aina pitkän ajan kuluessa ja hyvin monen eri tekijän aiheuttamana.

Vesilain (264/1961) mukaan hyödynsaajia ei voida velvoittaa osallistumaan vesistöjen kunnostushankkeisiin, vaikka hankkeesta aiheutuisi selvää hyötyä. Vesilain mukaan oleellisia ovat tässä VL 2:11, 11:5 ja 11:12. Näistä kaksi viimeksi mainittua kohtaa ovat tärkeitä kunnostushankkeiden hyödylle.. Niiden mukaan hyödyt ja haitat voidaan laskea yhteen etumerkkeineen, mikäli vesistön kunnostushankkeesta aiheutuu muulle kuin hakijalle haittaa sekä hyötyä. Näin

myös hankkeen vastustaja saattaa joutua sen osamaksajaksi.

Maamme vesioikeuskäytännössä on haittojen arviointi vakiintunut tapauksissa, joissa vedenlaatu heikkenee (Majuri 2001). Tapa perustuu vesistösidonnaisen virkistyskäyttöarvon ja virkistysarvon muuttumisprosentin käsitteisiin. Kiinteistöjen vesistösidonnaiseksi virkistyskäyttöarvoksi on oikeuskäytännössä vakiintunut vuoden 2000 hintatasossa noin 3 000 - 8 000 markkaa vuodessa. Mainitun arvon on katsottu riippuvan vesistön koosta ja sijainnista. Virkistysarvon alenema, ja toisaalta myös nousu, voidaan määrittää seuraavasta taulukosta.(Kyber 1981, Kärmeniemi 1991–1992 ja 1994–1995, Mattila 1995, Silvo et al. 2000, Majuri 2001).

Virkistys-käyttöluokka	Virkistysarvon alenema-% tai nousu-%
I	0
II	0
III	0–30
IV	30–60
V	60–80
VI	80–100

Haitat on saatu kertomalla virkistysarvon muuttumisprosentilla vesistösidonnainen virkistyskäyttöarvo.

Edellä mainittua menetelmää voidaan soveltaa käänteisesti vesistöjen kunnostushankkeissa, joissa vedenlaatu paranee (Majuri 2001). Kiinteistökohtainen hyödynarviointi tapahtuu tällöin seuraavasti:

1) Määritetään vesialueet, jotka paranevat kunnostus- tai hoitohankkeen ansiosta.
2) Arvioidaan hyötyalueille virkistysarvon nousemista kuvaava hyötyprosentti
3) Arvioidaan rakentamattoman rantatontin vesistöön perustuva virkistysarvoprosentti
4) Arvioidaan se osuus rantatontin vesistöön perustuvasta virkistysarvosta, johon kunnostustoimenpiteet vaikuttavat. Usein on perusteltua arvioida hyötyä varovasti, koska kunnostuksella tai hoidolla saavutettava hyöty on epävarmaa. Käytetään siksi kerrointa n = 0,5...1,0.
5) Arvioidaan alueella sijaitsevan hyvän rantatontin keskimääräinen neliöhinta oletuksella, että vedenlaatu olisi hyvä. Korjataan näin saatua neliöhintaa tontin ominaisuuksiin pohjautuvilla korjauskertoimilla.
6) Arvioidaan rakennuksen jälleenhankinta-arvo. Se korjataan päivänarvoksi vähentämällä se osa, jonka rakennus on menettänyt iän, käytön, käyttökelpoisuuden alentumisen tai muun syyn vuoksi.
7) Kerrotaan kiinteistön maapohjan kokonaishinta sillä prosenttiosuudella, joka kuvaa kunnostuksen tai hoidon vaikutusta maapohjaan. Kerrotaan rakennuksen päivänarvo sillä prosenttiosuudella, joka kuvaa kunnostuksen tai hoidon vaikuttamaa osuutta rakennukseen. Se on puolet maapohjan prosenttiluvusta.
8) Lasketaan edellisessä kohdassa saadut maapohjan ja rakennuksien muunnetut arvot yhteen. Summa on se osuus kiinteistön arvosta, johon kunnostustoimenpiteet vaikuttavat.
9) Kerrotaan edellisessä kohdassa saatu kiinteistön arvo-osuus kyseisen hyötyalueen parantumisprosentilla, jolloin saadaan kiinteistölle kunnostustoimenpiteistä aiheutuva virkistyskäyttöarvon paraneminen rahassa mitattuna.
10) Kiinteistökohtaisia vuosi- ja kokonaishyötyjä voidaan käyttää kunnostus- ja hoitokustannuksia jaettaessa.

Ideaalisen rantaviivan (1,2 metrin syvyys enintään 15 metrin etäisyydellä rantaviivasta) muuttumista ja sen jakaantumista voidaan tutkia tapauksissa, joissa vedenpinnan korkeutta nostetaan. Tämä voidaan tehdä kustannustehokkaasti seuraavalla tavalla (Majuri 2001):

1) Selvitetään järven rantaviivan läheinen rantamatala korkealuokkaisella kaikuluotaimella varustetulla veneellä, jossa on DGPS-laitteet. Näin saadaan rantamatalan syvyyden lisäksi pohjan laatu selville.
2) Ilmakuvataan matalalta (lentokorkeus 400–600 m) järven rannat, jolloin saadaan korkeuskäyrät digitaalisessa muodossa 0,1 metrin tarkkuudella.
3) Edellä mainittujen tietojen perusteella saadaan digitaalinen korkeus- ja syvyysmalli.
4) Mallin avulla pystytään selvittämään ideaalisen rantaviivan jakaantuminen ja siinä hankkeen aiheuttamat muutokset.

Näin saadaan myös hyödyn kiinteistökohtainen jakaantuminen selvitetyksi.

Vesistökunnostuksiin liittyviä maksuhalukkuuskyselyjä on tehty useita varsinkin ulkomailla. Suomessa on tehty kyselyjä vain muutama. Viimeksi tehdyssä kyselyssä saatiin tulokseksi, että suomalainen kesämökin omistaja on valmis maksamaan 500 mk/v siitä, jos vedenlaatu paranee ja noin 320 mk/v siitä, ettei vedenlaatu huonone (Majuri 2001). Mikäli otetaan huomioon, että kunnostamista tarvitsevien vesistöjen varrella on 59 000 kesäasuntoa, saadaan maksuhalukkuudeksi noin 30 Mmk/v vesistön kunnostamisesta ja noin 19 Mmk/v vesistön tuloksekkaasta hoidosta.

Maksuhalukkuuskyselyjen tuloksia ja hyödynarviointitapoja on sovellettu seuraavissa taulukoissa kymmeneen suomalaiseen järveen. Taulukossa 1 on esitetty vedenlaatu vuosina 1994–1997 ja tavoitetiloissa. Taulukosta 2 ilmenevät kokonaishyödyt tai maksuhalukkuudet markoissa kiinteistöä kohti kuudella eri tavalla määritettyinä.

Tulosten mukaan vesistöjen kunnostamisesta aiheutuu huomattavaa hyötyä. Lisäksi rantakiinteistöjen omistajissa esiintyy merkittävää maksuhalukkuutta. Nämä molemmat pitäisi ilmiselvästi kanavoida lainsäädäntöön.Esitetyn perusteella voidaan katsoa, että vesistökunnostusten hyödyt ainakin suhteellisesti ottaen voidaan määrittää verrattain tarkasti. Väitöskirjassa (Majuri 2001) kehitettyjä uusia hyödynarviointitapoja pitäisi testata konkreettisessa vesistön kunnostustapauksessa. Tällainen testaus on tarkoitus aloittaa keväällä 2002, kun hankkeen kokonaisrahoitus selviää.

Vesilakia olisi syytä ja perusteltua tarkistaa niin, että hyödynsaajat velvoitetaan osallistumaan selvän hyödyn suhteessa vesistöjen kunnostus- ja hoitohankkeisiin. Vesilakia ollaan juuri tarkistamassa. Vesistökunnostushankkeissa todetut lainsäädännölliset puutteet ja toisaalta vesistökunnostushankkeiden lisääntyminen ovat olleet toimikunnan asettamiskirjeessä yksi syy siihen. Ennen lainmuutosta tai kohta sen jälkeen pitäisi hyödynarviointitavoista sopia samalla tavoin kuin tapahtui 1920-luvulla sovittaessa maamme maanviljelysinsinöörien neuvottelupäivillä niin sanotun kaksijyvämenetelmän käyttöönotosta ojitus- ja järjestelyhankkeiden hyötyarviossa. Mainittu hyödynarviointitapa on osoittautunut käyttökelpoiseksi jo yli 75 vuotta.

Kirjallisuus

Bishop et al. 1999. Dane County residents would pay a lot for a cleaner lake Mendota. College of Acricultural and Life Sciences, University of Wisconsin-Madison, News and features. 3 s.

Iisalmen kaupunki et al. 1999. Ylä-Savon vesistöjen kunnostusohjelma. Yleissuunnitelma. Kuopio. 76 s.

Kyber, M. 1981. Vesistön likaantumisen virkistyskäytölle aiheuttamat haitat ja niiden arviointi katselmustoimituksessa. Espoo. 90 s. + liitt. VTT -tiedotteita 23/1981.

Kärmeniemi, T. 1991,1993,1994,1995. Uimaharjun tehtaiden, Helsingin kaupungin, Vapo Oy:n ja Keskijärven kalanviljelylaitokseen liittyvät avustavan virkamiehen ja asiantuntijalausunnot. 73 s., 71 s., 36 s. ja 20 s.

Majuri, H. 1997. Vesistöjen kunnostukseen liittyvän lainsäädännön, hallinnon ja hyödynarvioinnin kehittäminen. Tampere. TTKK. Lisensiaatintutkimus. 182 s.

Majuri, H. 1998. Vrt. edellä. Tampere. 152 s. Alueelliset ympäristöjulkaisut n:o 54.

Majuri, H. 2001. Hyödynarviointi vesistöjen kunnostushankkeissa. Väitöskirja. 252 s TTKK:n julkaisu n:o 333. Tampere.

Mattila, T. 1995. Rantakiinteistön virkistysarvo ja vesistön likaantumisen vaikutus siihen. Helsinki. Suomen ympäristökeskus. 88 s. + liitt. 13 s. Suomen ympäristökeskuksen moniste n:o 6.

Mäntymaa, E. 1993. Ympäristöhyötyjen arviointi Contingent valuation -menetelmällä. Oulu University of Oulu. 140 s. Research Institute of Northern Finland. Research Reports 109.

Silvo et al. 2000. Yhtenäinen päästöjen ja ympäristövaikutusten arviointi. Lähestymistapoja ympäristölupaprosessin tueksi. Suomen ympäristökeskus. 252 s. Suomen ympäristö 373.

http://www.vyh.fi/pir/people/hannu_majuri/majuri.htm

Taulukko 1. Esimerkkijärvien vedenlaadun nykytila ja tavoite

Kohde	Vedenlaatu 1994–1997	Tavoite vedenlaadulle
Tammelan Liesjärvi	hyvä	säilyy
Lahden Vesijärvi, Enonselkä	tyydyttävä	hyvä
Kangasalan Vesijärvi	pääosin hyvä	erinomainen
Hattulan Lehijärvi	tyydyttävä	hyvä
Vihdin Enäjärvi	huono	tyydyttävä
Kangasalan Kirkkojärvi	huono	tyydyttävä
Säkylän Pyhäjärvi	hyvä	säilyy
Tuusulanjärvi	välttävä	tyydyttävä
Päijänne	erinomainen	säilyy
Mouhijärvi	tyydyttävä	hyvä

Taulukko 2. Kokonaishyödyt tai maksuhalukkuudet kiinteistöä kohti esimerkkikohteissa kuudella eri tavalla määritettyinä

Hyödyt tai maksuhalukkuudet markkoina kiinteistöä kohti eri menetelmillä ja tutkimuksilla						
Kohde/Arviointimenetelmä	1	2	3*	4**	5	6***
Tammelan Liesjärvi			15820	40560	6520…26080	6812
Lahden Vesijärven Enonselkä	18000	47500	10920	40560	6520…26080	9998
Kangasalan Vesijärvi		67500	10920	40560	6520…26080	9998
Hattulan Lehijärvi	18000	47500	10920	40560	6520…26080	9998
Vihdin Enäjärvi	54000		10920	40560	6520…26080	9998
Kangasalan Kirkkojärvi	54000		10920	40560	6520…26080	9998
Säkylän Pyhäjärvi			15820	40560	6520…26080	6812
Tuusulanjärvi	30000		10920	40560	6520…26080	9998
Päijänne			15820	40560	6520…26080	6812
Mouhijärvi	24000	47500	10920	40560	6520…26080	9998

Kiinteistön maapohjan arvona käytetty = 150 000 mk ja rakennuksen arvona = 100 000 mk

* = Vuosimaksuhalukkuus kerrottu 20:llä, ** = dollari = 6 mk, *** = 4 vuodepaikkaa/mökki

Taulukossa 2 numerot 1 – 6 tarkoittavat seuraavaa:

1 = Hyötyarvomenetelmä (Majuri2001)
2 = Kaava luvussa 5.2 lähteessä Majuri 2001 (Majuri 1997)
3 = Maksuhalukkuusmenetelmä (Mäntymaa 1993)
4 = Maksuhalukkuusmenetelmä (Bishop et al 1999)
5 = Maksuhalukkuusmenetelmä (Iisalmen kaupunki et al 1999)
6 = Maksuhalukkuusmenetelmä (Majuri 2001)

Oulun Musiikkikeskus 4.– 5.6.2002
Madetojan sali,Tulindberg-sali Lintulammentie 1–3

CALL FOR PAPERS VESIHUOLTOPÄIVÄT 2002

Vesihuoltopäivät 2002 vesi- ja viemärilaitosalan uusille ja vanhoille ammattilaisille, tutkijoille, päättäjille, viranomaisille, vaikuttajille, tietäjille, taitajille.....

Valtakunnalliset vesihuoltopäivät järjestetään 46. kerran. Ne ovat vuosien saatossa vakiinnuttaneet paikkansa alan ammattilaisten suurimpana kotimaisena tapaamistilaisuutena ja uuden tiedon esittelyn tapahtumana. Päivien aikana järjestetään mahdollisuus tutustua lähialueiden vesihuoltolaitoksiin. Lisäksi päiviin liittyvä pienoisnäyttely tulee esittelemään tuotteita, materiaaleja ja palveluja vesihuollosta, sen suunnittelusta ja tekniikoista, koneista ja varustuksista. Näyttely toteutetaan Oulun Musiikkikeskuksen aulatiloissa ja ulkoalueilla.

Viime vuosina on Vesihuoltopäivät toteutettu noudattaen call for papers -menettelyä. Vesihuoltopäivillä on kaksi rinnakkain etenevää esitelmäsarjaa, yhteensä noin 30 alustusta. Näin ollen alustuksissa käsitellään vesi- ja viemärilaitostoimintaan ja sen kehittämiseen liittyviä asioita tasapuolisesti. Korkeatasoisia ehdokkaita on jouduttu jopa karsimaan, koska käytettävissä on vain rajalliset aikaresurssit. Tarkoituksenamme on edelleen kehittää vesihuoltopäiviä. Esitysten korkeasta tasosta tinkimättä, annamme myös nuorille ammattilaisille aikaisempaa enemmän mahdollisuuksia esiintymiseen.

VESIHUOLTOPÄIVÄT 2002 on tapahtuma, jolla voit välittää tutkimusten ja kehittämishankkeiden tuloksia, oivalluksia, keksintöjä, sovelluksia ja uusia ajatuksia toisten asiantuntijoiden arvioitavaksi. Päivillä toivomme Sinun esittelevän uusinta tutkimustietoa sekä vesi- ja viemärilaitoksilla esiintyvien käytännön ongelmien ratkaisuja. Olisi erinomainen asia, että myös Sinä alan ammattilaisena kerrot kollegoillesi omalla vesi- ja viemärilaitoksellasi tapahtuvasta kehittämistoiminnasta.

Ilmoita halukkuutesi esitelmän (15-30 min) pitämiseen viimeistään 01.02.2002. Liitä mukaan ehdottomasti lyhyt sisältörunko (max. 1 A4-liuska). Emme sisällytä ohjelmaan esitelmää, josta tiedossa on vain otsikko.

Meillä on vain rajoittuneet mahdollisuudet maksaa palkkiota esiintymisestäsi sekä kulukorvauksia matkasta ja majoittumisesta. Esitelmöitsijöille osallistuminen on kuitenkin Vesihuoltopäivät 2002 tapahtumaan sen molempina päivinä maksutonta. Mikäli tämä järjestely ei kuitenkaan vastaa tarpeitasi, ota yhteys toimistoon, jolloin voimme erityisen painavista syistä poikkeuksellisesti sopia asiasta toisin.

Yhteyshenkilöinä VVY:ssä ovat Mikko Korhonen, (09) 8689 0112, s-posti; mikko.korhonen@vvy.fi sekä Mika Rontu puh. (09) 8689 0114, s-posti; mika.rontu@vvy.fi.

Esitelmäehdotukset pyydämme lähettämään 01.02.2002 mennessä osoitteella:

VESI- JA VIEMÄRILAITOSYHDIS TYS
Ratavartijankatu 2 A 00520 HELSINKI tai
faksi (09) 148 4750 tai
s-posti: vvy@vvy.fi
kotisivu: http://www.vvy.fi

Vesihuoltopäivien esitelmiä on perinteisesti jul kaistu Vesitalouslehden syksyn eri numeroissa. Lehden toimitus ottaa erikseen yhteyden niihin alustajiin, joilta se toivoo saavansa artikkelin. Vesitalouslehdeltä saatte tarkemmat ohjeet kirjoituksen laatimiseksi.

Hyvää Joulua ja Onnellista Uutta Vuotta

Uusi pumppaamoperhe Liningilta

PROLINING

- linjapumppaamo PRO 1400
- kiinteistö- ja linja-pumppaamo PRO 1100
- kiinteistö-pumppaamo PRO 800
- perusvesi-pumppaamo PRO 700

• ei ankkurointia
• teleskooppi
• kevyt
• asennusystävällinen

KYSY LISÄÄ!

Lining
INDUTRADE GROUP

Oy Lining Ab
Riihikuja 5, 01720 Vantaa
Puh. 09-4764 611, fax 09-4764 6220
E-mail: lining.info@lining.fi

ITÄMEREN TUNTEMATON YMPÄRISTÖHISTORIA

Ympäristöhistoria selvittää yhteiskuntien ja ympäristön pitkän aikavälin vuorovaikutusta. The Sea and the Cities -projektissa tutkittiin Itämeren alueen ympäristöhistoriaa paikalliselta tasolta selvittämällä kaupunkien vesien pilaantumisen ja suojelun historiaa 1800- ja 1900-luvulla. Tutkimukseen otti osaa kymmenen kaupunkia Itämeren alueella: Pietari, Tallinna, Riika, Vilna, Gdansk, Kiel, Kööpenhamina, Oslo, Tukholma ja Helsinki. Vesihistoriaprojektissa oli kolme pääteemaa: kaupunkien vesihuoltotekniikan historia, vesien rehevöitymishistorian rekonstruktio ja kaupunkien ympäristöpolitiikan vaihtoehdot. Tutkimukseen osallistui yhteiskuntatieteiden, ympäristötieteiden ja ympäristötekniikan opiskelijoita sekä varttuneempia tutkijoita. Itämeren alueellinen, kansallinen ja kansainvälinen ympäristöhistoria odottaa vielä tutkijaansa.

Simo Laakkonen

valt.maist. (väitellyt)
Helsingin yliopisto,
yhteiskuntahistorian laitos
E-mail: simo.laakkonen@helsinki.fi

Kirjoittaja on ympäristöhistorian tutkija, jonka pääteemoja ovat ympäristöpolitiikan, -tutkimuksen ja -tekniikan historia 1800- ja 1900-luvuilla. Hän on Itämeren pilaantumisen ja suojelun historiaa tutkivan kansainvälisen verkoston vastuullinen johtaja.

Ympäristöhistoria tarkastelee sitä, miten ihmisen ja ympäristön vuorovaikutus muuttuu ajan kuluessa. Se pyrkii selvittämään, kuinka luonnon muutokset ovat vaikuttaneet ihmiseen ja kuinka ihminen on vaikuttanut ympäristöönsä. Ympäristöhistoria alkoi omana tieteenalaan kehittyä Yhdysvalloissa 1970-luvulla. Sittemmin ympäristöhistorian tutkimus on levinnyt Eurooppaan. Suurin osa ympäristöhistorian tutkimuksesta on keskittynyt luonnon ja luonnonsuojeluliikkeiden historian tutkimukseen. Teollis-urbaanien ympäristöongelmien syntyhistoriaa ja ympäristönsuojelun kehitystä on tutkittu vähän.

Suomen kaupunkien vesiensuojelun historia

Yleisesti esitetyn näkemyksen mukaan ympäristönsuojelu alkoi länsimaissa 1970-luvulla. Tämä näkemys perustuu lähinnä siihen, että ruohonjuuritason liikkeet ja valtiovalta ryhtyivät suojelemaan ympäristöä 1970-luvulla. Toisaalta teollistuminen ja kaupungistuminen alkoivat Suomessakin jo 1870-luvulla. Havahduttiinko ympäristön pilaantumiseen ja suojeluun vasta sata vuotta myöhemmin? Milloin ympäristönsuojelu alkoi Suomessa?

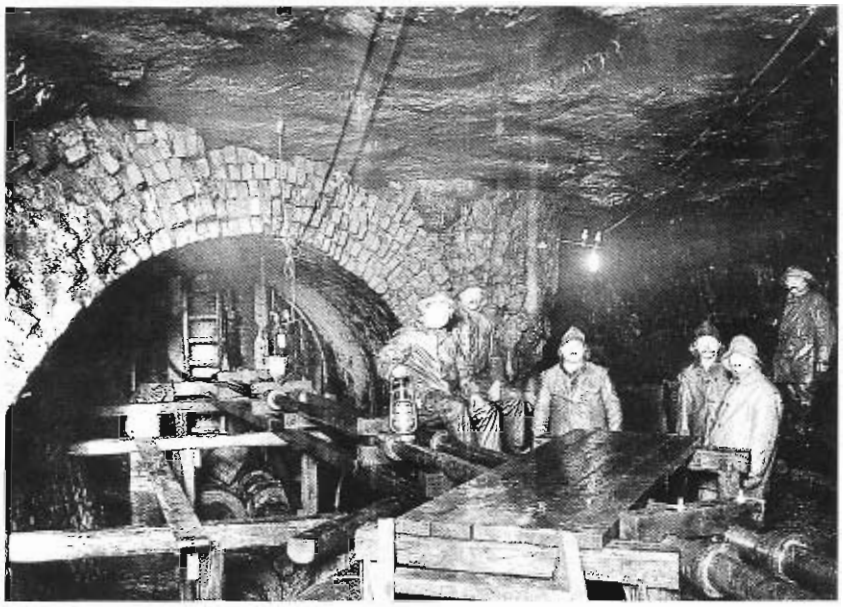
Suomi on tuhansien järvien maa, joten tuntui luonnolliselta aloittaa ympäristöhistorian tutkimus vesistöjen pilaantumisesta ja suojelusta. Tutkimushypoteesina oli, että ruohonjuuritason liikkeiden ja valtion ympäristönsuojelun myöhäissyntyisyyttä painottanut tutkimusnäkemys oli sivuuttanut teknis-tieteellisen ympäristönsuojelun historiallisen valtavirran: kaupungit.

Suomen Akatemian 1990-luvun alussa tukemassa tutkimushankkeessa pyrittiin selvittämään Suomen kaupunkien vesiensuojelupolitiikkaa erityisesti vuoden 1962 vesilakia edeltäneeltä aikakaudelta. Tutkimus alkoi Helsingistä ja Lahdesta, joihin rakennettiin maamme ensimmäiset kunnalliset jätevedenpuhdistamot vuonna 1910. Tutkimusta laajennettiin yhteistyössä eri yliopistojen ja kunnallisten vesilaitosten kanssa koskemaan myös muita suomalaisia kaupunkeja: Vaasaa, Pietarsaarta, Raumaa, Turkua, Tamperetta ja Jyväskylää.

Tutkimusverkoston kaupungit eivät olleet veljiä keskenään. Eräissä kaupungeissa päätettiin tehdä kalliita vesiensuojeluinvestointeja jo 1900-luvun alussa, mutta toiset kaupungit ryhtyivät suojelutoimiin myöhään ja usein vasta pakon edessä. Vesiensuojelun edelläkävijöiden ohella suomalaisten kaupunkien joukosta löytyi todellisia vastaanharaajia, kuten esimerkiksi Jyväskylä.

Monitieteisyys: tekniikka, luonnontieteet ja yhteiskuntatieteet

Kaupungit ovat klassisen määritelmän mukaan verkostoja kaupunkien verkostossa. Suomalaiset kaupungit ovat etsineetkin ratkaisumalleja ulkomaisista kaupungeista, usein Itämeren alueelta. Minkälaisessa kontekstissa suomalaiset kaupungit toimivat Itämeren piirissä: Milloin jätevesien puhdistus alkoi Itämeren alueella? Koska ryhdyttiin saastumis- ja rehevöitymistutkimuksiin? Minkälaisia vaihtoehtoja kaupunkien vesiensuojelupolitiikassa esitettiin?



Viemärityöläisiä Kööpenhaminasta. Itämeren kaupunkien aiheuttama vesistöihin kohdistuva kuormitus moninkertaistui, kun niihin rakennettiin kunnalliset vesi- ja viemäriverkostot 1800-luvun lopulla. Kuva: Kööpenhaminan kaupunginmuseo.

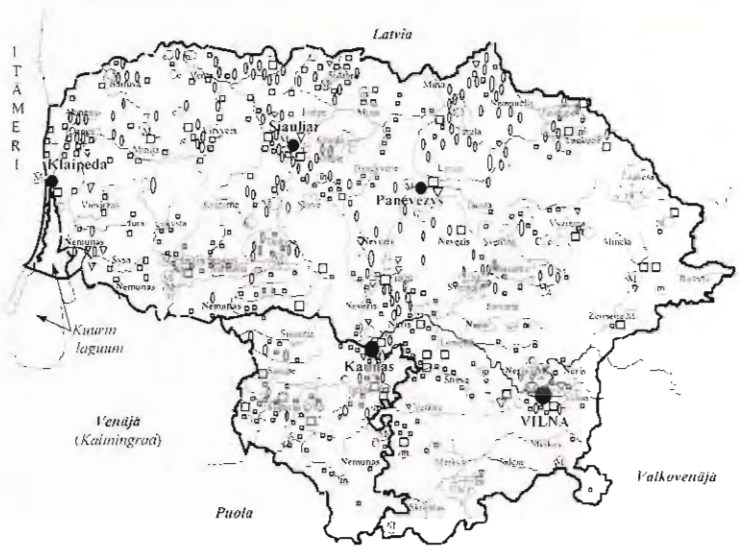
Itämeren alueen kaupunkien ympäristöhistorian tutkimiseksi käynnistettiin vuonna 1995 kansainvälinen The Sea and the Cities -projekti. Tutkimuskohteina oli kymmenen Itämeren kaupunkia: Pietari, Tallinna, Riika, Vilna, Gdansk, Kiel, Kööpenhamina, Oslo, Tukholma ja Helsinki. Tutkimuksella oli kolme pääteemaa: 1) kaupunkien vesihuoltotekniikan historia, 2) vesien pilaantumisen tieteellisen tutkimuksen historia ja rehevöitymishistorian rekonstruktio sekä 3) kaupunkien vesiensuojelupolitiikan historia.

Kaupunkien ympäristöhistoriaa ei ollut tutkittu aiemmin monitieteisestä näkökulmasta, joten projektin toteuttamiseksi piti luoda kansainvälinen tutkimusverkosto kaupunki kaupungilta. Yhteistyötä koordinoi Helsingin yliopiston yhteiskuntahistorian laitos Pohjoismaiden ministerineuvoston ympäristötutkimusohjelman (NERP) sekä Oslon vesilaitoksen ja Helsingin Veden tuella. Tutkimukseen osallistui yhteensä noin 40 opiskelijaa ja varttuneempaa tutkijaa eri kaupungeista. Ympäristöhistoria yhdisti tieteitä: osanottajat edustivat humanistisia tieteitä, yhteiskuntatieteitä, ympäristötieteitä ja ympäristötekniikkaa.

Itämeren kaupunkien ympäristöhistoriasta

Tutkimustulokset osoittivat, että Suomen lisäksi Itämeren muissakin maissa kaupungit vastasivat vesiensuojelun kehittämisestä 1800-luvun lopulta 1970-luvulle asti omaehtoisesti.

Vesihuoltotekniikan historia -teemassa tutkimus painottui jätevesi- ja jätehuollon historiaan. Tutkimustulosten perusteella Itämeren alueen vanhin puhdistamo valmistui Gdanskiin (Danzigiin) vuonna 1872. Kastelupeltomenetelmään perustunut laitos puhdisti kaupungin kaikki jätevedet. Mittausten mukaan puhdistusprosessi poisti kesäisin jäteveden sisältämästä fosforista lähes 100 % ja kokonaistypestä 85 %. Kastelupeltopuhdistamo oli yhtäjaksoisesti toiminnassa 122 vuotta, ennen kuin se purettiin asutuksen tieltä vuon-



Liettuaan vuoteen 1990 mennessä rakennetut jätevedenpuhdistamot, joiden kapasiteetti on yli 100 m³ vuorokaudessa.

- □ ja ▫ - Aktiivilietelaitokset (kapasiteetti yli 1,000 ja yli 100 m³ vrk.ssa)
- ⬯ ja ⬯ - Ilmastusojat (yllämainittu kapasiteetti)
- ▽ ja ▿ - Biofiltterit (sama)
- ja - Suodatuspelto/kenttä (sama)
- ja - Biologiset lammikot (sama)
- M ja m - Mekaaninen puhdistamo (sama)
- C ja c - Mekaanis-kemiallinen puhdistus (sama)

Lähde: Cetkauskaitė, A. & Jakstaitė, A. 1999. Waste water treatment in Lithuania from 1950 to 1990. Teoksessa Laakkonen, S. & Laurila, S. (toim.), s. 41.

na 1994! Helsingin Viikinmäen puhdistamon tulisi siten toimia vuoteen 2117 asti lyödäkseen edeltäjänsä.

Gdansk oli kuitenkin poikkeus. Yleensä kaupunkien jätevesien puhdistus oli lyhytjänteisempää toimintaa. Pohjoismaiden pääkaupunkeihin rakennettiin ensimmäiset pienet puhdistamot 1910–1930-luvuilla. Baltian maiden pääkaupunkien puhdistamot rakennettiin pääasiassa vasta 1990-luvun vaihteessa.

Kuvastiko Baltian tasavaltojen pääkaupunkien vesiensuojelun hidas kehitys maiden yleistä tilannetta? Kysymyksen selvittämiseksi tutkittiin vesiensuojelun historiaa Liettuassa kansallisella tasolla. Tutkimuksen mukaan vesiensuojelu kehittyi Liettuan SNT:ssa vuosina 1950–1990 huomattavasti ja oli neuvostovallan loppuvuosina jopa lähellä Tanskan vesiensuojelun tasoa. Tätä hämmästyttävää johtopäätöstä ei pidä kuitenkaan yleistää, ennen kuin Itämeren muidenkin maiden vesiensuojelun historiasta on tehty kansallisia tutkimuksia.

Ympäristötieteiden historia -teemassa pyrittiin selvittämään, kuinka vesienpilaantumistutkimus kehittyi kaupungeissa. Ensimmäiset hygieeniset tutkimukset kaupunkien merialueiden saastumisesta tehtiin 1870-luvulla. Hydrobiologiset tutkimukset yleistyivät 1900-luvun alussa, ja sotien välisenä aikana tehtiin erittäin korkeatasoista vesienpilaantumistutkimusta esimerkiksi bioindikaattoreita käyttäen. Vesistöjen pilaantumisen tieteellinen tutkimus oli aktiivista myös entisen Neuvostoliiton alueella. Esimerkiksi Pietarissa tehtiin eläin- ja kasviplanktontutkimuksia Nevalahden pilaantumisesta lähes koko 1900-luvun ajan.

Kaupungeilla oli käytettävänään hyvin rajallinen määrä ratkaisuvaihtoehtoja vesien pilaantumisen vähentämiseksi. Käytännössä ympäristöpolitiikka oli eri kaupungeissa kuitenkin hyvinkin erilaista. Esimerkiksi Helsingissä rakennettiin puhdistamo jo Venäjän vallan aikana, mutta Tukholmassa vasta toisen maailmansodan kynnyksellä ja Kielissä vuonna 1972.

Miksi jätevedenpuhdistuksen käyttöönotto oli monimutkaista ja hidasta? Kustannukset olivat vain yksi päätöksentekoa hidastava tekijä. Pääongelmana vaikutti olevan ympäristöpolitiikan pohjimmiltaan fragmentoitunut ja konfliktinen luonne – vesiensuojelupolitiikkaan otti osaa niin hygienian, luonnontieteen, tekniikan kuin maanviljelyksen asiantuntijoita, kaupungin virkamiehiä ja poliittisia päättäjiä sekä kansalaisyhteiskunnan edustajia: lehtimiehiä, paikallisia asukasyhdistyksiä ja yksittäisiä ryhmiäkin. Eri intressiryhmien näkemykset ovat olleet ajoittain hyvinkin kaukana toisistaan. Itämeren alueella jokainen sukupolvi on joutunut käymään 1900-luvun aikana oman oppimisprosessinsa: omat keskustelunsa vesistöjen pilaantumisongelmien luonteesta ja niiden ratkaisumahdollisuuksista. Valmiita ratkaisuja ei ollut ennen eikä ole nykyäänkään. Pienenkin edistysaskeleen aikaansaaminen vaatii pitkän ja monimutkaisen yhteiskunnallisen prosessin läpikäymistä.

The Sea and the Cities -projektin tulokset ovat saatavilla myös verkkosivustona (www.valt.helsinki.fi/projects/enviro). Sivuston tavoitteena on palvella Itämeren alueen korkeakoulujen teknistä, ympäristötieteellistä ja yhteiskunnallista ympäristötutkimusta ja -opetusta.

Itämeren tutkimaton alueellinen, kansallinen ja kansainvälinen taso

Itämeri on fyysisesti yksi merialue, mutta käytännössä jokaisella valtiolla, ammattiryhmällä ja yksilöllä on oma Itämerensä, jonka kukin kokee oman toimialueensa ja kokemuspiirinsä pohjalta. Yleensä "Itämerellä" tarkoitetaan tiettyä paikallista, alueellista tai kansallista merialuetta, johon on yhdistetty kansainvälisestä keskustelusta otettuja muuttuvia käsitteitä.

The Sea and the Cities -projekti aloitti Itämeren ympäristöhistorian tutkimuksen paikalliselta tasolta, kaupungeista, joissa asuu suurin osa alueen väestöstä. Kaupunkeihin on keskittynyt huomattava osa alueen tieteellisistä, tek-

Pietarin jätevesi- ja jätehuollon historialliset ongelmat näkyvät nykyisin kaupungin rannoilla. (Kuva Sergei Chivilev)

nisistä, taloudellisista ja poliittisista voimavaroista. Siten kaupungit ovat kiistatta avaimia Itämeren alueen ympäristöhistorian ymmärtämiseen.

Kaupunkien avulla voidaan kuitenkin selittää vain osa Itämeren muutoksesta. Tarvitaan myös laajempien kysymysten tutkimista. Luonnollinen valinta on jatkaa paikallistason perustutkimuksen jälkeen Itämeren ympäristöhistorian tutkimista alueellisella, kansallisella ja lopuksi kansainvälisellä tasolla.

Teollis-urbaanit yhteiskunnat ovat muokanneet Itämerta jo toistasataa vuotta. Itämerta on sanottu maailman saastuneimmaksi, suojelluimmaksi ja tutkituimmaksi mereksi. Silti sen ympäristöhistoria on edelleen käytännössä tuntematon. Suomalaisella tieteellä on mahdollisuus tehdä Itämerestä maailman ensimmäinen meri, jonka ympäristöhistoria on tutkittu.

Kirjallisuus

Cetkauskaite, A. & Zarkov, D. & Stoskus, L. 2001. Water quality control, monitoring and wastewater treatment in Lithuania 1950 to 2000. Teoksessa Laakkonen, S. & Laurila, S. (toim.), s. 297–305.

Cronström, A. 1986. Vattenförsörjning och avlopp. Stockholmsmonografier. Stockholms stad, Uppsala.

Engberg, J. 1999. Det heles vel. Forureningsbekæmpelsen i Danmark fra loven om sundhedsvedtægter i 1850'erne til miljøloven 1974. Miljøkontrollen, Københavns Kommune.

Finni, T. & Laurila, S. & Laakkonen, S. 2001. The History of Eutrophication in the Sea Area of Helsinki in the 20th Century: Long-term Analysis of Plankton Assemblages. Teoksessa Laakkonen, S. & Laurila, S. (toim.), s. 264–271.

Finni, T. & Kononen, K. & Olsonen, R. & Wallström, K. 2001. The History of Cyanobacterial Blooms in the Baltic Sea. Teoksessa Kononen, K. & Bonsdorff, E. & Kessler, E. (toim.), Man and the Baltic Sea. AMBIO – A Journal on the Human Environment, #4–5/2001, Part I, s. 172–178.

Juhna, T. & Klavins, M. 2001. Water quality changes in Latvia and Riga 1980-2000. Possibilities and problems. Teoksessa Laakkonen, S. & Laurila, S. (toim.), s. 306–314.

Katajamäki, H. & R. Suomalainen, R. 2001. Stages of municipal water protection in Vaasa during the 20th century. Teoksessa Laakkonen, S. & Laurila, S. (toim.), s. 272–276.

Katko, T. 1996. Vettä! Suomen vesihuollon kehitys kaupungissa ja maaseudulla. Vesi- ja viemärilaitosyhdistys, Tampere.

Kowalik, P. & Suligowski, Z. 2001. Comparison of water supply and sewerage in Gdansk (Poland) in three different stages. Teoksessa Laakkonen, S. & Laurila, S. (toim.), s. 320–322.

Laakkonen, S. 2001. Vesiensuojelun synty. Helsingin ja sen merialueen ympäristöhistoriaa 1878–1928. Gaudeamus/Hanki ja Jää, 309 s.

Laakkonen, S. & Laurila, S. (toim.) 1999. The history of urban water management in the Baltic Sea Region. European Water Management –teemanumero. August 1999, s. 29-76. (Teemanumeron lisäksi kaksi artikkelia julkaistiin EWM-lehden numeroissa 5/1999, s. 51–56 ja 1/2000, s. 41–50.)

Laakkonen, S. & Laurila, S. (toim.) 2001. Man and the Baltic Sea. AMBIO – A Journal on the Human Environment, #4–5/2001, Part II, s. 263–326.

Laakkonen, S. & Laurila, S. & Kansanen, P. & Schulman, H. (toim.) 2001. Näkökulmia Helsingin ympäristöhistoriaan. Kaupunki ja sen ympäristö 1800- ja 1900-luvulla. Edita/Helsingin kaupungin tietokeskus 2001, 274 s.

Laakkonen, S. & Laurila, S. & Rahikainen, M. (toim.) 1999. Harmaat aallot -ympäristönsuojelun tulo Suomeen. Suomen Historiallinen Seura, Vammala 1999, 236 s.

Laakkonen, S. & Lehtonen, P. 1999. A quantitative analysis of discharges into the Helsinki urban sea area in 1850-1995. Teoksessa Laakkonen, S. & Laurila, S. (toim.), s. 30–39.

Louekari, S. 1999. "Meidän saamaton Ateenamme. Ympäristöasenteet Jyväskylässä. Teoksessa **Laakkonen, Laurila, Rahikainen** (toim.), s. 189–208.

Lundgren, L. 1974. Vattenförorening. Debatten i Sverige 1890–1921. Gleerup, Lund.

Melosi, M. 2000. The Sanitary City. Urban Infrastructures in America from Colonial Times to the Present. John Hopkins University Press, Baltimore.

Primakov, I. M. & Nikolaenko, P. 2001. Plankton communities in the Neva Bay during the 20th century. Teoksessa Laakkonen, S. & Laurila, S. (toim.), s. 292–296.

Swinarski, M. 1999. The development of wastewater treatment systems in Gdansk in 1871–1998. Teoksessa Laakkonen, S. & Laurila, S. (toim.), s. 69–76.

Turpeinen, O. 1995. Kunnallistekniikkaa Suomessa keskiajalta 1990-luvulle. Suomen kuntatekniikan yhdistys, Jyväskylä.

Vallin, J. 1999. Aurajoki avoviemärinä. Ketjuuntuminen ja jätevesiongelman ratkaisut. Teoksessa **Laakkonen, S. & Laurila, S. & Rahikainen, M.** (toim.), s. 159–176.

SUOMEN ITÄMEREN-SUOJELUOHJELMA

Yhdyskunnat ja haja-asutus

Vesitalous-lehden numerossa 4/01 selostettiin Suomen oman kansallisen Itämeren-suojeluohjelman sisältöä, kohdentamista ja pääehdotuksia. Ohjelmaehdotuksen tehnyt työryhmä pitää eräänä Itämeren merkittävimpänä ongelmana ravinnekuormituksesta aiheutuvaa rehevöitymistä. Seuraavien 10–15 vuoden aikana toteutettavien kotimaisten investointien kustannukset olisivat kaikkiaan noin 1,7–1,9 miljardia markkaa. Valtaosa käytettäisiin mm. yhdyskuntien typenpoiston ja haja-asutuksen vesiensuojelun parantamiseen.

Tapani Kohonen

maat.metsät.tri
kansainvälisten asiain neuvos
Ympäristöministeriö
E-mail: tapani.kohonen@vyh.fi
mailto: tapani.kohonen@vyh.fi

Kirjoittaja on ympäristöhistorian tutkija, jonka pääteemoja ovat ympäristöpolitiikan, -tutkimuksen ja -tekniikan historia 1800- ja 1900-luvuilla. Hän on Itämeren pilaantumisen ja suojelun historiaa tutkivan kansainvälisen verkoston vastuullinen johtaja.

Itämeren ravinnekuormituksen vähentämisen merkittävimpiin toimenpide-ehdotuksiin kuuluu Pietarin kaupungin jätevesiongelmien lisäksi eräänä kansallisena toimenpiteenä yhdyskuntien ja haja-asutusalueiden ravinnekuormituksen, erityisesti typpikuormituksen, vähentäminen

Yhdyskuntien ravinnekuormituksen vähentäminen

Yhdyskunnista Itämereen tuleva vuotuinen ravinnekuormitus vuosina 1991–1996 oli työryhmän selvityksen mukaan keskimäärin 190 tonnia fosforia ja 11 000 tonnia typpeä eli fosforin osalta 6 % ja typen osalta 24 % Suomesta Itämereen tulevasta ihmisen toiminnan aiheuttamasta kokonaiskuormituksesta. Yhdyskunnista peräisin oleva fosforikuormitus on Suomessa puolittunut vuosina 1985–1998.

Vesihuoltolaitosten viemäriverkostoihin liittyneiden asukkaiden määrä on jatkuvasti kasvanut muuttoliikkeen ja viemäriverkon laajentumisen vaikutuksesta. Vuonna 1995 liittyjiä oli noin

3,9 miljoonaa asukasta, ja määrän on arvioitu kasvavan vuoteen 2005 mennessä 4,25 miljoonaan.

Vesiensuojelun tavoiteohjelman mukainen tavoite edellyttää korkeatasoista fosforin poistoa kaikilla puhdistamoilla. Fosforinpoiston on oltava erityisen tehokasta silloin, kun fosfori on purkuvesistön ainoa minimitekijä, kuormitus on suuri ja päästöt selvästi heikentävät veden laatua. Tavoitteet saavutetaan, kun yli 10 000 asukkaan laitoksilla fosforinpoistoteho on keskimääräisesti yli 96 % ja puhdistetun jäteveden fosforipitoisuus on keskimäärin alle 0,3 mg/l. Alle 10 000 asukkaan puhdistamoissa keskimääräisen fosforinpoistotehon tulee olla yli 92 % ja käsitellyn jäteveden keskimääräisen fosforipitoisuuden alle 0,5 mg/l. Vesiensuojelun tavoiteohjelman toteuttaminen vähentää fosforikuormitusta kaikilla Suomen merialueilla. Fosforinpoisto tehostuu myös tehostettaessa typenpoistoa parhaalla käyttökelpoisella tekniikalla.

Vesiensuojelun tavoiteohjelma edellyttää typpeä poistettavaksi taajamien jätevesistä yhdyskuntajätevesiä koskevan valtioneuvoston päätöksen (365/1994) ja sen muutoksen (757/1998) edellyttämällä tavalla, silloin kun typpi on purkuvesistön rehevöitymistä säätelevä ravinne. Typpikuormitusta on tarpeen vähentää tehostetusti niillä puhdistamoilla, joiden purkupaikalla tai jätevesien vaikutusalueella typen on todettu minimiravinteena aiheuttavan rehevöitymistä. Tarve ratkaistaan tapauskohtaisesti johtamislupapäätöksessä kuormituksen ja purkuvesistön ominaisuuksien perusteella. Tutkimusten mukaan rannikkoalueet Merenkurkusta etelään ja itään Suomenlahden pohjukkaan ovat kokonaan tai ajoittain typpirajoitteisia, ja rehevöitymisen vähentäminen edellyttää niille tulevan typen kuormituksen vähentämistä.

Typenpoiston tehostamisen tavoitteena yli 10 000 asukkaan laitoksilla on saavuttaa typpiherkille merialueille tulevan typen vähennykseksi noin 70 % niille tulevasta typpikuormasta. Vesiensuojelun toimenpideohjelmassa todetaan, että tapauskohtaisesti harkinnan mukaan typpiherkillä alueilla alle 10 000 asukkaan puhdistamoilla tulee saavuttaa vähintään 50 %:n keskimääräinen typenpoisto sinä aikana vuodesta, jolloin jäteveden käsittelylämpötila on yli 12 oC. Alle 10 000 asukkaan puhdistamoilla tulee saavuttaa vähintään 50 %:n keskimääräinen poistoteho sinä aikana vuodesta, jolloin jäteveden käsittelylämpötila on yli 12 °C.

Merialueiden valuma-alueilla alueelliset ympäristökeskukset esittävät johtamislupalausunnoissaan typenpoiston tehostamista koskevia tavoitearvoja. Näiden arvojen määrittelyssä voidaan ottaa huomioon typen pidättyminen fosforirajoitteisissa vesistöissä ja merialueella. Tämä tulkinta on yhdyskuntien jätevesidirektiivin (91/271/EY) soveltamisen kansallista tulkintaa. Direktiivistä ei ole vielä EU:n oikeuskäytäntöä, josta saattaa tulla tätä tulkintaa tiukempikin. Tavoitearvon tulee olla valtioneuvoston päätösten (365/1994 ja 757/1998) vaatimusten mukainen, kun fosforirajoitteiseen purkuvesistöön joutuva typpi kulkeutuu lähes vähentymättömänä typelle herkille merialueille. Jos pääosa typestä poistuu sisävesissä eikä ajaudu typelle herkille merialueille, tavoitearvo voi lähestyä normaalisti toimivan biologisen puhdistamon noin 30 %:n typenpoiston tasoa. Tässä Itämeri-ohjelmassa asetetaan typenpoiston osalta vesiensuojelun tavoiteohjelmakautta pidemmän aikavälin tavoitteita, jotka ulottuvat vuoteen 2015–2020.

Tämänhetkisistä 560 puhdistamosta 400 suurimmalla on merkittävä vaikutus vastaanottavan vesistön tilaan. Ympäristöviranomainen ja laitokset yhdessä selvittävät laitoskohtaisia vähentämistavoitteita vesiensuojelun tavoiteohjelman ja tämän kansallisen Itämeri-ohjelman tavoitteiden toteuttamiseksi. Kun vesiensuojelun toimenpideohjelmaa tarkistetaan vuonna 2001, otetaan huomioon laitosten kehittämistavoitteet, tuetaan vesihuoltolaitosten sellaista omaehtoista ja pitkäjänteistä toimintaa, joka vähentää kuormitusta, ja myös motivoidaan sellaiseen toimintaan.

Viemäriverkostoihin joutuvien vuotovesien aiheuttamat voimakkaat määrän ja laadun vaihtelut sekä etenkin jäteveden lämpötilan aleneminen haittaavat puhdistamoiden toimintaa. Verkostoja ja puhdistamoita on jätevesien puhdistuksen tehon ylläpitämiseksi jatkuvasti saneerattava ja pidettävä kunnossa.

Myös sisävesiin kohdistuvaa typpikuormitusta edellytetään vähennettäväksi silloin, kun typpi on vesistössä minimiravinne. Itämeri-ohjelmassa ei kuitenkaan esitetä sellaisia typpikuormituksen vähentämistoimia, jotka ovat tarpeen yksinomaan sisävesien rehevöitymisen ehkäisemiseksi.

Kustannukset

Suomen yli 10 000 asukkaan puhdistamoiden typenpoiston tehostamisen kustannukset ovat yhteensä noin 800 miljoonaa markkaa (135 miljoonaa euroa). Jo nyt on käynnissä tai suunnitteilla puhdistuksen tehostamiseen tähtääviä rakennus- ja perusparannushankkeita, joiden kustannukset ovat yhteensä noin 350 miljoonaa mk (59 miljoonaa euroa). Näin ollen vielä aloittamattomien hankkeiden, joiden toteuttamiseen toimenpiteet erityisesti tähtäävät, kustannukset tulisivat olemaan 450 miljoonaa markkaa (76 miljoonaa euroa). Nämä jakaantuvat pääasiassa Suomenlahden, Selkämeren ja Perämeren valuma-alueille kohdistuvien hankkeiden kesken: kunkin alueen osuus on noin 150 miljoonaa markkaa (25 miljoonaa euroa).

Ehdotuksen mukaisen typenpoiston tehostamisen vuotuisten käyttö- ja pääomakustannusten on arvioitu uudistusten osalta olevan 90 miljoonaa markkaa (15 miljoonaa euroa). Vuotuiset kustannukset ovat noin 30 000 markkaa typpitonnia kohden. Tämä on noin 30–50 penniä kuutiolta jätevettä eli noin 5 % keskimääräisestä jätevesimaksusta.

Fosforinpoiston viemärilaitokselle aiheuttamat kustannukset ovat nykyisellä keskimääräisellä suoritustasolla (keskimäärin 93 %:n poistoteho, jäännöspitoisuus 0,54 mg/l) noin 60 000–70 000 markkaa poistettua fosforitonnia kohden. Yli 95 %:n fosforinpoistotehon saavuttaminen ja jäännöspitoisuuden pienentäminen alle arvon 0,3 mg/l edellyttävät useilla laitoksilla tehostettuja teknisiä ratkaisuja. Fosforinpoiston tehostamisen marginaalikustannukset voivat puhdistamon koon mukaan nousta 410 000–800 000 markkaan pois-

tettua fosforitonnia kohden.

Tällä hetkellä tiedetään seitsemän yli 10 000 asukkaan laitosta, jotka varmasti tai todennäköisesti tulevat siirtämään niille aiemmin johdetut jätevedet muualle käsiteltäviksi. Näiden seitsemän laitoksen lisäkapasiteetin tarpeesta ja jätevesien siirtoviemäreistä aiheutuvat kustannukset ovat 20 miljoonaa markkaa (3,4 miljoonaa euroa).

Viemärilaitokset saneeraavat verkostojaan koko ajan, joten tämän ohjelman toimeenpano ei varsinaisesti aiheuta laitoksille uusia kustannuksia. Saneerauskustannukset vuonna 1999 olivat koko maassa 184 miljoonaa markkaa (31 miljoonaa euroa) eli noin puolet kaikista viemäreiden rakentamiskustannuksista.

Viemäriverkoston korjaus- ja kunnossapitotoiminta lisääntyy viemäriverkostojen ikääntyessä. Tulevaisuudessa vuotuiset ylläpitoinvestointien kustannukset ovat vähintään 300–400 miljoonaa markkaa vuodessa viemäriverkkojen laajennusinvestointien aiheuttamien kustannusten lisäksi.

Ravinnekuormituksen vähentäminen haja-asutusalueella

Haja-asutusalueilla viemäröinnin ulkopuolella oli vuonna 1995 noin miljoona asukasta. Määrän on arvioitu vuoteen 2005 pienenevän noin 100 000 asukkaalla. Hajakuormituksen osuus Itämereen Suomesta tulevasta ihmistoiminnan aiheuttamasta ravinnekuormituksesta vuosina 1991–1996 oli keskimäärin 370 tonnia fosforia ja 3 000 tonnia typpeä eli 13 % fosforin ja 6,5 % typen kokonaiskuormituksesta.

Haja-asutusalueiden asuin- ja vapaa-ajankiinteistöjen kiinteistökohtaisen jäteveden- ja jätteenkäsittelyn taso vaihtelee huomattavasti kiinteistöjen käyttöönottoajan ja siten niiltä edellytettyjen käsittely- ja puhdistusmenetelmien taso mukaan.

Vesiensuojelun toimenpideohjelmassa on esitetty vesiensuojelun tavoitteet vuodelle 2005 saavutettavaksi siten, että laajennetaan yleistä viemäriverkkoa, rakennetaan kiinteistöjen yhteisiä viemäreitä haja-asutusalueilla, rakennetaan uusia tehokkaita kiinteistökohtaisia tai kiinteistöjen yhteisiä puhdistuslaitteita ja uudenaikaistetaan vanhoja, huonokuntoisia puhdistuslaitteita.

Uusia tavoitteita on tarkoituksenmukaista asettaa seurantatiedon ja tekniikan kehityksen mukaan vesiensuojelun tavoiteohjelmakauden loputtua vuonna 2005.

Haja-asutuksen vesiensuojelun tavoitteita tukee valtioneuvoston päätös alueiden käytön yleistavoitteiksi, jonka mukaan mm. "elinympäristön toimivuutta ja taloudellisuutta edistetään hyödyntämällä olemassa olevaa yhdyskuntarakennetta ja eheyttämällä taajamia". Tavoitteissa todetaan myös, että "maakuntakaavoituksessa on otettava huomioon vesi- ja rantaluonnonsuojelun tai virkistyskäytön kannalta erityistä suojelua vaativat vesistöt". Tavoitetta sovelletaan myös Itämeren rannikon luontoon ja vesiin.

Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999) ja -asetus (895/1999), ympäristönsuojelulaki (86/2000) ja -asetus (169/2000), ympäristönsuojelulain 18. §:n tarkoittama valmisteilla oleva asetus haja-asutuksen jätevesihuollon järjestämisestä sekä vesihuoltolaki (119/2001) luovat tehokkaan lainsäädännöllisen perustan haja-asutuksen vesiensuojelun tehokkaalle ohjaukselle ja taaja-asutuksen muodostumiselle.

Kustannukset

Tavoitteena on parantaa yhteensä 225 000–325 000 haja-asutusalueella sijaitsevan kiinteistön ja vapaa-ajan asunnon jätevesien puhdistusta seuraavien kymmenen vuoden aikana. Valtaosassa näistä kiinteistöstä tarkoituksenmukainen ratkaisu on kiinteistökohtainen jätevesienpuhdistusjärjestelmä. Osa kiinteistöistä liitetään viemäriverkostoon siellä, missä se on kustannustehokasta tai muista syistä perusteltua.

Vakinaisen asunnon tai korkeatasoisesti varustetun vapaa-ajan asunnon kiinteistökohtaisen jätevesijärjestelmän uudisrakentamisen tai täydellisen perusparantamisen rakentamiskustannukset ovat keskimäärin noin 18 000 mk ja vuosittaiset käyttökustannukset noin 1 500 mk.

Viemärin rakentamisen kustannukset haja-asutusalueella vaihtelevat olosuhteiden mukaan, mutta ovat tyypillisesti 30 000–80 000 mk kiinteistöä kohti, vaikeissa olosuhteissa jopa enemmän.

On vaikea arvioida, mikä osa vakinaisista asunnoista ja vapaa-ajan asunnoista tulee liitettäväksi viemäriverkostoon ja mihin on tarkoituksenmukaista rakentaa kiinteistökohtainen jätevedenpuhdistusjärjestelmä, koska päätökset tehdään paikallisesti hankkeen kustannusten ja muidenkin kuin vesiensuojelun tavoitteiden perusteella. Alarajana kustannusarviolle voidaan pitää tilannetta, jossa kaikkiin 225 000–325 000 kiinteistöön voidaan rakentaa kiinteistökohtainen järjestelmä keskimääräiseen 18 000 markan hintaan. Vuotuiset investointikustannukset olisivat tällöin 400–580 miljoonaa markkaa. Mikäli kuitenkin viemäriverkostoon liittyisi vuosittain 1 500 kiinteistöä hintaan 30 000–80 000 markkaa, olisivat vuotuiset investointikustannukset 18–93 miljoonaa markkaa esitettyä suuremmat. Näin laskien saadaan karkeaksi vuotuiseksi investointien kokonaiskustannusarvioksi kymmenen vuoden ajalle 418–673 miljoonaa markkaa.

Haja-asutuksen ja vapaa-ajan asutuksen kiinteistöistä karkeasti arvioiden puolet sijaitsee alueilla, joilla on välitöntä vaikutusta Itämereen. Näillä alueilla vuotuiset investointikustannukset haja-asutuksen ja vapaa-ajan asuntojen jätevesihuollolle olisivat 210–335 miljoonaa markkaa seuraavien kymmenen vuoden aikana. Jos arvioidaan noin 30 prosenttia aiheutuvista kustannuksista nimenomaan Itämeren suojelun kustannuksiksi, saadaan haja-asutuksen ja vapaa-ajan asunnoille aiheutuviksi vuotuisiksi investointikustannuksiksi 70–100 miljoonaa markkaa.

EKOTEHOKKUUS-ANALYYSI –

menetelmä vesi- ja viemärilaitosten toiminnan kokonaisarviointiin

Milloin ympäristökuormituksen vähentämiseksi tehtyä investointia voidaan pitää kannattavana? Riittääkö, että päästöt saadaan pienenemään edes jossain määrin? Maksoi mitä maksoi. Entä jos tuotteen laatu samalla muuttuu ja luonnonvaroja kuluu aikaisempaa enemmän? Tässä artikkelissa esitellään menetelmä, jolla voidaan tehdä kokonaisarvio investoinnin vaikutuksista ja saada selville, ovatko investoinnista saatavat kokonaishyödyt suuremmat kuin investoinnin vaatimat panokset.

Jyrki Tenhunen

tutkimusinsinööri, tekn.lis.
Suomen ympäristökeskus
E-mail: jyrki.tenhunen@vyh.fi

Kirjoittaja on toiminut Suomen ympäristökeskuksessa toteutetun vesi- ja viemärilaitosten ympäristövaikutuksia ja ekotehokkuutta käsittelevän tutkimushankkeen vastuullisena johtajana ja päätutkijana.

Ekotehokkuuden ydinajatus voidaan kiteyttää sanoihin "vähemmästä enemmän". Kustannusten alentaminen raaka-aineiden kulutusta vähentämällä ei ole uusi ajatus yrityksille. Ekotehokkuudessa otetaan kuitenkin huomioon lisäksi tuotannon kokonaisvaikutukset ympäristöön sekä myös tuotteiden ja palvelujen laatu. Ekotehokkuus yhdistää kestävän kehityksen ympäristö- ja talousulottuvuudet toisiinsa (Lehni 1998). Tässä esitetty ekotehokkuusanalyysi on systemaattinen tapa arvioida ekotehokkuudelle asetettujen tavoitteiden toteutumista. Ekotehokkuusanalyysin idea on kokonaisuuden hallinnassa: kaikki yrityksen tavoitteiden kannalta tärkeät tekijät otetaan mukaan. Keskeinen käyttökohde ekotehokkuusanalyysille on toiminnan kehittämiseksi tehtyjen investointien kokonaiskannattavuuden arviointi. Ekotehokkuusanalyysi tukee myös yrityksen toimenpiteitä soveltaa standardisoituja ympäristö- ja laatujärjestelmiä. Lisäksi ekotehokkuusanalyysiä voidaan hyödyntää esimerkiksi tiedotettaessa toiminnan tuloksista sidosryhmille.

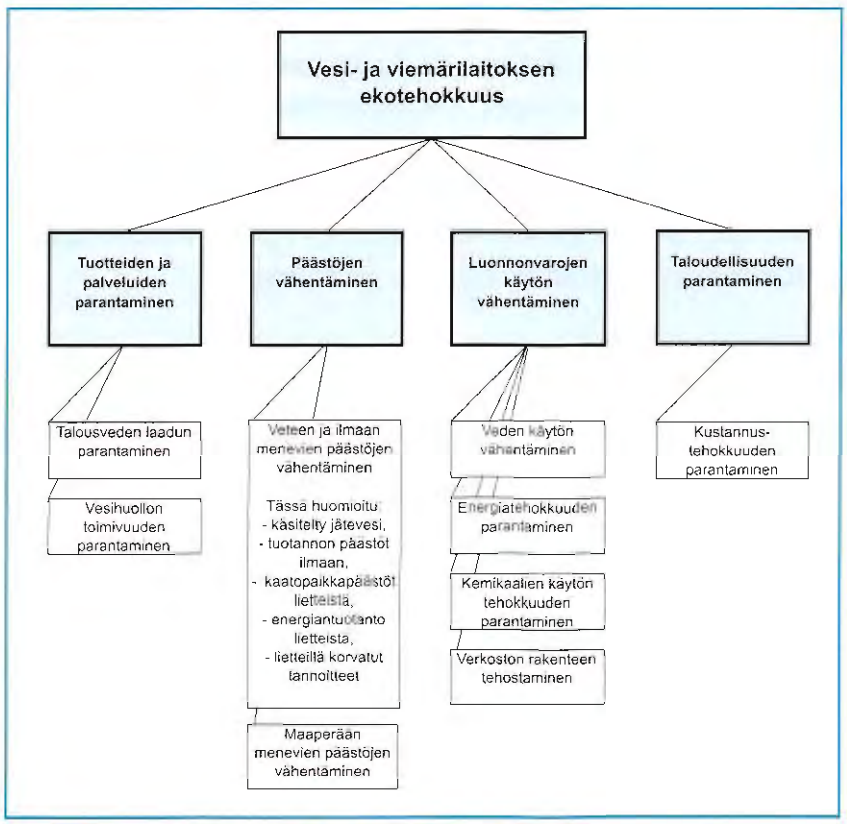
Taulukko 1. Ekotehokkuusmallissa käytetyt alakriteerit ja niiden toteutumista kuvaavat indikaattorit.

Alakriteeri	Indikaattori	Yksikkö
Talousveden laadun parantaminen	$KMnO_4$-luku	$KMnO^4$ mg/l
Vesihuollon toimivuuden parantaminen	Vesijohtovuodot	kpl/vesijohto-km
Veteen ja ilmaan menevien päästöjenvähentäminen	Vaikutukset ympäristöön	LCA-haittapiste/m^3
Maaperään menevien päästöjen vähentäminen	Haitalliset metallit lietteessä	Hg-ekv. mg/m^3
Vedenkäytön vähentäminen	Talousveden ominaiskulutus	l/asukas*vrk
Energiatehokkuuden parantaminen	Energiankulutus	kWh/m^3
Kemikaalien käytön tehokkuuden parantaminen	Kemikaalien käyttö	kg/m^3
Verkoston rakenteen tehostaminen	Vesijohtoverkoston pituus	m/asiakas
Kustannustehokkuuden parantaminen	Kustannukset	mk/m^3

Ekotehokkuusmallin rakenne

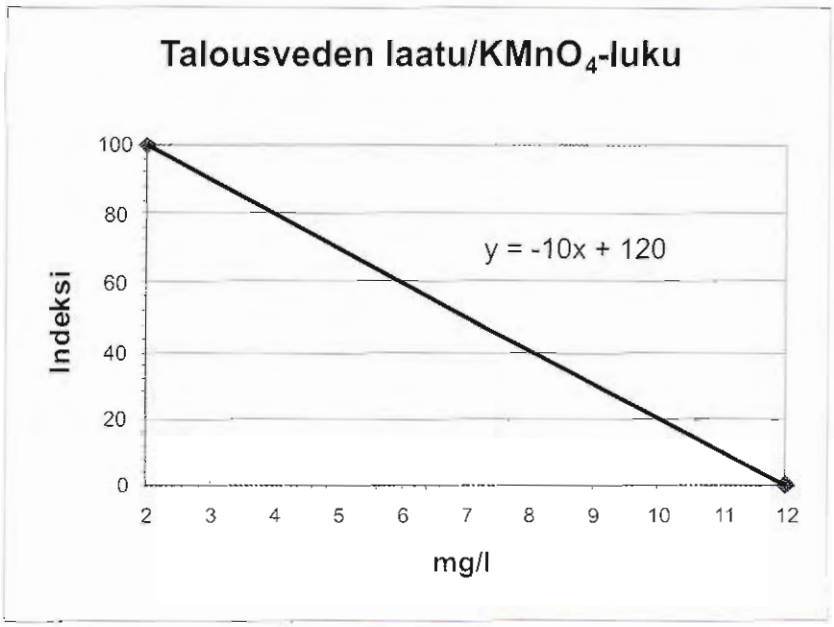
Suomen ympäristökeskuksessa tehdyssä Tekesin ja ympäristöklusterin tutkimusohjelmiin kuuluvassa tutkimushankkeessa (Tenhunen ym. 2000 ja Tenhunen & Lohi 2001) ekotehokkuuden tavoitteet analysoitiin käyttäen monitavoitteista hyötyteoriaa, joka on eräs hyvin tunnettu päätösanalyysin menetelmä (esim. Winterfelt & Edwards 1986). Tutkimuksessa vesi- ja viemärilaitosten ekotehokkuutta arvioitiin soveltamalla niin sanottua SMART-tekniikkaa (Simple Multiatribute Raiting Technique).

Vesi- ja viemärilaitoksen ekotehokkuutta kuvattiin hierarkkisella mallilla, jossa ekotehokkuudelle asetettuja tavoitteita kuvataan kriteereillä ja alakriteereillä (kuva 1). Ekotehokkuuden kriteereiksi valittiin tuotteiden ja palvelujen parantaminen, päästöjen vähentäminen, luonnonvarojen käytön vähentäminen ja taloudellisuuden parantaminen. Nämä kriteerit kuvaavat ekotehokkuutta lisäävien toimenpiteiden päätavoitteita. On hyvä huomata, että vesi- ja viemärilaitosten toiminnalleen asettamat yleiset tavoitteet ovat suurelta osin samat kuin ekotehokkuudelle tässä tutkimuksessa määritetyt kriteerit. Ekotehokkuusmallissa kriteerien eri ulottuvuuksia kuvataan alakriteereillä. Esimerkiksi "tuotteiden ja palvelujen parantaminen" -kriteeriä kuvataan kahdella alakriteerillä, jotka ovat "talousveden laadun parantaminen" ja "vesihuollon toimivuuden parantaminen" (kuva 1). Kriteerien ja alakriteerien tulisi kuvata riittävän kattavasti ekotehokkuuden kaikki ulottuvuudet. Lisäksi kriteerien tulisi olla toisiinsa nähden erillisiä ja riippumattomia. Tämä vaatimus koskee tietysti myös alakriteereitä.



Kuva 1. Vesi- ja viemärilaitoksen ekotehokkuuden hierarkkinen malli.

Ekotehokkuusmallissa tarvitaan indikaattoreita (taulukko 1), joiden avulla pystytään arvioimaan numeerisesti alakriteereitä. Indikaattoreiden tulisi kuvata oleellisilta osin alakriteerin sisältö. Indikaattorit eivät myöskään saa kuvata samoja asioita. Ekotehokkuusmallia kehitettäessä tavoitteena oli selkeys ja helppokäyttöisyys. Valituista indikaattoreista tuli olla käytössä pitkät aikasarjat kaikilta vesi- ja viemärilaitoksilta. Pääosin näistä syistä mallissa on käytetty vain yhtä indikaattoria kutakin alakriteeriä kohti.



Kuva 2. Talousveden laadun arvofunktio.

Ekotehokkuusanalyysissä veteen ja ilmaan joutuvien ympäristövaikutukset arvioitiin elinkaariarvioinnin menetelmiä hyväksi käyttäen (Tenhunen ym. 2000, Seppälä 1999). Suomen olosuhteisiin sovelletulla vaikutusarviointimallilla laskettiin päästöistä aiheutuvat haittapisteet. Maaperään menevien päästöjen indikaattoriksi valittiin jätevesilietteen sisältämien haitallisten metallien määrä. Lietteen sisältämät haitalliset metallit laskettiin yhteen painotettuna niiden haitallisuudella.(Valtioneuvoston päätös 282/1994 maanviljelyksessä käytettävän lietteen suurimmista sallituista raskasmetallipitoisuuksia).

Vesi- ja viemärilaitoksien toiminnassa tapahtuvan vuosittaisen vaihtelun vaikutuksen poistamiseksi ja laitosten välisen vertailtavuuden mahdollistamiseksi indikaattoreiden aikasarjat normalisoitiin eli jaettiin toiminnan laajuutta tai laitoksen ominaisuutta kyseisenä vuotena kuvaavalla luvulla (esimerkiksi valmistetun talousveden määrällä). Indikaattoreiden normalisoidut aikasarjat muutettiin ekotehokkuutta kuvaaviksi indeksoiduiksi aikasarjoiksi välille 0–100 arvofunktioiden avulla. Kuvassa 2 on esimerkki mallissa käytetystä arvofunktiosta. Arvofunktioiden laadinta perustui indikaattoreille asetettuihin tavoitteisiin15–20 vuoden tähtäimellä. Indeksin arvo 100 merkitsee kyseiselle indikaattorille asetetun tavoitearvon saavuttamista. Arvofunktioiden määritys perustui myös indikaattoreiden kehitykseen 1990-luvulla. Arvofunktioiden avulla skaalatut indikaattoreiden arvot ovat vertailukelpoisia keskenään, ja ne voidaan yhdistää painokertoimia käyttäen ekotehokkuutta kuvaavaksi tunnusluvuiksi.

Koko vesi- ja viemärilaitoksen ekotehokkuutta kuvaavan tunnusluvun laskeminen edellytti ekotehokkuusindeksien painottamista. Vesi- ja viemärilaitoksen toiminnan tavoitteiden priorisoimiseksi ja kriteerien keskinäisen merkityksen selville saamiseksi järjestettiin SMART-menetelmällä toteutettu arvottamistutkimus. Noin 30 Helsingin Veden sekä Tampereen ja Turun vesilaitosten asiantuntijaa ja vesihuoltoa tuntevaa ympäristöasiantuntijaa vastasi kyselyyn, jonka perusteella ekotehokkuuden eri kriteereille määritettiin painoarvot. Arvottaminen toteutettiin noin kaksi tuntia kestävissä tilaisuuksissa, joissa etukäteen lähetetty aineisto ja tutkimusmenetelmä esiteltiin. Arvottamisen tehneillä henkilöillä oli mahdollisuus tehdä tarkentavia kysymyksiä esimerkiksi kriteerien määrittelyistä ja rajauksista. Asiantuntijoiden antamat painoarvot normalisoitiin siten, että niiden summa on yksi. Taulukossa 2 on esitetty koko vesi- ja viemärilaitoksen ekotehokkuuden kriteereiden saamat painoarvot vastaajaryhmittäin.

Vesi- ja viemärilaitoksen ekotehokkuuden tunnusluku E lasketaan kaavalla

$$E = \sum_{i=1}^{n} w_i \sum_{j=1}^{m} V_{ij} x_{ij}$$

Taulukko 2. Ekotehokkuusmallissa käytetyt vesilaitosasiantuntijoiden antamat painoarvot.

Kriteeri	Alakriteeri	Keskiarvopaino
Tuotteiden ja palvelujen parantaminen		
	Talousveden laatu	0,12
	Vesihuollon toimivuus	0,16
Päästöjen vähentäminen		
	Päästöt veteen ja ilmaan	0,32
	Päästöt maaperään	0,06
Luonnonvarojen käytön vähentäminen		
	Vedenkulutus	0,02
	Energiankulutus	0,07
	Kemikaalien kulutus	0,04
	Verkoston rakenne	0,03
Taloudellisuuden parantaminen		
	Kustannukset	0,17
Yhteensä		1,00

jossa 0

w_i = ekotehokkuuskriteerin i painoarvo,

v_{ij} = ekotehokkuuskriteerin i alakriteerin j painoarvo,

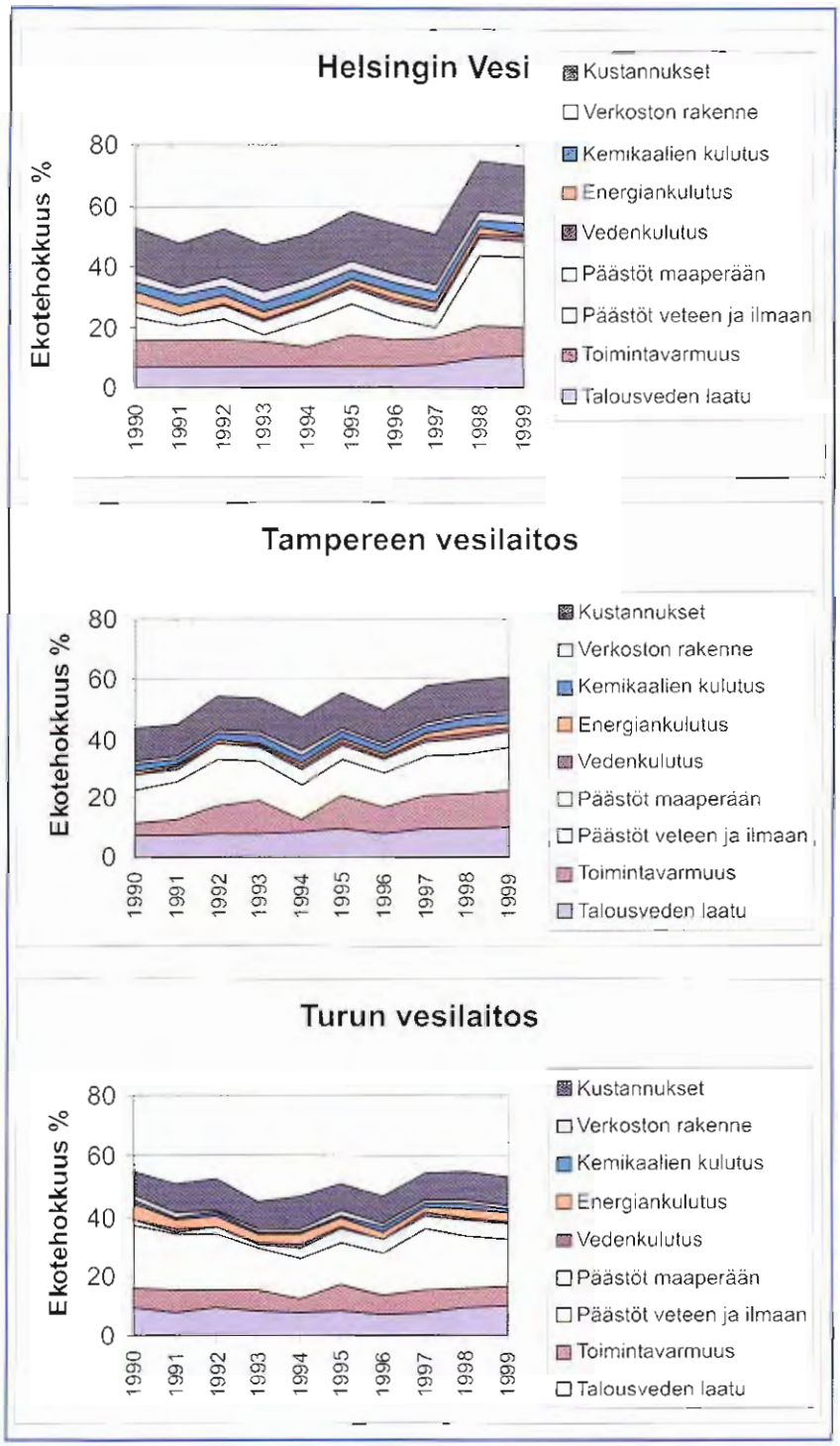
x_{ij} = ekotehokkuuskriteerin i alakriteeriä j mittaavan indikaattorin saama indeksiarvo,

n = ekotehokkuuskriteerien lukumäärä ja

m = ekotehokkuuskriteerin i alakriteerien lukumäärä.

Helsingin, Tampereen ja Turun vesi- ja viemärilaitosten ekotehokkuus

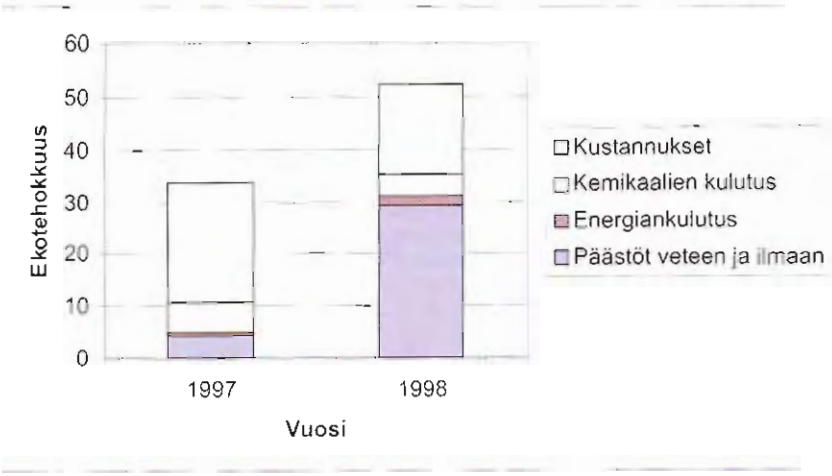
Ekotehokkuusmallia sovellettiin Helsingin Veteen sekä Tampereen ja Turun vesilaitoksiin. Mallissa käytetyt arvofunktiot ja kriteerien painoarvot (taulukko 2) olivat samat kaikille laitoksille. Indikaattoreiden aikasarjat kerättiin vuosilta 1990–1999. Ekotehokkuutta kuvaavat tunnusluvut laskettiin samalle ajanjaksolle (kuva 3). Ekotehokkuuden arviointimallilla laskien ekotehokkuudessa koko laitoksen osalta on tapahtunut selvää myönteistä kehitystä Helsingissä ja Tampereella. Hyvä kehitys Helsingissä on pääosin seurausta vuonna 1998 alkaneesta typenpoiston tehostamisesta. Toisaalta esimerkiksi energiankulutus oli Helsingissä kasvussa 1990-luvulla. Ekotehokkuusmallin indikaattoreista suurin painoarvo on päästöjen ympäristövaikutuksilla, kustannuksilla, vesihuollon toimivuudella ja talousveden laadulla. Nämä indikaattorit selittävät suurimman osan ekotehokkuuden kokonaiskehityksestä. Turussa ekotehokkuus oli mallilla tarkasteltuna suunnilleen samalla tasolla 1990-luvun alussa ja lopussa. Joidenkin indikaattoreiden osalta positiivista kehitystä tapahtui kuitenkin Turussakin. Esimerkiksi haitallisten metallien määrä lietteessä väheni merkittävästi. Myös kemikaalien käyttö vähentyi Turussa 1990-luvulla. Kuvassa 3 esitettyjä tuloksia arvioitaessa on syytä huomata, että ekotehokkuusanalyysin tuloksia ei voi suoraan käyttää laitosten keskinäiseen vertailuun, koska laitosten toimintaympäristöt poikkeavat toisistaan.



Kuva 3. Ekotehokkuuden tunnusluvun kehitys Helsingin, Tampereen ja Turun vesi- ja viemärilaitoksilla 1990-luvulla. Laitosten väliset erot johtuvat myös niiden erilaisesta toimintaympäristöstä.

Esimerkki investoinnin kannattavuuden arvioinnista

Ekotehokkuuden arviointi on eräs tapa laskea investointien kannattavuutta. Kustannusten ja esimerkiksi päästöjen ympäristövaikutusten samanaikainen vertaaminen ekotehokkuusmallilla on mahdollista, koska vesilaitoksen tavoitteet on arvotettu kvantitatiivisesti. Helsingin Vesi tehosti typenpoistoa vuoden 1998 alusta. Kuvassa 4 on las-



Kuva 4. Typenpoiston tehostamisen vaikutus Helsingin Veden jätevedenkäsittelyn ekotehokkuuteen.

kettu Helsingin Veden jätevedenkäsittelyn ekotehokkuus vuonsina 1997 ja 1998 niiden indikaattoreiden osalta, joihin typenpoiston tehostaminen on vaikuttanut. Investointikustannukset on lisäksi kohdennettu kokonaan vuodelle 1998. Ekotehokkuusmallilla tehdyn arvion perusteella ekotehokkuus on selvästi lisääntynyt. Investointi on ollut kannattava jo yhden vuoden takaisinmaksuajalla.

Päätelmiä

Tässä tutkimuksessa kehitetty ekotehokkuusmalli on systemaattinen menetelmä vesilaitosten toiminnan ja sen kehittämisen arvioimiseksi, kun kaikki keskeiset laitosten toimintaan vaikuttavat tekijät otetaan huomioon. Ekotehokkuusanalyysi pakottaa laitoksen tai yrityksen johdon priorisoimaan toimintansa tärkeimmät tavoitteet. Ympäristöinvestointeja tehtäessä kaikki päätökseen vaikuttavat tekijät pysyvät hallinnassa ja esimerkiksi kustannusvaikutukset voidaan sisällyttää ympäristövaikutusten arviointiin. Vaikka ekotehokkuusanalyysi on varsin pelkistetty menetelmä, se antaa konkreettisen mallin laitoksen toiminnan ja kehittämisvaihtoehtojen kokonaistarkasteluun kestävän kehityksen näkökulmasta.

Kirjallisuus

Lehni, M. 1998. WBCSD Project on Eco-efficiency Metrics & Reporting, State-of-Play Report. WBCSD, Geneva. 22 p.

Seppälä, J. 1999. Decision analysis as a tool for life cycle impact assessment. In: LCA Documents. Klöpffer, W. & Hutzinger, O. (eds.). Vol 4. Landsberg, Eco-Informa Press. 174 p.

Tenhunen, J. & Lohi, T.-K. 2001. Ekotehokkuus vesihuollossa: Menetelmä ja sovelluksia vesi- ja viemärilaitosten kestävän kehityksen arvioimiseksi. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 488. 68 s. (http://www.vyh.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy488/sy488.htm)

Tenhunen, J., Oinonen, J. & Seppälä, J. 2000. Vesihuollon elinkaarituikimus: Tampereen vesilaitoksen vaikutukset ympäristöön. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 434. 107 s.

Valtioneuvoston päätös puhdistamolietteen käytöstä maanviljelyksessä. Suomen säädöskokoelma 282/1994. Helsinki 14.4.1994.

Winterfelt, D. von & Edwards, W. 1986. Decision analysis and behavioral research. Cambridge, Cambridge University Press. 604 p.

VESITALOUS

ilmestyy vuonna 2002 edelleen kuutena numerona. Vuosikerran hinta on 40 euroa (samaan laskutusosoitteeseen tulevat lisätilaukset à 33 euroa). Vesi- ja viemärilaitosyhdistyksen ja Vesiyhdistyksen jäsenille vastaavat hinnat ovat 33 euroa ja 28 euroa. Tilaukset toimituksesta:

E-mail: vesitalous@mvtt.fi
puh. (09) 412 5530
fax (09) 412 5207

ABS

COST-EFFECTIVE PUMPING

- pumppaamot
- jätevesipumput
- kaukolämpöpumput
- biokaasukompressorit
- epäkeskoruuvipumput
- työmaauppopumput
- potkuripumput
- tyhjöpumput
- sekoittimet

ABS Pumput Oy
Höyläämötie 16, 00380 Helsinki
puh. (09) 506 8890, fax (09) 558053, www.abspumps.com

Dosfil oy
– Vedenkäsittelyn hallintaa –
- Automaattiset suotimet vedenkäsittelyyn
- Erilaiset säiliöt vaihteleviin prosesseihin
- RO-laitteistot ja Nanosuodatuslaitteet
- UV-lamput ja Otsoninkehityslaitteistot
- pH-, Cl2- ja johtokykysäätimet uima-allas- ja vesilaitoskäyttöön
- Vedenkäsittelyjärjestelmien komponentit
- Vedenkäsittelyn prosessisuunnittelu

Salpakuja 9, 01200 Vantaa, puh. 09 350 88 140, fax. 09 875 1478
Email: dosfil@tuomiteam.fi Antti Jokinen GSM 0400 224777

LOKAPALVELU H. EEROLA OY

Monipuolista viemärihuollon palvelua kaivon tyhjennyksestä viemäreiden kuvauksiin ja saneerauksiin asianmukaisella erikoiskalustolla!

PÄIVYSTYS 24 h/vrk

OTA YHTEYTTÄ!
Puh. (09) 852 1600, (09) 852 1178
Fax (09) 852 1616

AKVA FILTER – PUHTAAN VEDEN PUOLESTA
Akva Filter – kansainvälise patentoitua osaamista:

- vedenottamoille 10–1000 m^3/vrk
- omakotitalouksiin, maatiloille, laitoksiin
- suodattimia myös vesipistekohtaiseen vedenpuhdistukseen
- painesäiliösuodattimia ja suodatusmateriaaleja raudan, mangaanin, orgaanisten aineiden, raskasmetallien, kloorin poistoon sekä veden neutralointiin
- suunnittelua ja palvelua yli 30 vuoden kokemuksella

Suodattimet manuaalisena tai moottoriventtiiliautomatiikalla varustettuna

AKVA FILTER oy
PL 33, 19650 Joutsa
puh. (014)-883 521, fax (014)-883 522
http://personal.inet.fi/yritys/akva.filter
E-mail: akva.filter@co.inet.fi

EKOFINN

- Jätevedenpuhdistamot 1 perheestä 5 000 asukasvastikkeeseen
- BIOTEK -bioroottorit
- BIOCLERE -biosuodattimet
- FINN-CLEAN -rumpusiivilät
- MEVA -porrasvälpät
- HUFO -suodatinmateriaali, myös elintarvikelaatu
- DRAIMAD -säkkikuivaimet

OY EKOFINN AB
Rullakatu 6 C, 15900 LAHTI
puh. (03) 751 3171, fax (03) 751 3306

Etelä-Pohjanmaan VESITUTKIJAT OY
PL 28, 60101 SEINÄJOKI
Puh. 964-424 7580, fax 424 7588
- Akkreditoitu testauslaboratorio T153
- Julkisen valvonnan alainen vesilaboratorio.
- EELA:n hyväksymä vesilaboratorio.
- Sosiaali- ja terveysministeriön hyväksymä vesilaboratorio.

BIOPERT-ohjelmistot jätevedenkäsittelyn ohjaukseen sekä raportointiin. Myös erillisiä raportointijärjestelmiä lähinnä WINDOWS-ympäristöön.
Enviro Data Oy, Tekniikantie 21, 02150 Espoo, puh. 09-437 5246, fax 09-437 5247

FLYGT

JÄTEVESIPUMPPU UUTUUS FLYGTILTÄ!
N-PUMPUT
- TUKKEUTUMATON JUOKSUPYÖRÄ
- SÄÄSTÄÄ ENERGIAA
- SÄILYTTÄÄ KORKEAN HYÖTYSUHTEEN KOKO PUMPPAUKSEN AJAN

ITT Flygt-Pumput Oy
Yrittäjäntie 28
01800 KLAUKKALA
Puh. 09-8494111
Fax 09-8524910
www.flygt.com

Jäteveden puhdistamot:
www.greenrock.fi

Green Rock Oy
Teollisuustie 2 Puh. +358 (0)8 8192 200 E-mail: info@greenrock.fi
91100 Ii Fax: +358 (0)8 8192 211 Internet: www.greenrock.fi

BLUELINE CHEMICALS

MEMBRAANITEKNOLOGIALLA VALMISTETUT PUHTAAT TUOTTEEMME

★ Natriumhypokloriitti
★ Natronlipeä
★ Suolahappo
★ Kloori

TEHOKKAASTI – JOUSTAVASTI

FINNISH CHEMICALS OY

PL 7, 32741 ÄETSÄ
Vaihde 0204 31 11
Fax 0204 31 0431
Email:info@finnishchemicals.com
http://www.finnishchemicals.com

CLEWER® clean water

Clewer® Clean Water

Tunnettuun biofilmiin perustuvia jäteveden puhdistusjärjestelmiä teollisuudelle ja yhdyskunnille.

Clewer Oy Ltd., Raidetie 1, 96900 Saarenkylä
puh. (016) 332 550, fax (016) 332 5522
info@clewer.com, www.clewer.com

Myyntikonttori: Koetilantie 7, 00710 Helsinki
puh. (09) 35 05 960, 040 7033 294, fax (09) 35 05 9650

Kala-ja Vesitutkimus Oy

✳ kalatalous
✳ vesistötutkimus
✳ vedenhankinta

Luotsikatu 8 00160 Helsinki
Puh. (09) 692 71 00 Fax (09) 692 71 24
www.silakka.pp.fi

TURBO SUOMI

Oy HV-TURBO SUOMI Ab, PL 49, 02211 ESPOO
Puh (09) 884 5500, Faksi (09) 884 5600

HV-TURBO kompressorit
STAMO sekoittimet
LANDIA upposekoittimet ja pumput

KART OY KART AB

– urakoiva ja valmistava konepaja

Jätevedenpuhdistamot, -pumppaamot
Välppeenkäsittely

Raakavesipumppaamot
Kalkkirouhesäiliöt, -siilot, -suodattimet
Suodatussäiliöt

Kivenlahdenkatu 1, 02320 Espoo
puh. (09) 8190 440, fax (09) 8190 4410

HyXo Oy

Vedenkäsittelyä vuodesta 1968

www.hyxo.fi • hyxo@hyxo.fi

DR. LANGE

- Reagenssit
- Analysaattorit
- Laboratoriolaitteet

PL 16, 04261 KERAVA, puh. (09) 417 4500, faksi 4174 5100

VESIKEMIKAALIEN YKKÖNEN

CLEAN WATER IS OUR LIFE

- rauta- ja alumiinipohjaiset koagulantit, polymeerit, hiililähteet sekä näiden yhdistelmätuotteet
- tuotteiden sovellutukset veden- ja jätevedenkäsittelyyn
- asiakaskohtaiset, räätälöidyt koagulantit
- järvien kunnostukset

Kemira Chemicals Oy
Kemwater
PL 330, 00101 Helsinki
puh. 010 861 211
fax 010 862 1968
http://kemwater-fi.kemira.com
kemwater-fi@kemira.com

KEMIRA
KEMWATER

ITS VAHVISTUS OY

- **Betonisaneeraus**
  mm. vesitornit, ferroaltaat, sillat
- **Perustusten vahvistus**
  mm. porapaalut, ankkurointi, esijännitykset
- **Maa- ja kalliorakenteiden tiivistys ja stabilointi**
  mm. injektointi, ruiskubetonointi

Puh. (017) 554 4216, fax (017) 554 4217
Kaivostie, 71470 Oravikoski
Hatanpäänvaltatie 34 A, 33100 Tampere
puh. (03) 273 2212, fax (03) 273 2213

KMV-tuotteet

KAIKKEA VEDEN PUMPPAUKSEEN JA SUODATUKSEEN.

Kirkkonummen Metallivalmiste Oy
Pippurintie 122
02400 KIRKKONUMMI
Puhelin: 09-298 2141
Fax: 09-298 5860

KALVOSUODATUS JÄTE- JA RAAKAVEDEN PUHDISTUKSEEN
- rauta, mangaani, humus, COD, BOD, typpi jne.

OY METALCITY AB LTD
PANSIONTIE 48-52 20240 TURKU FINLAND
PUH. (02) 4151 400 FAX (02) 4151 450

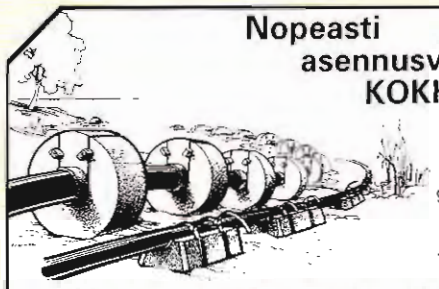
NOPOL® DDS JA O.K.I. ILMASTUSJÄRJESTELMÄT

YHDYSKUNTA- JA TEOLLISUUS JÄTEVESIEN PUHDISTUKSEEN

nopon

NOPON OY
Turvekuja 6
00700 Helsinki
Puh. 09-351 730
Fax. 09-351 5620

Nopeasti asennusvalmiit KOKKO-painot



Malli; KOKKO S-10
Lukkopaino
90 mm:stä ylöspäin

Malli KOKKO S-20
Sidos
75 mm:sta alaspäin

KOKKOBE OY AB
BETONITUOTETEHDAS
PL 202, 67101 KOKKOLA
☎ 06-822 3123
fax 06-882 5710

for cleaner water
POMILTEK INTERNATIONAL LTD OY

LUOTETTAVAA JÄTEVEDEN KÄSITTELYÄ YLI 15 VUODEN KOKEMUKSELLA

PUHDASVESI / JÄTEVESILAITOSURAKOINNIT JA KATTAVAT LAITTEISTOTOIMITUKSET

- hydrauliset porrasvälpät
- hydrauliset välpepuristimet
- suotonauhapuristimet
- rumpusiivilät
- polymeerilaitteistot
- hiekkapesurit
- liete,- kalkki- ja AVR siilot
- selk. laahakoneistot
- flotaatiolaitteet
- ruuvikuljettimet

Varikontie 1
60800 Ilmajoki
www.pomiltek.fi
e-mail: info@pomiltek.fi
Puh: 06 4240700
Fax: 06 4240750

- Alitukset junttaamalla 50 mm – 2000 mm
- Alitukset kiveen ja kallioon 168 mm – 1020 mm
- Putkistosujutukset (Grundoc räck)

LÄNNEN ALITUSPALVELU OY

Läpikäytäväntie 103 28400 Ulvila
puh. (02) 538 3655 GSM 0400-593928 fax (02) 5383093

VEDEN LAADUN MITTAUSANTURI HYDROLAB DATA - TAI MINISONDI

- Yhdellä sondilla voit mitata jopa 12 eri suuretta yhtäaikaisesti pohja-, järvi-, meri- tai jätevesistä.
- lämpötila
- johtokyky
- pH
- liuennut happi
- redox
- pinnankorkeus
- syvyys
- sameus
- ammonia
- nitraatit
- kloridi
- liuenneet kaasut
- ympärillä vallitseva valo
- clorofylli
- ilmanpaine
- GPS

OY LABKOTEC AB
Labkotie 1
36240 KANGASALA 4
Puh. 03-2855 111
Telefax 03-2855 320

VAATIVAA VEDENKÄSITTELYÄ
ProMinent® OTA YHTEYS!
RATKAISEMME ANNOSTUSPULMANNE

VALMISTUS MYYNTI HUOLTO

ProMinent Finland Oy
Orapihlajatie 39 (HPY sivu 20 79/49), 00320 HELSINKI
Puh. (09) 477 7890, Fax (09) 4777 8947

PUMPPULOHJA

- ROVATTI -vesilaitospumput
- PUMPEX -tyhjennys- ja lietepumput
- SPECK - keskipakopumput
- Paineenkorotusasemat
- Erikoissäiliöt

WatMan
VEDEN JA JÄTEVEDEN KÄSITTELYLAITTEET- JA LAITOKSET
- kotitalouksille - kunnille
- vesiosuuskunnille- teollisuudelle

Yrittäjäntie 4,09430 SAUKKOLA
puh. (019) 371 000 fax. (019) 371 011
www.pumppulohja.fi

SPT SUOMEN PUTKISTO TARVIKE OY

- Vesijohtoverkostojen vuotojen selvittelyt
- Vuodonhaku- ja paikannuslaitteet
- Mekaaniset, ultraääni ja elektromagneettiset vesimittarit
- Mittausjärjestelmät puhtaille ja viemärivesille
- Korjausmuhvit ja laippaporahaarat
- Yleisliittimet
- PE-sähköhitsausmuhvit ja -pistoliittimet

Vaihtotie 9, 33470 Ylöjärvi. Puh. (03) 34 84 688, fax (03) 348 4699
e-mail: sptoy@sci.fi www.saunalahti.fi~sptoy

Vesilaitokset
Jätevesilaitokset
Jäähdytysvesilaitokset
30 vuotta erikoisalana flotaatiotekniikka

INSINÖÖRITOIMISTO OY RICTOR AB
SIBELIUKSENKATU 9 B 00250 HELSINKI
PUH. 09-440 164 FAX 09-445 912

YIT
YIT ENVIRONMENT OY
PL 36, 00621 HELSINKI
Käyntiosoite: Panuntie 6
Puhelin 020 433 111
Faksi 020 433 2066
sähköposti etunimi.sukunimi@yit.fi
www.yit.fi

RUMPUSIIVILÄT
KONEVÄLPÄT
RUUVIKULJETTIMET
DEKANTTERILINGOT
• SUOTONAUHAPURISTIMET
• NESTESUODATTIMET
• VÄLPEPURISTIMET
• POLYMEERILAITTEET

OY SLAMEX AB
PL 20, 00981 HELSINKI
PUH. (09) 343 6200, TELEFAX (09) 3436 2020

MODERNIA TEKNIIKKAA VESIHUOLTOON
• Automatisointi - sähköistys - valvomoratkaisut
• Paineenkorotusasemat
• Suunnittelu - asennus - huolto

SLATEK
PL 333, 90401 Oulu (Tuotekuja 4)
puh. (08) 5620 200, fax (08) 5620 220

Yhteistyöllä luontoa säästäviin tuloksiin

- Laaja valikoima kiertomäntäpuhaltimia: Hibon ja Roots / Holmes
- Elmacron-näytteenottimet ja pH-laitteet
- ProMinent-pumput, hoito- ja valvontavälineet
- Mukavat ja hajuttomat BioLet-kompostivessat

Kysy lisää! Meiltä saat asiantuntevaa palvelua!

Launeenkatu 67
15610 LAHTI

Y-LAITE OY

Puh. (03) 884 080
Fax (03) 884 0840
Internet: http://www.y-laite.fi Sähköposti: info@y-laite.fi

www.vesitalous.com

Pyydä vesihuollon tarviketarjous Vesitalouden markkinapaikan kautta!

NEUVOTTELEVIA INSINÖÖRITOIMISTOJA

Kiuru & Rautiainen Oy
Vesihuollon asiantuntijatoimisto

Olavinkatu 18 LH 21
57130 SAVONLINNA
Puh./fax: (015) 510 855 tai 0500-705 337

- Laitosten käytön optimointi
- Biologinen ravinteiden poisto
- Yleis- ja prosessisuunnittelu

Vesi- ja ympäristötekniikan asiantuntemusta ja suunnittelua

TRITONET OY

Pinninkatu 53 C, 33100 Tampere
Puh. (03) 3141 4100, fax (03) 3141 4140
E-mail pertti.keskitalo@tritonet.fi

Vesitekniikka
Jätevesitekniikka
30 vuotta flotaatiotekniikkaa

INSINÖÖRITOIMISTO OY RICSON AB

Sibeliuksenkatu 9 B 00250 HELSINKI
Puh. 09-447 161 Fax 09-445 912

- Vesihuolto, vesirakenteet
- Suunnittelu, työnjohto

oy vesirakentaja
INSINOORITOIMISTO
Hiihtomäentie 39 A 1, 00800 Helsinki, puh. 09-7552 1100

SUOMEN KONSULTTITOIMISTOJEN LIITON JÄSENET

AIR-IX SUUNNITTELU

VESIHUOLTO ★ YMPÄRISTÖNSUOJELU
MAANKÄYTTÖ ★ TIE- JA LIIKENNE
LVI ★ SÄHKÖ ★ AUTOMAATIO

PL 453, 33101 TAMPERE Puh. (03) 2442 111
PL 52, 20781 KAARINA Puh. (02) 515 9500
Sepankatu 9 A 7, 90100 OULU Puh. (08) 883 030

Insinööritoimisto
OY VÄYLÄ

Joensuu 013-120 130
Nurmijärvi 09-276 8022
Kajaani 08-628 373
Pori 02-6339 454

- kunnallistekniikka ja vesihuolto
- tie- ja liikennesuunnittelu
- jätehuolto ja kompostointi
- geotekniikka
- vesitiet ja satamat
- rakennesuunnittelu

Ympäristö Vesi Infra

• Jyväskylä • Kuopio • Lahti • Lappeenranta • Lapua • Oulu • Tampere • Turku • Vantaa

JAAKKO PÖYRY INFRA
Maa ja Vesi

Maa ja Vesi Oy • PL 50 (Jaakonkatu 2), FI-01621 Vantaa • Puh. (09) 682 6211 • e-mail: fi@poyry.fi

Paloturvallisuuden takaajasta ympäristönsuojelijaksi – Helsingin Vesi 125 vuotta

Helsingin Veden 125-vuotinen historia on saatu kansien väliin. "Vettä ja elämää" –nimisen teoksen on kirjoittanut valtiotieteen tohtori Timo Herranen.

Vesilaitostoiminta käynnistyi Suomessa viime vuosisadan loppupuolella. Ensimmäinen vesilaitos perustettiin Helsinkiin vuonna 1876. Vesilaitoksen ensisijainen tarkoitus oli turvata sammutusveden saanti tuolloin vielä tulenarassa puutalovaltaisessa kaupungissa. Alkusysäyksen vesilaitoksen perustamiselle antoi Suomen keisarillinen senaatti, joka oli huolissaan pääkaupungin paloturvallisuudesta.

Olisiko Helsinkiä ilman toimivaa vesihuoltoa?

Säännöllinen vedenpumppaus aloitettiin 1.12.1876. Se on myös Helsingin Veden virallinen perustamispäivä. Kaupungin asukasluvun kasvaessa puhtaan veden merkitys tuli yhä tärkeämmäksi. Ennen vesilaitoksen perustamista helsinkiläiset hankkivat juomavetensä kaivoista. Kaivoveden laatu vaihteli melkoisesti ja pilaantunut juomavesi sekä puutteellinen viemäröinti aiheuttivat useita vakavia epidemioita.

Helsingin ensimmäinen vedenpuhdistuslaitos sijaitsi Vantaanjoen suulla Kuninkaankartanonsaarella. Sieltä vesi pumpattiin Alppilan mäellä sijainneeseen Suomen ensimmäiseen vesitorniin. Ensimmäiset vedenjakelupostit sijaitsivat Albertinkadun kulmassa ja Erottajalla. Vesi maksettiin joko mittauksen tai huoneiden ja kotieläinten lukumäärän mukaan. Jokaiselta hevoselta, lehmältä tai härältä vesi maksoi viisi markkaa vuodessa.

Veden kemiallinen puhdistaminen aloitettiin jo vuonna 1909. Kun Vanhankaupungin vedenpuhdistuslaitos valmistui vuonna 1928, Helsingin vedenpuhdistus oli kansainvälisenkin mittapuun mukaan korkeatasoista. Helsingin asukasluvun kasvaessa ja uusien lähiöiden syntyessä 1950-luvulla laitoksen kapasiteetti kävi riittämättömäksi. Pitkäkosken vedenpuhdistuslaitos valmistui vuonna 1959.

Päijänne-tunneli valmistui vuonna 1982. Tunnelin myötä turvattiin puhtaan ja hyvälaatuisen raakaveden saanti pääkaupunkiseudulle. Parin viime vuosikymmenen aikana kehitys vedenpuhdistuksen saralla on ollut muutenkin merkittävää. Vedenpuhdistusta tehostettiin otsonoinnilla vuonna 1979. Veden laatu parani entisestään, kun vedenpuhdistusprosessiin liitettiin aktiivihiilisuodatus vuonna 1998.

Vesihuoltopalveluja 125 vuoden ajan

Tänä päivänä Helsingin Vesi on kunnallinen liikelaitos ja tehokas palveluyritys, jolla on takanaan 125 vuoden kokemus helsinkiläisten vesihuollosta. Helsingin Vesi palvelee lähes miljoonaa pääkaupunkiseudun asukasta vedenpuhdistuksen, jakelun ja jätevesienpuhdistuksen osalta.

Henriikka Tuovinen

Ympäristöministeriölle uudistettu lähialuestrategia

Ympäristöministeriön uudistetun lähialuestrategian tavoitteena on vähentää ja ehkäistä ennalta Suomen lähialueilta peräisin olevia, Suomelle ja Itämerelle haitallisia päästöjä. Tavoitteisiin kuuluvat muun muassa kasvihuonekaasupäästöjä vähentävät yhteistoteutushankkeet, luonnon monimuotoisuuden säilyttäminen sekä metsien kestävä käyttö Suomen lähialueilla.

EU:n jäsenyyttä hakevissa Baltian maissa ympäristöministeriö jatkaa työtään erityisesti ympäristöhallinnon kehittämiseksi. Ministeriö on jo yli kymmenen vuoden ajan edistänyt ympäristönsuojelua maamme lähialueilla Venäjällä, Virossa, Latviassa ja Liettuassa. Ympäristöinvestointeja on rahoitettu ja teknistä apua annettu näillä alueilla yli 1300 hankkeeseen. Rahaa ko. hankkeisiin on käytetty vuosina 1990–2000 yhteensä noin 670 miljoonaa markkaa.

Ympäristöministeriö on lisäksi vaikuttanut poliittisesti erilaisissa kansainvälisissä yhteyksissä ympäristökysymysten edistämiseksi lähialueilla. Suomen rahoitus lähialueiden ympäristöhankkeisiin on ollut noin 60 miljoonaa markkaa vuosittain.

Uuden strategian mukaisesti ympä-

ristöministeriö pyrkii tehostamaan yhteistyötä EU:n ja kansainvälisten rahoituslaitosten kanssa. Siten Suomen rajallisia voimavaroja käytetään mahdollisimman tehokkaasti sellaiseen yhteistyöhön, jolla voidaan saavuttaa enemmän ympäristöhyötyjä kuin toimimalla yksin.

Tavoitteena on saada yhteistyömaat, EU ja kansainväliset rahoituslaitokset panostamaan entistä enemmän Suomen lähialueisiin. Luoteis-Venäjän kanssa on tarkoitus lisätä suoraa kahdenvälistä yhteistyötä muun muassa Pietarin alueen ympäristöongelmien ratkaisemiseksi. Yhteistyöhankkeisiin kuuluvat esimerkiksi Pietarin lounaisen jätevedenpuhdistamon rakentaminen ja Krasnyi Borin ongelmajätelaitoksen kiireelliset ympäristöinvestoinnit.

Teknistä apua Suomi lisää erityisesti erilaisten projektien hallinnoinnin parantamiseksi ja ympäristövaikutusten arvioinnin kehittämiseksi. Myös ympäristötietoisuuden lisääminen ja ympäristökasvatus nähdään strategiassa tärkeinä välineinä. EU:ssa Suomi on aktiivinen EU:n ja Venäjän välisen kumppanuus- ja yhteistyösopimuksen sekä pohjoisen ulottuvuuden ympäristösektorin kehittämisessä.

Strategiaa täydennetään kolmen vuoden välein tehtävillä toimintaohjelmilla. Ympäristöministeriön lähialuestrategia noudattaa ulkoasiainministeriössä keväällä 2000 laaditun lähialueyhteistyön toimintastrategian linjauksia.

Henriikka Tuovinen

Ovatko padot, vesisäiliöt ja vesijohdot turvassa terroristien hyökkäyksiltä?

Juomaveden turvallisuutta joudutaan pohtimaan useassa maassa terroristihyökkäysten varalta. New Yorkissa partioivat helikopterit ja veneet ja mm. kalastukselle sekä patikoinnille joudutaan asettamaan väliaikaisia kieltoja. Massachusettissa on suljettu padoille johtavia teitä.

Syyskuun yhdennentoista päivän jälkeen pelko biologisista ja kemiallisista hyökkäyksistä myös vesisysteemejä kohtaan on levinnyt sähköpostin välityksellä. Niissä varoitetaan kuluttajia mm. pullotetuista vesistä.

Asiantuntijoiden mielestä uhka yleisiä vesihuoltosysteemejä kohtaan on hyvin kaukainen.

"Tällaiset ajatukset ovat pääasiallisesti science fictionia", sanoo mikrobiologi Richard Spertzel, joka johti YK:n biologisten aseiden tutkintaprojektia Irakissa.

Vaaran uhatessa useimmat kaupungit voivat sulkea saastuneet vesivarastonsa ja johtaa vetensä toisista lähteistä. Esimerkiksi New Yorkissa voitaisiin valita lähes 20 vesisäiliöstä. Suurempana uhkana pidetään sen sijaan sitä, että terroristit voisivat yrittää katkaista vesisysteemien toiminnan ehkä tuhoamalla patoja. Toisaalta asiantuntijat eivät katso mitään vaihtoehtoja tällä hetkellä siinä valossa, että "tätä ei voisi koskaan tapahtua". Vaikka putket eivät olekaan niin vakuuttavia pelottelun välineitä kuin myrkkyjen levittäminen ilmaan, jotkut tutkijat uskovat, että biologiset ja kemialliset agentit voisivat löytää tiensä huomaamatta koteihin. Moniakaan kaupunkeja ei ole suunniteltu torjumaan terroristien ujuttautumista saastuttamaan vettä naapuruston putkistoissa sen jälkeen, kun vesi on jo puhdistettu ja testattu turvallisesti. Kyseinen hyökkäys voisi sairastuttaa pienen naapuruston tai suuren rakennuksen asukkaat, mutta ei todennäköisesti tuottaisi sellaista tuhoa, mitä terroristit yleensä toivovat.

Tällä hetkellä kaupungeissa tehdään mitä voidaan putkiston suojelemiseksi. Niihin mm. asennetaan kameroita ja hälytyslaitteita. Joissakin kaupungeissa on lisäksi lisätty veden laboratoriotestausten määrää. Esimerkiksi New Yorkissa tutkitaan mikroskoopilla kaikki mahdolliset epäilyttävät organismit, jotka löydetään. Ihanteellisena pidetään ratkaisua, jossa putkistoihin voitaisiin asentaa robotteja varustettuina pienillä tietoteknisillä siruilla, jotka syttyisivät vaarallisten mikro-organismien mennessä ohitse.

Samanaikaisesti kun kaupungeissa testataan vedessä esiintyviä yhdisteitä niissä ollaan kykenemättömiä suojautumaan monilta tunnetuilta kemiallisilta ja biologisilta myrkyiltä. Vaikka löytyisikin tarpeeksi teknologiaa suojautumiseen, testauksiin kuluva aika ja niiden kustannukset olisivat huimaavan suuret. Lukemattomat yritykset etsivät oppia esimerkiksi Israelin kaltaisista maista, joissa on eletty kemiallisten ja biologisten aseiden uhan alla vuosia.

Henriikka Tuovinen

Lähde. New York Times

Päijänteen rantojen kunnostustarvetta selvitetty – kansalaiset aktiivisia kohde-ehdotuksissa

Keski-Suomen ympäristökeskus järjesti Pohjois-Päijänteen rantakunnissa seitsemän yleisötilaisuutta koskien Päijänteen rantojen kunnostustarvetta. Keski-Suomen ympäristökeskuksen järjestämiin tilaisuuksiin osallistui yhteensä 137 henkilöä.

Tilaisuuksissa esitetyt kunnostuskohteet vaihtelivat suuresti. Yleisimmäksi haitan aiheuttajaksi paljastui ruovikoituminen. Lähes yhtä usein haittaa aiheuttivat umpeenkasvu tai mataloituminen.

Muutamissa kohteissa kunnostustarvetta synnyttivät tietyt kuormittajat, kuten viemäri, peltoalueilta tuleva oja ja kalanviljelylaitos. Haittoina mainittiin myös vanhat, käytöstä poistetut uittorakenteet sekä muut rakennusjäänteet.

Useissa kunnissa parannuksia toivottiin tiettyjen satamien palvelutasoon ja siisteyteen. Esiin nostettiin myös muutamia maisemallisesti arvokkaita alueita. Haitta kohdistui näillä alueilla useimmiten virkistyskäyttöön: uimiseen, veneilyyn tai kalastukseen.

Veden virtauksen ja vaihtuvuuden vähentymisen koettiin usein haittaavan vesiluontoa. Muutamilla ranta-alueilla nykytilanne huononsi tietyn elinkeinon toimintaedellytyksiä (mm. matkailu). Joissakin tapauksissa todettiin, että kalojen kutu oli vähentynyt tai epämiellyttävät hajut kiusasivat ympäristöä.

Kunnostustoimina esitettiin yleisimmin ruoppausta tai niittoa. Melko usein toivottiin myös haittaa aiheuttavan rakennelman purkamista tai jonkin alueen yleistä kunnostamista (esim. satamat ja virkistyskäyttöalueet). Muutamissa kohteissa esitettiin tietyn kuormituksen lopettamista tai vähentämistä. Joissakin paikoissa toivottiin pelkästään rantojen raivausta.

Valtaosa esitetyistä kohteista oli yleisiä, aktiivisessa käytössä olevia rantoja. Kunnostusten toteutukseen oltiin valmiita osallistumaan taloudellisesti noin puolessa tapauksista.

Kunnostettavien kohteiden tärkeysjärjestykseen vaikuttavat ekologiset, sosiaaliset ja taloudelliset tekijät. Lisäksi kunnostusten toteutusaikataulu riippuu kunkin hankkeen rahoitusmahdollisuuksista, mahdollisista luvan sekä valuma-aluekunnostuksen tarpeesta. Näin saatavan kartoituksen tuloksista kootaan koko Päijänteen kattava rantojenkunnostustarveselvitys vuoden 2002 loppuun mennessä.

Henriikka Tuovinen

NHFiF eli Pohjoismaisen Hydrologiyhdistyksen Suomen jaosto
Järjestää 23.1.2002 alkaen 12.30 seminaaritilaisuuden

"Hydrologian haasteet kansainvälisessä kentässä"

Puhujiksi ovat lupautuneet
vesihallintoneuvos **Risto Timonen** Maa- ja metsätalousministeriöstä
tutkimusjohtaja, professori **Juha Kämäri** Suomen ympäristökeskuksesta
ympäristöasiantuntijaneuvos **Pertti Seuna** Suomen ympäristökeskuksesta

Odotamme tilaisuuteen myös ympäristö- ja ulkoministeriöiden edustusta sekä muutamia muita lyhyempiä alustuksia.
Tilaisuus järjestetään **Physicumissa** (os. Nils Hasselblomin katu 2) Fysikaalisten tieteiden laitoksella Geofysiikan osastolla eli yliopiston uudella kampuksella, johon samalla osallistujat voivat tutustua.
Tilaisuuden avaa laitoksen esimies prof. **Juhani Keinonen.**

Tilaisuuden **järjestelytoimikunnan puheenjohtajana** toimii prof. (vms.) **Timo Huttula** (Timo.Huttula@Helsinki.fi)
Lisätietoja myös Aija-Riitta Elo (NHFiF:n puheenjohtaja)

Ilmoittautumisia toivotaan viimeistään viikkoa ennen tilaisuutta osoitteeseen
Aija-Riitta.Elo@Helsinki.fi

Ohjeita Vesitalous-lehden kirjoittajille

Artikkelit toimitetaan lehden toimitussihteerille sähköpostiosoitteeseen vesitalous@mytt.fi Käsikirjoituksen toivottava **enimmäispituus** on noin **12 000 merkkiä.** Teksti kirjoitetaan 1,5 rivinvälillä raakatekstinä. Asetuksia (esim. tabulointia) ei siis käytetä. Pakollinen rivinvaihto ainoastaan kappaleiden välillä. Otsikoiden tulee olla lyhyitä, väliotsikoita ei numeroida. Kirjoitusten tulee olla viimeisteltyjä. Artikkelin ensimmäiselle sivulle merkitään tekijän nimen lisäksi oppiarvo ja työpaikka sekä yhteystiedot, myös **sähköpostiosoite.**

Kirjoittajan valokuva julkaistaan artikkelin yhteydessä, mieluimmin värikuvana. Toimitetaan joko sähköisesti tai postitse (toimituksen osoite: Tontunmäentie 33 D 02200 Espoo, puh. (09) 412 5530).

Kirjoittajan odotetaan laativan myös:
- **Tiivistelmän.** Artikkelista julkaistaan sisällysluetteloaukeamalla kirjoittajan tekemä ytimekäs tiivistelmä, jonka pituus on korkeintaan 250 merkkiä. Kirjoittajan tekstissä tiivistelmä sijoitetaan ennen artikkelin otsikkoa.
- **Ingressin.** Artikkeli aloitetaan kirjoittajan laatimalla ingressillä, jonka tarkoitus on herättää lukijan kiinnostus. Pituus **200-400 merkkiä.** Se sijoitetaan otsikon jälkeen. Leipätekstiä ei aloiteta väliotsikolla.
- **Kirjoittajan taustatiedot.** Lukijalle tarjotaan hieman taustatietoa eli noin **100 merkillä** kirjoittajan työhistoriaa tai muuten artikkelin kannalta olennaista tietoa. Taustatiedot sijoitetaan kirjoittajan tekstissä yhteystietojen jälkeen.

- **Taulukoita** ei aseteta tekstiin, vaan tekstin loppuun numerojärjestyksessä. Taulukon otsikon tulee kertoa mahdollisimman lyhyesti taulukon olennainen sisältö. Desimaaliluvuissa käytetään pilkkua.

- **Kuvia** ei myöskään sijoiteta tekstiin, vaan tekstin loppuun ja ne numeroidaan juoksevasti. Kuvia ei kehystetä viivoin. Kuvien tulee olla sellaisenaan painovalmiita ja niiden kaikkien osien tulee olla luettavissa myös pienennetyssä koossa. Kuvatekstit kirjoitetaan yhtenä ryhmänä, ei siis kuvien yhteyteen. Valokuvista mahdolliset rajausohjeet. Taulukoiden ja kuvien sijoituspaikoista voi kirjoittaja antaa ohjeet.

- **Kirjallisuus.** Käytetään nimenomaan sanaa kirjallisuus (ei lähteet, viitteet tms.) Kirjoittaja voi antaa myös kirjallisuusviitteittensä internet-osoitteet hypertekstikohdassa mainitulla tavalla.

- **Englanninkielinen lyhennelmä** julkaistaan osasta artikkeleita. Se saa olla enintään noin 100 sanan pituinen. Käännös ja kielentarkastus tehdään lehden toimesta.

Sähköisessä muodossa tulevien kuvien osalta huomattavaa:
- Kuvan tarkkuus vähintään 300 dpi
- Kuvan koko vähintään lehteen tulevan todellisen koon suuruinen
- Kuva CMYK-muodossa
- Kuvan tallennusformaatti .EPS tai .TIF
- World-, PowerPoint ym. kuvat tulostuvat 72 dpi:nä eli ne eivät pääsääntöisesti toimi lehdessä
- Toimitus 100 Mb Zipillä tai CD-ROM:illa

Koska lehdestä tulee myös **verkkoversio,** on huomattava seuraavaa:

- **Hyperteksti.** Verkkolehteä varten tekstiin suositellaan liitettäväksi myös ns. hypertekstejä. Sanat, joista kirjoittaja haluaa linkin asiaa lisää valaisevaan internet-osoitteeseen, merkitään alleviivauksella ja sen jälkeen sulkuihin osoite tyyliin: Tilanne **Baikal-järvellä** (http://www.baikallake/index/pollution.html) ei voi jatkua näin. Kirjoittajan tulee tarkistaa linkin osoite niin, että se osoittaa suoraan oikeata www-sivua. Tämä osoite näkyy mm. selaimen osoitepalkista. Hypertekstilinkkejä voi sijoittaa tekstiin korkeintaan viisi kappaletta.

- **Taulukko.** Kirjoittaja voi valita taulukon, johon haluaa skaalausominaisuuden. Tämä tarkoittaa sitä, että lukijan klikatessa taulukkoa se aukeaa verkossa tarkemmassa koko ruudun koossa. Kirjoittaja voi näin antaa kaksi taulukkoa, joista toisessa on vain perusasiat ja toisessa enemmän ja tarkempaa tietoa. Taulukot nimetään tyyliin: Perustaulukko 1 ja Tarkennettu taulukko 1. Lehdessä julkaistaan vain perustaulukko.

VESITALOUS

Finnish journal for professionals in the water sector

Published six times annually | Editor-in-chief Timo Maasilta | Address Annankatu 29 A 18, 00100 Helsinki, Finland

ABSTRACTS

Unknown environmental history of the Baltic Sea
by Simo Laakkonen

Environmental history is concerned with the long-term interaction between societies and the environment. The Sea and the Cities project has studied the environmental history of the Baltic Sea at the local level by investigating the pollution and protection of urban wastewaters in the 19th and 20th centuries. Ten cities in the Baltic Sea area, i.e., St Petersburg, Tallinn, Vilnius, Gdansk, Kiel, Copenhagen, Oslo, Stockholm and Helsinki, participated in the study. The project had three main themes: the history of urban water supply technology, reconstruction of the eutrophication of waters, and the options for urban environmental policies. Involved in the project were students and senior researchers in the fields of sociology, the environmental sciences and environmental technology. The regional, national and international environmental history of the Baltic Sea is still awaiting its researchers.

Finnish glaciological research on Antarctica and Spitsbergen
by Anna Sinisalo and Anja Pälli

The article looks briefly at two Finnish glaciological projects in which ground-penetrating radar plays a key role. The first one is investigating the climatic history of Antarctica on the basis of ice and snow samples collected in Queen Maud Land. The second is monitoring glaciers on Spitsbergen, which clearly react more rapidly to climatic change than does Antarctica.

Snow studies from Finland to Antarctica
by Eija Kärkäs, Tari Oksanen, Sirpa Rasmus and Kai Rasmus

The interest of the research school for snow and ice focuses in particular on the regional and temporal differences that exist in the snow cover of Finland and on the properties of the Antarctic snow cover. Observations of the optical properties of snow are an important constituent of snow studies. Dry snow reflects up to 90% of incoming solar radiation and thus even minor changes in reflectivity could have a significant effect on the energy balance.

Finnish lakes and their icy winter
by Matti Leppäranta and Lauri Arvola

Snow and ice are integral components of the Finnish identity and natural environment. Studies on lake ice have been conducted for many years in Finland, albeit with modest resources owing to the lack of critical problems. Prompted by a need to better understand the annual cycle of lakes due to the increasing importance of water quality, the ecology of water systems and climatic change, research activity has intensified in recent years.

Sea ice conditions
by Matti Leppäranta

The sea ice cover has two dominant characteristics. Sea ice drifts and consequently the ice cover is fragmented, containing areas of open water and ice fields, i.e., pack ice. The ice that forms from salty water entraps brine pockets that affect the properties of ice and also the cycle of marine salt.

Other articles:

White stores
by Esko Kuusisto

Benefit assessment in lake rehabilitation projects
by Hannu Majuri

Finland's Baltic Sea Protection Programme
by Tapani Kohonen

Ecoefficiency analysis
by Jyrki Tenhunen

Watercourses and energy
by Mauri Määttänen

VESISTÖT JA ENERGIA

Mauri Määttänen

professori
Teknillinen korkeakoulu
E-mail: mauri.maattanen@hut.fi

Vesivoiman valjastaminen hyötykäyttöön oli avainasemassa teollisen energiatuotannon alkutaipaleella. Yllättäen uusimmat kehitysvaiheet korostavat vesivoiman merkitystä uudelleen.

Energiapoliittisesti Suomi on nyt pattitilanteessa. Tiedetään, että energian tarve kasvaa, mutta vanhaa korvaavaa tai uutta tuotantoa ei kehitetä määrätietoisesti. Ydinvoimaa ei uskalleta rakentaa, koska suuri osa väestöstä suhtautuu siihen taikauskoisesti eikä luota rationaaliseen ajatteluun ja teknisen tutkimuksen tuloksiin. Fossiiliset polttoaineet ovat rajallinen luonnonvara ja niiden lisäkäytön esteenä on kasvihuoneilmiön kiihtyminen. Uusiutuvista energiamuodoista vesivoima on jo lähes täysin käytössä, puun ja muun bioenergian polttoa voi jossain määrin lisätä. Sen sijaan aurinko- ja tuulienergiaa on runsaasti saatavilla, mutta niitä pidetään vielä kalliina sekä epäsäännöllisesti saatavilla olevina energiamuotoina.

Tuulienergia on tällä hetkellä maailman nopeimmin kasvava energiatuotannon ala, vaikka sen hinta on perinteisillä tavoilla tuotettua energiaa kalliimpi. Tuulienergian kustannus on kuitenkin alenemassa paremman suunnittelun, suurempien yksiköiden ja sarjatuotannon ansiosta. Laskentatavasta riippuen jo nyt ollaan kivihiilienergian hintatason tuntumassa. Tuulienergian lisätuotannon esteeksi on useimmissa maissa nousemassa maalla olevien hyvien rakennuspaikkojen loppuminen tai maisema- ja meluhaitat.

Samoin kuin teollisen energiatuotannon alussa vesistöt tarjoavat nyt energiapolitiikalle mahdollisuuden: avomerialueille voidaan rakentaa suuria tuulivoimapuistoja. Kaukana rannasta tuulen nopeus on suurempi ja tasaisempi kuin rannikolla tai mantereella. Samalla tuuliturbiinit ovat poissa ihmisten silmistä ja korvista. Esimerkiksi Perämeren avomerialueella kyettäisiin tuottamaan kaikki Suomessa tarvittava sähköenergia, vaikka rajoitettaisiin vesisyvyydeksi alle 10 m ja vaadittava alueen keskituulennopeus suuremmaksi kuin 6 m/s. Perämeri on matala; tuotto kasvaa paljon, jos perustamissyvyyttä suurennetaan.

Euroopan unioni asetti kesäkuussa 2001 tavoitteet Euroopan tuulienergian tuotannon kehittämiselle. Pääosa tavoitteista toteutettaisiin avomerellä: 5 GW vuoteen 2010 ja 50 GW vuoteen 2020 mennessä. Suomessa kauppa- ja teollisuusministeriö on asettanut tuulienergiatavoitteeksi 500 MW vuodelle 2010. Tänä vuonna avomerelle rakennettavat tuulienergiapuistot ovat käyttäneet 2 MW:n yksiköitä, testausvaiheessa ovat 3 MW:n yksiköt ja viiden vuoden sisällä otettaneen käyttöön 5 MW:n turbiinit. EU:n tavoitteet edellyttävät kuitenkin kymmeniätuhansia avomerituuliturbiineita ja Suomenkin tavoitteet satoja. Nyt rakenteilla oleva Rødsandin tuulivoimapuisto Tanskassa sijaitsee avomerellä 9 km:n päässä rannikolta. Alueelle, jonka pinta-ala on noin 12 km^2, rakennetaan 72 turbiinia, joiden yhteenlaskettu nimellistuotanto on 150 MW. Yhden pienehkön ydinreaktorin tuotannon korvaamiseen tarvitaan kuitenkin lähes tuhat 2 MW turbiinia, sillä niiden nimellisteho ei ole jatkuvasti saatavilla. Tarvittava avomerialue ei ole silti kovin suuri, noin 75 km^2, esimerkiksi 5 km x 15 km.

Itämerelle rakennettavien avomerituulipuistojen perustukset on mitoitettava kestämään myös liikkuvan jään aiheuttamat kuormitukset. Tanskassa toteutetuissa perustuksissa jääkuormat on otettu huomioon, mutta niin eteläsä nämä kuormat eivät muodostu merkittäviksi tuuli- tai aaltokuormien rinnalla. Pohjoisempana tilanne muuttuu. Perustusten mitoituskriteerinä jääkuormat ovat vielä tärkeimpiä, jos alu-

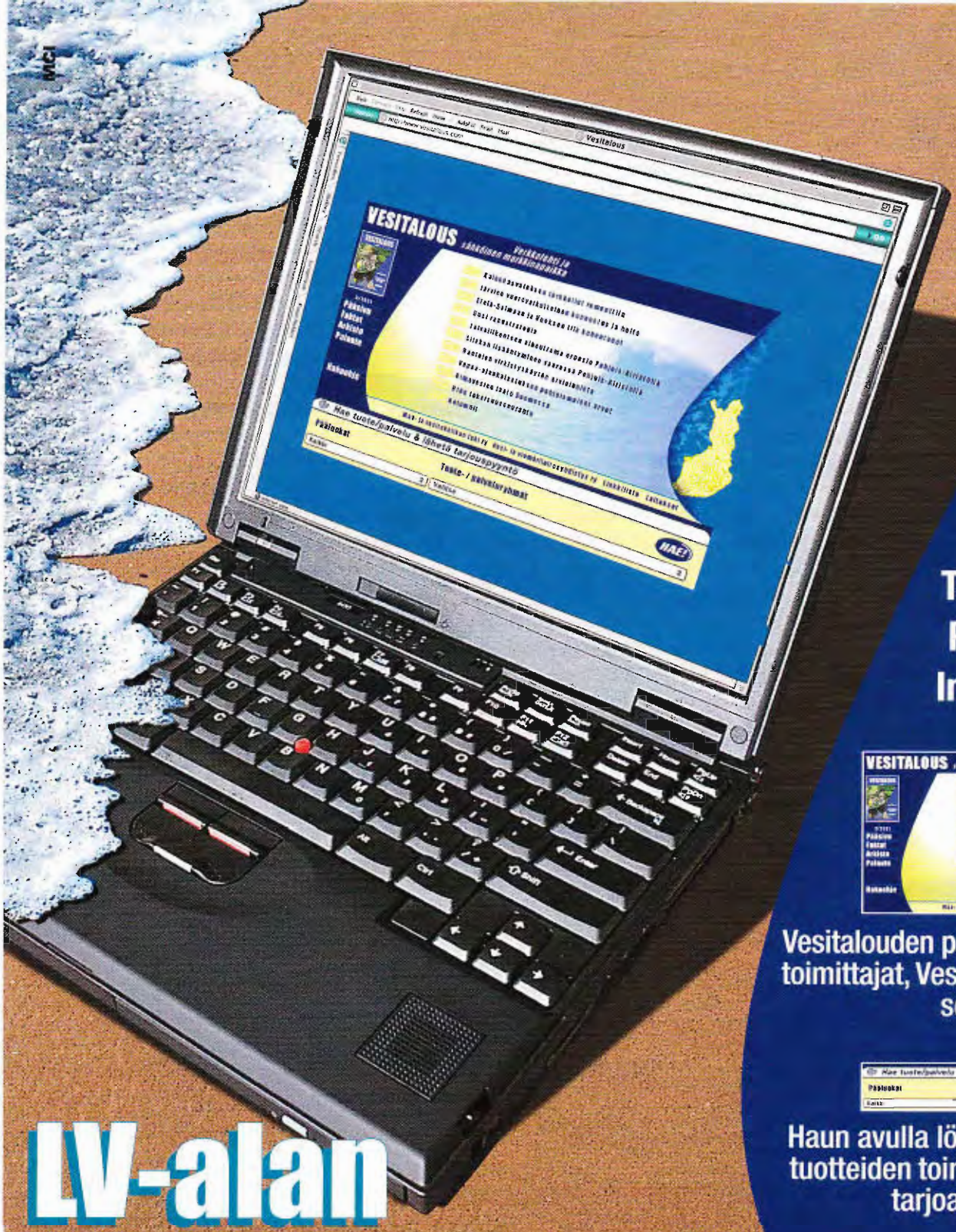
eella esiintyy liikkuvia ahtojäitä. Tuuliturbiinien koon kasvaessa jääkuormitusten suhteellinen osuus vähenee jopa ahtojäidenkin tapauksessa, jolloin tuulipuistojen perustaminen liikkuvan jään alueelle tulee kannattavaksi. Jo 2 MW:n turbiinin tuulikuorma aiheuttaa perustukseen 10 m syvyydellä selvästi suuremman momentin kuin kiintojään murtuminen kartiota vasten. Lisäksi laajan tuulipuiston perustukset sitovat jääkentän paikoilleen vähentäen liikkuvan jään kuormien merkitystä edelleen.

Vaikka Suomi on jälkijunassa tuulienergiapuistojen rakentajana, olemme silti yksi suurimmista tuulivoimaloiden materiaalien ja komponenttien toimittajista. Perustusten jääkuormista suomalaisilla on ehkä maailman paras tietämys, joka on hankittu avomerimajakoiden ja reunamerkkien jääkuormamitoituksesta ja kenttämittauksista. Näiden rakenteiden perustukset ovat kooltaan samaa suuruusluokkaa kuin mitä tarvitaan tuuliturbiineille. Meillä on myös ainutlaatuiset täyden mittakaavan mittaustulokset kartion jäävoimista. Kartio perustuksen vesirajassa on välttämätön liikkuvan jääkentän alueella estämään pahat jään aiheuttamat värähtelyt. Myös näistä värähtelyistä on Suomessa tehty ainutlaatuista tutkimusta kehitettäessä jousitettu teräsmajakka ja värähtelyjä kestäviä reunamerkkejä.

On ilmeistä, että lähivuosina rakennetaan merkittävästi tuulienergiaa Suomen avomerialueille. Tämä vesistöjen passiivinen käyttö tuo mukanaan kytkennän myös vesistöjen aktiiviseen käyttöön. Tuulienergiaa ei ole jatkuvasti saatavissa, se tarvitsee tyynien jaksojen ajaksi korvaavaa energiaa. Vielä ei ole onnistuttu kehittämään taloudellisesti kannattavaa varastointitapaa tuuli- tai aurinkoenergialle. Vetyenergia, eli veden hajottaminen vedyksi ja hapeksi, sekä varastointi ja vedyn poltto, ovat vielä tulevaisuuden lupauksia. Vesivoima on ihanteellista säätövoimana. Uusiutuvien energiavarojen tehokas käyttö edellyttää samalla säätövoiman lisäämistä. Tuntuu käsittämättömältä, että Vuotoksen altaan tarjoama potentiaali jätetään käyttämättä. Perusteluna on ollut Vuotoksen suoalueiden ainutlaatuisuus. Lapin kävijänä ja erityisesti lentäjän lintuperspektiivistä paljon pohjoista kiertäneenä voin vakuuttaa, että samanlaisia ainutlaatuisia soita kuin Vuotoksessa löytyy Lapista satoja.

Kiitämme Vesitalouden lukijoita, kirjoittajia ja ilmoittajia hyvästä yhteistyöstä kuluneena vuonna ja toivotamme teille kaikille hyvää ja menestyksellistä uutta vuotta!

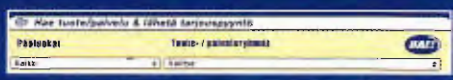
Toimitus



LV-alan sähköinen markkinapaikka

Tarjouspyyntöjä? Pyydä ne kerralla Internetin kautta.

Vesitalouden portaalilla ovat LV-alan toimittajat, Vesitalouden verkkoleht sekä hyödylliset linkit



Haun avulla löydät sadasta LV-alan tuotteiden toimittajasta ja palvelun tarjoajasta sinulle sopivat.

Kokeile ja voita!

Osallistu www.vesitalous.com -portaalilla kilpailuun. Voi voittaa luxus-risteilyn, lähdevettä ta Vesitalous-lehden vuosikerran.

tai helpompi tapa: www.vesitalous.com

VESITALOUS

Sisällysluettelo 2001

N:o 1
- **Timo Maasilta:** Vesitalous uudistuu
- **Pekka Hänninen:** Dielektrisyys kertoo lumen vesiarvon ja sulamisherkkyyden
- **Minna Hanski ja Jaakko Sierla:** Maankuivatuksen, kastelun ja tulvasuojelun kansainväliset ja kansallisetnäkymät
- **Päivi Rajala:** Geofysikaaliset menetelmät pilaantuneiden maa-alueidentutkimuksessa
- **Pertti Seuna:** Hydrologit Abujassa
- **Sakari Halmemies:** Alipainepumppaus kemikaalien torjunnassa
- **Hanna Kahelin et al.:** Alkuainepitoisuudet ja radioaktiivisuus suomalaisissa porakaivovesissä
- **Marko Stenroos:** Vaaniiko viemäreissä vaara?
- **Lea Kauppi:** Näkökulmia

N:o 2
- **Markku Maunula:** Mikä ihmeen vesipuitedirektiivi?
- **Tuomas Kuokkanen:** EY:n ympäristölainsäädännön vaikutus Suomen lainsäädäntöön
- **Airi Karvonen:** Direktiivi uudistaa vesipolitiikan suuntaviivat EU:ssa
- **Kai Kaatra:** Vesipolitiikan puitedirektiivi ja vesivarojen käyttö
- **Risto Timonen ja Mika Marttunen:** Puitedirektiivin täytäntöönpano rakennetuissa ja säännöstellyissä vesistöissä
- **Pertti Heinonen:** Puitedirektiivin edellyttämästä tutkimustoiminnasta
- **Tuomas Kuokkanen:** Tonavan yleissopimus vesiensuojelua vai vesivarojen hoitoa?
- **Leena Hiisvirta:** Ihmisten käyttöön tarkoitettu vesi
- **Pertti Seuna:** Maailman vesipäivä Helsingissä
- **Sanna Marttinen:** Kaatopaikkavesipuhdistamot Suomessa
- **Tero Kärkkäinen:** Tihkukastelu säästää vettä
- **Timo Mäkelä:** Ympäristöpolitiikkaa EU:ssa – mistä tulemme ja minne menemme

N:o 3
- **Juhani Kettunen:** Vesitalouden kesäkuu
- **Tuija Honkanen et al.:** Kalankasvatuksen tarkkailut remonttiin
- **Juha Keto:** Järvien vuorovaikutteinen kunnostus ja hoito
- **Riitta Heikka et al.:** Etelä-Saimaan ja Vuoksen tila kohentunut
- **Ari Mannonen:** Uusi rapustrategia
- **Jorma Rytkönen et al.:** Laivaliikenteen aiheuttama eroosio Pohjois-Airistolla
- **Petri Vahteri ja Ilppo Vuorinen:** Silakan lisääntyminen vaarassa Pohjois-Airistolla
- **Jouko Peltokangas:** Rantojen virkistyskäyttöhaittojen arvioinnista
- **Anna-Liisa Toivonen:** Vapaa-ajankalastuksen pohjoismaiset arvot
- **Outi Zacheus:** Uimavesien laatu Suomessa
- **Erkki Vuori ja Anna Pelander:** Utön toksisuusseuranta
- **Pertti Vakkilainen:** Ajatuksia vedestä

N:o 4
- **Riku Vahala:** Tutkimusta ja tuotekehitystä
- **Katriina Kujala-Räty:** Haja-asutuksen jätevesien käsittelyn pulmat ja kustnanukset
- **Riina Liikanen ja Jukka Yli-Kuivila:** Nanosuodatuksen käytön optimointi talousveden valmistuksessa
- **Pirjo Rantanen et al.:** Jätevesien ravinteidenpoisto tehostuu jälkisuodatuksella ja hydrolyysillä
- **Kai Kaatra:** Odotukset vesihuoltolain toimeenpanossa
- **Eero Kontula:** Suomen vesialan kehitysyhteistyö vuoteen 2000
- **Tapani Kohonen:** Suomen Itämeren suojeluohjelma
- **Pertti Heinonen ja Pauli Kleemola:** Ympäristönäytteenottajien henkilösertifiointi
- **Seppo Salonen et al.:** Porin raakavesilähteen ekologinen tila
- **Risto Laukkanen:** Vesihuollon teknologiaohjelma

N:o 5
- **Erkki Vuori:** Puhdasta talousvettä
- **Terttu Vartiainen et al.:** Vesiepidemiat ja niiden syyt
- **Ilkka Miettinen et al.:** Vesiepidemioiden ehkäisy
- **Helvi Heinonen-Tanski:** Miten listeria voi levitä elintarvikkeisiin veden välityksellä?
- **Riitta Kettunen ja Pertti Keskitalo:** Nanosuodatus ja käänteisosmoosi pohjaveden epäorgaanisten aineiden poistamisessa
- **Heikki Kiuru:** Esiselkeytys on historiaa
- **Pasi Hellstén ja Taina Nystén:** Liukkaudentorjunta ja pohjavedet
- **Jorma Niemi et al.:** Vesien tilan seuranta euroaikaan
- **Hannu Sarvanne:** Vaikeat paineviemärit
- **Katriina Etholén:** Viktoriaanista viemäröintiä
- **Kyösti Jumppanen:** Kalankasvatuksen tarkkailutko remonttiin?
- **Kalle Löövi:** Vettä ihmisille ja ihmiset turvaan

N:o 6
- **Esko Kuusisto:** Valkeat varastot
- **Anna Sinisalo ja Anja Pälli:** Suomalaista jäätikkötutkimusta Etelämantereella ja Huippuvuorilla
- **Eija Kärkäs et al.:** Lumitutkimusta Suomesta Etelämantereelle
- **Matti Leppäranta:** Merten jääolot
- **Matti Leppäranta ja Lauri Arvola:** Suomen järvien jäinen talvi
- **Hannu Majuri:** Hyödynarviointi järvien kunnostushankkeissa
- **Simo Laakkonen:** Itämeren tuntematon ympäristöhistoria
- **Tapani Kohonen:** Suomen Itämeren suojeluohjelma
- **Jyrki Tenhunen:** Ekotehokkuusanalyysi
- **Mauri Määttänen:** Vesistöt ja energia

Klikkaa www.onninen

Onninen WebShop

Sähköinen kauppapaikka

- alan ammattilaisille
- nopea ja helppo
- asiakaskohtainen
- aina ajan tasalla
- auki 7 päivänä viikossa
- myös osoitteessa www.onninenwebshop.com

Onninen WebInfo

Sähköinen tuotekirjasto

- tuotekuvia
- perustietoja tuotteista
- teknisiä lisätietoja
- käyttö- ja asennusohjeita

Lisätietoja omalta myyjältäsi!

Päätoiminnoille Suomessa

Jakelu, logistiikka-keskukset ja keskus-varasto Suomessa

onninen

Teknistä tukkukauppaa Itämeren alueella • Asiakkaina urakoitsijat, jälleenmyyjät, teollisuus ja julkiset organisaatiot
Henkilöstöä 2000, joista 1000 ulkomailla • 100 toimipaikkaa seitsemässä maassa • Liikevaihto 4,2 mrd. mk