

VESITALOUS

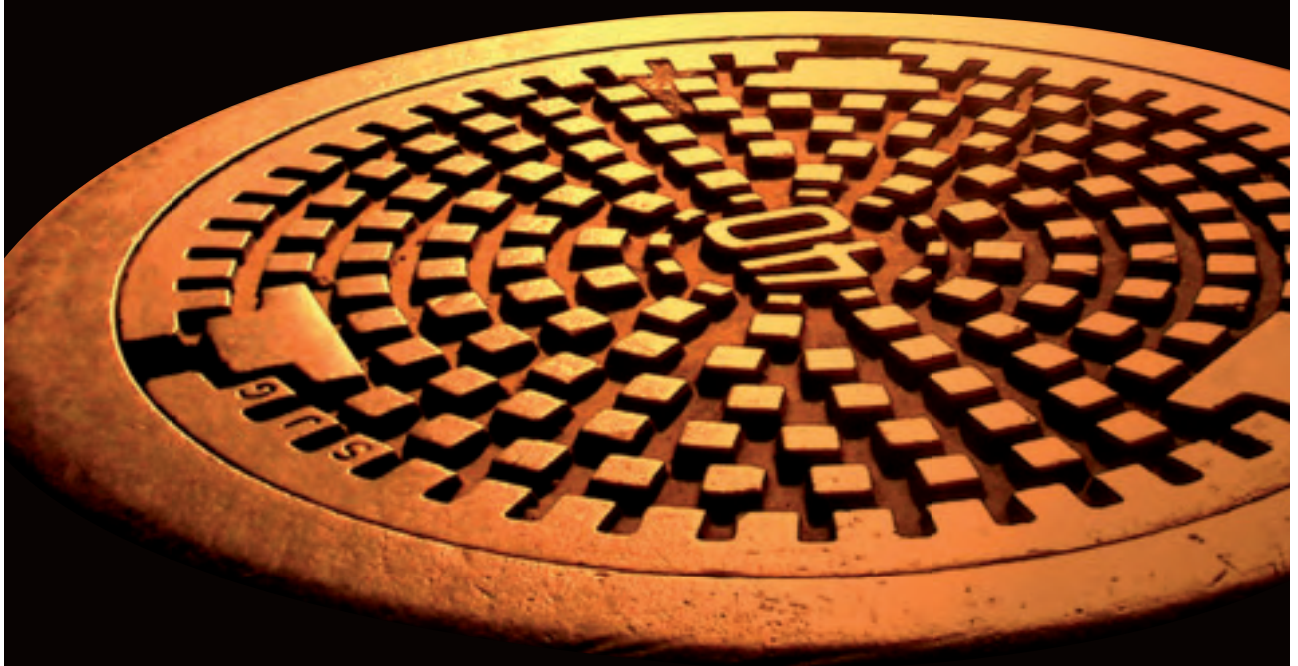
4/2010

50
VUOTTA



Mikro-
pollutantit

Valaistunut valinta!



Lähihoimitukset säästävät luontoa.
Niemisen Valimo ei ole valtamerten takana.

Niemisen Valimon **kansistot** vain Liningilta
Tilaa uusi esitteemme osoitteesta vesa.kopra@lining.fi

 **Lining**
INDUTRADE GROUP

Puh. 029 006 160 www.lining.fi

 **NIEMISEN VALIMO**

Puh. 010 403 4600 www.niemisenvalimo.fi

keadm.fi



Vol. LI

Julkaisija

YMPÄRISTÖVIESTINTÄ YVT OY

Puhelin (09) 694 0622

Annankatu 29 A 18

00100 Helsinki

Kustantaja

TALOTEKNIikka-JULKAISUT OY

HARRI MANNILA

E-mail: harri.mannila@talotekniikka-julkaisut.fi

Päätoimittaja

TIMO MAASILTA

Maa- ja vesiteknikan tuki ry

Annankatu 29 A 18

00100 Helsinki

E-mail: timo.maasilta@mvtt.fi

Toimitussihteeri

TUOMO HÄYRYNEN

Puistopiha 4 A 10

02610 Espoo

Puhelin (050) 585 7996

E-mail: tuomo.hayrynen@talotekniikka-julkaisut.fi

Tilaukset ja osoitteenmuutokset

TAINA HIIKKÖ

Maa- ja vesiteknikan tuki ry

Puhelin (09) 694 0622

Faksi (09) 694 9772

E-mail: vesitalous@mvtt.fi

Ilmoitukset

HARRI MANNILA

Koivistontie 16 B

02140 ESPOO

Puhelin (050) 66174

E-mail: harri.mannila@gmail.com tai

ilmoitus.vesitalous@mvtt.fi

Kannen kuva

JUKKA NISSINEN

Painopaikka

FORSSAN KIRJAPAINO OY

ISSN 0505-3838

Asiantuntijat ovat tarkastaneet lehden artikkelit.



Toimituskunta

MINNA HANSKI

dipl.ins.

Maa- ja metsätalousministeriö

ESKO KUUSISTO

fil.tri, hydrologi

Suomen ympäristökeskus,

hydrologian yksikkö

RIINA LIIKANEN

tekn.tri, vesihuoltosinööri

Vesi- ja viemärlaitosyhdistys

HANNELE KÄRKINEN

dipl.ins., ympäristösinööri

Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

SAIJARIINA TOIVIKKO

dipl.ins., vesihuoltosinööri

Vesi- ja viemärlaitosyhdistys

RIKU VAHALA

tekn.tri., vesihuoltotekniikan professori

Aalto-yliopisto, Teknillinen korkeakoulu

OLLI VARIS

tekn.tri, vesitalouden professori

Aalto-yliopisto, Teknillinen korkeakoulu

ERKKI VUORI

lääket.kir.tri, oikeuskemian professori

Helsingin yliopisto, oikeuslääketieteen laitos



Lehti ilmestyy kuusi kertaa vuodessa.

Vuosikerran hinta on 55 €.

Tämän numeron kokosi

ERKKI VUORI

E-mail: erkki.o.vuori@helsinki.fi



4 Mikropollutantit - mistä oikein on kysymys?

JARI KEINÄNEN

MIKROPOLLUTANTIT

6 Hormonitoimintaa häiritsevät aineet

ANNA-LEA RANTALAINEN JA HEIDI JÄÄSKELÄINEN

Hormonitoimintaa häiritsevien yhdisteiden pitoisuuksia tutkittiin Porvoonjoen vedessä ja pohjasedimentissä.

Tutkittaviin yhdisteisiin kuului hyvin tunnettuja ympäristömyrkyjä kuten PAH- ja PCB-yhdisteet sekä useita uudempia ympäristökemikaaleja, kuten PCM- ja PBDE-yhdisteet.

11 Lääkeaineet vesistöjemme kuormittajina

NIINA VIENO

Suomessa syödään lääkkeitä vuosittain arviolta lähes miljoona kilogrammaa puhtaaksi lääkeaineeksi

muutettuna. Jätevedenpuhdistus ei poista kaikkia aineita ja ne päätyvät vesistöihin aiheuttaen haittoja muun muassa kaloille.

14 Huumejäämät jätevedessä

ERKKI VUORI, MERJA RANTA, JAAKKO PIIRHONEN, MARI HEINONEN JA RIKU VAHALA

Tutkimalla huumeainesten esiintymistä yhdyskuntajätevesissä saadaan tietoa siitä, mitä huumeainetta alueella käytetään ja kuinka paljon. Viikinmäen jätevedenpuhdistamolta otetuista näytteistä saatiin arvio pääkaupunkiseudun tilanteesta.

18 Talusveden desinfiointin sivutuotteet

PANU RANTAKOKKO

Vaikka tähän päivään mennessä on tunnistettu 600...700 eri sivutuotetta eri tekniikoilla desinfioiduista

talusvesistä, desinfiomattoman talusveden mikrobiologiset riskit ovat moninkertaiset verrattuna desinfiointin sivutuotteista mahdollisesti aiheutuviin terveyshaittoihin.

20 Syanobakteerit ja niiden tuottamat toksiinit

JARKKO RAPALA JA KIRSTI LAHTI

Syanobakteereja on tutkittu Suomen vesillä ja vesilaitoksilla jo reilun neljännesvuosisadan ajan. Huolimatta

tehostuneista vesienpuhdistuslaitosten syanobakteereja esiintyy raakavesilähteissämme, ja tuleva ilmastonmuutos voi entisestään lisätä niistä aiheutuvia ongelmia.

26 Katsaus kasvisuojeluaineiden esiintymiseen pohjavedessä

JUHANI GUSTAFSSON

Kasvisuojeluaineiden aiheuttamia pohjaveden pilaantumistapauksia tunnetaan Suomessa ainoastaan

muutamia ennen vuotta 2000. Synnä tähän saattaa olla se, että kasvisuojeluaineiden systemaattista pohjavesiseurainta ei ole tehty samassa mittakaavassa kuin muualla Euroopassa.

30 Uusi direktiivi vahvistaa pintavesille haitallisten aineiden laatuvaatimukset

SUSAN LONDESBOROUGH JA JAAKKO MANNIO

VESISTÖJEN KUNTO

32 Tenojoen veden laatu vuosina 1964–2008

JORMA NIEMI

VESIVOIMA

37 Tulovirtaamaennusteita tarkentamalla lisää vesivoimaa

JARKKO KOSKELA

AJANKOHTAISTA

40 Finnish Water Forum – suunnitelmista toimintaan

KATRI MEHTONEN JA SAIIJA VUOLA

44 Liikehakemisto

50 Abstracts

51 Vedestä globaali niukkuustekijä

MIRA POVELAINEN

Seuraavassa numerossa teemana on
Pohjavedet.

Vesitalous 5/2010 ilmestyy 1.10.2010.
Ilmoitusvaraukset 27.8. mennessä.



MIKROPOLLUTANTIT

- MISTÄ OIKEIN ON KYSYMYS?

Pääkirjoitus

Lääkkeitä käytetään tänä päivänä suuria määriä niin globaalisti kun kansallisesti. Lisäksi käytämme monenlaisia muita kemikaaleja päivittäin muun muassa peseytymiseen, kauneuden hoitoon jne. Harvoin tulee kuitenkaan ajateltua, että osa näistä kemikaaleista joutuu lopulta pieninä pitoisuuksina sellaiseen tai muuntuneena jäteveden mukana ympäristöömme, vaikka jätevesiä puhdistetaan tehokkaasti - ainakin Suomessa. Näitä vesissä pieninä pitoisuuksina esiintyviä biologisesti aktiivisia vieraita aineita kutsutaan usein veikeästi englannista (micro pollutants) käännettynä mikropollutanteiksi.

Mikropollutantit voivat olla ihmistoiminnan seurauksena syntyneitä tai luonnollista alkuperää, kuten sinilevätoksiinit, vaikka niidenkin esiintymisen laajenemiseen on ihmistoiminnalla keskeinen merkitys. Orgaanisia mikropollutanteja ovat levätoksiinien lisäksi muun muassa torjunta-aineet ja niiden hajoamistuotteet, hygieniatuotteet, lääke- ja huumausainejäämät sekä kloorauksen sivutuotteet.

Mikropollutantit voivat ympäristöön päästyään rikastua ravintoketjuihin (muun muassa kaloihin) sekä ravinnon ja juomaveden välityksellä siirtyä myös ihmisiin. Vesiympäristössä ne esiintyvät erittäin pieninä pitoisuuksina, mutta voivat siitä huolimatta aiheuttaa haitallisia vaikutuksia vesieliöihin. On esimerkiksi löytynyt viitteitä siitä, että eräät mikropollutantit saattavat aiheuttaa häiriöitä kalojen lisääntymiseen.

Talousvesissä mikropollutanteja esiintyy tehokkaan vedenkäsittelyn ansiosta vielä luonnonvesiä pienempinä, juuri ja juuri mitattavissa olevina pitoisuuksina. Ravinnosta ja juomavedestä tehdyissä tutkimuksissa on pyritty selvittämään muun muassa, pystyvätkö pieninä pitoisuuksina esiintyvät mikropollutantit vaikuttamaan ihmisen hormonien toimintaan ja voiko niiden yhteisvaikutuksella olla merkitystä jopa joidenkin syöpien ilmaantuvuuteen. Keski- ja Etelä-Euroopassa mikropollutantteihin liittyvä tutkimus on jo vuosia ollut laajaa ja poliittisessa keskiössä, sillä siellä talousvesi valmistetaan - toisin kuin meillä - usein jätevesien saastuttamasta pintavedestä tai torjunta-aineiden saastuttamasta pohjavedestä. Tutkimuksissa ei kuitenkaan ole pystytty osoittamaan, että mikropollutanteilla olisi pieninä pitoisuuksina talousvedessä tai ravinnossa esiintyessään haitallisia vaikutuksia ihmisen terveyteen. Tulee lisäksi muistaa, että altistuminen mikropollutanteille esimerkiksi hygieniatuotteita käytettäessä on monta kertaa suurempi kuin pahimmillaankaan veden kautta.

Riskinarvioinnin perusteella EU:n talousvesi-, pohjavesi- ja jätevesisäännöksiin ei ole otettu määräyksiä mikropollutanttien pitoisuusrajoista lukuun ottamatta torjunta-aineita ja desinfiointin sivutuotteita. WHO:lla ei myöskään ole tällä hetkellä laajaa aktiviteettia juomaveden mikropollutanttien terveyshaittojen tutkimuksen lisäämiseksi.

Tässä numerossa esitellään mikropollutanttien esiintymiseen, torjuntaan ja poistoon liittyvää tutkimusta Suomessa. Mielestäni mikropollutanttien vaikutuksia vesieliöihin ja ihmisen terveyteen tulee jatkossakin tutkia, mutta erityisesti toivoisin, että tutkimusta kohdistettaisiin niihin mikropollutantteihin, joilla näyttäisi nyt tehtyjen tutkimusten perusteella olevan eniten vaaraa vaikuttaa ihmisten terveyteen ja vesieliöihin. 💧



JARI KEINÄNEN
Johtaja
Sosiaali- ja terveysministeriö,
Ympäristöterveysryhmä
E-mail: jari.keinanen@stm.fi

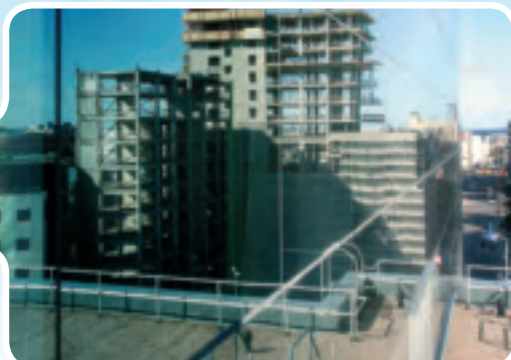


6.–9.10.2010
Helsingin Messukeskus

Toimivan ympäristön rakentaja

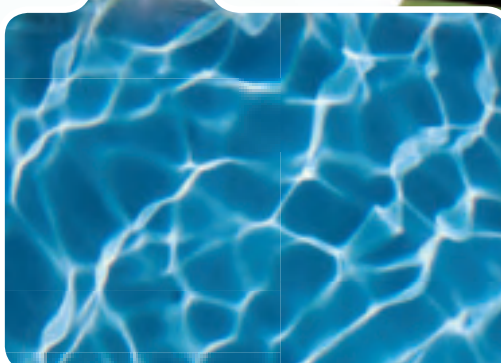
Ympäristö, Yhdyskunta, Vesi & Viemäri, Jäte & Kierrätys 2010 on ympäristö- ja yhdyskunta-alan ammattitapahtuma, joka koostuu näyttelystä ja laajasta seminaari- ja tietoisku-ohjelmasta.

Tervetuloa messuille päivittämään tietosi ja tapaamaan alasi ihmisiä!



Tutustu huippuseminaareihin
ja rekisteröidy kävijäksi veloitusetta:
www.ymparistotekniikkamessut.fi

Ympäristön hyväksi -palkinto haettavana.
Ehdotukset 1.9. mennessä
ymparistopalkinto@finnexpo.fi



Samanaikaisesti:



Mediayhteistyökumppani:



Avoinna: ke–pe klo 9–17, la klo 10–16.

www.ymparistotekniikkamessut.fi



HORMONITOIMINTAA HÄIRITSEVÄT AINEET



ANNA-LEA RANTALAINEN
FT
Helsingin yliopisto,
Ympäristötieteiden laitos
E-mail: anna-lea.rantalainen@helsinki.fi



HEIDI JÄÄSKELÄINEN
FM
Helsingin yliopisto,
Ympäristötieteiden laitos
E-mail: heidi.jaaskelainen@helsinki.fi

Kotitalouksien ja teollisuuden jätevesien mukana päätyy paljon erilaisia haitallisia kemikaaleja jätevedenpuhdistamoille. Suurin osa näistä aineista saadaan joko hajotettua biologisten ja kemiallisten prosessien avulla tai poistumaan puhdistamolietteeeseen sitoutumalla. Kuitenkin aineita päätyy purkuvesien mukana ympäristöön jossain määrin.

Vesistöissä haitalliset aineet voivat kerääntyä eliöihin, päätyä pohjasedimenttiin, sitoutua partikkeleihin tai pysyä liukoises- sa muodossa, jolloin ne voivat kulkeu- tua kauas purkukohdasta. Ravinteiden ja orgaanisen materiaalin pitoisuuksia jätevesissä seurataan jatkuvasti, mutta vähemmän huomiota ovat saaneet orgaaniset haitta-aineet.

Joillakin orgaanisilla kemikaaleilla on todettu olevan hormonijärjestelmän kautta ilmeneviä vaikutuksia eliöissä. Nämä vaikutukset kohdistuvat hormonoiminnan kautta muun muassa eliön kehitykseen, kasvuun, lisääntymiseen ja käyttäytymiseen. Yhdisteillä on todettu olevan haitallisia vaikutuksia esimerkiksi vesieläiden sukupuolen määrääntymiseen ja niillä epäillään olevan yhteyttä myös ihmisen hedelmällisyyden alenemiseen. Ympäristössä hormonaalisia vaikutuksia aiheuttavia yhdisteitä ovat luonnolliset hormonit esimerkiksi estrogeenit, synteettiset hormonit (ehkäisyvalmisteet, hormonikorvaushoito) sekä rakenteellisesti hormoneja muistuttavat synteettiset kemikaalit.

Työssä tutkittiin hormonoimintaa häiritsevien yhdisteiden pitoisuuksia Porvoonjoen vedessä ja pohjasedimentissä. Tutkittaviin yhdisteisiin kuului vanhoja, hyvin tunnettuja ympäristömyrkköjä kuten PAH- ja PCB-yhdisteet sekä useita uudempia ympäristökemikaaleja, kuten PCM- ja PBDE-yhdisteet (Taulukko 1). Yhteistä kaikille yhdisteille on hormonoimintaa

häiritsevät vaikutukset tai vähintään epäily siitä.

Porvoonjoki

Porvoonjoki on pienehkö joki, joka alkaa Salpausselän etelärinteiltä (Kuva 1). Joki virtaa Kärkölän, Hollolan, Lahden, Orimattilan, Pukkilan, Askolan sekä Porvoon kautta Suomenlahteen. Joen kokonaispituus on 143 km ja valuma-alue noin 1 270 km². Suurimmat sivujoet ovat Palojoen ja Puujoki sekä Mallusjärvestä laskeva Vähäjoki. Porvoonjoen varrella sijaitsevat taajamat käyttävät jokea puhdistetun jäteveden vastaanottavina vesistöinä. Merkittävin näistä taajamista on Lahden kaupunki ja Hollolan kunta, joiden tuottama jätevesimäärä on yhteensä noin 30 000 m³ vuorokaudessa. Lahden kaupungin alueella sijaitsee kaksi Lahti Aqua Oy:n puhdistamo, toinen Salpausselän pohjoispuolella ja toinen eteläpuolella. Minimivirtaaman takaamiseksi Porvoonjokeen voidaan tarvittaessa johtaa lisää vettä Vesijärvestä. Näiden puhdistamojen lisäksi Porvoonjokeen puretaan puhdistetut jätevedet Orimattilan, Pukkilan, Askolan sekä Palojoen kautta Nastolan puhdistamoilta.

Näytteenotto passiivisilla keräimillä

Jätevesiperäisten yhdisteiden kulkeutumista Porvoonjoessa tutkittiin passiivisten keräinten avulla (Kuva 2). Passiiviset keräimet pidetään tutkittavassa ympä-

Taulukko 1. Tutkittujen yhdisteiden nimet, lyhenteet sekä pääasiallinen käyttötarkoitus tai päästölähde.

Yhdiste	Lyhenne	Käyttö
Polysykliset myskit	PCM	Hajusteina mm. pesuaineissa ja kosmetiikassa
Polyaromaattiset hiilivedyt	PAH	Poltot, liikenne, petrokemialliset tuotteet, kreosootti
Polyklooratut bifenyylit	PCB	Eristeaineina kondensaattoreissa ja muuntajissa, rakennusten saumaussmassat
Polybromatut difenyylietterit	PBDE	Tekstiilien ja muovien palonestoaine
Bisfenoli A	BPA	Polykarbonaattimuovien ja epoksihartsien valmistus
Alkyylifenolit	AP	Autonrenkaiden, muovien, pesuaineiden valmistus (alkyylifenolietoksyylaattina)
Triklosaani	TCS	Antibakteerinen aine pesuaineissa ja kosmetiikassa
Metyylitriklosaani	MTCS	Triklosaenin biologisen hajoamisen tuote



Kuva 1. Porvoonjoen valuma-alue.
 ◄ = jätevedenpuhdistamon purkupaikka
 ① = näytteenottopiste

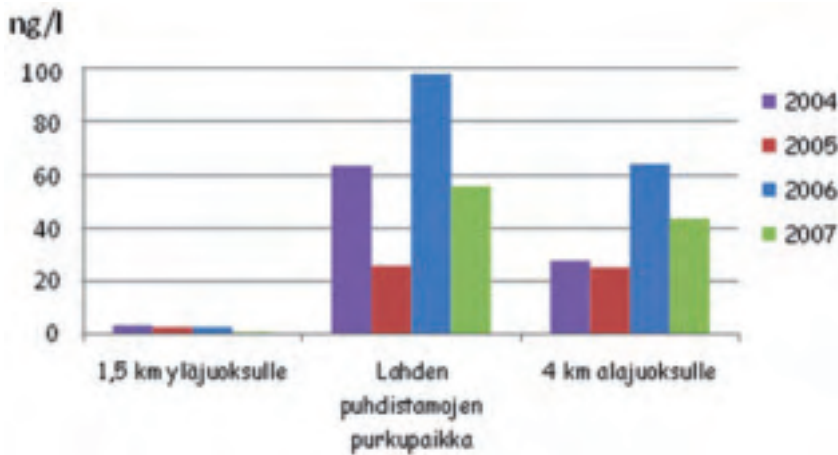


Kuva 2. Näytteenotossa käytettiin apuna passiivisia keräimiä. Kuvassa vasemmalla on vesiliukoisille yhdisteille tarkoitettu POCIS-keräin ja oikealla heikosti vesiliukoisille yhdisteille tarkoitettu SPMD-keräin.

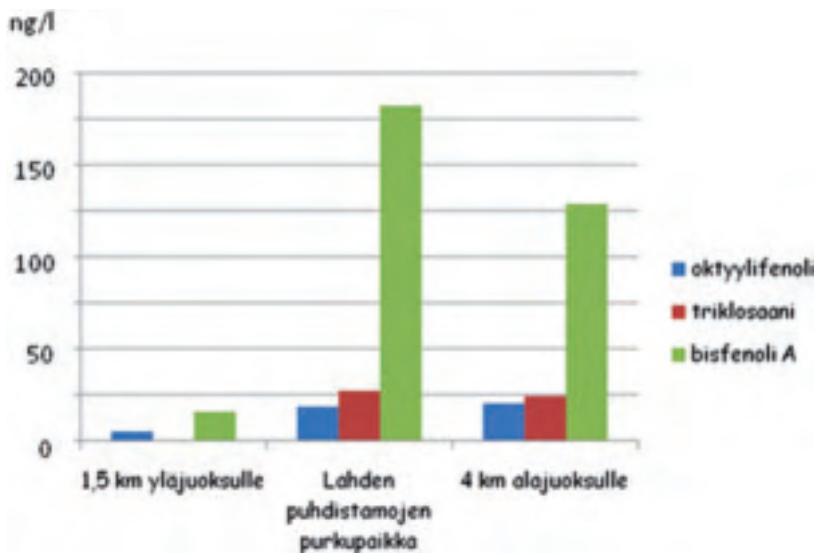
ristössä muutaman viikon ajan, jolloin veteen liunneet haitta-aineet kertyvät keräimeen. Altistuksen jälkeen keräinten haitta-ainepitoisuudet analysoidaan laboratoriossa ja pitoisuuksista voidaan laskea veden keskimääräinen pitoisuus. Tässä tutkimuksessa käytettiin kahta erilaista keräintyyppiä. SPMD-keräin

on tarkoitettu rasvaliukoisille, kuten PCM, PAH, PCB ja PBDE-yhdisteille. POCIS-keräin puolestaan kerää vesiliukoisempia AP-, BPA- ja TCA-yhdisteitä. Passiiviset keräimet muistuttavat eliötä, sillä ne keräävät ainoastaan liuenneesta muodossa olevia yhdisteitä, eikä esimerkiksi hiukkasiin sitoutu-

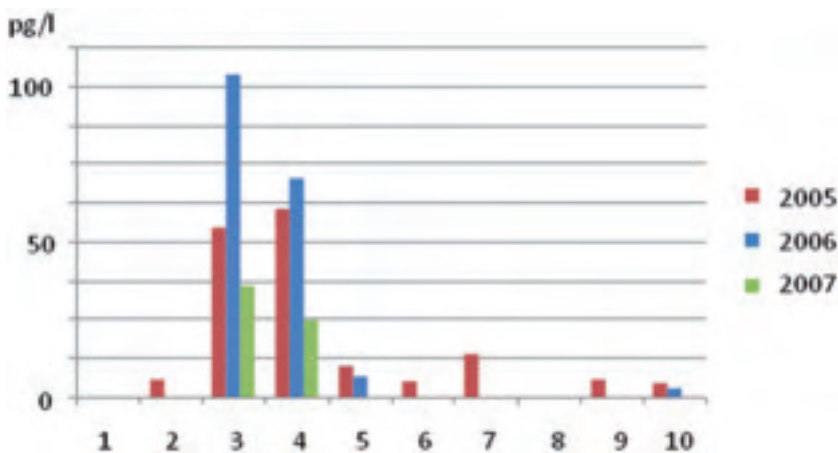
neita aineita. Näin ollen niiden keräämien yhdisteiden pitoisuudet kuvaavat haitta-aineiden niin sanottua biosaataavaa pitoisuutta. Passiivisten keräinten lisäksi näytteitä on projektin yhteydessä otettu myös Porvoonjoen pohjasedimentistä, ahvenista sekä jätevedenpuhdistamon prosessin eri vaiheista.



Kuva 3. Synteettisten myskien pitoisuudet (ng/l) Porvoonjoen vedessä Lahden jätevesien purkupaikan läheisyydessä (näytteenottopisteet 2-4) vuosina 2004-2007.



Kuva 4. Fenolisten yhdisteiden pitoisuudet (ng/l) Porvoonjoen vedessä Lahden jätevesien purkupaikan läheisyydessä (näytteenottopisteet 2-4) vuonna 2008.



Kuva 5. PBDE-yhdisteiden pitoisuudet (pg/l) Porvoonjoen vedessä vuosina 2005-2007. Numerot kuvaavat näytteenotto pisteitä yläjuoksulta (numero 1) alajuoksulle Pukkilaan saakka (numero 10).

Puhdistamot päästävät hajusteita ja BPA:ta

Rasvaliukoiset yhdisteet sitoutuvat puhdistusprosessin aikana poistuvaan kiinteään lietteeseen tehokkaasti. Esimerkiksi hajusteista saadaan tällä tavoin poistettua yli 80 prosenttia. Hajusteiden pitoisuudet puhdistamolle tulevassa jätevedessä ovat kuitenkin moninkertaisia, joten osa niistä kulkeutuu prosessin mukana myös vastaanottavaan vesistöön (Kuva 3). Porvoonjoen veden hajustepitoisuus kohoaa puhdistamon kohdalla palatakseen taas alkuperäiselle tasolle seuraavien parinkymmenen kilometrin matkalla. Rasvaliukoisina yhdisteinä hajusteet päätyvät sedimenttiin ja kerääntyvät eliöihin. Ahvenista määritettiinkin kohtalaisen suuria pitoisuuksia hajusteita, suurimmillaan 440 ng/g (tuorepaino). Pitoisuudet ovat noin 10 kertaa suurempia kuin syrjäisten eurooppalaisten järvien taimenissa, mutta vain noin kymmenesosa Ruhr-joen ahveniin verrattuna.

Tutkituista yhdisteistä myös Bisfenoli A:n (BPA) pitoisuudet Porvoonjoessa kasvoivat selkeästi puhdistamon jälkeen (Kuva 4). BPA-pitoisuudet puhdistamolle tulevassa jätevedessä ovat hajusteiden tavoin moninkertaisia muihin yhdisteisiin verrattuna, ja myös puhdistustehokkuus on samalla tasolla (73...96 %). Vesiliukoisempina yhdisteinä ne eivät sitoudu hajusteiden tavoin voimakkaasti lietteeseen, vaan poistumismekanismi on todennäköisesti biologinen hajoaminen. Triklosaanin ja alkyylifenoleihin kuuluvan oktyylifenolin pitoisuudet kohoavat myös hieman puhdistamon kohdalla. Näiden yhdisteiden pitoisuudet myös puhdistamolle tulevassa jätevedessä ovat BPA:ta alhaisemmat.

PAH-yhdisteiden pitoisuudet ovat puhdistamolle tulevassa jätevedessä hajusteita alhaisemmat ja ne poistuvat hajusteiden tavoin lietteen mukana prosessista noin 80-prosenttisesti. Tästä johtuen ei PAH-yhdisteiden vaikutus näy Porvoonjoessa Lahden puhdistamojen kohdalla. Toisaalta kaupunkialueen vaiku-

tus näkyy Porvoonjoessa siten, että PAH-yhdisteiden pitoisuudet kohoavat jo kaupungin vaikutuspiiriin tultaessa. PAH-yhdisteet ovat peräisin kaupunkialueelta ja ne päätyvät Porvoonjokeen ilmalaskeumana sekä hulevesien mukana. PCB- ja PBDE-pitoisuudet Porvoonjoen vedessä kohoavat puhdistamojen kohdalla, mutta pitoisuudet ovat erittäin pieniä hajusteiden pitoisuuksiin verrattuna (Kuva 5). Näiden yhdisteiden pitoisuudet Porvoonjoen ahvenissa ovat samanlaisia kuin Suomen järvien ahvenista määritetyt pitoisuudet. Ainoastaan Lahden kohdalta ja Porvoosta pyydytyissä ahvenissa pitoisuudet ovat kohonneet.

Yhteenveto

Kemikalisoitumisen myötä haitta-aineita päätyy jäteveden mukana puhdistamoille jatkuvasti kasvavia määriä. Vaikka merkittävä osa haitta-aineista on vedestä poistettavissa, murto-osa jatkaa matkaansa puhdistetun veden mukana ympäristöön. Jätevesiperäiset orgaaniset haitta-aineet ovat jokiympäristössä melko paikallisia, sillä ne hajoavat tai kerääntyvät pohjasedimenttiin, joten kulkeutuminen joen alajuoksulle ja Itämereen ei useimmille yhdisteille ole kovin todennäköistä. Haitallisia vaikutuksia eliöille on odotettavissa lähinnä puhdistamoiden läheisyydessä.

Kirjallisuus

- Alvarez D.A., Petty J.D., Huckins J.N., Jones-Lepp T.L., Getting D.T., Goddard J.P. ja Manahan S.E. (2004). Development of a passive, in situ, integrative sampler for hydrophilic organic contaminants in aquatic environments. *Environmental Toxicology and Chemistry* 23: 1640-1648.
- Birkett, J.W. ja Lester, J.N. (2003). *Endocrine Disrupters in Wastewater and Sludge Treatment Processes*. Lewis Publishers.
- Huckins, J.N., Tubergen, M.W. ja Manuweera, G.K. (1990). Semipermeable membrane devices containing model lipid: A new approach to monitoring the bioavailability of lipophilic contaminants and estimating their bioconcentration potential. *Chemosphere* 20: 533-552.
- Reiner J.L. ja Kannan K. (2006). A survey of polycyclic musks in selected household commodities from the United States. *Chemosphere* 62: 867-873. ♣

Jätä MYRÄNTYÖT ja hanki järkevästi

Halpakomponentit säästävät putkiurakassa muutamia sataasia ja aiheuttavat kymmenien tuhansien lisäkustannukset.

Hyödynnä erityisalojen hankintalain mahdollisuudet. Venttiilit ja liittimet ovat enintään 5 % verkostorakentamisen kokonaiskustannuksista. Valitse Hawlen laatuotteet ja varmistat kestävä kehityksen.



Lining
INDUTRADE GROUP

Oy Lining Ab • Petikontie 20, 01720 Vantaa • Vaihde 029 006 160 • www.lining.fi



Turku
18.–20.5.2011



Alan suurin seminaari- ja näyttelytapahtuma
Yhdyskuntatekniikka 2011

Turun Messu- ja Kongressikeskus
18.–20.5.2011

Koko ala yhdessä näyttelyssä.
www.yhdyskuntatekniikka.fi

LÄÄKEAINEET VESISTÖJEMME KUORMITAJINA

Suomessa syödään lääkkeitä vuosittain arviolta lähes 1 000 000 kg puhtaaksi lääkeaineeksi muutettuna. Jätevedenpuhdistus ei poista kaikkia aineita ja ne päätyvät vesistöihin. Siellä tietyt lääkeaineet voivat kertyä kaloihin, häiritä niiden hormonitoimintaa tai vahingoittaa niiden elimiä.

Lääkeaineiden esiintymistä jätevesissä, ympäristön vesissä ja juomavesissä on tutkittu jo yli kymmenen vuoden ajan. Tänä aikana on kertynyt valtavasti tietoa aineiden pitoisuuksista, poistumisesta jäte- ja talousveden puhdistuksessa sekä aineiden ympäristöhaitoista. Läkkeitä käytetään Suomessakin satoja erilaisia ja ne käyttäytyvät ja vaikuttavat puhdistuksessa ja ympäristössä jokainen omalla tavallaan.

Tähän artikkeliin olen halunnut koota yksinkertaiseen muotoon (ks. kuva seuraavalla aukeamalla) muutaman yleisesti Suomessa ja muualla maailmassa käytössä olevan lääkeaineen kiertokulun ihmisistä jätevedenpuhdistamoiden kautta ympäristöön. Lisäksi kuvassa kerrotaan hieman aineiden ympäristövaikutuksista. Kuvan tiedot perustuvat artikkelin lopussa listattuihin lähteisiin.

Yhteenvetona voi sanoa, että tulevaisuuden päätöksiiimme kuuluu, pitäisikö tietyille haitallisiksi tunnetuille lääkeaineille säätää raja-arvoja puhdistetussa jätevedessä. Tämä voi tulla kysymykseen erityisesti alueilla, joissa jäteveden laimeneminen vastaanottavaan vesistöön on vähäistä ja tällöin aineiden pitoisuudet nousevat haitalliselle tasol-

le. Lukuisat tutkimukset osoittavat, että tietyt lääkeaineet todella ovat haitallisia vesistöissä jo hyvin alhaisissa, alle 100 ng/l pitoisuuksissa. Tällaisiin lukemiin päästään Suomessakin pienissä jokivesistöissä, joiden yläjuoksuilla on jätevesikuormitusta.

Kirjallisuus

- Corcoran, J., Winter, M.J. ja Tyler, C.R. 2010. Pharmaceuticals in the aquatic environment: A critical review of the evidence for health effects in fish. *Critical Reviews in Toxicology*, 40(4), 287-304.
- Heberer, T. 2002. Occurrence, fate, and removal of pharmaceutical residues in the aquatic environment: a review of recent research data. *Toxicology Letter*, 131, 5-17.
- Kallio, J.-M., Lahti, M., Oikari, A. ja Kronberg, L. Metabolites of the aquatic pollutant diclofenac in fish bile. *Environmental Science and Technology*, painossa.
- Monteiro, S.C. ja Boxall, A.B.A. 2010. Occurrence and fate of human pharmaceuticals in the environment. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 202, Springer New York, s. 53-154.
- Vieno, N. 2007. Occurrence of pharmaceuticals in Finnish sewage treatment plants, surface waters, and their elimination in drinking water treatment processes. Väitöskirja, Tampereen Teknillisen Yliopiston julkaisu 666.



NIINA VIENO

TkT, asiantuntija
Vesi-Instituutti WANDER/ Prizztech Oy
E-mail: niina.vieno@vesi-instituutti.fi

Kirjoittaja on tehnyt väitöskirjansa artikkelin aiheesta.



Jäteveden purkuvesistöihin päätyvät lääkkeet, jotka eivät hajoa tai ne eivät tartu lietteeseen tarpeeksi tehokkaasti. Kaikki Matin ja Maijan syömät lääkkeet ovat tällaisia ja niiden pitoisuudet suomalaisissa jokivesistöissä, joihin lasketaan jätevesiä ovat olleet korkeimmillaan seuraavia:

Metoprololi	116 ng/l
Diklofenaakki	65 ng/l
Siprofloksasiini	36 ng/l
EE2	ei mitattu, arvio < 0,5 ng/l*
Karbamatsepiini	80 ng/l
Ibuprofeeni	90 ng/l

*arvioitu käyttömäärän, puhdistusreduktion ja laimenemiskertoimen perusteella

Vesistöissä lääkkeet voivat adsorboitua sedimentteihin, hajota biologisesti tai UV-valon vaikutuksesta. Ne voivat myös suotautua pintavesien mukana pohjavesiin:

- Metoprololi
- Diklofenaakki
- Siprofloksasiini

- EE2

- Karbamatsepiini

- Ibuprofeeni



JÄTEVESILIETE

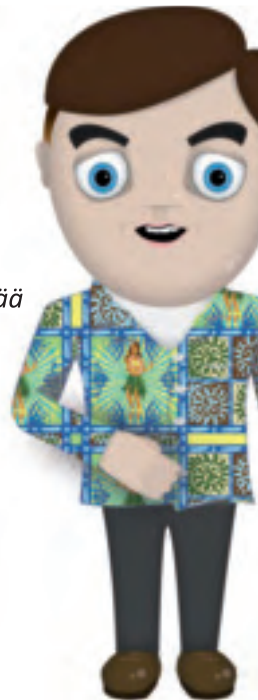
Lietteestä löytyvät suurimmalla todennäköisyydellä:

- Siprofloksasiini
- EE2

Jatkokäsitellyn lietteen hyödyntämisessä esim. maanparannusaineena nämä aineet voivat päätyä pohjavesiin. Siprofloksasiini adsorboituu voimakkaasti maaperään eikä kulkeudu helposti pohjavesiin. Myös EE2 adsorboituu maanainekseen ja biohajoaa melko nopeasti hapellisissa olosuhteissa. Hapettomassa ympäristössä hajoaminen on hidasta.

Matti, 45 v.

- Korkeaa verenpainetta alennetaan betasalpaaja **metoprololilla**.
- Lihassärkyihin Matti käyttää **diklofenaakia** sisältävää kipuvoidetta.
- Matin toistuvia poskiontelotulehduksia on hoidettu **siprofloksasiini-**antibiootilla.



Suomessa syödään lääkettä (lääkeaineena) lähes...

JÄTEVEDENPUHDISTAMO

Jäteveden puhdistuksessa lääkeaineet voivat joko hajota biologisesti tai tarttua puhdistuksen aikana syntyvään lietteeseen. Matin ja Maijan lääkkeet käyttäytyvät seuraavasti:

Metoprololi	poistuma < 20 %, biohajoaa hitaasti
Diklofenaakki	poistuma < 20 %, biohajoaa hitaasti
Siprofloksasiini	poistuma > 80 %, tarttuu lietteeseen
EE2	poistuma > 50 %, tarttuu lietteeseen ja biohajoaa
Karbamatsepiini	poistuma < 5 %, ei biohajoa eikä tartu lietteeseen
Ibuprofeeni	poistuma > 90 %, erittäin biohajoava

Vuotavista viemäreistä voi jäteveden mukana päätyä lääkkeitä maaperään ja pohjaveteen.

Matin ja Maijan syömät lääkkeet Suomessa vuosittain:

- Metoprololi
- Diklofenaakki
- Siprofloksasiini
- EE2
- Karbamatsepiini
- Ibuprofeeni



Lääkeaineet eivät ole vesieliöille akuutisti toksisia vesistöissä mitatuissa pitoisuuksissa. Niillä voi kuitenkin olla kroonisia vaikutuksia eliöihin. Matin ja Maijan syömällä lääkkeellä on havaittu seuraavia haitallisia vaikutuksia ympäristön kannalta realistisissa pitoisuuksissa (< 1 µg/l):

bio- ja valohajoaa valohajoaa adsorboituu voimakkaasti sedimentteihin, mutta ei kulkeudu pohjavesiin adsorboituu jossain määrin sedimentteihin, jossain määrin bio- ja valohajoava ei bio- eikä valohajoa, ei adsorboidu sedimentteihin, erittäin pysyvä ja voi kulkeutua pohjavesiin biohajoaa

Metoprololi
Diklofenaakki

vaurioittaa erityisesti kalojen maksaa vaurioittaa kalojen kiduksia, maksaa ja munuaisia, häiritsee hormonitoimintaa, voi kertyä kaloihin

EE2

häiritsee kalojen lisääntymistä, alentaa mädin tuotantoa, voi kertyä kaloihin vaurioittaa erityisesti kalojen munuaisia häiritsee kalojen hormonitoimintaa, äyriäisillä havaittu vähentynyttä aktiivisuutta

Karbamatsepiini
Ibuprofeeni



Maija, 42 v.

- Nuorempana ehkäissyt raskauksia **17α-etinyyliestradiolia (EE2)** sisältävillä e-pillereillä.
- Maijan epilepsiaa hoidetaan **karbamatsepiinilla**.
- Päänsäryn hoitoon Maija käyttää **ibuprofeenia**.



JUOMAVESI

Jos lääkkeitä esiintyy talousveden valmistukseen käytettävässä raakavedessä, voivat aineet kulkeutua juomaveteen asti. Pitoisuudet raakavesissä, joko pinta- tai pohjavesissä, ovat erittäin matalia ja pitoisuudet alenevat myös puhdistuksen aikana. Juomavesissä lääkkeitä havaitaan erittäin harvoin ja silloinkin alhaisissa, < 10 ng/l pitoisuuksissa.

lääkkeitä (ilmaistuna puhtaana) noin 1 000 000 kg vuosittain.

niitä lääkkeitä päätyy jätevesiin keskimäärin:

- 500 kg
- 100 kg
- 250 kg
- 0,6 kg
- 100 kg
- 9 000 kg



Maija ei tiedä, että vanhat lääkkeet pitäisi palauttaa apteekkiin vaan heittää niitä välillä WC-pyttyyn tai roskikseen.

Suomessa n. 30 000 kg lääkkeitä (kokonaismäärä sidosaineineen) päätyy viemäriin ja sitä kautta jätevedenpuhdistamoille.

Suomessa n. 30 000 kg lääkkeitä (kokonaismäärä sidosaineineen) päätyy sekajätteeseen ja tätä kautta kaatopaikoille ja suotovesien mukana pinta- ja pohjavesiin.





ERKKI VUORI

LKT, professori
Helsingin yliopisto, Hjelt-instituutti
E-mail: erkki.o.vuori@helsinki.fi

MERJA RANTA

TT, oikeuskemisti
Helsingin yliopisto, Hjelt-instituutti

JAAKKO PIRHONEN

fil.yo
Helsingin yliopisto, Hjelt-instituutti

MARI HEINONEN

DI
Helsingin seudun ympäristöpalvelut

RIKU VAHALA

TT, professori
Aalto yliopisto, Vesihuoltotekniikka

HUUMEJÄÄMÄT JÄTEVEDESSÄ

Kuvat: Jaakko Pirhonen

Jätevesiä on tutkittu ihmisten terveydentilasta kertovien tietojen saamiseksi jo pitkään. Esimerkiksi bakteeri- ja virustutkimukset kertovat alueella sairastettavien suolistoperäisten sairauksien olemassaolosta ja tutkimus voi paljastaa jopa sellaisia tarttuvia tauteja, joiden esiintymisestä ei ole muuta kautta saattua tietoa (Rantasalo 1962, Roivainen 2010). Vastaavalla tavalla analyysimenetelmien kehityksen myötä jätevesistä tehtäviä huumausainetutkimuksia on käytetty arvioitaessa jätevesiverkoston alueella tapahtuvaa huumausaineiden käyttöä (EMCDDA 2008). Näin voidaan saada riippumatonta tietoa muulla tavalla vaikeasti tutkittavasta todellisesta huumausaineiden käytöstä.



Huumausaineita nautitaan yleensä suun kautta, annostelemalla suun limakalvolle, suoneen pistämällä, hengittämällä tai nuuskaamalla sekä imeyttämällä ihon läpi. Nauttimistavasta riippuen aineen vaikutukset ilmenevät erisuuruisten viiveiden jälkeen. Nopeimmin vaikutus tulee suoraan huumausaineen suoneen pistämisen tai hengitys-

elimistön kautta tapahtuneen annostelun jälkeen. Sen sijaan huumausaineen vaikutus tulee hitaasti suun kautta ainetta nautittaessa, koska imeytyminen vie aikaa ja voi olla viivästynyttä. Nauttimistavalla on myös suuri merkitys siihen, kuinka suuri osuus huumausaineesta tulee hyödynnetyksi. Suoneen pistettynä koko annos vaikuttaa heti, mutta esimerkiksi suun

kautta nautitun morfiinin hyötyosuus on vain noin 30 prosenttia, suurimman osan morfiinista kuluessa aineenvaihduksessa jo ennen huumausaineen pääsyä verenkiertoon.

Nauttimistavasta riippumatta lähes kaikki huumausaineet poistuvat ihmisestä pääasiassa virtsan ja/tai ulosteiden mukana. Siten viemäriverkko kerää alueensa käyttäjäkuntaa edustavan näytteen myös huumausaineista. Ennen erittymistään useat huumausaineet käyvät läpi aineenvaihduksellisia muutoksia. Huumeet noudattavat samoja yleisiä detoksifikaation periaatteita kuten muutkin vierasaineet: aineenvaihduntatuotteet ovat kanta-ainettaan vesiliukoisempia ja munuaisten kautta erittyvä osa poistuu elimistöstä usein johdannaisina esimerkiksi glukuronideina. Osa huumausaineista voi poistua myös muuttumattomana kanta-aineena.

Jätevesien huumausainepitoisuuksia määritettäessä on tunnettava kyseisen huumausaineen aineenvaihdunta, jotta tiedettäisiin mitä yhdistettä tutkimuksessa kannattaa etsiä ja analysoida. Amfetamiinin, ekstaasin ja metamfetamiinin osalta jätevesistä etsitään itse kanta-ainetta, sillä noin 30 prosenttia nautitusta amfetamiinin annoksesta poistuu vuorokauden aikana virtsan ja ulosteiden mukana. Vastaava osuus on 43 prosenttia metamfetamiinilla ja 65 prosenttia ekstaasilla. Kokaiinin kohdalla etsitään bentsoyylikoniinia, joka on kokaiinin tärkein aineenvaihduntatuote, jätteesiin tuleekin noin 45 prosenttia nautitusta kokaiinin annoksesta bentsoyylikoniinina. Kanta-ainetta, kokaiinia, voi jätteesistä myös löytyä, mutta erittyvä osuus on hyvin pieni. Heroiinista syntyy elimistössä nopeasti, jo muutaman kymmenen minuutin kuluessa, ensin 6-monoasetyyli-morfiinia (6-MAM) ja sitten morfiinia. Jätteesistä löytyykin heroinin käytön jälkeen todennäköisemmin vain morfiinia kuin varmuudella heroinin kertovaa 6-MAM:ia. Pelkän morfiinilöydöksen perusteella ei voidakaan sanoa alueella käytetyn heroinin, löydös voi olla yhtä hyvin peräisin myös kipulääkkeenä tai huumausaineena käytetystä morfiinista. Kannabiksen käytön jälkeen huumausaineen tärkeintä vaikuttavaa yhdistettä tetrahydrokanna-

binolia ei erity virtsaan ja sen aineenvaihduntatuotetta tetrahydrokannabinoli-happoakin erittyy otetusta annoksesta vain 0,6 prosenttia vuorokaudessa (Zuccato ym. 2008).

Tunnettaessa jätteesissä olevien huumausaineiden pitoisuudet, jätteesiden määrä ja alueen väestömäärä, on mahdollista muuttaa löydökset käytettyjen huumeannosten määräksi ja antaa arvio huumausaineiden käyttöannosten määrästä suhteutettuna väkilukuun ja huumeidenkäyttäjien osuudesta väestössä.

Huumausainepitoisuuksista ja jätteesiden määrästä saadaan laskemalla kunkin huumausaineen määrä painoyksiköissä. Tästä päästään annosten määrään suhteuttamalla ainemäärä kertannoksen kokoon. Laskelmia tehtäessä huumausaineen kerta-annoksina on pidetty 100 mg kokaiinille, 30 mg amfetamiinille ja metamfetamiinille, 100 mg ekstaasille, 30 mg suonensisäisesti käytetylle heroiinille sekä 125 mg kannabikselle (Zuccato ym. 2008).

Tutkimuksen toteutus

Tutkittavat jätteesinäytteet kerättiin HSY Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntaryhmän Viikinmäen jätteesidenpuhdistamolta (AVL 780 000). Laitoksen keskivirtaama on 270 000 m³/d ja jätteesistä noin 85 prosenttia on peräisin alueen kotitalouksista. Jätteesinäytteitä kerättiin yhden viikon ajan vuorokautisina virtaamaan suhteutettuina kokoomänäytteinä tulevasta jätteesistä ja puhdistetusta jätteesistä 9.3. (maanantai) ... 15.3. (sunnuntai) 2009 välisenä aikana, lisäksi puhdistetusta jätteesistä otettiin näyte 16.3. (maanantai) 2009. Tarkoituksena oli tutkia huumausaineiden esiintymistä ja mahdollista viikon aikana tapahtuvaa huumausainepitoisuuksien vaihtelua. Aikaisemmin (näyte otettu 19.11.2008) tekemässämme pilotitutkimuksessa oli varmistettu, että pystyimme löytämään ja tunnistamaan Helsingin jätteesistä lukuisten hoidossa käytettyjen lääkeaineiden lisäksi myös huumausaineita.

Tutkittavat yhdisteet eristettiin 100 ml:n jätteesinäytteestä kiinteäfaasiuutolla (IST HCX-5). Sen jälkeen yhdisteet erotettiin toisistaan nestekro-

matografisesti (Shimadzu Prominence LC-20AD) ja analysoitiin käyttäen tandem-massaspektrometriaa (AB Sciex 3200 QTrap), jossa sähkösumutuksen avulla ionisoidut molekyyli-ionit hajoetaan törmäyskammiossa. Yhdisteiden tunnistus perustuu syntyneisiin fragmentteihin, joiden intensiteeteistä lasketaan myös pitoisuudet sisäisten deuterioitujen standardien ja kalibrointisuorien perusteella. Pienten pitoisuuksien vuoksi osalla huumausaineista määrälliset tutkimustulokset ovat vain semikvantitatiivisia.

Huumausainelöydökset

Tutkituissa jätteesissä todettiin amfetamiinia, metamfetamiinia, ekstaasia, kokaiinia ja metadonia. Tulevan jätteesiden amfetamiinipitoisuuksissa ei ollut suuria eroja viikonpäivien välillä. Myös jätteesiden metadonipitoisuus oli tasainen eikä viikonpäivien osalta ollut vaihtelua. Sen sijaan ekstaasin osalta pitoisuus oli suurimmillaan lauantaia. Vastaavasti myös näytteiden kokaiinin aineenvaihduntatuotteen, bentsoyylikoniinin, pitoisuus lisääntyi viikonlopun aikana. Yhdessä näytteestä ei todettu 6-MAM:ia, mikä olisi varmistanut heroinin käytön. Jätteesiden tetrahydrokannabinoli-happopitoisuutta ei määritetty tässä tutkimuksessa.

Puhdistetun jätteesiden huumausainepitoisuuksista päätellen käytössä oleva puhdistusmenetelmä poisti tehokkaasti amfetamiinia, jossain määrin metamfetamiinia ja ekstaasia, mutta bentsoyylikoniinin ja metadonin osalta pitoisuuksissa ei juuri tapahtunut alenemista.

Tutkimusviikon lauantaia 14.3.2009 tulevan jätteesiden amfetamiinipitoisuudeksi saatiin 0,4 ng/l. Virtaama oli kyseisenä päivänä 223 600 m³/d. Tästä saadaan jätteesissä olevan amfetamiinin vuorokautiseksi määräksi 89,4 g. Amfetamiinin osalta tiedetään, että käytetystä annoksesta erittyy vuorokaudessa virtsaan ja ulosteisiin noin 30 prosenttia, josta saadaan korjauskertoimeksi 3,3. Siten päivän aikana kulutettu amfetamiinin määrä on ollut 295 g, joka voidaan muuttaa käyttöannosten määräksi jakamalla yhden käyttöannoksen suuruudella (30 mg). Näin laskien vuorokaudessa oli kyseisenä ajankohtana käytetty amfetamiinia 9 800 annos-



ta. Suhteuttamalla annosten määrä jätevetä tuottavaan alueen väkilukuun (780 000 asukasta, joista kaksi kolmasosaa on ikäryhmässä 15...64 vuotta) saadaan amfetamiiniannosten määräksi 19 tuhatta ikäryhmän 15...64 -vuotta asukasta kohti.

Pohdinta

Käyttämämme tutkimusmenetelmä sopii huumausainetutkimusten tekemiseen jätevesistä. Kansainvälisesti verrattuna pitoisuudet olivat pieniä (Postigo ym. 2010). Tulosten perusteella pääteltyä amfetamiinin ja metamfetamiinin käyttö oli tasaista kaikkina viikonpäivinä. Tämä kuvastanee vakiintunutta huumausainekäyttöä näiden huumausaineiden osalta. Karkea laskennallinen arvio käytetyn amfetamiinin määrästä on 295 g päivässä, josta saadaan arvioitua käytöksi 19 annosta tuhatta 15...64 -vuotiasta henkilöä kohti päivässä. On huomattava, että yksi käyttäjä voi ottaa vuorokauden aikana usei-

ta annoksia, joten annettu luku ei kerro suoraan käyttäjien määrää. Ekstaasin ja kokaiinin käyttö ajoittuu erityisesti viikonloppuun, mikä viittaa näiden aineiden osuuteen ”bilettämis” -kulttuurissa. Metadonilöydösten tasaisuus kertoo ennemminkin säännöllisestä ylläpitohoidossa tai kipuhoidossa käytetystä lääkkeestä kuin satunnaisesta huumausainekäytöstä.

Tutkimalla huumausaineiden esiintymistä eri paikkakuntien yhdyskuntajätevesissä saadaan luotettavaa tietoa siitä, mitä huumausaineita alueella käytetään ja samalla saadaan myös karkea arvio käytettyjen annosten ja käyttäjien määrästä. Jätevesistä tehtäviä tutkimuksia onkin suositeltu käytettäväksi huumeidenkäytön arvioimisessa (Castiglioni ym. 2008). Jätevesien viemäröinti- ja pumppaamojärjestelmien kautta vastaava tarkastelu on mahdollista ulottaa myös eri kaupunginosiin ja tutkia huumeidenkäyttöä esimerkiksi erilaisissa sosiaalisissa ympäristöissä.

Kirjallisuus

- Castiglioni S, Zuccato E, Chiabrando C, Fanelli R, Bagnati R (2008) Mass spectrometric analysis of illicit drugs in wastewater and surface water. *Mass Spectrometry Reviews* 27:378-94.
- EMCDDA (2008) Assessing illicit drugs in wastewater.
- Postigo C, de Alda MJL, Barcelo D (2010) Drugs of abuse and their metabolites in the Ebro River basin: Occurrence in sewage and surface water, sewage treatment plants removal efficiency and collective drug usage estimation. *Environment International* 36:75-84.
- Rantasalo I (1962) Likavesi paikkakunnan salmonelloosien kuvastajana. *Duodecim* 78:984-8.
- Roivainen M, Blomqvist S, al-Hello H, Paananen A, Delpyreu F, Kuusi M, Hovi T (2010) Highly divergent neurovirulent vaccine-derived polioviruses of all three serotypes are recurrently detected in Finnish sewage. *Rapid Communications* www.eurosurveillance.org.
- Zuccato E, Chiabrando C, Castiglioni S, Bagnati R, Fanelli R (2008) Estimating community drug abuse by wastewater analysis. *Environmental Health Perspectives* 116(8):1027-32. ♦



TALOUSVEDEN DESINFIOINNIN SIVUTUOTTEET



PANU RANTAKOKKO
FT, erikoistutkija
Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitos
E-mail: panu.rantakokko@thl.fi

Fysikaalisten ja kemiallisten vedenkäsittelyprosessien tarkoitus on tuottaa biologisesti ja kemiallisesti turvallista vettä. Epäpuhtaasta juomavedestä johtuvat epidemiat ovat olleet (ja ovat edelleen kehitysmaissa) yksi tärkeimmistä sairauksia ja kuolemaa aiheuttaneista tekijöistä. Talousveden klooraus aloitettiin Belgiassa vuonna 1902 ja siitä tuli nopeasti vallitseva talousveden desinfiointimenetelmä, kun havaittiin sen kyky tappaa tai inaktivoida useimmat vesivälitteisiä sairauksia aiheuttavat mikro-organismit. Talousveden klooraus on yksi suurimmista 1900-luvun kansanterveydellisistä edistysaskeleista.

Yli 70 vuotta kloorausta pidettiin täysin vaarattomana, kunnes vuonna 1974 Rook havaitsi kloorauksen yhteydessä muodostuvan trihalometaneja (THM:t), joista kloroformi oli todettu karsinogeeniseksi. Lisää kloorauksen sivutuotteita alkoi löytyä 1980-luvun alussa, kun halogenoidut etikkahapot tunnistettiin talousvedestä ja niiden pitoisuus määritettiin. Tähän päivään mennessä on tunnistettu 600...700 eri sivutuotetta eri tekniikoilla desinfioituista talousvesistä. Raakavettä kloorattaessa talousveteen syntyy epäpuhtauksia, jos raakavesi sisältää sopivaa orgaanista ainesta, jonka kanssa kloori reagoi. Pintavesi (joki- ja järvivesi) sisältää eniten tällaisia aineita, kuten humusta. Pohjavedessä (kaivosvesi) niitä on vähiten. Mitä puhtaampaa, eli mitä vähemmän orgaanista ainesta sisältävää raakavesi on, sitä vähemmän syntyy epäpuhtauksia. Kloorauksessa voi kloorattujen sivutuotteiden lisäksi muodostua myös bromattuja sivutuotteita jos raakavedessä on riittävästi bromidi-ioneja. Suomessa tällaisia vesiä on rannikkoseudulla ja tietyillä vanhan merenpohjan alueilla. Monet bromatut sivutuotteet ovat haitallisempia kuin niiden klooratut analogit.

Kloorauksen sivutuotteiden havait-

seminen talousvedestä johti aktiiviseen tutkimus- ja kehitysohjelmaan, millä yhtäältä pyrittiin kehittämään kloorausta käyttäviä vedenkäsittelyprosesseja vähemmän sivutuotteita muodostavaan suuntaan ja toisaalta etsimään vaihtoehtoisia desinfiointimenetelmiä, joilla sivutuotteita muodostuu vähemmän. Suomessa vedenkäsittelyprosesseja kehitettiin huomattavasti 1980- ja 1990-luvuilla muun muassa luopumalla esikloorauksesta ja tehostamalla orgaanisen aineksen poistoa ennen välttämättömän kloorin verkostojäämän aikaansaavaa jälkikloorausta. Myös vaihtoehtoisia esi- ja jälkidesinfektanteja, kuten otsoni, klooriamiini, klooridioksidi ja UV-valo otettiin käyttöön. On kuitenkin syytä pitää mielessä, että desinfioimattoman talousveden mikrobiologiset riskit ovat moninkertaiset verrattuna desinfioinnin sivutuotteista mahdollisesti aiheutuviin terveyshaittoihin.

Kloorauksen sivutuotteet

Kloorauksen yhteydessä syntyvistä sivutuotteista on eniten tietoa trihalometaneista, klooratuista furanoneista ja halogenoiduista etikkahapoista. Niiden epäillään aiheuttavan lievästi kohonneen syöpärisikin.

TRIHALOMETAANIT

Kloroformi on koe-eläimille syöpää aiheuttava aine (mm. maksa- ja munuaiskasvaimia), mutta koska se ei ole mutageenista (ei kykyä vaurioittaa DNA:ta), on epätodennäköistä, että se ainakaan yksinään olisi juomavedessä syöpää aiheuttava aine. Kloroformia pidetään syövän promoottorina eli se edistää jo alkaneen kasvaimen kehittymistä. Juomavedessä esiintyvien kloroformipitoisuuksien promootiovaikutusta ei tiedetä. Bromodikloorimetani on mutageenista ja se aiheuttaa koe-eläimissä kasvaimia (munuais- ja maksakasvaimia). Sitä pidetään mahdollisesti ihmiselle syöpää aiheuttavana aineena. Myös klooridibromometani on mutageenista, mutta sen karsinogeenisuudesta edes koe-eläimissä ei ole varmaa tietoa.

KLOORATUT FURANONIT

Klooratut furanonit ovat mutageenisia epäpuhtauksia. Eniten tietoa on yhdisteestä, josta käytetään lyhennettä MX (3-kloori-4-(diklorimetyyli)-5-hydroksidi-2(5H)-furanoni). MX on hyvin mutageenista bakteereilla tehdyissä mutageenisuustesteissä (Ames-testi), joilla juomaveden mutageenisuutta testataan. MX on selittänyt enimmillään jopa 67

prosenttia juomaveden mutageenisuudesta. MX ei ole kuitenkaan yhtä potentti mutageeni nisäkässoluissa. Useat klooratut furanonit ovat yhtä mutageenisia nisäkässoluissa.

MX on karsinogeenista rotalle juomavedessä annettuna. Kasvaimia syntyy muun muassa maksaan ja kilpirauhasiin. Muiden kloorattujen furanonien karsinogeenisuutta ei ole tutkittu. Kloorattuja furanoneja pidetään yhtenä mahdollisena ryhmänä selittämään kloorattuun juomaveteen liittyvää syöpäriskiä. Kloorattujen furanonien pitoisuudet klooratussa juomavedessä ovat matalia (1...100 ng/l) verrattuna esimerkiksi trihalometaanipitoisuuksiin (1...100 µg/l). Ne saattavat kuitenkin ryhmänä yhdessä edistää syövän syntyä.

HALOGENOIDUT ETIKKAHAPOT

Dikloorietikkahapon ja trikloorietikkahapon terveysvaikutuksista on eniten tietoa. Molemmat epäpuhtaudet ovat karsinogeenisia ja mutageenisia. Lisäksi ne aiheuttavat koe-eläimille epämuodostumia, kun niitä annetaan emoilte raskauden aikana. Niitä on pidetty ensi sijassa syövän promoottoreina, mutta todellinen rooli ihmiskarsinogeenina on epäselvä. Ei myöskään tiedetä, aiheuttavatko klooratun juomaveden halogenoidut etikkahapot epämuodostumisriskiä ihmiselle. Klooratussa vedessä on myös bromattuja etikkahappojohdoksia, jos raakavesi sisältää bromidia. Dibromi- ja tribromietikkahappo ovat olleet mutageenisempia aineita mutageenisuustesteissä kuin vastaavat klooratut hapot. Halogenoitujen etikkahappojen pitoisuus klooratussa vedessä on 1...150 µg/l.

Otsonoinnin sivutuotteet

Otsoni on voimakas hapetin ja sitä käytämällä on voitu vähentää kloorin käyttöä ja samalla halogenoitujen sivutuotteiden muodostumista. Se ei kuitenkaan jätä verkostoon välttämättömä hapetin jäämää, eli se vaatii vielä lisäksi jälkidesinfektantin. Jos raakavedessä on riittävästi bromidi-ioneja, otsoni voi muodostaa organobromiyhdisteitä, mutta muodostuvat pitoisuudet ovat selvästi pienempiä kuin kloorauksessa muodostuisi. Otsoni voi hapettaa bromidi-ionin karsinogeeniseksi bromaatiksi, mikä

on ongelmallisin otsonoinnin sivutuotteista. Talousvesiasetuksessa bromaatin raja-arvo on 10 µg/l.

Klooriaminoinnin sivutuotteet

Monet vesilaitokset käyttävät klooriamiinia jälkidesinfektanttina, koska se muodostaa kestävä jäämän talousvesiverkostoon ja muodostaa vähemmän monia säädeltyjä desinfiointin sivutuotteita kuin kloori. Toisaalta klooriamiinin kanssa muodostuu enemmän monia toksisia jodi-THM:a, haloasetamideja jne. kuin kloorauksessa. Erityisesti N-nitrosodimetyyliamiinia, mikä on voimakas karsinogeeni, muodostuu eniten klooriaminoinnissa.

Klooridioksidin sivutuotteet

Klooridioksidin hyödyt ja haitat ovat samankaltaiset kuin otsonoinnin: se ei juurikaan muodosta klooraukselle tyyppillisiä sivutuotteita, mutta se ei myöskään jätä verkostoon hapetin jäämää eli se vaatii klooria tai klooriamiinia jälkidesinfektanttina. Klooridioksidin ongelmalliset sivutuotteet ovat kloraahti ja kloriitti, joista kloriitti voi aiheuttaa hemolyyttistä anemiaa.

Terveyshaittana lisääntynyt syöpäriski

Tutkimukset ovat osoittaneet, että pitkäaikainen pintavedestä tehdyn klooratun juomaveden käyttö aiheuttaa pienen syöpäriskin lisääntymisen. Muun muassa virtsarakon ja peräsuolen syöpäriskien on havaittu lisääntyneen (10...30 %). Syöpäriski on sitä suurempi mitä mutageenisempaa juomavesi on. Siten mutageenisuutta voidaan käyttää syöpäriskin mittarina. Mutageenista kloor

rattua juomavettä on todettu useissa maissa, joissa raakavesi sisältää sopivaa orgaanista ainesta, Suomen lisäksi esimerkiksi USA:ssa, Kiinassa, Venäjällä, Hollannissa, Japanissa ja Englannissa.

Klooratun juomaveden mutageenisuus Suomessa on ollut korkeimmillaan 1970-luvulla (keskimäärin 3000 netto-revertanttia/l pintavesilaitoksilla). Tämä on voitu takautuvasti arvioida vesilaitosten tiedoista. Sen jälkeen mutageenisuus on vähentynyt ja on keskimäärin enää alle 1000 nettorevertanttia/l, koska orgaanisen aineksen poisto on tehostunut ja klooraustapaa on muutettu. Syöpäriski lienee vähentynyt vastaavasti. Toistaiseksi ei tiedetä, ja saadaanko koskaan selville, mitkä desinfiointin sivutuotteet aiheuttavat syöpäriskin. Tämä ei välttämättä ole tarpeenkaan kun sivutuotteiden syntyminen minimoidaan.

Koska syöpä tarvitsee kehittyäkseen pitkän ajan (10...20 vuotta), 1980- ja 1990-luvun vedenkäsittelyn tehostamistoimien pitäisi vaikuttaa vähentyneinä syöpätapauksina tällä vuosikymmenellä. On arvioitu, että kloorattu juomavesi on aiheuttanut Suomessa enimmillään 50...100 ylimääräistä syöpää vuodessa eli alle 0,5 prosenttia kaikista syövästä. Nykyisellä juomaveden mutageenisuustasolla klooratun juomaveden aiheuttama syöpäriski ei ole enää merkittävä terveysriski Suomessa. Välttämättömän kloorauksen tuottamat edut ovat haittoja suuremmat, eikä kloorausta pidä välttää mikrobiologisten riskien uhatessa. ♦

Kirjallisuus

Hrudey SE. Chlorination disinfection by-products, public health risk tradeoffs and me. Water Research 43 (2009) 2057 – 2092.

Nissinen TK, Miettinen IT, Martikainen PJ, Vartiainen TV. Disinfection by-products in Finnish drinking waters. Chemosphere 48 (2002) 9 – 20.

Juomaveden desinfiointin sivutuotteet ja terveyshaitat.

http://www.ktl.fi/portal/suomi/tietoa_terveydesta/elinymparisto/vesi/talousvesi/desinfiointin_sivutuotteet

Myllykangas T. Bromipitoisten desinfiointin sivutuotteiden muodostumisen ehkäiseminen juomaveden valmistuksessa. http://www.ktl.fi/attachments/suomi/julkaisut/julkaisusarja_a/2004a3.pdf

SYANOBAKTEERIT JA NIIDEN TUOTTAMAT TOKSIINIT

JARKKO RAPALA
Neuvotteleva virkamies
Sosiaali- ja terveysministeriö
E-mail: jarkko.rapala@stm.fi

KIRSTI LAHTI
Toiminnanjohtaja
Vantaanjoen ja Helsingin seudun
vesiensuojeluyhdistys ry
E-mail: kirsti.lahti@vesiensuojelu.fi

Tähän artikkeliin on koottu tietoa syanobakteerien ja niiden tuottamien toksien esiintymisestä Suomen talousvettä toimittavilla laitoksilla, toksiinien ja solujen käyttäytymisestä talousveden valmistuksessa ja toksiinien terveysvaikutuksista. Lisäksi esitellään Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontaviraston (Valviran) kesäkuussa 2010 antamaa ohjetta syanobakteerien valvonnasta ja niiden aiheuttamista toimenpiteistä talousvettä toimittavilla laitoksilla.

Syanobakteerit tuottavat tuhansia erilaisia bioaktiivisia yhdisteitä, mutta niistä vain muutaman terveysvaikutuksista on tietoa. Varsinaiset toksiinit voidaan jakaa maksa-, hermo- ja solutoksiineihin (Taulukko 1). Näistä toksiineista Maailman terveysjärjestö WHO on antanut suositeltavan juomaveden enimmäispitoisuuden, 1 µg/l, vain mikrokystiini-LR –maksatoksiinille (WHO 2004). Riittämättömän kokeellisen tiedon vuoksi raja-arvoja ei ole voitu antaa muille mikrokystiinimuodoille eikä syanobakteerien tuottamille hermotoksiineille. Bergenissä vuonna 2004 kokoontuneet maailman

syanobakteeritoksiinitutkijat kuitenkin esittivät lausumanaan, että raja-arvoa 1 µg/l tulisi soveltaa kaikille mikrokystiinien eri muodoille. Euroopan maista Espanja, Puola ja Tšekin tasavalta ovat ottaneet tämän raja-arvon lainsäädäntöönsä. Kanadassa sovelletaan raja-arvoa 1,5 µg/l.

Vaikka kokeellisia tutkimustuloksia on riittämättömästi, on esimerkiksi Australiassa ehdotettu enimmäispitoisuuksia muillekin toksiineille (NHMRC 2004). Raja-arvoa 1 µg/l on ehdotettu anatoksiini-a:lle ja sylindropermopsiinille. Saksitoksiinille on esitetty raja-arvoa 3 µg/l.

Toksiinien ominaisuudet

Mikrokystiinit ovat yleisimpiä syanobakteerien tuottamia toksiineja. Pitkäaikaisen altistumisen myötä ne voivat edistää syövän syntyä. Rengasrakenteiset mikrokystiinit estävät tiettyjen proteiinifosfataasien toimintaa eukaryoottisoluisissa, mihin perustuu niiden myrkyllisyys. Mikrokystiinien akuutti myrkyllisyys suun kautta nautittuna on huomattavasti pienempi kuin vatsaonteloon injektoiduna. Niiden pitkäaikaisvaikutuksia on tutkittu sioilla tehdyillä kokeilla, joiden perusteella mikrokystiinien LOAEL-arvo (Lowest Observed Adverse Health Level) juomaveden kautta nautittuna on 100 µg mikrokystiini-LR –ekvivalenttia kilogrammaa ruumiinpainoa kohden päivässä (Chorus & Bartram 1999). Mikrokystiinit eivät pysty tunkeutumaan muihin kuin maksasoluihin.

Saksitoksiini on voimakkain tunnettu syanobakteerien tuottama toksiini. Se vaikuttaa hermoimpulssin kulkuun sulkemalla eukaryoottisolujen natriumkanavien toiminnan. Saksitoksiini osoitettiin ensimmäisen kerran Suomen vesistä 2000-luvun alussa (Rapala ym. 2005). Toksiinin pitoisuudet ovat olleet ajoittain erittäin korkeat. Myös

saksitoksiinin akuutti myrkyllisyys on hiirillä tehdyn tutkimuksen mukaan pienempi suun kautta nautittuna (260 µg/kg) kuin vatsaonteloon injektoiduna. Joissakin tutkimuksissa tosin todetaan, että saksitoksiinin toksisuus suun kautta nautittuna on yhtä suuri kuin vatsaonteloon injektoiduna, toksisuus ihmisille on samaa suuruusluokkaa kuin hiirille ja että toksiini voi imeytyä myös ihon läpi. Saksitoksiinia on esiintynyt suurina pitoisuuksina Suomen kirkasvetisissä ja suhteellisen vähäravinteisissa järvissä.

Anatoksiini-a, jota on esiintynyt Suomen pintavesissä melko yleisesti (Lepistö ym. 2005), estää hermoimpulssin kulkua sitoutumalla asetyyliholiiniin reseptoriin, mistä seuraa hengityshalvaus.

Anatoksiini-a(S) on organofosfaatti, joka estää asetyyliholiiniesteraasi-entsyymin toiminnan. Anatoksiini-a(S) on osoittautunut Suomessa harvinaiseksi (Lepistö ym. 2005).

Sylindropermopsiini, jota vielä 2000-luvun alussa pidettiin vain trooppisten taikka subtrooppisten alueiden syanobakteeritoksiinina, estää proteiinien synteesiä. Se aiheuttaa vaurioita kaikkiin sisäelimiin. Puhtaan sylindropermopsiinin akuutti toksisuus on melko pieni. Sylindropermopsiinia sisältäneen syanobakteeriuutteen akuutti toksisuus on ollut hiiritesteissä huomattavasti suurempi (300 µg/kg) kuin puhtaan toksinin. Australiassa sylindropermopsiini on tullut mikrokystiinien jälkeen merkittävimäksi syanobakteeritoksiiniksi vedenhankinnan kannalta. Sylindropermopsiinia ei ole havaittu Suomesta tutkituissa kukintanäytteissä, mutta niistä on eristetty toksiinia tuottava *Anabaena* -kanta (Spoof ym. 2006). Ilmastomuutoksen edetessä sylindropermopsiini voi muodostua tulevaisuudessa ongelmaksikin myös Suomessa.

Taulukko 1. Tunnetut syanobakteereiden tuottamat toksiinit, niitä tuottavat syanobakteerisuvut, terveysvaikutukset ja yleisyys Suomen pintavesissä.

Toksiini	Akuutti LD50-arvo µg kg ⁻¹ a	Tuottavat suvut	Akuutit terveysvaikutukset	Pitkäaikaisvaikutukset	Yleisyys Suomen pintavesissä
Mikrokystiinit (>80 eri rakennetta)	50 – ei toksinen	<i>Anabaena</i> <i>Microcystis</i> <i>Planktothrix</i>	Maksatoksiini	Edistävät syövän syntyä	Yleinen
Nodulariinit (7 eri rakennetta)	50 – yli 2000	<i>Nodularia</i>	Maksatoksiini	Edistävät syövän syntyä Mahdollisesti karsinogeeninen	Yleinen, mutta vain Itämeressä
Saksitoksiinit (noin 30 eri rakennetta)	10 –	<i>Anabaena</i> (<i>Aphanizomenon</i>) ^c	Hermotoksiini	Ei todettu	Melko yleinen
Anatoksiini-a	250	<i>Anabaena</i> (<i>Aphanizomenon</i>)	Hermotoksiini	Ei todettu	Melko yleinen
Anatoksiini-a(S)	20–50	<i>Anabaena</i> (<i>Aphanizomenon</i>) ^c	Hermotoksiini	Ei todettu	Harvinainen
Sylindropermopsiini	2100	(<i>Cylindropermopsis</i>) ^c <i>Anabaena</i> (<i>Aphanizomenon</i>) ^c	Solutoksiini	Mahdollisesti karsinogeeninen	Erittäin harvinainen

^aHiiren vatsalaukkuun injektioituna

^bSuomessa todettu vain varsinaista saksitoksiinia, jonka LD₅₀-arvo on 10 µg kg⁻¹

^cEi todettu Suomessa

Muita ongelmallisia yhdisteitä

Syanobakteerit tuottavat lukuisia yhdisteitä, jotka voivat aiheuttaa veteen vierasta hajua ja makua. Geosmiinin ja muiden yhdisteiden kuten 2-metyyli-isoborneolin haju- ja makukynnys on erittäin pieni (jopa 15 ng/l), mutta varsinaista terveyshaittaa hajuyhdisteiden ei tiedetä aiheuttavan talousveden välityksellä.

Endotoksiinit ovat Gram-negatiivisten bakteerien, joita syanobakteeritkin rakenteellisesti muistuttavat, solunseiniä. Endotoksiinien pitoisuus syanobakteerien massaesiintymissä on liittynyt lähinnä syanobakteereihin assosioituneiden bakteerien määriin. Niitä on esiintynyt suurina pitoisuuksina syanobakteerien massaesiintymien yhteydessä (Rapala ym. 2002), jolloin ne voivat myös läpäistä riittämättömän vedenkäsittelyn.

Ihoärsytystä aiheuttavista yhdisteistä tiedetään vain vähän. Osa trooppisissa vesissä esiintyvistä yhdisteistä on todennäköisesti karsinogeenisiä, mutta ne eivät ole todennäköisiä talousvedessä.

Syanobakteerien esiintyminen Suomen vesilaitoksilla

Syanobakteerit ja niiden tuottamat toksiinit voivat aiheuttaa ongelmia pintavettä tai tekopohjavettä raakavetenään käyttäville vesilaitoksille, joiden tuotaman veden osuus Suomessa jaetusta talousvedestä on noin 50 prosenttia. Syanobakteerien ja mikrokystiinien esiintymistä Suomen pinta- ja tekopohjaviesilaitosten raakavesissä sekä niiden poistumista vedenkäsittelyprosesseissa on tutkittu vesilaitoksilla (mm. Lahti ym. 2001, Rapala ym. 2006). Hermotoksiini anatoksiini-a:n poistumista vedenkäsittelyprosesseissa on tutkittu Suomessa laboratoriomittakaavassa.

Toksisia syanobakteereita esiintyy yleisesti raakavesissä, mutta normaalisti syanobakteerien määrät ja toksiinipitoisuudet ovat olleet varsin pieniä laitoksille käsittelyyn tulevilla vesillä. Tämä johtuu osin siitä, että raakavettä pyritään ottamaan syvemmistä vesikerroksista eikä pinnalta, jossa massaesiintymät yleensä ovat. Massaesiintymä

voi kuitenkin muodostua myös usean metrin syvyyteen. Tällainen esiintymä on erityisen hankala talousvettä toimittavien laitosten kannalta, koska esiintymä ei ole silmin havaittavissa ja se sijaitsee usein laitoksen raakaveden otossyvyyydessä.

Sinileväongelma on jokavuotinen muutamalla vesilaitoksella, joilla raakaveden laatu on veden käyttökelpoisuusluokituksen mukaan ollut huono tai veden laatu on vähitellen 'nuhraantunut', vaikka käyttökelpoisuusluokituksen mukaan raakavesilähteen tila on vielä ollut hyvä. Hankalimpia tilanteita ovat pitkäaikaiset *Planktothrix*-esiintymät raakavedenottoisyvytyksessä, koko vesipatsaassa syystäyskierron aikaan tai leutoina talvina, jolloin vedet eivät kerrostu eikä lumipeite estä syanobakteerien kasvuunsa tarvitseman valon määrää. Suurin osa vesilaitosten vedenkäsittelymenetelmistä poistaa syanobakteerisolut ja toksiinit siinä määrin, ettei niistä aiheudu terveyshaittaa veden käyttäjille, mutta runsaiden esiintymien

aikana myös veden terveydellinen laatu voi vaarantua.

1980-luvun lopulla jouduttiin antamaan kolmella Suomen vesilaitoksella vedenkäyttörajoituksia, koska niiden raakavesissä ja verkostoon johdetussa vedessä oli runsaasti syanobakteereja. Kesällä 1987 voimakkaan maksatoksisen *Planktothrix agardhii* –syanobakteerien esiintymän seurauksena terveydensuojeluviranomaiset kielsivät tätä vettä raakavetenään käyttäneen vesilaitoksen jakaman veden käytön juoma- ja pesuvetenä. Mikrokystiiniä oli raakavedenottoosvyvydessä (5...7 m) jopa 30 µg/l. Marraskuussa 1989 kahden vesilaitoksen jakamassa vesijohtovedessä havaittiin voimakas vihertävä väri ja paha haju. Laitokset käyttivät raakavetenään järven vettä, jossa maksatoksinen *Planktothrix agardhii* esiintyi suurina määrinä. Se oli läpäissyt laitoksen pelkkään pikahiekkasuodatuksen perustuneen vedenkäsittelyn, ja sitä oli verkostoon liittyneen kiinteistön lämpimässä vedessä jopa 200 000 solua/ml (150 mg/l). Laitoksen toimitamasta vedestä osoitettiin mikrokystiiniä 0,5 µg/l.

Kesän ja syksyn 1991 aikana tutkittiin yhdeksää vesilaitosta. Neljän laitoksen vedenkäsittelymenetelmä perustui yksinkertaiseen pikahiekkasuodatuksen ja desinfiointiin, kolmella laitoksella oli käytössä saostus- ja suodatuskäsittely ja kaksi laitoksista oli allasimeytykseen perustuvia tekopohjavesilaitoksia. Tutkimuksessa selvitettiin kasviplankton- ja syanobakteeribiomassan, a-klorofyllin, veden orgaanisen aineen ja mikrobien poistumista vesilaitosten käsittelyprosesseissa. Vedenkäsittelyltään tehokkaimmiksi osoittautuivat tekopohjavesilaitokset sekä kemialliseen saostukseen ja suodatuksen perustuvat pintavesilaitokset.

Pelkästään pikasuodatuksen ja desinfiointiin perustuneet pintavesilaitokset läpäisivät leviä, syanobakteereja ja muuta orgaanista ainetta selvästi enemmän kuin saostusta käyttäneet laitokset. Aktiivihiekkisuodatus ilman edeltävää kemiallista saostusta ei riittänyt levä- ja syanobakteerisolujen poistoon. Myös lähtevän veden muu mikrobiologinen laatu oli heikentynyt pikasuodatuslaitoksilla. Syanobakteeritoksiinien

esiintymistä pystyttiin tutkimaan vain rajoitetusti, koska toksiinien osoitusmenetelmät eivät vielä olleet kovin kehittyneitä. Yhden laitoksen raakavedessä todettiin hermomyrkyllinen *Anabaena lemmermannii* –esiintymä.

Syanobakteerien esiintymistä rantaimetyslaitosten raakavesissä, syanobakteerisolujen ja kasviplanktonin poistumista sekä mikrokystiinien pitoisuuksia ja poistumista rantaimetyksen aikana selvitettiin neljällä Suomen laitoksella 1990-luvun lopussa. Raakavesinäytteistä yli kolmanneksessa todettiin mikrokystiineitä, mutta niiden pitoisuudet olivat melko pieniä, korkeimmillaan 1,9 µg/l. Rantaimetytysprosessin läpi käyneistä näytteistä todettiin vain pieniä mikrokystiinipitoisuuksia, suurin havaittu pitoisuus oli 0,1 µg/l. Laitoksilta lähtevistä vesistä toksiineita todettiin 15 prosentissa näytteitä, mutta pitoisuudet olivat erittäin pieniä, vain 0,02–0,04 µg/l.

Pintavesilaitoksia tutkittiin vuosina 1998–2001. Yhdellätoista laitoksella selvitettiin raakaveden kasviplanktonin ja syanobakteerien koostumusta, solujen poistumista vedenkäsittelyssä sekä mikrokystiinien esiintymistä ja poistumista vedenkäsittelyn eri vaiheissa. Laitosten vedenkäsittelymenetelmät vaihtelivat yksinkertaisimmista kemialliseen saostukseen ja sen jälkeiseen suodatuksen perustuvista menetelmistä hyvinkin monivaiheisiin prosesseihin, kuten otsonoinnin, aktiivihiekkisuodatuksen ja hidassuodatuksen erillisiin yhdistelmiin. Yksittäisiä näytteitä tutkittiin myös muilta vesilaitoksilta. Raakavesinäytteitä ja eri käsittelymenetelmien jälkeisiä näytteitä tutkittiin kaiken kaikkiaan noin 180 näytteenotokerralta. Yhden laitoksen raakaveteen ilmaantui syyskesällä 1998 maksatoksinen *Planktothrix* -massaesiintymä, joka jatkui marraskuulle jäiden tuloon asti ja ilmaantui seuraavana vuonna uudelleen huhtikuun lopulla heti jäiden lähdettyä. Tätä laitosta seurattiin tiheästi: kaikkiaan laitokselta otettiin näytteitä noin 60 eri ajankohdalta (Kuva 1).

Raakavesinäytteistä keskimäärin viidennes sisälsi mikrokystiineitä. Viidellä laitoksella raakaveden mikrokystiinipitoisuus ylitti WHO:n juomavedelle asetaman suositusarvon 1 µg/l, ja korkein mitattu pitoisuus oli noin 10 µg/l. Vain

viidessä käsiteltyjen vesien näytteessä todettiin mikrokystiineitä, mutta suurinkin pitoisuus oli vain 0,07 µg/l. Kemiallinen saostus- ja suodatuskäsittely laskivat mikrokystiinipitoisuuden jo alle yhteen mikrogrammaan litrassa, ja aktiivihiekkisuodatus sekä otsonointi täydennettynä hidassuodatuksella laskivat pitoisuuden yleensä alle määritysrajan 0,02 µg/l.

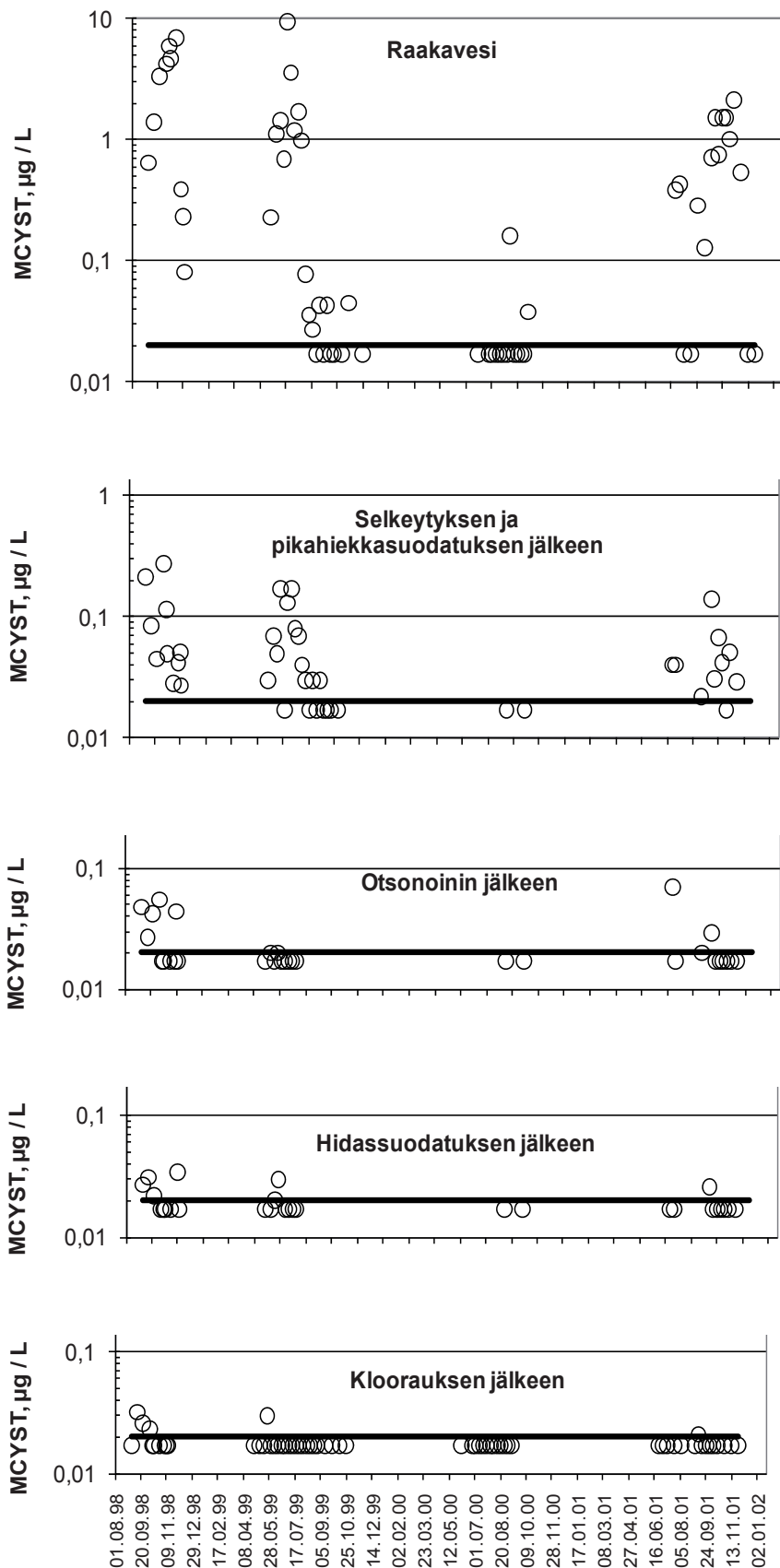
Kahden laitoksen raakavedessä todettiin hermomyrkyllisten syanobakteerien esiintymiä. Toisella laitoksella hermomyrkyllinen *Anabaena* -esiintymä todettiin kerran, mutta toisella laitoksella hermomyrkyllisiä kukintoja oli usein, kun raakavedessä esiintyi suorarihmaista *Anabaena*-syanobakteeria tai *Aphanizomenon* -sukua. Kummankaan laitoksen hermomyrkyllisyyden aiheuttanutta tekijää ei saatu selville, vaikka näytteistä määritettiin kaikki tunnetut syanobakteerien tuottamat hermotoksiinit (anatoksiini-a, anatoksiini-a(S) ja saksitoksiini).

Syanobakteerien ja toksiinien lisäksi tutkimuksessa selvitettiin heterotrofisten bakteerien ja endotoksiinien poistumista vedenkäsittelyprosesseissa. Myös ne poistuivat tehokkaasti jo vedenkäsittelyn alkuvaiheissa, kemiallisen saostuksen, selkeytyksen ja suodatuksen aikana. Aktiivihiekkisuodatus lisäsi ajoittain heterotrofien ja endotoksiinien määriä, mikä johtui todennäköisesti aktiivihiekkien biologisesta aktiivisuudesta ja/tai ylikuormittumisesta.

Ongelmia myös talvisin

Muutamilla syanobakteeriongelmaisilla vesilaitoksilla on seurattu säännöllisesti syanobakteerien ja toksiinien esiintymistä. Yhdellä laitoksella maksatoksinen *Planktothrix* on aiheuttanut ongelmia jo useiden vuosien ajan. Raakaveden suurimmat mitatut toksiinipitoisuudet ovat olleet 16 µg/l, ja myös käsitellystä vedestä on ajoittain havaittu mikrokystiiniä pieninä, alle 0,1 µg/l pitoisuuksina. Raakaveden suurimmat *Planktothrix* -solumäärät ovat olleet noin 40 000 000 sadan mikrometrin rihmaa 100 ml:ssa raakavettä (>2 x 10⁶ solua/ml). Vaikka syanobakteerit mielletään pääasiassa kesäkuukausien ongelmaksi, on *Planktothrix* esiintynyt tällä laitoksella myös talvisin aina tammikuulle asti.

Talvisia syanobakteeriongelmia on



Kuva 1. Mikrokystiinien pitoisuus vesilaitoksella eri vedenkäsittelymenetelmien jälkeen.

alkanut esiintyä aiempaa enemmän. Syksyllä 2008 ilmaantui allasimeytystä käyttävän tekopohjavesilaitoksen raakaveen voimakas *Anabaena*-massaesintymä. Se jatkui koko talven järvestä ja esiintyi koko vesipatsaassa pinnalta 9 metrin syvyyteen asti. Järven syanobakteeribiomassa oli suurimmillaan helmikuun alussa lähes 15 mg/l ja laitoksen raakavesialtaassa 0,7 mg/l. Esiintymä oli maksatoksinen, ja imeytysaltaan pinnalta todettiin marraskuussa 22 µg/l mikrokystiiniä. Laitoksella vesi pumpataan raakavesialtaasta imeytysaltaisiin, ja veden viipymä harjumuodostelmassa on 2...3 viikkoa. Huolimatta voimakkaasta esiintymästä ja suurista toksiinipitoisuuksista laitokselta lähtevässä vedessä ei todettu mikrokystiiniä eikä syanobakteerisoluja koko talven aikana.

Vedenkäsittelymenetelmiä syanobakteeritoksiinien poistamiseksi

Syanobakteeritoksiinien poistossa (Meriluoto ym. 2005) on ensisijaista poistaa ehjät solut, sillä tällöin saadaan valtaosa, yleensä noin 90 prosenttia, toksiineista poistettua. Pintavesilaitoksilla perusvedenkäsittelymenetelmä, joka koostuu kemiallisesta saostuksesta, selkeytyksestä ja hiekkasuodatuksesta, poistaa yleensä 99,9 prosenttia leväsoluista ja 90 prosenttia toksiineista, sillä edellytyksellä että saostus ja selkeytys toimivat moitteettomasti. Koska valtaosa toksiineista on solujen sisällä, on biomassan poistamisella tärkeä merkitys myös toksiinien poistamisessa. Pelkkä suodatus ilman sitä edeltävää saostusta ei riitä syanobakteerien eikä levien poistoon.

Flotaatioselkeytys on useimmiten tehokkaampi keveiden syanobakteerisolujen poistossa kuin sedimentaatio, samoin kuin rautasuolat alumiinisuoloja tehokkaampia solujen saostuksessa. Myös polymeereilla voidaan saada tehostettua solujen poistoa. Siivilöinti ennen saostusta tehoa suurempiin sinileväkolonoihin, mutta rihmat ja yksittäiset solut pääsevät mikrosiivilöinninkin läpi. Tekopohjavesilaitoksilla maaperäsuodatus ja rantaimeytys poistavat tehokkaasti soluja ja siten myös toksiineja. Laajojen massaesiintymien aikana voi kuitenkin olla tarpeen har-

Taulukko 2. Talousvettä toimittavien laitosten syanobakteerien ja niiden tuottaman mikrokystiinin tarkkailussa sovellettavat toimenpiderajat, toimenpiteet ja niistä kuluttajille tiedottaminen Valviran (2010) ohjeen mukaan. **HUOM!** Solumäärällä tarkoitetaan massaesiintymiä muodostavia ja mahdollisesti toksiineita tuottavia syanobakteereita, eikä esimerkiksi pikosyanobakteereita.

Toimenpideraja	Toimenpide	Kuluttajille tiedottaminen
Tulevassa vedessä >500 solua/ml tai >0,1 mg/l biomassaa	<ul style="list-style-type: none"> Tihennetty raakaveden tarkkailu 	
Tulevassa vedessä >5 000 solua/ml tai >1 mg/l biomassaa	<ul style="list-style-type: none"> Syanobakteerisukujen tunnistaminen ja määrän arviointi laitokselle tulevasta vedestä Jos havaitaan toksiineita tuottavia syanobakteerisukuja, laitokselle tulevan veden mikrokystiinipitoisuus määritetään Terveysturvallisuuden arvioitava terveyshaitan mahdollisuus Vedenottokohdan muutos tai raakavesilähteen vaihtaminen 	<ul style="list-style-type: none"> Tiedotetaan syanobakteerien esiintymisestä raakavedessä ja sen vuoksi tehtävistä toimenpiteistä
Tulevassa vedessä toksiinia tuottavia soluja >100 000 solua/ml tai >20 mg/l biomassaa tai >1 µg/l mikrokystiiniä	<ul style="list-style-type: none"> Syanobakteerien ja toksiinien tutkiminen talousvedestä Vedenkäsittelyn tehostaminen 	<ul style="list-style-type: none"> Tiedotetaan talousveden laadusta syanobakteerien ja toksiinien osalta
Talovesivedessä >1,0 µg/l mikrokystiiniä 5 000 / ml	<ul style="list-style-type: none"> Yksittäisissä ylityksissä talousveden käyttämistä juomavetenä ja ruuan laittamiseen harkitaan Pitoisuuden ylityessä jatkuvasti kielletään talousveden käyttäminen juomavetenä ja ruuan laitossa 	<ul style="list-style-type: none"> Tiedotetaan talousveden käyttörajoituksista ja talousveden laadusta syanobakteerien sekä toksiinien osalta Tiedotetaan mikrokystiinin vaikutuksesta terveyteen Tiedotetaan vaihtoehtoisesta talousveden jakelusta

kita raakaveden esikäsittelymenetelmiä, kuten mikrosvilvöintiä tai esisuodatusta hiekkapatjan läpi (Dynasand).

Toksiineja vapautuu syanobakteerisolusta veteen solujen kuollessa tai rikkoutuessa esimerkiksi hapetus- ja voimakkaan paineiskun, biologisen toiminnan tai jäätyksen vaikutuksesta. Soluista vapautuneiden toksiinien poistaminen vedestä on vaikeampaa kuin solusisäisten toksiinien poistaminen. Solujen rikkoutumisen estämiseksi hiekk- ja aktiivihilisuotimien riittävän usein tapahtuva huuhtelu on pintavesilaitoksilla tärkeää, jotta kuolleista soluista ei pääse vapautumaan veteen liukenevia toksiineita. Myös teko-pohjavesilaitoksilla tulisi huolehtia siitä, että syanobakteerisoluja ei kerry suurissa määrin esimerkiksi imeytyslaitosten pohjalle, jossa ne pääsevät hajoamaan.

Liuenneiden toksiinien poistamisen varmistamiseksi tarvitaan pintavesilaitoksilla vedenkäsittelyä tehostavia menetelmiä, kuten aktiivihilisuodatusta tai otsonointia ja hidassuodatusta. Otsoni tehoaa liuenneisiin toksiineihin, mikäli sitä käytetään riittävästi. Otsonin tarve vaihtelee erityyppisissä vesissä, mutta tärkeää on, että sitä olisi todettavissa vedessä vapaana. Tutkimuksissa on käytetty pitoisuuksia 0,2...1,5 mg/l ja reaktioaika on vaihdellut 15 sekunnin ja 30 minuutin välillä. Esiotsonointi puolestaan rikkoo leväsoluja ja voi siten vapauttaa toksiineja veteen, joten suositeltavinta otsonointi on saostus- ja selkeytyskäsittelyn jälkeen. Tekopohjavesilaitoksilla liuenneetkin toksiinit poistuvat yleensä tehokkaasti biologisen hajoamisen ja adsorboitumisen ansiosta maaperäsu-

datuksessa ja rantaimetyksessä. Koska toksiineja hajottavat mikrobit ovat aerobisia, maaperän ja vedenottoaivojen veden tulisi säilyä happipitoisina.

Aktiivihilisuodatus tehoaa myös liuenneisiin toksiineihin. Aktiivihilien alkuperällä ja huokoskoolalla on vaikutusta adsorptioon. Puuperäisten aktiivihilien, joiden huokoskoko on 30...50 µm, on todettu olevan tehokkaimpia. Aktiivihilisuodatus poistaa myös anatoksiini-a:ta vedestä.

Myös hidassuodatus on osoittautunut tehokkaaksi sekä mikrokystiiniin että anatoksiini-a:n poistossa. Teho perustuu paitsi fysikaaliseen solujen pidättymiseen, myös biologiseen hajoamiseen. Kylmissä ja vähähappisissa oloissa hajoaminen on hidasta, mutta jo yli 10 °C lämpötiloissa liuenneista mikrokystiineistä poistuu yli 80 prosenttia.

Rantaimeytyksessä ja tekopohjaveden valmistuksessa biologisella hajoamisella on tärkeä merkitys. Noin 9 päivän kulkeutumisaikaa vesistöstä ottokaivoon on pidetty riittävänä mikrokystiineille.

Nanosuodatuksella on saatu yli 90 prosentin reduktiota mikrokystiineille. Myös käänteisosmoosin perustuvilla menetelmillä on saatu turvallista juomavettä esimerkiksi nodulariinia tai mikrokystiiniä sisältävästä vedestä.

Syanobakteerien tuottamat hajua ja makuyhdisteet poistuvat samoilla vedenkäsittelymenetelmillä kuin varsinaiset toksiinitkin. Koska yhdisteet aiheuttavat veteen hajua ja makua jo erittäin pieninä pitoisuuksina, voi haitan täydellinen poistaminen olla hankalaa. Tutkimusten mukaan hajua ja makua veteen aiheuttavien yhdisteiden määrä ei kuitenkaan korreloi toksiinien esiintymisen kanssa, eikä niiden tiedetä aiheuttavan terveyshaittaa.

Valviralta ohjeet syanobakteerien valvontaan vesilaitoksilla

Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto Valvira antoi kesäkuussa 2010 ohjeet toksisten syanobakteerien valvontaan ja toimenpiteisiin talousvetä toimittavilla laitoksilla (Taulukko 2, Valvira 2010). Ohjeet perustuvat WHO:n suosituksiin ja Suomen vesilaitoksilla tehtyihin tutkimuksiin ja niillä saatuihin käytännön kokemuksiin.

Enemmän kuin 10 m³ päivässä talousvettä toimittavilla laitoksilla raakaveden laadun seurannan tulee sisältyä laitoksen käyttötarkkailuun, joka esitetään laitoskohtaisessa valvontatutkimusohjelmassa. Kaikkien pintavettä raakavetenään käyttävien vesilaitosten tulisi seurata säännöllisesti raakaveden laatua, mukaan lukien syanobakteerien esiintymistä. Säännöllistä seuranta tulisi tehdä kesäaikaan vähintään kuukausittain ja muulloin tarpeen mukaan.

Jos raakavesilähde on ekologisen tilan luokittelun tai historiansa perusteella altis syanobakteerien esiintymiselle, tulee valvontatutkimusohjelmaan liittää näytteenottosuunnitelma ja seurantalenteri syanobakteerien tutkimiseksi sekä toimintaohjeet syanobakteerien esiintymisen varalle, kuten suunnitelma vaihtoehtoisen raakavesilähteen käyt-

tönotosta ja vedenkäsittelyn tehostamisesta. Raakavesilähdettä ja raakavettä vedenottosyvyydestä tulisi tarkkailla viikoittain. Aistinvaraisen ja mikroskooppisen tarkastelun apuna voi käyttää syanobakteereille ominaista pigmenttiä fykosyaniinia mittaavaa jatkuvatoimista automaattianturia.

Käsittelyssä vedessä ei saisi olla syanobakteerisoluja biomassana ilmoitettuna yli 1 µg/l. Syanobakteeribiomassa 0,1...1 µg/l verkostoon johdettavassa vedessä edellyttää vedenkäsittelyn tehostamista. Tällaisessa pitoisuudessa veden hajua ja makuhaitat ovat mahdollisia. Toksiineja ei verkostoon johdettavassa vedessä tulisi olla osoitettavissa ollenkaan (<0,1 µg/l).

Jos vesilaitoksen verkostoon johdettavassa vedessä havaitaan yksittäinen 1 µg/l mikrokystiinipitoisuuden ylitys, tulisi harkita veden käytön kieltämistä talousvetenä tilapäisesti. Mikäli tämän pitoisuuden ylitys on jatkuvaa tai toksiinipitoisuus käsitellyssä vedessä ylittää

10 µg/l, veden käytön kieltäminen talousvetenä on perusteltua.

Lopuksi

Syanobakteereja on tutkittu Suomen vesillä ja vesilaitoksilla jo reilun neljännesvuosisadan ajan. Huolimatta tehostuneista vesiensuojelutoimista syanobakteerit polskuttelevat iloisesti raakavesilähteissämme, ja tuleva ilmastomuutos voi entisestään lisätä niistä aiheutuvia ongelmia. On kuitenkin lohdullista tietää, että viranomaiset valvovat syanobakteereita juomavedessä ja että Suomen vesilaitoksilla käytössä olevat vedenkäsittelymenetelmät pystyvät poistamaan syanobakteerisolut ja syanobakteerien tuottamat toksiinit kuluttajille jaettavasta talousvedestä siinä määrin, että niistä ei aiheudu vaaraa veden käyttäjille. 💧

Kirjallisuus

- Chorus, I. & J. Bartram (toim.) 1999. Toxic Cyanobacteria in Water: A Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management. London, UK: E & FN Spon.
- Lahti, K., J. Rapala, A.-L. Kivimäki, J. Kukkonen, M. Niemelä, and K. Sivonen. 2001. Occurrence of microcystins in raw water sources and treated drinking water of Finnish waterworks. *Water Science and Technology* 43:225-228.
- Lepistö, L., J. Rapala, C. Lyra, K. A. Berg, K. Erkomaa & J. Issakainen. 2005. Occurrence and toxicity of cyanobacterial blooms dominated by *Anabaena lemmermannii* P. RICHTER and *Aphanizomenon* spp. in boreal lakes in 2003. *Algological Studies* 117 (Cyanobacterial Research 6):315-328.
- Meriluoto, J., J. Rapala & K. Lahti. 2005. Sinilevätoksiinit ja vedenhankinta. *Tekniikka ja kunta* 4/2005:32-36.
- NHMRC 2004. Australian drinking water guidelines 6. www.nhmrc.gov.au/publications/synopses/eh19syn.htm.
- Rapala, J., A. Robertson, A. P. Negri, K. A. Berg, P. Tuomi, C. Lyra, K. Erkomaa, K. Lahti, K. Hoppu & L. Lepistö. 2005. First report of saxitoxin and possible associated human health effects in lakes of Finland. *Environmental Toxicology* 20:331-340.
- Rapala, J., K. Lahti, L. A. Räsänen, A.-L. Esala, S. I. Niemelä, and K. Sivonen. 2002. Endotoxins associated with cyanobacteria, and their removal during drinking water treatment. *Water Research* 36:2627-2635.
- Rapala, J., M. Niemelä, K. A. Berg, L. Lepistö and K. Lahti. 2006. Removal of cyanobacteria, cyanotoxins, heterotrophic bacteria and endotoxins at an operating surface water treatment plant. *Water Science and Technology* 54:23-28.
- Spoof, L., K. A. Berg, J. Rapala, K. Lahti, L. Lepistö, J. S. Metcalf, G. A. Codd & J. Meriluoto. 2006. First observation of cylindrospermopsin in *Anabaena lapponica* isolated from the boreal environment (Finland). *Environmental Toxicology* 21:552-560.
- Valvira 2010. Toksisten syanobakteerien valvonta ja toimenpiteet talousvettä toimittavilla laitoksilla. Ohje Dnro 3804/11.02.02.01/2010. www.valvira.fi/ohjaukset/valvonta/terveydensuojelu/talousvesi.
- WHO 2004. Guidelines for Drinking Water Quality. 3rd Edition, Vol 1. Recommendations. World Health Organization. (www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/en).

KATSAUS KASVINSUOJELUAINEIDEN ESIINTYMISEEN POHJAVEDESSÄ



JUHANI GUSTAFSSON
FM, ylitarkastaja
Suomen ympäristökeskus, Vesikeskus/
Vesivarayksikkö
E-mail: juhani.gustafsson@ymparisto.fi

Torjunta-aineita, joita yleisimmin käytetään maa-, metsä- ja puutarhataloudessa kutsutaan kasvinsuojeluaineiksi. Niitä käytetään myös puutarhoissa ja taimitarhoilla rikkakasvien, sienitautien ja tuhoeläinten torjuntaan. Lisäksi niitä on aikaisemmin käytetty myös radanvarsialueilla sekä maanteiden pientareilla ja liikenteenjaka-alueilla lähinnä rikkakasvien ja vesakon torjuntaan.

Kasvinsuojeluaineiden aiheuttamia pohjaveden pilaantumistapauksia tunnetaan Suomessa ainoastaan muutamia ennen vuotta 2000. Syynä tähän saattaa olla se, että kasvinsuojeluaineiden systemaattista pohjavesiseurantaa ei ole tehty samassa mittakaavassa kuin muualla Euroopassa.

Kasvinsuojeluaineet on kehitetty myrkyllisiksi torjuttaville eliöille, mutta yleensä ne ovat haitallisia myös muille eliöille. Kasvinsuojeluaineet ovat laaja joukko erilaisia kemiallisia yhdisteitä, joiden fysikaalis-kemialliset ominaisuudet ja toksisuus vaihtelevat huomattavasti aineittain. Terveys- ja ympäristöhaittojen ehkäisemiseksi kasvinsuojeluaineet tarkastetaan ja hyväksytään ennen niiden käyttöönottoa. Ennakkotarkastukseen osallistuu useita viranomaisia, jotka arvioivat valmistajien hyväksyttävyyttä oman asiantuntemuksensa perusteella. Muun muassa valmistajien biologinen tehokkuus, käyttökelpoisuus sekä terveys- ja ympäristövaikutukset arvioidaan.

Kasvinsuojeluaineita on käytetty ja niiden myyntimääristä on ke-

rätty tietoa 1950-luvulta lähtien (Markkula ym. 1990). Myyntimäärät kasvoivat huomattavasti 1980-luvulle asti ja olivat enimmillään yli 2 500 tehoainetonna vuodessa. Kasvinsuojeluaineiden käytöstä aiheutuviin terveys- ja ympäristöriskihin alettiin kiinnittää huomiota 1990-luvulla. Kasvinsuojeluaineiden myyntimäärät pienenevät 1990-luvulla ja vuonna 1996 myyntimäärä oli 1 000 tonnia vuodessa. Tämän jälkeen myyntimäärät ovat hieman nousseet. Vuonna 2002 myytiin kasvinsuojeluaineita tehoaineiksi lasketuna 1 633 tonnia. Vuosina 2003–2008 vastaavat myyntimäärät olivat 1 682,3...2 675,3 tonnia vuodessa. Määrät ovat olleet kasvussa koko tämän jakson aikana. Rikkakasvien torjuntaan tarkoitettujen tehoaineiden myydyin torjunta-aineryhmä vuonna 2003 ja niiden osuus oli 78 prosenttia kaikkien tehoaineiden myynnistä ja vastaavasti vuonna 2008 myyntitilaston mukaan rikkakasvien torjuntaan tarkoitettujen tehoaineiden osuus oli 79 prosenttia. Suomessa käyttö on vähäisempää kuin muualla Euroopassa.

Pohjoisissa oloissa kasvinsuojeluaineet hajoavat keskieuropalaisia oloja hitaammin ja siten kuormittavat ympäristöä pidempään.

Muulla Euroopassa kasvinsuojeluaineiden esiintyminen pohjavedessä on kohtalaisen yleistä, kuten Belgiassa, Tanskassa, Ranskassa, Saksassa, Hollannissa ja Iso-Britanniassa. Näissä maissa pohjaveden torjunta-ainepitoisuudet ylittävät talousvedessä esiintyvällä yksittäiselle tehoaineelle asetetun raja-arvon 0,1 µg/l (98/83/EY) säännöllisesti arviolta 5...10 prosentissa pohjavesivarannoista. Yleisimmin Euroopan pohjavesistä on todettu atratsiinia ja sen hajoamistuotteita, simatsiinia, mekopropia ja bentatonia (EUREAU, 2001). Saksassa tehdyssä laajassa tutkimuksessa lähes 13 000 eri paikasta otetuista pohjavesinäytteistä 8,6 prosenttia sisälsi 0,1...1,0 µg/l suuruisina pitoisuuksina kasvinsuojeluaineita, ja 1,1 prosenttia näytteistä ylitti pitoisuuden 1,0 µg/l (Wolter ym. 2000). Ruotsissa tehdyssä selvityksessä pohjavesinäytteistä oli vuosien 1985 – 2001 aikana löydetty 54 eri kasvinsuojeluainetta yhteensä 802 näytteessä (39 %), joista 47 prosenttia oli otettu vedenottamoiden vedestä. Yleisimmin pohjavedestä todettu kasvinsuojeluaineen hajoamistuote 2,6 - diklooribentsoamidi (BAM) esiintyi 36 prosentissa otetuista näytteistä. Atratsiinia todettiin 17 prosentissa, desetyliatratsiinia (DEA) 16 prosentissa, bentatonia 15 prosentissa ja hydroksiatratsiinia (HA) 14 prosentissa otetuista näytteistä. Ruotsissa pohjavedessä esiintyi yleisimmin yli raja-arvon (0,1 µg/l) pitoisuuksina 2,6 - diklooribentsoamidia (BAM), atratsiinia ja bentatonia (Törnquist ym. 2002). Eri maiden pohjavesivarantojen kasvinsuojeluainepitoisuuksien arviointia hankaloittaa lisäksi se, että eniten on tutkittu vain todennäköisesti esiintyviä aineita, tuloksia on ilmoitettu eri tavoin ja osa tutkimuksista on keskittynyt vain todennäköisesti saastuneille alueille. Myös viljelykasvit vaihtelevat eri maissa, jolloin myös käytettyjen aineiden valikoimat ovat eri maissa erilaiset.

TOPO -hanke

Vuosituhanne vaihteessa todettiin muutamilla Ensimmäisellä Salpausselällä sijaitsevilla pohjavesilaitoksilla raakaveden seurannassa kohonneita kasvinsuojeluainepitoisuuksia pohjavedessä. Tästä johtuen vuoden 2002 aikana selvitettiin pilotti -hankkeessa silloisen Uudenmaan ympäristökeskuksen (nykyinen Uudenmaan ELY -keskus) toimesta Hanko-Hyvinkää välisellä alueella kasvinsuojeluaineiden esiintymistä vedenottamoiden raakavesissä. Selvityksen tulosten perusteella nähtiin tarpeelliseksi jatkaa kasvinsuojeluaineiden esiintymisen selvittämistä pohjavedessä ja erityisesti vedenottamoiden raakavedessä.

Kasvinsuojeluaineiden esiintyminen pohjavedessä (TOPO) – hankkeessa otettiin 295 näytettä 275 havaintopaikasta yhteensä 189 pohjavesialueelta vuosien 2002 – 2005 välisenä aikana. Tutkimus kohdistui pohjavesialueille, joilla sijaitti tai on aikaisemmin sijainnut toimintaa, johon liittyy kasvinsuojeluaineiden käyttöä. Tällaisia toimintoja ovat muun muassa maa- ja metsätalous, taimi- ja kaupapuutarhat, virkistysalueet, hautausmaat, maantie- ja raideliikenne ja teollisuuslaitokset. Koska tutkimuskohde on valittu edellä kuvatus mukaisesti, tuloksia ei voi suoraan yleistää kaikkiin pohjavesialueisiin.

Kasvinsuojeluaineita tai niiden hajoamistuotteita todettiin 37 prosentilla tutkituista pohjavesialueista, 35 prosentilla havaintopisteistä ja 39 prosentissa näytteistä. Määrittämissä pitoisuuksia todettiin 28 prosentissa tutkituista pohjavesialueista, 26 prosentissa havaintopisteistä ja 29 prosentissa näytteistä. Pohjaveden torjunta-ainepitoisuus oli suurempi tai yhtä suuri kuin 0,1 µg/l yhteensä 15 pohjavesialueella eli 8 prosentissa tutkituista pohjavesialueista. Yli raja-arvon suuruisina pitoisuuksina todettiin pohjavedessä atratsiinia, DEA:aa, DEDIA:aa, heksatsinonia, bentatonia, bromasiilia sekä BAM:a. Yli määrittämissä pitoisuuksia todettiin 20 prosentissa tutkituista pohjavesialueista. Muita pohja-

vedestä todettuja kasvinsuojeluaineita olivat simatsiini, propatsiini, terbutylatsiini ja sen hajoamistuote desetyyli-terbutylatsiini, mekopropi, dikloproppi, sekä atratsiinin, simatsiinin ja terbutylatsiinin hajoamistuote DIA. Lisäksi kasvinsuojeluaineiden ja niiden hajoamistuotteiden summan pitoisuus oli suurempi tai yhtä suuri kuin 0,5 µg/l seitsemässä näytteessä, eli 2 prosentissa kaikista selvityksessä otetuista pohjavesinäytteistä.

Useiden tässä selvityksessä pohjavedestä todettujen kasvinsuojeluaineiden myynti ja käyttö on kielletty tai muutoin loppunut. Esimerkiksi atratsiinia sisältävien kasvinsuojeluainemisteiden myynti lopetettiin 1990-luvun alkupuolella. Käytöstä poistettujen kasvinsuojeluaineiden löytyminen pohjavedestä on merkki siitä, etteivät ne pohjaveteen päästyään hajoa nopeasti, vaan poistuvat pääosin normaalin pohjaveden kierron kautta. Joissakin pisteissä oli havaittavissa varsinaisen tehoaineen pitoisuuden olevan pienempi kuin hajoamistuotteen. Tutkimuksessa pohjavedestä todettuja kasvinsuojeluaineita on voitu käyttää myös viljelemättömillä alueilla. Atratsiinia sisältäviä kasvinsuojeluaineita on ollut rekisteröitynä sekä rikkakasvien torjuntaan viljelemättömillä alueilla että viljelyillä alueilla kuten metsänviljelyssä, omenapuiden ja marjapensaiden alustoilla. Simatsiinia sisältäviä kasvinsuojeluaineita on käytetty muun muassa rikkakasvien torjuntaan hedelmäpuiden, marjapensaiden, mansikan, perennojen, koristeiden ja pensaiden alustoilla sekä metsätaimien alustoilla ja viljelemättömillä alueilla.

Uusi pohjavesidirektiivi ja vesienhoito

Pohjavesidirektiivin (118/2006/EY) yhtenä tavoitteena on määrittää pohjaveden hyvän kemiallisen tilan arviointiperusteet. Sillä täydennetään myös vesipuitedirektiiviin (2000/60/EY) jo sisältyviä säännöksiä, joilla tähdätään vesien tilan säilymiseen, parantamiseen ja ennallistamiseen. Lisäksi pohjavesidirektiiviin säädöksillä ehkäistään ja rajoitetaan pilaavien aineiden pääsyä pohjaveteen sekä pyritään

ehkäisemään kaikkien pohjavesimuodostumien tilan heikkeneminen.

Pohjavesidirektiivi on kansallisesti toimeenpantu muuttamalla olemassa olevia valtioneuvoston asetuksia vesienhoidon järjestämisestä (1040/2006) ja vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista (1022/2006). Asetukseen vesienhoidonjärjestämisestä tehdyssä muutoksessa (341/2009, 20.5.2009) vahvistettiin muun muassa pohjaveden hyvän kemiallisen tilan arviointiin käytettävät ympäristölaatu normit. Vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista annettuun asetukseen lisättiin muutoksella (342/2009, 20.5.2009) pohjaveden päästökielto tiettyjen aineiden ja aineryhmien osalta. Asetusmuutokset ovat tulleet voimaan 1.6.2009.

Pohjavesidirektiivissä vahvistetaan yhteisötasolla pohjaveden hyvän kemiallisen tilan arviointiin käytettäviksi laatu normit sekä nitraateille (50 mg/l) että kasvinuojeluaineiden tehoaineille, mukaan luettuina niiden merkitykselliset aineenvaihdunta-, hajoamis- tai reaktiotuotteet (0,1 µg/l yksittäiselle yhdisteelle ja 0,5 µg/l yhdisteiden summalle). Laatu normit perustuvat olemassa olevaan yhteisöläinsäädäntöön. Kasvinuojeluaineille ja niiden hajoamistuotteille vahvistetut pohjavesilaatu normit ovat vastaavat kuin talousvedelle on asetettu neuvoston direktiivissä (1998/83/EY) ihmisen käyttöön tarkoitetun veden laadusta. Pohjavesidirektiivin mukaan jäsenvaltiot voivat asettaa kansallisesti tiukempia ympäristölaatu normeja nitraatin ja kasvinuojeluaineiden osalta, mikäli se on tarpeen direktiivin ympäristötavoitteiden saavuttamiseksi. Kasvinuojeluaineiden osalta pohjavesidirektiivissä asetettua ympäristölaatu normeja tiukempia raja-arvoja joko yksittäisille tehoaineille tai niiden hajoamistuotteille ovat antaneet muun muassa Britannia, Irlanti ja Italia (EC, 2010). Suomessa on asetettu pohjavesidirektiivin mukaiset ympäristölaatu normit.

Valtioneuvosto hyväksyi joulukuussa 2009 seitsemän vesienhoitosuunnitelmaa, jotka kattavat Manner-Suomen vesienhoitoalueet. Suunnitelmat ja niihin liittyvät toimenpideohjelmat ovat

keskeinen väline asetettujen ympäristötavoitteiden saavuttamisessa.

Selvitysten ja toimenpiteiden kohdentamista varten on vesienhoitoon liittyen tarkasteltu pohjavesialueilla sijaitsevia pohjaveden laatuun ja määrään vaikuttavia ihmistoimintoja. Alueet, joilla todettiin ihmistoiminnan aiheuttavan merkittävää uhkaa pohjaveden hyvälle tilalle, nimettiin riskialueiksi. Kaiken kaikkiaan tarkastelluista vedenhankintaa varten tärkeistä ja vedenhankintaan soveltuvista pohjavesialueista (luokat I ja II), joita on yhteensä noin 3 800 kappaletta, nimettiin riskialueiksi yhteensä 246 pohjavesialuetta. Näistä riskialueiksi nimetyistä pohjavesialueista ainakin 54 alueella on todettu kasvinuojeluaineiden aiheuttavan riskin pohjaveden hyvälle kemialliselle tilalle.

Hoitosuunnitelmissa esitettiin ensimmäistä kertaa myös arviot pohjaveden tilasta. Kaikkiaan 81 pohjavesialueella todettiin tilan olevan huono. Näistä alueista yhteensä 26 pohjavesialueella eli noin kolmanneksessa tapauksista pohjaveden huonon tilan yhtenä aiheuttajana on todettu kasvinuojeluaineepitoisuudet pohjavedessä.

Maa- ja metsätalouden hajakuormituksen pohjavesiseuranta

Maa- ja metsätalousministeriön rahoittamana aloitettiin vuonna 2007 maa- ja metsätalouden hajakuormituksen ja sen vaikutusten seurantahanke. Seuranta kohteiksi on valittu pohjavesialueita joilla harjoitetaan maa- ja metsätaloutta sekä niihin liittyvää toimintaa ja joissa on todettu maa- ja metsätalouden aiheuttavan riskin vesien tilan heikkenemiselle. Seurantaverkkoa suunniteltaessa on huomioitu erilaisia tekijöitä, kuten intensiivisen viljelyn alueet, voimakkaan karjatalouden alueet sekä kasvinuojeluaieriskä aiheuttavat alueet. Lisäksi seurannassa on kiinnitetty huomiota metsätalouden ongelmakohteisiin sekä alueisiin, joilla on ollut tai on turkistarhausta. Seuranta on osa EU:n vesipolitiikan puitteiden direktiivin ja sen nojalla säädetyn, vesienhoidon järjestämisestä koskevan lain mukaista toimeenpanoa ja palvelee samalla myös nitraatidirektiivin edellyttämää pohjavesiseurantaa.

vin edellyttämää pohjavesiseurantaa.

Kahden ensimmäisen vuoden (2007–2008) aikana näytteet otettiin yhteensä 111 eri havaintopaikasta. Yhteensä 75 pohjavesialueella kaikkiaan 80 havaintopaikasta määritettiin ravinteiden lisäksi myös kasvinuojeluaineet, joista yhteensä 41 prosentissa mukana olleista havaintopaikoista löytyi kasvinuojeluaineita. Näistä 12 pohjavesialueella jonkin yksittäisen torjunta-aineen pitoisuus ylitti asetettua (0,1 µg/l) raja-arvon. Tämän selvityksen tuloksissa yleisin pohjavedestä todettu torjunta-aine oli BAM, jota todettiin yhteensä 13 havaintopaikasta, joista neljässä näytteessä pitoisuus ylitti asetettua raja-arvon. Terbutylatsiinia löytyi kahdeksasta kohteesta, DIA:ia yhdeksästä kohteesta ja DED:ia viidestä eri kohteesta. Yksittäisistä aineista 2,4,5-trikloorifenoksietikkahapolla ja terbutylatsiinilla todettiin korkeimmat pitoisuudet. Muita löydettyjä torjunta-aineita olivat muun muassa DEA, simatsiini, atrasiini sekä heksatsinoni.

Maa- ja metsätalouden pohjavesivaikutusten seurannassa on otettu torjunta-ainenäytteet 10 samasta havaintopaikasta kuin TOPO – hankkeessa. Lisäksi TOPO- hankkeessa mukana olleilta pohjavesialueilta on vuosina 2007–2008 maa- ja metsätalouden pohjavesivaikutusten seurantahankeessa otettu näytteet kuudesta uudesta tai eri havaintopaikasta kuin TOPO – hankkeessa. Selvityksessä yhteensä 17 pohjavesialueella, jotka eivät olleet mukana TOPO – hankkeessa, todettiin kasvinuojeluaineita ja yhteensä yhdeksällä pohjavesialueella kasvinuojeluaineiden pitoisuus oli yli raja-arvon.

Kasvinuojeluaineet ongelmana vesilaitoksilla

Talousveden laadunvalvonnan yhteydessä vesilaitokset määrittävät vedestä kasvinuojeluaineepitoisuudet, mikäli vedenottamon vaikutusalueella käytetään tai on käytetty kasvinuojeluaineita. Näihin valvontatutkimuksiin ei yleensä sisälly raakaveden seuranta, vaan ainoastaan verkostoon johdettavan talousveden laadunseuranta. Sosiaali- ja terveysministeriön talousveden laatuvaatimuksista ja val-

vontatutkimuksista antaman asetuksen (461/2000) mukaan yksittäisen kasvin-suojeluaineen enimmäispitoisuus talousvedessä on 0,1 µg/l ja useiden kasvin-suojeluaineiden yhteispitoisuuden raja-arvo on 0,5 µg/l. Raja-arvot on annettu juomavesidirektiivissä (98/83/EY) niin sanotun ennaltaehkäisyperiaatteen mukaisesti, kun taas Maailman terveysjärjestön, WHO:n, juomavedelle antamat ohjeet kasvin-suojeluainepitoisuuksille perustuvat aineiden vaikutuksiin ihmisen terveyteen pitkän aikavälin altistuksella. WHO:n antamat ohjeet ovat tehoainekohtaisia ja usein huomattavasti korkeampia kuin juomavesidirektiivin ja kansallisesti toimeenpannun asetuksen raja-arvot. Esimerkiksi WHO:n antama ohjeet juomaveden atrasiinipitoisuudelle on 2,0 µg/l. (WHO, 2008)

TOPO – hankkeessa saatujen tulosten perusteella nähtiin tarpeelliseksi laatia opas vesihuoltolaitoksille. Vuonna 2006 laadittiin Vesi- ja viemäri-laitosyhdistyksen, Sosiaali- ja terveydenhuollon tuotevalvontakeskuksen (nykyinen Valvira) ja Suomen ympäristökeskuksen yhteistyönä ”Torjunta-aineet pohjavedessä – opas vesilaitoksille” -julkaisu. Oppaassa käsitellään vesihuoltolaitosten kannalta keskeisiä toimia, joihin laitosten on ryhdyttävä mikäli talousvedestä tai laitosten käytämästä raakavedestä todetaan kasvin-suojeluaineita. Lisäksi oppaassa on tietopaketti pohjavedestä todetuista kasvin-suojeluaineista, katsaus pohjaveden käsittelymenetelmistä ja esimerkkejä käytössä olevista kasvin-suojeluaineiden poistolaitoksista (VVY, 2006).

Johtopäätöksiä

Suomen ympäristökeskuksen koordinoimissa selvityksissä tai seurannoissa on tutkittu kasvin-suojeluaineiden esiintymistä pohjavedessä yhteensä 254 pohjavesialueella. Näiltä tutkituilta pohjavesialueilta yhteensä 87 alueella on todettu kasvin-suojeluaineita pohjavedessä. Kaikkiaan 24 pohjavesialueella kasvin-suojeluaineiden pitoisuus pohjavedessä on ylittänyt asetetun raja-arvon eli 0,1 µg/l pitoisuuden.

Edellä esitettyjä tuloksia kasvin-suojeluaineiden esiintymisestä ja pitoisuuksista pohjavedessä ei voida yleis-

tää, koska näytteenotto on tarkoituksellisesti suunnattu pohjavesialueille, joilla sijaitsevien toimintojen perusteella epäillään alueella käytetyn kasvin-suojeluaineita. Myös näytemäärät ja tutkittujen pohjavesialueiden lukumäärä on pieni. Kasvin-suojeluainepitoisuuksia esiintyi hyvin satunnaisesti. Kasvin-suojeluainepitoisuudet samalla pohjavesialueella saattavat vaihdella huomattavasti eri näytteenotto-paikoilla. TOPO -hankkeessa todettiin jopa hyvin lähekkäin sijaitsevien saman vedenottamon eri kaivojen välillä suuria eroja kasvin-suojeluaineiden esiintymisessä.

Jatkotoimet

Kasvin-suojeluaineiden aiheuttamia pohjaveden pilaantumistapauksia on Suomessa muihin Euroopan maihin verrattuna vähän. Osaksi syynä tähän saattaa olla se, että kasvin-suojeluaineiden systemaattista pohjavesiseurantaa ei ole tehty samassa mita-kaavassa kuin muualla Euroopassa. Pohjavesiseurannan vähäisyyteen on osaltaan taas vaikuttanut kasvin-suojeluaineanalyysien kalleus ja aikaisemmin myös niiden heikohko saatavuus Suomessa. Kasvin-suojeluaineiden jatkuvan pohjavesiseurannan järjestäminen olisi välttämätöntä, jotta voitaisiin muun muassa arvioida pitoisuuksien kehittymistä pitkällä aikavälillä.

Vuoden 2009 marraskuussa tuli voimaan Euroopan parlamentin ja neuvoston antama direktiivi 2009/128/EY yhteisön politiikan puitteista torjunta-aineiden kestäväen käytön aikaansaamiseksi. Puittedirektiivin tarkoitus on ohjata jäsenmaita käyttämään kasvin-suojeluaineita kestäväällä tavalla eli vähentämään niiden käyttöä ihmisten terveydelle ja ympäristölle aiheuttuvia riskejä ja vaikutuksia sekä edistämään integroidun torjunnan ja vaihtoehtoisten toimintatapojen ja tekniikoiden käyttöä. Torjunta-ainepuittedirektiivi edellyttää jäsenmaita laatimaan kansalliset toimintasuunnitelmat kasvin-suojeluaineiden käytöstä johtuvien riskien vähentämiseksi. Toimintaohjelman tulee sisältää tavoitteet, keinot ja aikataulut kasvin-suojeluaineiden terveys- ja ympäristöriskien vähentämiseksi. Kansalliset

suunnitelmat tulee ottaa käyttöön viimeistään joulukuussa 2012.

Kirjallisuus

- European Commission, 2010. Report in accordance with Article 3.7 of Groundwater Directive 2006/118/EC (GWD) on the establishment of groundwater threshold values.
- EUREAU 2001. Keeping raw drinking water resources safe from pesticides. EUREAU position paper. 38 s.
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/60/EY, annettu 23. lokakuuta 2000 yhteisön vesipolitiikan puitteista. Euroopan yhteisöjen virallinen lehti L327, 22.12.2000.
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/118/EY, annettu 12. joulukuuta 2006 pohjaveden suojelusta pilaantumiselta ja huononemiselta. Euroopan yhteisöjen virallinen lehti L372/19, 27.12.2006.
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/128/EY, annettu 21. lokakuuta 2009 yhteisön politiikan puitteista torjunta-aineiden kestäväen käytön aikaansaamiseksi. Euroopan yhteisöjen virallinen lehti L309/71, 24.11.2009.
- Euroopan neuvoston direktiivi 98/83/EY, annettu 3. marraskuuta 1998 ihmisen käyttöön tarkoitettujen veden laadusta. Euroopan yhteisöjen virallinen lehti L330/32, 2.12.1998.
- Markkula, M., Tiittanen, K & Vasarainen, A. 1990. Torjunta-aineet maa- ja metsätaloudessa 1953 – 1987. Maatalouden tutkimuskeskuksen tiedote 2/90, 58 s.
- Törnquist, M., Kreuger, J. ja Ulén, B. 2002. Förekost av bekämpningsmedel i svenska vatten 1985–2001. Sammanställning av en databas. Ekohydrologi 65, Uppsala, 2002.
- Vesi- ja viemäri-laitosyhdistys, Suomen ympäristökeskus ja Sosiaali- ja terveydenhuollonvalvontakeskus. Torjunta-aineet pohjavesissä – opas vesilaitoksille. Vesi- ja viemäri-laitosyhdistys. Helsinki, 2006.
- Wolter, R., Rosenbaum, S. ja Hannappel S. 2000. The German groundwater monitoring network. Proceedings of the MTM-III conference, Nunspeet, The Netherlands, 25–28.9. 2000. 277–282.
- Vuorimaa, P., Kontro, M., Rapala, J. ja Gustafsson, J., 2007. Torjunta-aineiden esiintyminen pohjavedessä – Loppuraportti. Suomen ympäristö 42/2007, Suomen ympäristökeskus (SYKE). ISBN: 978-952-11-2915-5. ISBN: 978-952-11-2915-5 (PDF) ISBN 978-952-11-2914-8 (nid.).
- WHO Guidelines for Drinking Water Quality 3, 2008. ♡

UUSI DIREKTIIVI VAHVISTAA PINTAVESILLE HAITALLISTEN AINEIDEN LAATUNORMIT

SUSAN LONDESBOROUGH
Ylitarkastaja
Suomen ympäristökeskus
E-mail: susan.londesborough@ymparisto.fi

JAAKKO MANNIO
Erikoistutkija
Suomen ympäristökeskus
E-mail: jaakko.mannio@ymparisto.fi

Pintavesille haitallisten ja vaarallisten prioriteettiaineiden ympäristönlaatunormit on vahvistettu vuoden 2009 alussa Euroopan parlamentin ja neuvoston hyväksymässä direktiivissä (2008/105/EY). Niin sanottu prioriteettiainedirektiivi toimeenpannaan kansallisesti täydentämällä valtioneuvoston asetusta vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista (1022/2006). Samalla vahvistetaan mittausmenetelmien laatuvaatimukset.

Vesiympäristölle vaarallisten ja haitallisten aineiden asetuksen tarkoituksena on suojella pintavesiä ja parantaa niiden laatua ehkäisemällä vaarallisista ja haitallisista aineista aiheutuvaa pilaantumista ja sen vaaraa. Tavoitteena on lopettaa vaarallisten aineiden päästöt vesistöön sekä vähentää haitallisten aineiden päästöjä ja huuhtoumia. Vesiympäristölle vaaralliset aineet ovat pysyviä, eliöihin kertyviä myrkyllisiä yhdisteitä, jotka voivat aiheuttaa pitkäaikaisia haittavaikutuksia. Haitalliset aineet ovat muulla tavoin, esimerkiksi akuutisti, vesiympäristölle haitallisia aineita. Direktiivikielellä puhutaan prioriteettiaineista ja vaarallisista prioriteettiaineista. Yksittäisiä aineita on tunnistettu riskiperusteisesti sekä EU-tasolla (Taulukko 1) että kansallisesti (Taulukko 2) ja ne on lueteltu asetuksen liitteissä laatuormeineen. Sekä EU-tasolla että kansallisesti tunnistettuja haitallisia aineita tarkastellaan määrääjain ja aineluettelot päivitetään tarpeen mukaan. Komission ehdotus uusiksi prioriteettiaineiksi on luvassa alkuvuodesta 2011.

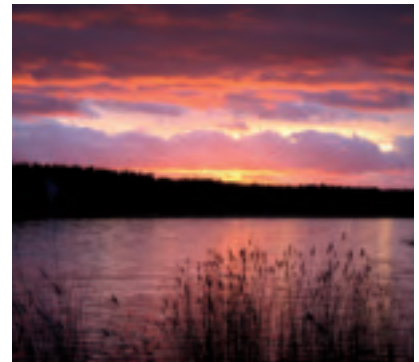
Ympäristönlaatunormit

Ympäristönlaatunormi on sellainen vesiympäristölle haitallisen aineen pitoisuus vedessä, sedimentissä tai eliöstössä, jota ei saa ihmisten terveyden tai ympäristön suojelemiseksi ylittää. Normeja käytetään raja-arvona luokiteltaessa pintavesiä ja määritettäessä vesien kemiallista tilaa. Haitallisten ai-

neiden osalta pintaveden tila on hyvä, mikäli haitallisten aineiden pitoisuudet ovat alhaisempia kuin laatu- normit. Uusi prioriteettiainedirektiivi vahvistaa haitallisille aineille ympäristönlaatu- normit pääosin aineiden pitoisuuksille vedessä. Kolmelle aineelle, heksaklooribentseenille, heksaklooributadieenille ja elohopealle on lisäksi annettu laatu- normit pitoisuutena kalassa. Kansallisessa asetuksessa annetaan lisäksi suositus elohopean luontaiseksi taustapitoisuudeksi.

Tarkkailu

Asetuksen liitteiden aineet kuuluvat ympäristönsuojeluasetuksen (169/2000) liitteen 1 aineryhmiin ja niiden päästöt vesiin tai vesihuoltolaitoksen viemäriin ovat siten ympäristöluvanvaraisia, ellei toiminnanharjoittaja osoita päästöjen olevan niin vähäisiä, ettei ympäristön pilaantumisen vaaraa ole. Tarkkailu on järjestettävä, mikäli aineita voi päästä vesistöön. Tarkkailutiheys on ohjeellisesti vähintään 12 kertaa vuodessa EU-lainsäädännössä vahvistetuille aineille sekä 4 kertaa vuodessa kansallisesti valituille haitallisille aineille. Ympäristönlaatu- normeja ei voida soveltaa päästölähteiden välittömässä läheisyydessä, vaan tarkkailupisteet on valittava siten, että päästöt ovat riittävästi sekoittuneet. Uusi direktiivi antaa mahdollisuuden määrittää sekoittumis- vyöhykkeitä, joilla laatu- normit voivat tietyin edellytyksin ylittyä. Tämä toteutettaisiin ympäristöluvassa toiminnanharjoittajan hakemuksesta. Eliöihin ja



sedimentteihin kertyvien aineiden pitkäaikaismuutosten seurannasta on säädetty erikseen.

Mittausmenetelmien laatuvaatimukset

Asetuksen liitteessä on lueteltu analyysimenetelmiä ja tulosten tulkintaa koskevat vaatimuksen Euroopan komission direktiivin 2009/90/EY mukaisesti. Käytettävät menetelmät validoidaan EN ISO/IEC-17025 -standardin tai muiden kansainvälisellä tasolla hyväksytyjen vastaavien standardien mukaisesti. Mittausepävarmuus saa olla enintään 50 prosenttia ympäristönlaatu- normin pitoisuustasolla määritettynä. Määritysraja saa olla enintään kolmasosa ympäristönlaatu- normista. Mikäli näitä laatuvaatimuksia täyttäviä menetelmiä ei ole olemassa, tulee käyttää parasta saatavilla olevaa menetelmää. Laboratoriot osoittavat päteveytensä muun muassa osallistumalla pätevyys- kokeisiin ja määrittämällä soveltuvia vertailumateriaaleja.

Taulukko 1. EU-tasolla tunnistetut haitalliset aineet ja arvio niiden teollisuus- ja kuluttajakäytöstä Suomessa.
Lähde: Kemikaalien tuoterekisteri. *aine luokiteltu vaaralliseksi prioriteettiaineeksi

Aine	Ainetta sisältävien kemikaalituotteiden lkm	Valmistus- ja maahantuontimäärät 2005 – 2009 (t/a)	Tietoja käytöstä
1,2-dikloorietaani	< 4	< 1	Laboratoriokemikaali, liuotin
bentseeni	30 – 40	150 – 350 000	Petrokemian peruskemikaali, raakaöljyn komponentti, bensiinin lisäaine, liuotin, mm. liimojen, lakkojen, väriaineiden ja tekokuultujen valmistuksessa.
Bromatut difenyyli-eetterit*	–	–	Kuluttajatuotteiden palonestoaineita. Penta- ja okta-BDE:n tuonti ja valmistus on kielletty.
C10-13-kloorialkaanit*	≤ 4	< 1	Käyttö pääkäyttökohteissa kielletty, käyttöä maalin pehmittimenä.
di(2-etyyliheksyyli) ftalaatti (DEHP)	25 – 30	50 – 750	Pehmitin ja stabilisaattori kumissa ja PVC-muovissa.
diuroni	15 – 20	5 – 1 200	Biosidikäyttöä rakennustuotteiden maaleissa ja liimoissa.
heksaklooributadieeni*	–	–	–
hiilitetrakloridi	5 – 6	< 0,1	Laboratoriokemikaali, kumituotteiden liimoissa.
naftaleeni	~ 100	4 000 – 90 000	Kivihiihtervan ja kreosootin ainesosa, lisäaine polttoaineissa, maaleissa, liimoissa, väriaineissa.
nonyylifenolit – ja etoksylaatit	~ 150	~ 150	Käyttö pääkäyttökohteissa (mm. pesu- ja puhdistusaineissa, tekstiilien prosessoinnissa ja massan ja paperin valmistuksessa) kielletty.
oktyylifenolit ja -etoksylaatit	< 4	–	Käyttöä edelleen maalien valmistuksessa.
tetrakloorieteeni	20 – 25	100 – 300	Pinta-aktiivinen aine pesuaineissa, valokuvauskemikaaleissa.
triklooribentseenit	–	–	Liuotin puhdistusaineissa, maaleissa, liimoissa.
trikloorieteeni	30 – 35	100 – 400	Liuotin puhdistusaineissa, maaleissa, liimoissa.
trikloorimetaani (kloroformi)	≤ 4	< 10 t	Laboratoriokemikaali, juoma- ja uimaveden kloorauksen sivutuote.

Metallit: elohopea, lyijy, nikkeli, kadmium sekä niiden yhdisteet.

Torjunta-ainekäytöstä poistuneita aineita: alakloori, DDT, diuroni, endosulfaani*, klorfenvinofossi, klorpyrifossi (klorpyrifossi-etyyli), aldrini, dieldriini, endriini, isodriini, simatsiini, trifluraliini, atratsiini, isoproturoni, pentakloorifenoli, heksakloorisykloheksaani (lindaani)*, heksaklooribentseeni, pentaklooribentseeni, tributyyltinayhdisteet* (tributyylitina-kationi).

Polyaromaattiset hiilivedyt: bentso(a)pyreeni*, bentso(b)-fluoranteeni* bentso(k)-fluoranteeni* bentso(g,h,i)-peryleeni*, indeno (1,2,3-cd)pyreeni*, antraseeni*, naftaleeni, fluoranteeni, naftaleeni.

Taulukko 2. Kansallisesti tunnistetut haitalliset aineet ja arvio niiden teollisuus – ja kuluttajakäytöstä Suomessa.
Lähde: Kemikaalien tuoterekisteri.

Aine	Ainetta sisältävien kemikaalituotteiden lkm	Valmistus- ja maahantuontimäärät 2005 – 2009 (t/a)	Tietoja käytöstä
klooribentseeni	15 – 20	450 – 1300	Liuotinkäyttö hyönteisten ja punkkien torjunta-aineissa, välituotteena ja liuottimena erilaisissa öljyissä, rasvoissa, puhdistusaineissa, kosmetiikkatuotteissa, lääkevalmisteissa, maaleissa ja lämmönsiirtoaineissa.
1,2-diklooribentseeni	5	2 – 100	Klooribentseenin valmistuksen sivutuote, välituote torjunta-aineiden valmistuksessa, liuotinkäyttö maaleissa, lakoissa, painoväreissä, puhdistus ja pesuaineissa (laivojen koneiden huolto), hajuste kosmetiikassa ja pesuaineissa.
1,4-diklooribentseeni	5	10 – 300	Hajuste kosmetiikassa, pesuaineissa (mm. WC-raikastimet), koipalloissa, desinfiointiaineissa (mm. tekstiilien viimeistelyyn).
bentsyylibutyyliftalaatti	20 – 30	100 – 600	Pehmitin muovituotteissa, maaleissa, lakoissa, painoväreissä, liimoissa kosmetiikkatuotteissa.
dibutyyliftalaatti	35 – 50	100 – 300	Pehmitin muovituotteissa, maaleissa, lakoissa, painoväreissä, liimoissa kosmetiikkatuotteissa.
resorsinoli eli 1,3-bentseenidioli	30 – 40	150 – 850	Kovetin metallivaluteollisuuden muottien valmistuksessa ja liimoissa (vaneri- ja puulevyjen valmistus). Saattaa esiintyä kosmetiikkatuotteissa (hiusvärit).
2-(tiosyanometyyli)bensotiatsoli (TCMTB)	5	1 – 2	Hajooa MBeT:ksi. säilytys- ja desinfiointiaine mm. nahan käsittelyssä, paperi- ja selluteollisuuden limantorjunnassa ja puunsuojamaaleissa.
bentsotiatsoli-2-tioli (MBeT) ¹	15 – 20	1 – 10	Kiihdytinaine kumin vulganoimisessa, esiintyy kumituotteissa (mm. renkaat, hihat, tiivistimet, jalkineet), korroosionestoaine limantorjunta-aineissa.
bronopoli	70 – 100	200 – 600	Limantorjunta-aine massa- ja paperiteollisuudessa, vesihomeen torjunta-aine kalankasvatuksessa.
dimetoaatti	3	40	Kasvinsuojeluaine, tuhohyönteisten torjunta puutarha- ja peltoviljelyksillä.
MCPA	10	480	Kasvinsuojeluaine, rikkakasvien torjunta (vilja, herne, pellava, nurmi, tienvareet, pientareet).
metamitroni	5	5 – 70	Kasvinsuojeluaine, rikkakasvien torjunta (sokerijuurikas, rehijuurikasviljelykset).
prokloratsi	5	40	Kasvinsuojeluaine, sienitautien torjunta (viljat).
mankotsebi	5 – 10	60 – 140	Kasvinsuojeluaine, perunaruton torjunta (laatumormi on annettu mankotsebin hajoamistuotteelle etyleenitiourealle).
tribenuronimetyyli	2 – 4	2 – 7	Kasvinsuojeluaine, rikkakasvien torjunta (syys- ja kevätviljaviljelykset), pienannosherbisidi.

¹MBeT:n (CAS 120-78-5) valmistus ja maahantuontimäärä oli vuosina 2005 – 2008 70 – 110 t/a. MBeT:hajoo MBeT:ksi. Sen käyttötarkoitukset ovat samankaltaisia kuin MBeT:n.

TENOJOEN VEDEN LAATU VUOSINA 1964–2008



JORMA NIEMI
maat. metsät. tri
Suomen ympäristökeskus
E-mail: jorma.niemi@ymparisto.fi

Kirjoittajan päätehtävänä on
ympäristön seuranta



Tenojoen veden laatu oli erinomaistavuosina 1964–2008 tehtyjen fysikaalis-kemiallisten ja bakteriologisten seurantatulosten perusteella. Laatu vaihtelut olivat kuitenkin suuria.

Tenojoki on Suomen pohjoisimpia jokia. Sen valuma-alue on noin 16 400 km², josta noin kolmannes on Suomen puolella. Sivujokineen se on tärkeä Pohjois-Atlantin lohien lisääntymisjoki. Latvajokensa Inarijoen kanssa se muodostaa noin 280 km matkalla osan Suomen ja Norjan välisestä rajasta ja kuuluu EU:n vesipolitiikan puitteiden perusteella muodostettuun kansainväliseen Tenon, Näätämojoen ja Paatsjoen vesienhoitoalueeseen. Joen suojelua hoidetaan perinteisesti yhteistyössä Norjan kanssa muun muassa suomalais-norjalaisessa rajavesikomissiossa.

Tenojoen kalastoa, pohjaeläimiä ja veden fysikaalis-kemiallista laatua on tutkittu paljon (mm. Huttula ym. 1996, Heino 2002, Niemelä 2004, Lapin ympäristökeskus 2006, Sivonen 2006). Se

oli yhtenä kohteena vertailtaessa jokien fysikaalis-kemiallista veden laatua ja raskasmetalleja vuosien 1998–2002 mediaanien avulla (Niemi ja Raateland 2005). Lisäksi sen veden laatua on tutkittu yhdessä muiden Lapin jokien kanssa vedenlaatumuuttujien minimien, mediaanien ja maksimien perusteella (Niemi 2007).

Tenojoen veden laatua haluttiin tarkastella yksityiskohtaisesti ympäristöviranomaisten tietojärjestelmissä olevien pitkäaikaisten veden laadun seurantatulosten valossa. Materiaalina olivat vuosien 1964–2008 yhden havaintopaikan tulokset keskeisistä fysikaalis-kemiallisista vedenlaatumuuttujista sekä bakteerimäärytyksistä.

Joen veden laatu osoittautui erinomaiseksi. Laadun vuodenaikavaihtelut olivat kuitenkin suuria. Ainoastaan kahden muuttujan pitoisuuksissa havaittiin kehityssuunta; kokonaistypessä aleneva suuntaus ja sähkönjohtokyvyssä lievästi nouseva suuntaus.

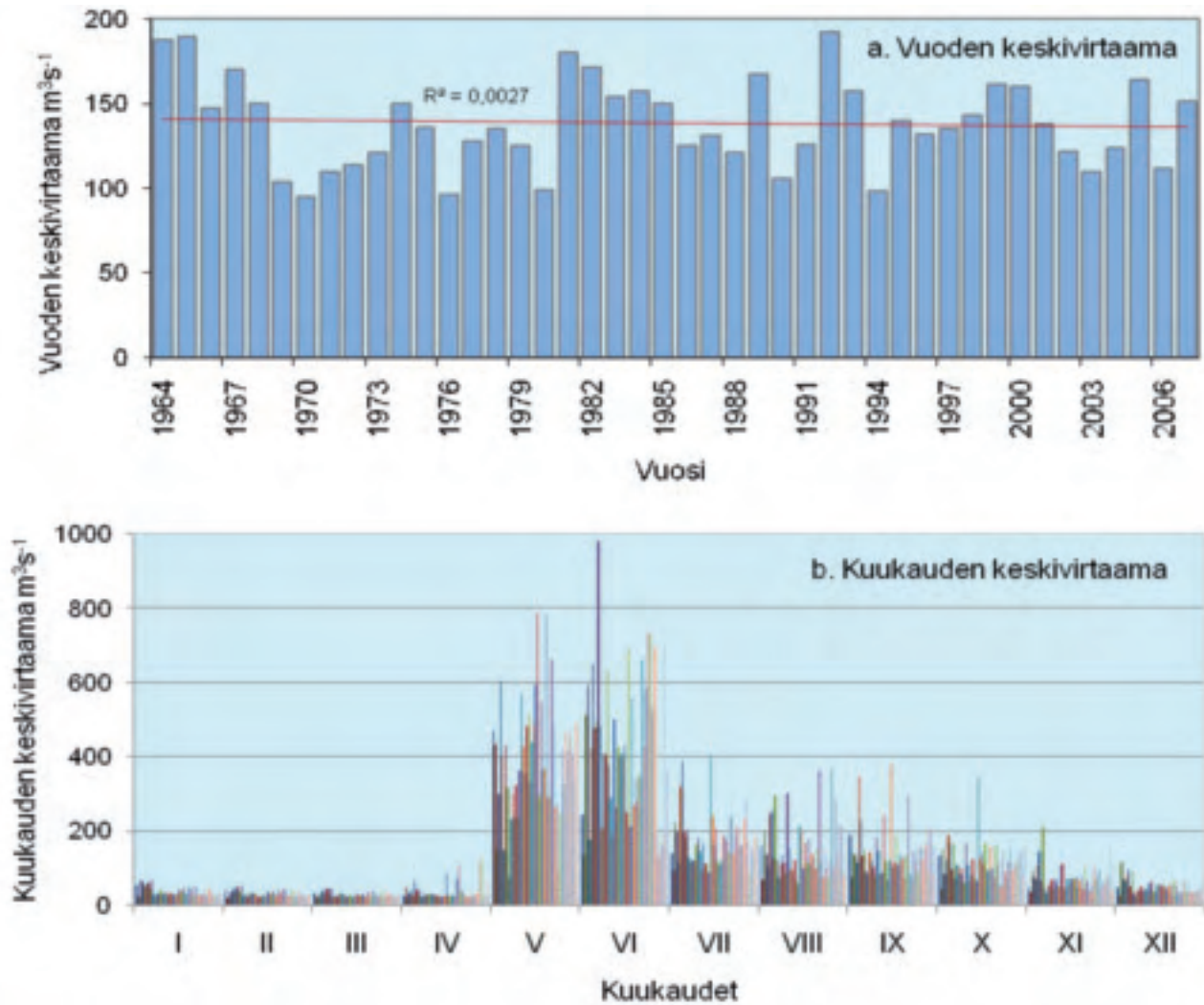
Materiaali ja metodit

Vedenlaatu- ja virtaamatiedot saatiin

ympäristöhallinnon tietojärjestelmistä, joissa oli tuloksia joen fysikaalis-kemiallisesta vedenlaadusta kaikkiaan 29 havaintopaikalta. Näistä viideltä paikalta oli yli kymmenen havaintokertaa, muista vain muutama. Työssä tarkasteltiin Tenojoki 14500 havaintopaikkaa (PK pohjoinen 7761400 – PK itä 3505400), koska siitä oli pitkäaikaisimmat tulokset. Vesienhoitoalueiden seurannassa se on perusseurantaan kuuluva referenssipaiikka ja tyypiltään ’erittäin suuri kangasmaiden joki’. Paikan tiedot raportoidaan EU:lle osana vesipolitiikan puitteiden direktiivin mukaista seurantaohjelmaa.

Tarkastellut vedenlaatumuuttajat olivat: kokonaisfosfori, kokonaistyppepi, sähkönjohtokyky, kemiallinen hapenkulutus, fekaaliset enterokokit ja alkaliniteetti. Vedenlaatumuuttajat on analysoitu pintavesinäytteistä. Havaintojaksoneen olivat vuodet 1964–2008, viimeisten havaintojen ollessa keväältä 2008. Havaintokertoja oli fysikaalis-kemiallisista muuttujista 259–263 kpl ja bakteereista 114 kpl.

Tuloksia oli eniten maaliskuusta, touko- ja lokakuulta, muilta kuukausilta



Kuva 1. Onnelansuvannon (a) vuosittaiset keskivirtaamat ja niiden lineaarinen regressio sekä (b) kuukausittaiset keskivirtaamat 1964–2007.

vain vähän. Vuosina 1972, 1973 ja 1974 vedenlaatu muuttui oli analysoitu pääosin kerran kuukaudessa. Jakson loppupuolella tuloksia oli lisäksi huhti-, heinä- ja syyskuulta.

Virtaamatiedot saatiin Onnelansuvannon havaintopaikasta (tunnus 6801000, peruskoodinaatit: PK pohjoinen 7759296 – PK itä 3501205, valuma-alue 10864 km², järvisyys 2,1 % ja keskivirtaama 137 m³s⁻¹), joka sijaitsee noin 5 km ylävirtaan Tenojoki 14500 havaintopaikasta, joten se kuvaa hyvin myös valitun vedenlaatu paikan virtaamia.

Tulokset ja tulosten tarkastelu

Tenojoki virtaa arktisella harvaan asutulla alueella. Sen valuma-alue on metsää, paljakkaa ja suota. Ihmisen aiheuttamat ympäristöpaineet ovat verrat-

tain vähäisiä ja keskittyvät taajama-alueiden lähellä oleville joen osille. Vuoden kierron aikana ilmasto vaihtelee verrattain lämpimistä kesistä ankariin talviin. Lumen sulamisen aikana virtaamat ovat korkeimmillaan ja vesiin tulee kuormitusta valuma-alueelta. Lisäksi jokeen voi kulkeutua lumien sulaessa muun muassa talven aikana kaukokulkeutumisen ja laskeuman kautta lumeen mahdollisesti kertyneitä aineita (Mähönen 2002). Keväällä jääpadot voivat aiheuttaa tulvia, erityisesti joen alajuoksulla.

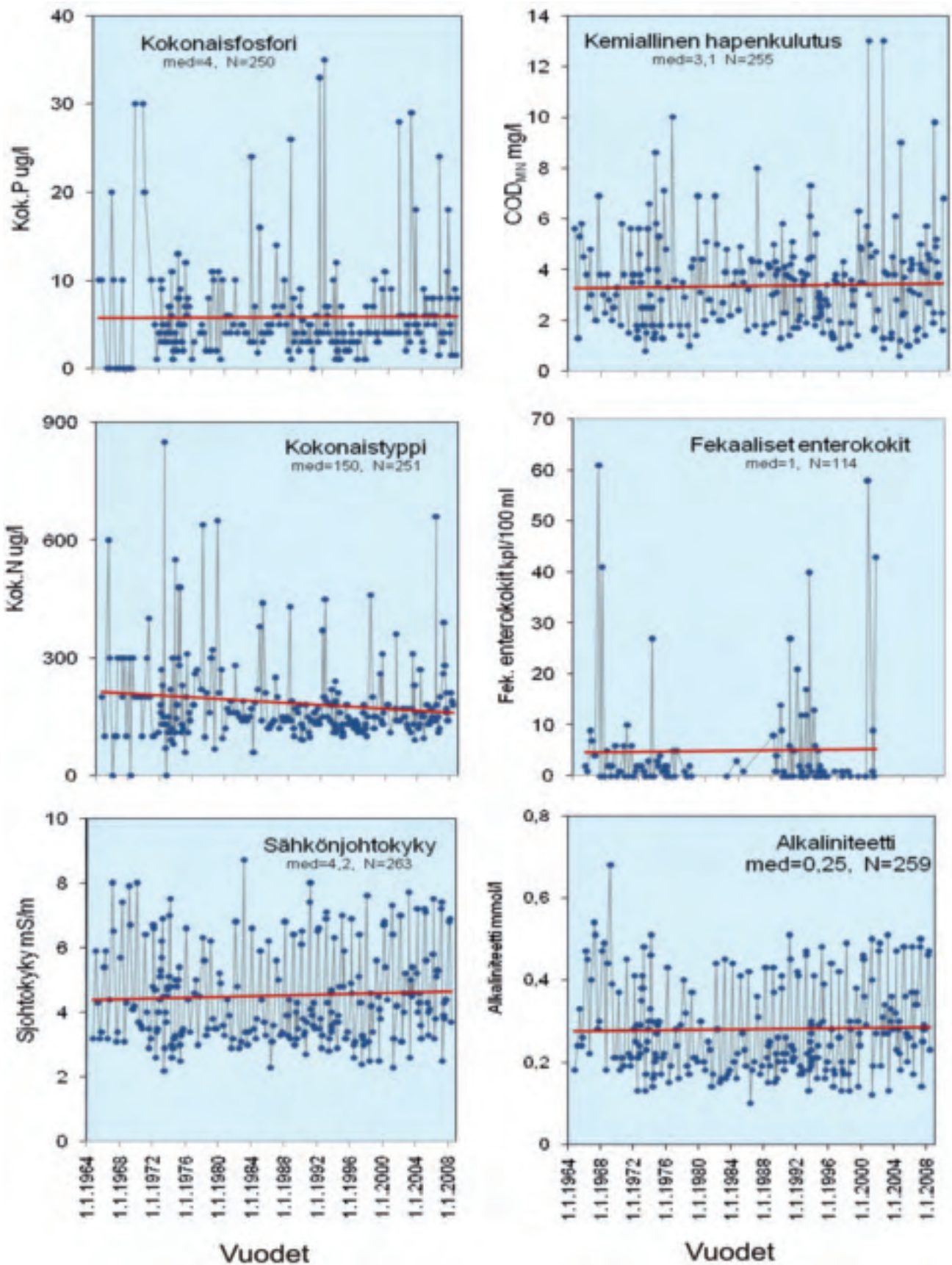
Keskivirtaamien vaihtelut vuosina 1964–2007 olivat suuria, eikä niissä ilmennyt selvää kehityssuuntaa. Maksimi oli 192 m³s⁻¹ (v. 1992), minimi 95 m³s⁻¹ (v. 1970) ja mediaani 136 m³s⁻¹. Sen sijaan kuukauden keskivirtaamissa oli selvä luonnollinen vuosirytm; ne olivat

korkeimmillaan touko- ja kesäkuussa lumien sulaessa ja pienivät loppuvuotta kohden ollen alimmillaan vuoden alun talvikuukausina (Kuva 1). Suurilla virtaamavaihteluilla on todennäköisesti vaikutusta veden laatuun.

Vedenlaatu muuttujien pitoisuuksia tarkastellaan aikasarjojen avulla (Kuva 2) sekä tutkimalla pitoisuusvaihteluja eri vuodenaikoina. Arviointeihin vaikuttavat näytteenoton jakautuminen eri kuukausille sekä näytteenottotiheys.

Kokonaisfosfori on usein perustuotannon minimitekijä, joka säätelee veden rehevyyttä. Fosforipitoisuuteen vaikuttavat muun muassa maaperän laatu, maankäyttö ja jätevedet.

Pienet kokonaisfosforipitoisuudet olivat vallitsevia, mikä näkyy alhaisena mediaanina (4 µg l⁻¹). Mediaani on pieni



Kuva 2. Vedenlaatumuuttujien (kokonaisfosfori, kokonaistyppi, sähkönjohtokyky, kemiallinen hapenkulutus, bakteerit ja sähkönjohtokyky) aikasarjat, lineaariset regressiot mediaanit 1964 – 2008 sekä havaintojen lukumäärät.



FCG

Hallitsemme vesihuollon koko elinkaaren.

FCG:n suunnittelema Kakolanmäen jätevedenpuhdistamo voitti vuoden 2009 RIL-palkinnon.

Yksi FCG 1.11.2009 alkaen.

FCG Finnish Consulting Group Oy • FCG – Hyvän elämän tekijät • www.fcg.fi

verrattuna Etelä-Suomen jokiin, joissa kokonaisfosforin mediaanit olivat noin $200 \mu\text{g l}^{-1}$ (Niemi ja Raateland 2005). Pitoisuuksissa ei näy kehityssuuntaa (Kuva 2).

Korkeita ($\geq 10 \mu\text{g l}^{-1}$) pitoisuuksia oli 35 kpl, joista pääosa maaliskuulta ja toukokuulta. Myös syksyllä oli mitattu kaksi korkea pitoisuutta; syyskuussa $33 \mu\text{g l}^{-1}$ ja marraskuussa $29 \mu\text{g l}^{-1}$. Korkeat pitoisuudet viittaavat kuormitushuippuihin, jotka lienevät peräisin jätevesistä ja hajakuormituksesta.

Pintavesien yleisen käyttökelpoisuuden arvioinnissa käytetty erinomaisen luokan raja kokonaisfosforille on $< 12 \mu\text{g l}^{-1}$. Tenojoki kuuluu kokonaisfosforipitoisuutensa puolesta selkeästi erinomaiseen laatuluokkaan, vaikka ajoittain tämä raja ylittyikin.

Kokonaistypellä tarkoitetaan veden kaikkien typpimuotojen, sekä orgaanisten että epäorgaanisten muotojen kokonaisuutta. Kuten fosforikin se on tärkeä ravinne vedessä ja vaikuttaa osaltaan vesien rehevyyteen. Tyyppiä kulkeutuu vesistöihin jätevesistä, maa- ja metsätaloudesta sekä turvetuotannosta. Myös kaukokulkeutumisella saattaa olla merkitystä joillakin alueilla.

Tyypillisesti kokonaistyyppipitoisuudet olivat $100 \dots 200 \mu\text{g l}^{-1}$ mediaanin ollessa $150 \mu\text{g l}^{-1}$. Se on pieni verrattuna Etelä-Suomen jokiin, joissa kokonaistyyppien mediaaniarvot voivat olla jopa $2000 \dots 4000 \mu\text{g l}^{-1}$ (Niemi ja Raateland 2005). Vuosina 1964–1980 pitoisuus-

vaihtelut olivat suurempia kuin havaintojakson myöhempinä vuosina. Pitoisuuksissa on aleneva kehityssuunta (Kuva 2). Laajemmin tarkasteltuna tyyppikuormitus on ollut viime vuosikymmeninä ollut kasvussa (Räike ym. 2009). Korkeita $> 400 \mu\text{g l}^{-1}$ pitoisuushavaintoja oli 13 kpl.

Kokonaistyyppipitoisuuksien vaihtelut eri kuukausina olivat verrattain pieniä.

Sähkönjohtokyky osoittaa vedessä olevien liuenneiden suolojen määrän. Suuret arvot ilmentävät korkeita suolapitoisuuksia. Sähkönjohtokykyä lisäävät muun muassa jätevedet ja orgaanisen aineen hajoaminen ja jätevesien johtaminen. Suomen sisävesien sähkönjohtavuudet ovat yleensä pieniä.

Sähkönjohtokyvyn pitoisuudet vaihtelivat suuresti mediaanin ollessa $4,2 \text{ mS m}^{-1}$ (Kuva 2). Etelä-Suomen joissa sähkönjohtokyvyn mediaaniarvot olivat paljon korkeammat, jopa 20 mS m^{-1} (Niemi ja Raateland 2005).

Korkeita pitoisuuksia ($5 \dots 8 \text{ mS m}^{-1}$) esiintyi pääosin tammi – toukokuussa. Muina aikoina pitoisuudet olivat pienempiä, heinä – joulukuussa $< 5 \text{ mS m}^{-1}$. Pitoisuuksissa näyttäisi olevan lievä nouseva suuntaus.

Kemiallinen hapenkulutus mittaa vedessä olevien kemiallisesti hapettuvien orgaanisten aineiden määrää. Kaikki orgaaninen aines ei hapetu ja kemiallisen hapenkulutuksen arvot vaihtelevat valumaolojen mukaan. Määrittäessä hapettuvat osittain myös humusyhdis-

teet, joten se kuvaa osittain myös humuksen määrää.

Kemiallisen hapenkulutuksen mediaani oli $3,1 \text{ mg l}^{-1}$. Kemiallisessa hapenkulutuksessa ei ilmennyt kehityssuuntaa. (Kuva 2).

Arvot olivat tammi-huhtikuussa $< 4 \text{ mg l}^{-1}$, nousivat toukokuussa korkeiksi ($4 \dots 13 \text{ mg l}^{-1}$) laskeakseen tästä hieinan heinä- lokakuun aikana. Korkeita pitoisuuksia ($\geq 6 \text{ mg l}^{-1}$) oli 16 kpl, joista pääosa oli mitattu toukokuussa korkeiden virtaamien aikana. Pieniä pitoisuuksia ($\leq 2 \text{ mg l}^{-1}$) oli 73 kpl. Niistä valtaosa oli mitattu maaliskuu- ja huhtikuussa alhaisten virtaamien aikana.

Fekaalisia enterokokkeja esiintyy luontaisesti ihmisen ja tasalämpöisten eläinten suolistossa, josta ne kulkeutuvat vesiin esimerkiksi jätevedenpuhdistamoilta, hajakuormitusalueilta ja peltoilta valumavesien mukana. Vesi ei siis ole niiden normaali ympäristö. Veteen jouduttuaan suolistobakteerit eivät lisäänty vaan niiden pitoisuudet pienevät johtuen laimentumisesta ja sedimentoitumisesta sekä kuolemista muun muassa auringonvalon vaikutuksesta. Suolistobakteerien esiintyminen vedessä on merkki ulosteperäistä saastutuksesta ja sairastumisriskistä, koska saastunut vesi voi sisältää myös ulosteiden mukana leviäviä tauteja aiheuttavia bakteereja.

Bakteerihavaintoja oli ainoastaan maaliskuulta marraskuulle, eikä lainkaan 2000-luvulta. Kaikista 114 määrittäykse-

tä 42 tapauksessa (37 %) bakteereja ei löytynyt lainkaan. Havaintojakson pitoisuudet olivat pieniä mediaanin ollessa vain 1 bakteeri/100 ml. Ajoittain kuitenkin esiintyi selvästi kohonneita pitoisuuksia, jotka viittaavat hetkittäiseen jätevesistä tai hajakuormituksesta johtuvaan bakteerikuormitukseen (Kuva 2). Korkeita pitoisuuksia (≥ 10 kpl/100 ml) oli 14 kpl. Niistä pääosa oli maaliskuun ja elokuun havaintoja.

Pintavesien yleisen käyttökelpoisuuden arvioinnissa käytetty erinomaisen luokan raja hygienian indikaattoribakteereille on < 10 kpl/100 ml, joten joen veden laatu on mediaaniarvon perusteella erinomaista bakteriologisestikin. Tosin yksittäiset havainnot ylittivät tämän rajan 14 kertaa. Bakteeripitoisuuksissa ei näy kehitysuuntaa. Olisi suotavaa, että bakteerimääryksiä jatkettaisiin myös tulevaisuudessa, niiden hyvän indikaattoriarvon takia.

Alkaliniteetillä tarkoitetaan veden emäksisten yhdisteiden kokonaismäärää. Se kuvaa veden kykyä vastustaa pH:n eli happamuuden muutoksia eli neutraloida happoja. Vesistön happamoituminen

näkyvät ensin alkaliniteetin laskuna ja sen jälkeen pH-arvoissa.

Mediaaniarvo oli 0,25 mmol/l (Kuva 2). Etelä-Suomen joissa alkaliniteetin mediaaniarvot olivat 0,2...1,2 mmol/l (Niemi ja Raateland 2005). Tenojoki on hyvin puskuroitu happamuutta vastaan, sillä vesi luokitellaan erittäin hyvin puskuroiduksi, jos sen alkaliniteettiarvo on $\geq 0,2$ mmol/l (Heikkinen ja Alasaarela 1988).

Korkeita $\geq 0,4$ mmol/l arvoja oli eniten maalisi- ja huhtikuussa eli matalien virtaamien ajalta. Matalat $\leq 0,2$ mmol/l arvot jakautuivat melko tasaisesti eri kuukausille.

Tenojoen valuma-alueen geologia vaikuttaa ratkaisevasti joen veden laatuun. Talvien lumisuus ja lämpötilojen kehitys säätelevät kevätvirtaamisen suuruutta ja virtaamahuipun ajankohtaa. Joen laaja valuma-alue puolestaan vaikuttaa tasaavasti veden laadun vaihteluihin.

Joen valuma-alue on harvaan asuttu, joten ihmisen vaikutus on lähinnä paikallista. Kuormitusta voi lisäksi tulla koko valuma-alueelle kaukokulkeutu-

malli. Esimerkkinä ihmisen vaikutuksesta ovat muutamien korkeiden hygienian indikaattoribakteerien pitoisuudet, mikä viittaa todennäköisimmin jätevesistä tai hajakuormituksesta peräisin olevaan ulosteperäiseen kuormitukseen.

Tutkittujen vedenlaatumuuttujien pitoisuudet ovat pysyneet koko tutkimusjakson aikana lukuun ottamatta typpä (laskeva trendi) ja sähkönjohtokykyä (lievästi nouseva trendi). Trendeihin on suhtauduttava tietyllä varovaisuudella, sillä näytteenottoajankohdat eivät jakaudu tasaisesti koko jaksolle, virtaamisen vaikutus vaihtelee ja näytteenottopäiville sattuneet korkeat pitoisuudet painottuvat trendejä laskettaessa.

Tenojoen, kuten muidenkin Lapin jokien veden laatu pitäisi saada säilymään erinomaisena myös tulevaisuudessa minimoimalla niihin kohdistuvat ihmisperäiset haitallisesti vaikuttavat tekijät. Vesipolitiikan puitedirektiivin mukainen Tenon, Näämönjoen ja Paatsjoen vesienhoitoalueen seuranta tukee osaltaan tämän päämäärän saavuttamista. ♦

Kirjallisuus

- Heikkinen, K. ja Alasaarela, E. 1988. Happamoituneiden vesistöjen neutralointi, kirjallisuuskatsaus. 93 s. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja 18.
- Heino, J. 2002. Spatial variation of benthic macroinvertebrate biodiversity in boreal streams: Biogeographic context and conservation implications. Jyväskylä Studies in Biological and Environmental Science no. 116, 43 s. Jyväskylän yliopisto. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-39-1349-X>.
- Huttula, E., Nenonen, M.-L., Koskeniemi, E. ja Suominen, M. (toim.) 1996. Tenojoen vesistön veden laatu ja biomonitorointi. Alueelliset ympäristöjulkaisut 23. 80 s. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=177597&lan=fi>.
- Lapin ympäristökeskus. 2006. Tenojoen monikäyttösuunnitelma. I: Suomen taustaraportti II: Tenojoen monikäyttösuunnitelman yhteiset toimenpidesuosukset. Lapin ympäristökeskuksen raportteja 2/2006. 88 s. <http://www.environment.fi/default.asp?contentid=236871&lan=fi>.
- Mähönen, O. (toim.). 2002. AMAP II- Lapin ympäristön tila ja ihmisen terveys. Suomen ympäristö 581. 139 s. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=177835>.
- Niemelä, E. 2004. Variation in the yearly and seasonal abundance of juvenile atlantic salmon in a long-term monitoring programme. Methodology, status of stocks and reference points. Finnish Game and Fisheries Research Institute, Department of Biology, University of Oulu. <http://herkules.oulu.fi/isbn9514273702/>.
- Niemi, J. ja Raateland, A. 2005. Eurowaternet- jokien vedenlaatu 1998–2002. Vesitalous 5/2005:31–36. www.mvtt.fi/Vesitalous/arkisto/2005/052005/jormniem.pdf.
- Niemi, J. 2007. Pohjois-Lapin jokien veden laatu. Vesitalous 1/2007:32–35. www.mvtt.fi/Vesitalous/arkisto/2007/012007/niemjorm.pdf.
- Räike, A., Rankinen, K., Lepistö, A., Pietiläinen, O.-P., ja Knuutila, S. 2009. Typpikuormitus Itämereen on kasvussa. Vesitalous 6/2009:22–24.
- Sivonen, S. (ed.). 2006. Ecological State of the River Tenojoki – Periphyton, Macrozoobenthos and Fish Communities. Regional Environmental Publications 417, 123 p. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=173503>.

TULOVIRTAAMAENNUSTEITA TARKENTAMALLA LISÄÄ VESIVOIMAA

Syksyllä 2008 hyväksytty EU:n ilmasto- ja energiapaketti nosti jälleen esiin keskustelun vesivoiman lisäämismahdollisuuksista Suomessa. Näissä keskusteluissa pääpaino on ollut uusien tekoalaiden ja vesivoimaloiden rakentamisessa sekä vanhojen voimaloiden koneistojen uusimisessa. Lähes vaille huomiota ovat jääneet mahdollisuudet vesivoiman lisäämiseen tulovirtaamaennusteita parantamalla. Kuinka paljon juoksutus suunnitelmien pohjana käytettävät tulovirtaamaennusteet ja niiden tarkkuus vaikuttavat säännöstelyn onnistumiseen ja vesivoiman tuotantoon?

Vuoden 2008 syksyllä hyväksytty EU:n ilmasto- ja energiapaketti velvoittaa jäsenmaat lisäämään uusiutuvien energialähteiden käyttöä. Tehtyjen päätösten mukaan Suomen tulee kasvattaa uusiutuvien energialähteiden osuus kokonaisenergian kulu- tuksesta nykyisestä 28,5 prosentista ai- na 38 prosenttiin vuoden 2020 loppuun mennessä. Päätökset nostivat Suomessa jälleen esiin kysymyksen vesivoiman lisärakentamisen mahdollisuuksista. Energiateollisuus selvitti ennakoivasti vuonna 2008 vesivoiman lisäämismah- dollisuudet Suomessa. Teknis-taloudel- lisesti kannattavaa rakentamiskapasiteettia arvioitiin olevan noin 934 MW, joka tuottaisi noin 2 976 GWh sähköä vuodessa (Energiateollisuus 2008), kun Suomen vesivoimantuotantokapasiteetti on nykyisin noin 3 000 MW ja tuotettu energia keskimäärin noin 13 000 GWh/a. Potentiaalisesta rakentamiskapasiteetista osa perustuu kiistelyjen tekoalaiden rakentamiseen. Vuotoksen altaan konnaishyödyksi raportissa arvioitiin noin 325 GWh ja Kollajan noin 200 GWh vuodessa. Vaille huomiota raportissa jätettiin mahdollisuudet tulovirtaamaennusteiden tarkentamiseen ja tehok- kaampaan hyödyntämiseen. Aiemmin on tosin arvioitu, että ohijuoksutuksilla menetetään nykyisin keskimäärin noin 750 GWh (Energiateollisuus 2005) energiaa vuosittain.

Säännöstelyä hoidetaan reaaliaikaisen virtaamaennusteiden perusteella. Pääsääntöisesti Suomen ympäristökes-

kuksen vesistömallien ja erilaisten lineaaristen regressiomallien avulla luotujen ennusteiden perusteella suunnitellaan tulevia juoksutuksia asetettujen vedenkorkeus- ja juoksutusrajoi- tusten puitteissa. Koska tulovirtaamaennusteisiin liittyy aina epävarmuutta, ei säännöstelyä käytännössä koskaan ole toteutettu jälke- n päin tarkastelun optimaalisesti. Ennustetarkkuus siis vaikuttaa säännöstelyn onnistumiseen. Teknillisessä korkeakoulussa tehdyssä tutkimuksessa selvitettiin, kuinka paljon pitkän ajanjakson ennusteiden tarkkuus ja ennustepituus vaikuttavat säännöstelyn onnistumiseen ja tuotetun vesivoiman määrään. Työ rajattiin siten, että tarkasteltiin ainoastaan pitkän ajanjakson ennusteita, jolloin ennusteet ovat säännusteita pidempiä (≥ 1 kk).

Menetelmät

Tutkimus perustui todellisten säännöstelyjen vesistöjen simulointiin. Tutkimusmenetelmä voidaan esittää lyhyesti seuraavasti:

1. Muodostetaan tulovirtaamaennuste tulevalle ajanjaksolle käyttäen valittua ennustepituutta ja ennustetarkkuutta
2. Optimoidaan ennustejakson juoksutukset ennusteen perusteella
3. Päivitetään vesistön tila seuraavaan ennustepäivään saakka käyttämällä optimoitua juoksutusta ja todellista, havaittua tulovirtaamaa
4. Siirrytään kohtaan yksi, ellei koko tarkastelujakso ole lopussa. Jos on, siirrytään kohtaan 5



JARKKO KOSKELA
TkT
E-mail: jarkko.koskela@tkk.fi

Tutkimus on osa väitöskirjaa, joka tarkastettiin TKK:ssa loppukesästä 2009.

5. Lasketaan ennusteiden arvo koko tarkastelujaksolle käyttämällä optimoituja juoksutuksia ja havaittua tulovirtaamaa.

Sen lisäksi, että työssä vertailtiin täydellisiin ennusteisiin perustuvan ja toteutuneen säännöstelyn eroja, arvioitiin ennustetarkkuuden merkitystä operoimalla vesistöjä keinotekoisesti luotujen, eri tarkkuutta ja eri pituutta vastaavien tulovirtaamaennusteiden avulla. Ennusteet luotiin yhtälön 1 avulla:

$$F = Q + \varepsilon \cdot \sigma \cdot Q \quad (1)$$

missä F on ennustejakson tulovirtaamasumman ennuste, Q on havaittu arvo, ε on normaalijakautunut satunnaisluku $N(0, 1)$ ja σ kuvaa mallin tarkkuutta ($\sigma = 0.0$ täydelliset ennusteet).

Idea tämänkaltaiseen simulointiin on peräisin Yhdysvalloista (Yeh ym. 1982). Kohdassa 2 ennustejakson juoksutukset optimoitiin ratkaisemalla deterministinen optimointiongelma muodostettujen kohdefunktioiden avulla. Kohdefunktiot oli muodostettu siten, että juoksutuksilla pyrittiin maksimoimaan vesivoiman tuo-

Taulukko 1. Säkyln Pyhjärven tulovirtaamaennusteen pituuden ja tarkkuuden vaikutus vesivoiman tuotantoon Kauttuankosken voimalaitoksella. Verrattu säännöstelyyn, jossa on hyödynnetty 360 päivän täydellisiä ennusteita.

Ennustepituus ja tarkkuus	% Euro	Ennustepituus ja tarkkuus	% Euro	Ennustepituus ja tarkkuus	% Euro	Ennustepituus ja tarkkuus	% Euro
360, $\sigma = 0,0$	0,0	360, $\sigma = 0,0$	0,0	360, $\sigma = 0,0$	0,0	360, $\sigma = 0,0$	0,0
30, $\sigma = 0,0$	0,0	90, $\sigma = 0,0$	-0,7	150, $\sigma = 0,0$	-0,5	270, $\sigma = 0,0$	-0,1
30, $\sigma = 0,1$	-0,2	90, $\sigma = 0,1$	-1,3	150, $\sigma = 0,1$	-1,4	270, $\sigma = 0,1$	-1,1
30, $\sigma = 0,3$	-1,0	90, $\sigma = 0,3$	-3,3	150, $\sigma = 0,3$	-4,4	270, $\sigma = 0,3$	-3,9
30, $\sigma = 0,5$	-1,6	90, $\sigma = 0,5$	-6,6	150, $\sigma = 0,5$	-7,3	270, $\sigma = 0,5$	-7,3
30, $\sigma = 1,0$	-4,6	90, $\sigma = 1,0$	-12,0	150, $\sigma = 1,0$	-13,2	270, $\sigma = 1,0$	-13,2
60, $\sigma = 0,0$	-0,6	120, $\sigma = 0,0$	-0,6	180, $\sigma = 0,0$	-0,3	360, $\sigma = 0,0$	0,0
60, $\sigma = 0,1$	-1,1	120, $\sigma = 0,1$	-1,3	180, $\sigma = 0,1$	-1,2	360, $\sigma = 0,1$	-0,9
60, $\sigma = 0,3$	-2,6	120, $\sigma = 0,3$	-3,9	180, $\sigma = 0,3$	-4,1	360, $\sigma = 0,3$	-2,6
60, $\sigma = 0,5$	-4,7	120, $\sigma = 0,5$	-6,8	180, $\sigma = 0,5$	-7,3	90, average	-3,1
60, $\sigma = 1,0$	-10,2	120, $\sigma = 1,0$	-13,0	180, $\sigma = 1,0$	-12,9	120, average	-3,6

tanto, mutta siten että tavoitteellisia vedenkorkeuksia noudatettaisiin mahdollisimman hyvin ja ettei asetettuja absoluuttisia vedenkorkeusrajoja rikota koskaan. Ennusteet päivitettiin 15 päivän välein.

Työssä tutkittiin simuloimalla kahda erityyppistä säännösteltyä vesistöä Suomessa. Toisaalta tutkittiin ennusteiden vaikutusta Säkyln Pyhjärven säännöstelyyn, toisaalta tarkasteltiin Päijänteen tulovirtaamaennusteiden tarkkuuden merkitystä Kymijoen säännöstelyyn onnistumiseen. Tarkastelujaksoksi otettiin Pyhjärvellä vuodet 1967-2004 ja Kymijoella vuodet 1965-2004, jolloin tarkastelujaksolle sattui sekä kuivia että märkiä vuosia.

Käytettävän ennusteen pituudella ja tarkkuudella on merkitystä

Kuvissa 1 ja 2 on esitetty kohdefunktion arvo tarkastelujaksolla käytetyn ennustepituuden ja ennustetarkkuuden funktiona Pyhjärvellä ja Kymijoella. Kohdefunktion osittain subjektiivisesta valinnasta johtuen funktion numeerinen arvo ei sellaisenaan ole merkityksellinen. Tarkkuuden vaikutus saatavaan hyötyyn on kuitenkin havaittavissa. Kuvasta 1 havaitaan, että Pyhjärven säännöstelyyn suunnittelussa käytettävän ennustepituuden tulisi olla vähintään 3 kuukautta, vaikka ennusteet olisivat huonoja. Toisaalta ennustepituutta ei ole juuri syytä pidentää, jos käytössä on jo 5...6 kk:n ennusteet tai jos ennustetarkkuus ennustejaksoa pidennettäessä merkittävästi putoaa. Kymijoella (Kuva 2) ei tarvita näin pitkiä ennustejaksoja. Toisaalta jo pieni

ennustetarkkuuden heikkeneminen vaikuttaa Kymijoen säännöstelyyn huomattavasti Pyhjärveä enemmän.

Virtaamaennusteiden tarkkuuden merkitys vesivoiman tuotantoon Säkyln Pyhjärvellä on esitetty taulukossa 1. Vastaavasti taulukossa 2 on esitetty Päijänteen tulovirtaamaennusteiden tarkkuuden merkitys vesivoiman tuotantoon Kymijoella. Havaitaan, että käyttämällä säännöstelyyn suunnittelussa liian lyhyitä ja/tai epätarkkoja ennusteita, voidaan vesivoiman tuotannossa Pyhjärvellä menettää jopa yli 10 prosenttia ja vastaavasti Kymijoella jopa 2,5 prosenttia. Toisaalta ennustetarkkuuden parantaminen Pyhjärvellä tarkkuudesta $\sigma = 0,5$ tarkkuuteen $\sigma = 0,3$ parantaisi vesivoiman tuotantoa 1...3 prosenttia ja Päijänteellä parannus arvosta $\sigma = 0,2$ arvoon $\sigma = 0,1$ jopa noin 0,6 prosenttia. Käyttämällä työssä estimoitua ennustemalleja, jotka eivät hyödynnä pitkän ajanjakson säännusteita, on pitkän ajanjakson ennusteiden tarkkuus Kymijoella nykyisin noin $\sigma = 0,2$ ja Säkyln Pyhjärvellä noin $\sigma = 0,5$.

Tuloksia voidaan verrata myös toteutuneeseen, havaittuun juoksutukseen samalla aikavälillä. Jos käytössä olisivat olleet täydelliset ennusteet, olisi vesivoiman tuotantoa Säkyln Pyhjärven Kauttuankosken voimalaitoksella voitu parantaa noin 9 prosenttia (1975-2004). Vastaava luku Kymijoella on 0,7 prosenttia (1965-2004). Kymijoella pieni prosentuaalinen nousu on kuitenkin taloudellisesti varsin merkittävä, koska tuotettu lisäenergia olisi ollut noin 9500 MWh vuosittain. Osa hyödystä johtuu Konnivesi-Ruotsalaisen

säännöstelykapasiteetin tehokkaammas- ta hyödyntämisestä, jonka seurauksena kevätkuoppa olisi ollut useimpina vuosina nykyistä syvempi.

Tuotanto kasvaa, jos ennustetarkkuus paranee

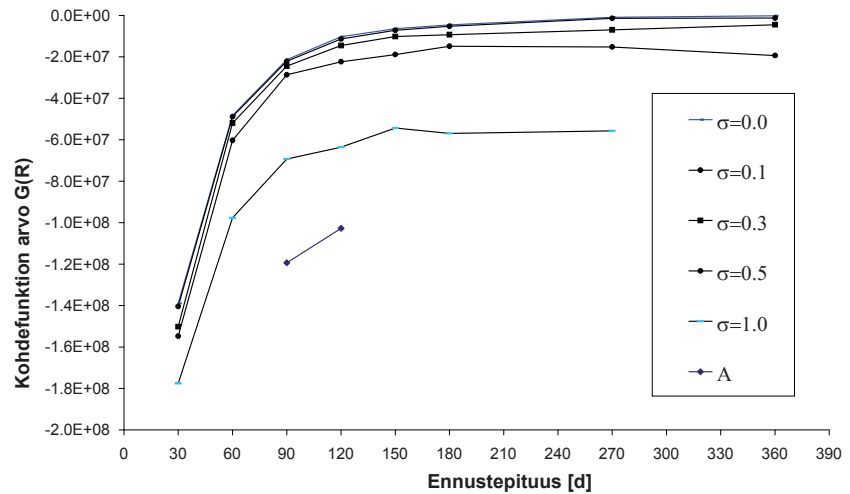
Työ perustui osittain subjektiivisesti valittuihin kohdefunktioihin. Täydellisillä ennusteilla toteutuneet säännöstelyt olisivat kuitenkin tavoitteiden mukaisia molemmilla vesistöalueilla ja siten tarkastelun tulokset ovat perustellusti oikeasuuntaisia. Tulokset osoittavat, että vesistöjen säännöstelyyn suunnittelussa pitäisi käyttää oikeaa ennustepituutta. Sopiva ennustepituus taas riippuu sekä systeemin ominaisuuksista että ennustetarkkuudesta. Jos tarkasteltavan systeemin säännöstelykapasiteetti on suuri, pitäisi hyödyntää pitkän ajanjakson ennusteita kiinnittämättä liian paljon huomiota ennustetarkkuuteen. Toisaalta systeemisä, joissa säännöstelykapasiteetti on pieni, oli tarkoituksenmukaista käyttää lyhyempiä, mutta myös tarkempia ennusteita. Säkyln Pyhjärven säännöstelykapasiteetti on 57 prosenttia vuotuisesta tulovirtaamasta. Tutkimus osoitti, että tällöin ennustetarkkuudesta riippuen, sopiva ennustepituus vaihtelee 3 ja 12 kuukauden välillä, mutta on keskimäärin 5...6 kk. Toisaalta Kymijoella, jossa säännöstelykapasiteetti suhteessa Päijänteen vuotuisen tulovirtaamaan on vain noin 25 prosenttia, ennustepituudeksi riittää 1...3 kk. Kymijoella säännöstelyyn täysipainoista toteuttamista vaikeuttaa Kalkkisten luonnonuoma, jonka kautta järven vesistä virtaa jopa 70 prosenttia.

Taulukko 2. Päijänteen tulovirtaamaennusteen pituuden ja tarkkuuden vaikutus vesivoiman tuotantoon Kymijoella.

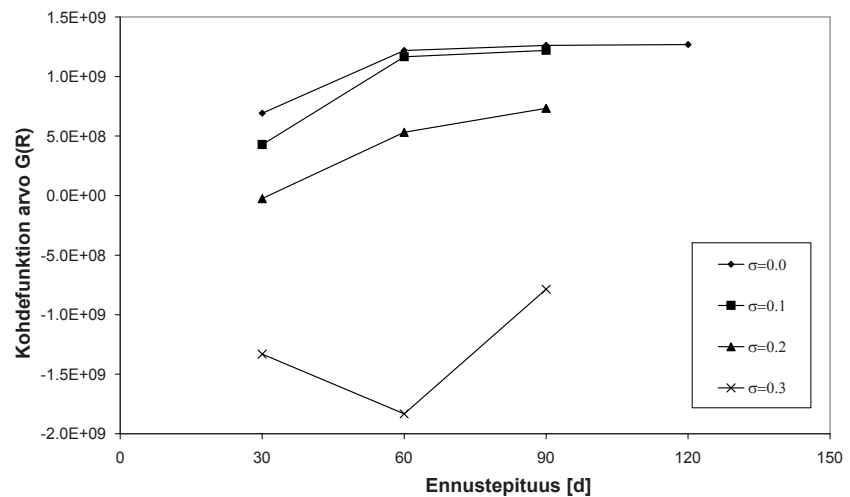
Ennustepituus ja tarkkuus [d]	Ero verrattuna simulointiin, jossa käytettiin täydellisiä ennusteita ja ennustepituus oli 120 päivää			
	MWh %	€ [%]	[MWh/a]	[€/a]
120, $\sigma = 0.0$	0.0	0.0	0	0
30, $\sigma = 0.0$	-0.9	-0.8	-11600	-315000
30, $\sigma = 0.1$	-1.0	-1.0	-12900	-354000
30, $\sigma = 0.2$	-1.2	-1.2	-15600	-432000
30, $\sigma = 0.3$	-1.4	-1.4	-18500	-520000
30, $\sigma = 0.5$	-2.0	-2.0	-26100	-744000
30, aver. inflow	-0.9	-0.9	-12000	-328000
60, $\sigma = 0.0$	-0.4	-0.3	-4800	-119000
60, $\sigma = 0.1$	-0.6	-0.5	-7500	-198000
60, $\sigma = 0.2$	-1.0	-1.0	-13500	-375000
60, $\sigma = 0.3$	-1.5	-1.5	-19500	-548000
60, $\sigma = 0.5$	-2.5	-2.5	-32300	-931000
60, aver. inflow	-0.6	-0.6	-8100	-210000
90, $\sigma = 0.0$	-0.1	-0.1	-1500	-31000
90, $\sigma = 0.1$	-0.4	-0.3	-4800	-127000
90, $\sigma = 0.2$	-0.9	-0.8	-11000	-311000
90, $\sigma = 0.3$	-1.5	-1.5	-19100	-547000
90, aver. inflow	-0.6	-0.5	-7400	-196000

Vastaavia tuloksia on saatu myös muualla. Takeuchi ja Sivaarhtikul (1995) päätyivät arvioon, jossa systeemeissä, joissa säännöstelykapasiteetti on 22 prosenttia vuotuisesta tulovirtaamasta, sopiva ennustepituus olisi noin 2 kk. Vastaavasti se olisi 3 kk systeemeille, joissa säännöstelykapasiteetti on 50 prosenttia ja 6 kk systeemeille, joissa säännöstelykapasiteetti on 100 prosenttia vuotuisesta tulovirtaamasta. Tulokset riippuvat luonnollisesti ennustetarkkuudesta.

Myös ennustetarkkuuden vaikutusta vesivoiman tuotantoon on tutkittu aiemmin. Maurer ja Lettenmaier (2004) ovat keränneet tällaisten tutkimuksen tuloksia ja havainneet, että tulovirtaamaennusteiden hyöty vesivoimalle vaihteli tarkasteltavasta systeemistä riippuen välillä 1,0...13,6 prosenttia. Nyt saadut tulokset ovat siis sopusoinnussa vastaavien tutkimusten kanssa. Olettamalla, että tutkimusten tulokset olisivat yleistettävissä koko Suomen vesivoiman tuotantoon, voidaan arvioida, että jos käytössä olisi täydelliset ennusteet, voitaisiin Suomen vesivoiman tuotantoa lisätä kenties jopa 5 prosenttia eli noin 650 GWh vuodessa. Tämä ei tieten-



Kuva 1. Säskylän Pyhäjärven säännöstelyn onnistuminen ennustepituuden ja ennustetarkkuuden funktiona. Kuvaajan A on symboli simuloinneille, jossa ennusteena käytettiin aiempien vuosien havaintojen keskiarvoa.



Kuva 2. Kymijoen säännöstelyn onnistuminen Päijänteen tulovirtaamaennusteen pituuden ja tarkkuuden funktiona.

kään ole realistista. Toisaalta, jos ennustetarkkuutta voitaisiin lisätä edes jonkin verran, lisääntyisi vesivoiman tuotanto 0,5...2,0 prosenttia. Yhden prosentin lisäys vastaisi noin 130 GWh lisäystä vuotuisessa sähköntuotannossa. Samalla luonnollisesti tulvien ja kuivien kausien aiheuttamia haittoja vesistöissä voitaisiin merkittävästi vähentää. Mahdollisuuksia vesivoiman tuotannon lisäämiseen on siis olemassa, vaikka vesivoimakapasiteettia tai säännöstelykapasiteettia ei rakennettaisikaan lisää. Tämä vaatii kuitenkin lisää panostusta tutkimukseen, jonka tavoitteena on pitkän ajanjakson ennusteiden tarkkuuden parantaminen ja ennusteiden tehokkaampi hyödyntäminen.

Kirjallisuus

- Energiateollisuus, 2005. Vesivoiman tuotannon määrä ja lisäämismahdollisuudet Suomessa. Kauppa- ja teollisuusministeriö.
- Energiateollisuus, 2008. Voimaa vedestä 2007. Oy Vesirakentaja.
- Maurer E. P. and Lettenmaier D. P., 2004. Potential Effects of Long-Lead Hydrologic Predictability on Missouri River Main-Stem Reservoirs. Journal of Climate, Vol 17, pp. 174-186.
- Takeuchi K., Sivaarhtikul V., 1995. Assessment of effectiveness of the use of inflow forecasts to reservoir management. IAHS Publications, no. 231, 299-309.
- Yeh W. W-G., Becker L., Zettlemoyer R., 1982. Worth of Inflow Forecasts for Reservoir Operation. Journal of the Water Resources Planning and Management Division. Proceedings of the ASCE 108, 257-269. ◆

FINNISH WATER FORUM

– SUUNNITELMISTA TOIMINTAAN

Finnish Water Forum (FWF, Suomen vesifoorumi ry) perustettiin huhtikuussa 2009. Sen tehtävä on edistää suomalaista vesiosaamista ja sen tunnettuutta kansainvälisillä markkinoilla. Tavoitteena on erityisesti tukea julkisen ja yksityisen sektorin yhteistyötä ja kansainvälisiä liiketoimintamahdollisuuksia. Lisäksi FWF tukee Suomen veteen liittyvien strategioiden ja tavoitteiden saavuttamista edistämällä erityisesti kehitysyhteistyöhön liittyvien hankkeiden ja ohjelmien syntymistä. Kuulostaa hienolta ja lupaavalta, mutta mitä tämä kaikki käytännössä tarkoittaa?



KATRI MEHTONEN
Toimitusjohtaja, Suomen vesifoorumi ry.
E-mail: katri.mehtonen@finnishwaterforum.fi



SAIJA VUOLA
Projektipäällikkö, Suomen vesifoorumi ry.
E-mail: saija.vuola@finnishwaterforum.fi

Ensimmäisen toimintavuoden aikana tehdyn ajattelu- ja suunnittelutyön tuloksena FWF:n rooli on alkanut kirkastua ja käytännön toimet tavoitteiden saavuttamiseksi on päästy aloittamaan. Keskeisenä toimintamallina on tunnistaa hankeaihoita ja -mahdollisuuksia ja koota niiden perusteella jäsenistön joukosta toisiaan täydentäviä toteuttajaryhmiä. Käytännössä keskitytään valittuihin maantieteellisiin kohdealueisiin ja pyritään tunnistamaan näiden alueiden tarpeet mahdollisimman aikaisessa vaiheessa sekä koostamaan suomalaisosaamisesta tarpeita vastaavia kokonaisuuksia. Tarpeiden ja hankeaihojen tunnistamisessa keskeisessä roolissa on FWF:n kautta tapahtuva julkisen ja yksityisen sektorin yhteistyö ja muun muassa Suomen ulkomaanedustustojen ja Finpron palveluiden hyödyntäminen. Tiivistä yhteistyötä tehdään myös muiden vesialan kansainvälistymistä edistävien tahojen kuten CEWIC:n (Centre of Expertise in the Water Industry Cluster), Rauman vesi-instituutin ja Tekesin vesiohjelman kanssa.

Ikkuna suomalaiseen vesiosaamiseen

Osana kansainvälistymispyrkimyksiä FWF:n tehtävänä on yhdistää Suomen osin hajanaista vesisektoria ja pyrkiä luomaan yhteishenkeä, jossa keskinäisen kilpailun rinnalla nähtäisiin yhteistyön edut. Pyrkimyksenä on rakentaa suomalaisesta vesiosaamisesta käsite, joka tunnistettaisiin maailmalla ja johon liitettäisiin mielikuva korkeatasoisesta tutkimuksesta ja koulutuksesta, hyvästä vesiasioiden hallinnosta, laadukkaasta palvelu- ja tuotetarjonnas-

ta, luotettavuudesta ja tuloksellisuudesta. FWF toimii myös Cleantech Finland –brändin partnerina identifioidun näin laajemmin suomalaiseen ympäristöosaamiseen.

Lisäksi FWF verkostoituu kansainvälisiin sisar- ja kattojärjestöihinsä, YK:n ja muiden kansainvälisten organisaatioiden vesitoimintoihin sekä luo yhteydet muun muassa kansainvälisiin kehitysrahoituslaitoksiin. Jälkimmäisten tarjontaa pyritään hyödyntämään suomalaisen kehitysyhteistyörahoituksen rinnalla suomalaisten toteuttamissa projekteissa.

Yksi FWF:n tärkeistä tehtävistä on pitää jäsenistönsä tietoisena keskeisimmistä globaaleista vesialan trendeistä, sopimuksista ja tapahtumista. FWF osallistuu ja koordinoi myös jäsenistönsä osallistumista tärkeimpiin vesialan tapahtumiin kuten Maailman vesifoorumeihin, Tukholman vuosittaiselle vesiviikolle ja muihin valittuihin tapahtumiin. Mallia on osittain katsottu kansainvälisistä sisarjärjestöistä, samalla kuitenkin suunnitellen nimenomaan suomalaisille ja Suomen olosuhteisiin sopivaa verkostoitumis- ja kansainvälistymistoimintaa.

Näihin ajatuksiin perustuen aloittaa FWF kesällä 2010 toimintasuunnitelmansa ja strategiansa varsinaisen toiminnallistamisen. Vielä on tehtävä paljon peruskehitystyötä muun muassa viestintäkonseptien saralla, mutta osin on jo päästy käsiksi varsinaiseen sisältöön eli hankemahdollisuuksien kartoittamiseen sekä kansainvälisen yhteistyön ja näkyvyyden lisäämiseen. Kesäkuussa pidettiin ensimmäinen jäsenistön pyöreän pöydän keskustelu, jossa keskusteltiin eri maantieteellisten

Perustaminen

FWF perustettiin 38 vesialalla toimivan organisaation toimesta ja sen tarkoitus on vähitellen koota jäsenikseen laajasti kaikki suomalaiset vesisektorin organisaatiot voimien kokoamiseksi yhteisiin kansainvälistymispyrkimyksiin. Perustamisajatus pohjautui pitkälti Suomen vesialan kansainväliseen strategiaan (UM, MMM, YM 2009) sekä Suomen vesiohjelma –projektiin. FWF:n ensimmäisenä toimintavuotena yhdistykselle tehtiin strategia, haettiin rahoitusta ja suunniteltiin tulevaa toimintaa. Va. toiminnanjohtajana toimi tutkimusprofessori Seppo Rekolainen SYKE:sta. Keväällä 2010 FWF:ssä aloitti kaksi uutta työntekijää – toimitusjohtaja Katri Mehtonen ja projektipäällikkö Saija Vuola. Samalla yhdistykselle perustettiin toimisto World Trade Centerin toimistohotelliin Helsingin Aleksanterinkadulle, josta verkostoaktiivisuuteen perustuvaa toimintaa on helppo koordinoita.

Jäsenet (kesäkuu 2010)

- Ministeriöt: UM, MMM, YM,
- Tutkimuslaitokset: SYKE, RKTL, VTT, MTT, IL, GTK
- Yliopistot ja oppilaitokset: Aalto-yliopisto, Oulun yliopisto, Itä-Suomen yliopisto, Tampereen teknillinen yliopisto, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, SYKLI
- Yritykset: Pöyry, Kemira, Fortum, Ramboll, FCG, Vaisala, WSP, Alleco, Ecobio, EHP, Niras, Airix, Gaia, Lahden tiede- ja yrityspuisto, West Automation, Prizztech, Loxus, Econet, Waterix, Luode, Preseco, A-Lab, Vesirakentaja, URV
- Yhdistykset: Finpro, EVAK, VVY, MVTT, Waterfinns, Suomen Vesiyhdistys, Suomen Vesiensuojeluyhdistysten Liitto

Visio 2015

Finnish Water Forum on keskeisin toimija suomalaisen vesiosaamisen kansainvälisten liiketoimintamahdollisuuksien edistäjänä. FWF on kokoava voima potentiaalisten hankkeiden kartoittajana, alkuarvioijana ja rahoitusmahdollisuuksien kartoittajana.

Arvot

- Avoimuus
- Ketteryys ja innovatiivisuus
- Kumppanuus
- Vastuullisuus

Missio

Finnish Water Forumin missio on laaja-alaisen suomalaisen vesiosaamisen ja kestävä kehityksen mukaisen kansainvälisen liiketoiminnan voimakas kasvattaminen ja kehittäminen.

Vesiosaamisen kansainvälisellä liiketoiminnalla tarkoitetaan laaja-alaista hyvää hallintoa, lainsäädäntöosaamista, koulutusta, tutkimusta, suunnittelua, laitteita, teknologiaa, kemikaaleja, kokonaisratkaisuita ja kaikkien näiden yhdistelmiä.

alueiden kiinnostavuudesta ja pyrittiin löytämään muutama kohde, joihin keskitytään ensimmäisinä. Samaan aikaan FWF oli mukana Suomen valtuuskunnassa YK:n vesivuosisikymmenen väliarviointikokouksessa Tadžikistanissa. Näiden esimerkkien lisäksi FWF jäsenistöineen toimii aktiivisesti eri foorumeilla sekä koti- että ulkomailla, terävöittää toimintamuotojaan, luo yhteistyökontakteja ja verkostoituu, sekä ennen kaikkea rakentaa suomalaisesta vesiosaamisesta laajempia kokonaisuuksia ja tunnettua ja haluttua tuotetta.

FWF toivottaa kaikki vesialalla toimivat organisaatiot tervetulleiksi jäsenikseen. Annamme mielellämme lisätietoja jäseneksi liittymisestä ja muista yhdistykseen liittyvistä asioista. ♦

Nurek, Tadžikistan – ”Water is life” [Saija Vuola]



MAA- JA VESITEKNIIKAN TUKI

on aatteellinen yhdistys, joka tukee ensisijaisesti vesitekniikan ja siihen liittyvää ympäristötekniikan sekä maaperän suojelun tutkimus- ja opetustoimintaa.

Julistamme haettavaksi apurahoja vuodelle 2011

Apuraha haetaan rekisteröitymällä verkkopalveluun kotisivuilla www.mvtt.fi, täyttämällä ja lähettämällä siellä sähköinen apuraha-anomuslomake. Sähköisesti lähetetty anomus tulostetaan, allekirjoitetaan ja lähetetään liitteineen osoitteella:

Maa- ja vesitekniikan tuki ry.
Annankatu 29 A 18
00100 Helsinki

Apuraha-anomusten tulee olla perillä toimistossa **30.9.** Kaikki tähän mennessä tulleet anomukset käsitellään 30.11. mennessä. Myönnettyistä apurahoista ilmoitetaan hakijoille kirjeitse.

Maa- ja vesitekniikan tuki ry.
Hallitus

Kiinan ympäristötekniikan markkinat vahvassa kasvussa

Suomalaiset ympäristöalan yritykset tekivät alkukesästä mittavia kauppvoja Pekingissä järjestetyn Cleantech Finland China –seminaarin yhteydessä. Solmittujen yhteistyö- ja aiesopimusten arvo ylittää 1,7 miljardia euroa. Vesialalla esimerkiksi jäteveden- ja jätevesilietteen käsittelyssä on lupaavia liiketoimintamahdollisuuksia Kiinassa.

Järjestetty Cleantech-seminaari oli osa Suomen ja Kiinan diplomaattisuhteiden 60-vuotisjuhlaa ja paikalla oli monia merkittäviä yritysmaailman vaikuttajia. Seminaariin osallistuivat muun muassa tasavallan presidentti Tarja Halonen, ympäristöministeri Paula Lehtomäki ja Kiinan varapääministeri Li Keqiang.

”Vaikka varsinaiset sopimusneuvottelut käytiin yritysten välillä, valtiollinen tuki on erittäin tärkeää juuri Kiinan markkinoilla. Sopimusten allekirjoittaminen valtioiden korkeimman tason ollessa läsnä tuo mittaamatonta lisäarvoa tulevaisuuden yhteistyölle”, kertoo johtaja Ari Makkonen Finnish Environment Cluster for China:sta (FECC), joka oli mukana järjestämässä seminaaria.

Kiinan ympäristöalan ja kestävä kehityksen markkinoista on tehty useita selvityksiä ja niiden mukaan markkinat ovat vahvassa kasvussa. Ari Makkosen mukaan suomalaisyrityksillä olisi useilla sektoreilla mahdollisuuksia menestyä Kiinan valtaville markkinoille. Vesialalla lupaavia markkinoita ovat esimerkiksi vesistöjen kunnostus, jäteveden käsittely ja jätevesilietteen hyödyntämisen ratkaisut.

”Suurissa kaupungeissa jätevedet käsitellään jo suhteellisen hyvin, mutta pienemmissä kaupungeissa ja maaseudulla se on huonosti järjestetty. Merkittäväksi ongelmaksi on muodostunut jätevesilietteiden käsittely, sillä lietteet kipataan usein sellaisenaan kaatopaikalle tai mereen”, Makkonen sanoo.

Vaikka markkinat ovat valtavat ja nopeassa kasvussa, menestyksen saavuttaminen vaatii perusteellista suunnittelua ja huolellista valmistautumista. Paikallisten kontaktien solmiminen ja kauppapoliittisten kiemuroiden tuntemus esimerkiksi FECC:n tai Finnpro:n kaltaisten organisaatioiden välityksellä auttaa liiketoimintamahdollisuuksien hyödyntämisessä.

”Markkinapotentiaalin muuttuminen konkreettiseksi projekteiksi vaatii hyvien tuotteiden ja palvelujen ohella toimivan strategian ja pitkäjänteistä työtä. Hintakilpailukyvyllä on Kiinassa iso merkitys, mikä käytännössä tarkoittaa sitä, että osa tuotteesta tai palvelusta on oltava kiinalaista alkuperää”, arvioi Ari Makkonen.

Heljä-Sisko Helmisaari metsämaatieteen professoriksi

Helsingin yliopiston maatalous-metsätieteellisessä tiedekunnassa aloitti 1.6. uutena metsämaatieteen professorina Heljä-Sisko Helmisaari. Hän on toiminut Helsingin yliopiston metsäekologisen ympäristötieteen dosenttina vuodesta 1999. Hän on väitellyt tohtoriksi Joensuun yliopiston metsätieteellisestä tiedekunnasta vuonna 1990 aiheenaan metsien ravinnedynamiikka.

Helmisaari tulee maatalous-metsätieteellisen tiedekunnan professoriksi Metsäntutkimuslaitokselta, jossa hän on työskennellyt erikoistutkijana vuodesta 1991. Vuosina 2002–2003 Helmisaari toimi Metlan maantutkimuksen viransijaisena professorina.

Helmisaari on johtanut yli 15 koti- ja pohjoismaista tutkimushanketta, ja tekee runsaasti kotimaista ja kansainvälistä tutkimus- ja asiantuntijayhteistyötä. Helmisaari on urallaan tutkinut erityisesti hiilen ja ravinteiden dynamiikkaa maaperässä ja metsäekosysteemissä sekä sitä, miten erilaiset ympäristömuutokset vaikuttavat metsäekosysteemin toimintaan ja ainekiertoihin. Hänen tutkimustensa tulokset liittyvät mm. metsäenergian käytön suunnitteluun ja ohjeistukseen sekä metsien hiili- ja ravinnetaseiden laadintaan ja ilmastonmuutoksen vaikutusten arviointiin.

| in memoriam | Risto Adolf Mussalo –Vesihuollon rakentaja

Diplomi-insinööri Risto Adolf Mussalo kuoli 6. kesäkuuta 2010 Helsingissä 90-vuotiaana. Hän oli syntynyt Kymissä 22. tammikuuta 1920.

Risto Adolf Mussalo pääsi ylioppilaaksi Kotkan lyseosta vuonna 1939. Sota keskeytti opinnot Teknillisessä korkeakoulussa viideksi vuodeksi, mutta hän valmistui rakennusosaston maatalouden vesirakennuksen opintosuunnalta silti jo keväällä 1948 oivallisin arvolausein. Lukuun ottamatta lyhyttä aikaa MHL:n insinööriosaston palveluksessa hän teki merkittävän työuran käytännössä yhden työnantajan palveluksessa.

Erityisesti vesihuolto oli se alue, mihin yhteiskuntarakenteen muuttumisen seurauksena tarvittiin 1950-luvun alusta lähtien nuoria ja ennakkoluulottomia suunnittelijoita ja rakentajia myös nopeasti kehittyvälle yksityiselle sektorille. Maa- ja vesirakennuksen merkittäväksi urakoitsijaksi kasvavan Insinööritoimisto Oy Veston palvelukseen Risto Mussalo tuli vesihuollon suunnitteluinsinööriksi edeten toteuttamisesta vastaavaksi osastopäälliköksi, tekniseksi johtajaksi ja toimitusjohtajaksi (1974-1980).

Vesto Oy:n toimiala laajeni Risto Mussalon aikana muun muassa johtavaksi suurimpien satamien ja siltojen rakentajaksi. Olkiluodon 1. ydinvoimalan rakennustyö kuten myös ulkomaisen urakoinnin aloittaminen ajoittuivat hänen johtajakaudelleen. Mussalo oli sekä Vesto Oy:n hallituksen jäsen että useiden Veston tytäryhtiöiden hallitusten puheenjohtaja.

Risto Mussalo oli olemukseltaan rauhallinen ja konstailematon. Hänen vahvuutensa oli koko uransa ajan pyrkiä löytämään uusia ja ennen kokemattomiakin mahdollisuuksia ongelmien ratkaisuksi. Tällaiseen toimintaan hänen avarakatseinen ja pohdiskeleva luonteensa istui hyvin. Mussalo oli mittavasti mukana rakennusalan työnantaja- ja urakoitsijajärjestöissä, hän oli myös jäsenenä useissa vesihuollon kehittämistä valmistelleissa toimikunnissa sekä laatimassa vesihuolto-opasta, jota käytettiin myös alan oppikirjana. Eläkkeelle jäätyäänkin hän toimi vielä pitkään asiantuntijana KHO:n yli-insinöörineuvoksena.

Pääosan sota-ajasta hän osallistui taisteluihin Karjalan Kannaksella ja Syvärillä kenttätykistön tulenjohtajana. Hänet palkittiin sodan aikaisista ansioistaan monin kunniamerkein ja hän oli sotilasarvoltaan kapteeni. Sotien jälkeen hän oli aktiivisesti mukana yksikkönsä Puomin Poikien veteraanitoiminnassa.

Nuorempana Risto Mussalo osallistui menestyksekkäästi kartanlukijana ralliautoilua edeltäneisiin suunnistus- ja tarkkuusajoihin. Kaikki luontoon ja maahan liittyvä oli hänelle tärkeää. Eläkevuosina kokeileva maanviljely ja puutarhanhoito olivat hänen sydäntään lähellä.

TOUKO ALLONEN
dipl.ins., E-mail: touko.allonen@kolumbus.fi

JOUKO RANTANEN
dipl.ins., E-mail: rantaset@welho.com

Kirjoittajat ovat Risto Mussalon työtovereita ja pitkäaikaisia ystäviä.

▶ AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄT



Vesihuollon asiantuntija

Katso lisää osoitteessa www.mipro.fi

Vesihuollon
monipuolinen
yhteistyökumppani



Liiketoimintaa
tehostavat
IT-kokonaisratkaisut
vesi- ja jätehuoltoon.

www.logica.fi

▶ JÄTEVESIEN- JA LIETTEENKÄSITTELY



Kaikki laitteet mekaaniseen
jätevedenkäsittelyyn:

ROTAMAT® ja **ESCAMAX®** välpät
HUBER WAP välpeen pesu/puristus
COANDA hiekkapesuri
ROTAMAT® lietteenkäsittelylaitteet
CONTIFLOW hiekkasuodatin

Hydropress Huber Ab
Hankasuontie 9, 00390 Helsinki,
puh. 0207 120 620, fax 0207 120 625
info@huber.fi, www.huber.fi



Eco Environment Ltd Oy

Malminkaari 5, 00700 Helsinki
Puh. (09) 5617 3434
Fax (09) 5617 3430
info@ecoenvironment.fi

www.ecoenvironment.fi



OY SLAMEX AB

Malminkaari 5, 00700 Helsinki
Puh. (09) 3436 200 • Fax (09) 3436 2020
slamex@slamex.fi

www.slamex.fi – Puhdasta vettä kaikille

► SUUNNITTELU JA TUTKIMUS

Kunnallistekniikan osaamista



SUUNNITTELU-TOIMISTO
ALUETEKNIikka OY
www.aluetekniikka.com

Asemakatu 1
62100 Lapua
Puh. 06-4374 350
Fax 06-4374 351

LIMNOLOGITOIMISTO, VESIEN HOIDON ASIAANTUNTIJA



VESI-EKO OY
WATER-ECO

www.vesieko.fi tiedustelut@vesieko.fi
Puh. 017-279 8600, Yrittäjätie 12, 70150 Kuopio



Kiuru & Rautiainen Oy
Vesihuollon asiantuntijatoimisto

- Laitosten yleis- ja prosessisuunnittelu
- Vesihuollon kehittämissuunnitelmat
- Talous- ja organisaatioselvitykset
- Taksojen määritysennusteet
- Ympäristölupahakemukset

SAVONLINNA puh. 010 387 2550 fax 010 387 2559
www.kiuru-rautiainen.fi



Vesi- ja ympäristötekniikan
asiantuntemusta ja suunnittelua

Tritonet Oy
Pinninkatu 53 C
33100 Tampere
Puh. (03) 3141 4100
Fax (03) 3141 4140
www.tritonet.fi

AIRIX Ympäristö
FMC GROUP

Teemme parempaa huomista.

AIRIX Ympäristö Oy | Puhelin 010 2414 000 | etunimi.sukunimi@airix.fi
PL 669, 20701 Turku | Telefax 010 2414 001 | www.airix.fi

Toimistot: Turku, Tampere, Espoo ja Oulu



INFRA- JA YMPÄRISTÖSUUNNITTELU
RAKENNUS- JA KUIVATUSSUUNNITTELU



SUOMEN SALAOJAKESKUS OY
Kiilakiventie 1, 90250 Oulu, Puh. (08) 534 9400
Minna Canthin katu 25, PL 1096, 70110 Kuopio
Puh. (017) 288 8130

POHJUSTAMME UNELMIA **WWW.SSKOY.FI**



RAMBOLL

VESIHUOLTORATKAISUT
ASIAKKAAN TARPEIDEN JA
YMPÄRISTÖN HYVINVOINNIN MUKAAN.

Veela. VESIHUOLTOPALVELUA

- vesihuollon projektit
- biokaasulaitokset
- palveluiden kilpailuttaminen
- riskienhallintasuunnitelmat
- ympäristöluvut

Hitsaajankatu 4 c
00810 Helsinki
puh. 044 091 77 77
info@veela.fi
www.veela.fi

PÖYRY

Pöyry Finland Oy, Vesi & Ympäristö
PL 50, 01621 VANTAA, puh. 010 33 11
environment.fi@poyry.com
www.poyry.fi

► VEDENKÄSITTELYLAITTEET JA -LAITOKSET

Pyörreflotaatio
Tehokain flotaatio maailmassa
Flotaatiolaitossuunnittelua
ja toimituksia yli 40 vuotta

INSINÖÖRITOIMISTO OY RICTOR AB

SIBELIUKSENKATU 9 B 00250 HELSINKI
PUH. 09-440 164 FAX 09-445 912

Dosfil oy – Vedenkäsittelyn hallintaa –

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

Nuijamiestentie 5 A, 00400 HELSINKI, puh. 042 494 7800, fax 042 494 7801
Email: dosfil@dosfil.com, internet: www.dosfil.com, Antti Jokinen GSM 0400 224777

KAIKO
www.kaiko.fi

- Vuodonetsintälaitteet
- Vesimittarit
- Annostelupumput
- Venttiilit
- Vedenkäsittelylaitteet

Kaiko Oy Puhelin (09) 684 1010
Henry Fordin katu 5 C Faksi (09) 6841 0120
00150 Helsinki S-posti: kaiko@kaiko.fi

Kotimaiset, energiaa säästävät

AIRIT™-ilmastimet
MIXIT™-sekoittimet

- Kunnallisen ja teollisen jäteveden käsittelyyn
- Luonnonvesien hapetukseen

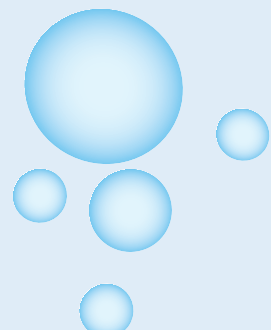
Waterixilta kokonaispalveluna järjestelmien suunnittelu, asennus, huolto, etävalvonta ja tarvittaessa vuokraus.

WWW.WATERIX.COM

► VERKOSTOT JA VUOTOSELVITYKSET

Viemärisaneeraukset
VPP SUJU –pätkäputkilla

Vaakaporauspalvelu VPP Oy
Puhelin (02) 674 3240 ■ www.vppoy.com



► VESIHUOLLON KONEET JA LAITTEET



abs
We know how water works

- pumppaamot
- jätevesipumput
- kaukolämpöpumput
- ABS Nopon/Oki ilmastimet
- ABS HST turbokompressorit
- epäkeskoruuvipumput
- työmaauppopumput
- potkuripumput
- tyhjöpumput
- sekoittimet

ABS Finland Oy

Turvekuja 6, 00700 Helsinki
puh. 075 324 0300, fax (09) 558 053, www.absgroup.com

**EDULLISET JA LUOTETTAVAT
VENTTIILIT VEDENKÄSITTELYYN**

KEYFLOW_{oy}

Satamatie 25
53900 LAPPEENRANTA
Puh. 020 7191 200, fax. 020 7191 209
info@keyflow.fi • www.keyflow.fi



Kokonaisratkaisut vesihuoltoon

Puhdas- ja jätevesipumput, uppopumput, pumppaamot, upposekoittimet, venttiilit ja käynnissäpito

KSB Finland Oy
Savirunninkatu 4, 04260 Kerava
Puh. 010 288 411, www.ksb.fi



Kokemusta ja luotettavuutta veden pumppaukseen

The Heart of Your Process

Sulzer Pumps Finland Oy
www.sulzerpumps.fi



Vesilaitokset, urakoitsijat, vesiosuuskunnat

PA-VE.fi
YHDYSKUNTATEKNIikka

- pumppaamot
- mittauskaivot
- ilmanpoistokaivot
- paineenkorotusasemat
- panospuhdistamot
- muut vesihuoltolaitteet

Paanutie 8, Keuruu p. 0207 199 700



FENNO WATER _{Ltd}

HALLINTO JA MARKKINOINTI
Steniuksentie 11 B 25, 00320 Hki
Puh. 09 – 44 69 72
Fax. 09 – 44 69 73

SUUNNITTELU JA TUOTANTO
Kisällintie 2, 60100 Seinäjoki
Puh. 06 – 4144 580
Fax. 06 – 4144 581
www.fennowater.fi

TUOTTEITAMME:

- Välppäysyksiköt
- Hiekkanerotus- ja kuivausyksiköt
- Lietekaapimet
- Sekoittimet
- Lietteeniivistys- ja kuivausyksiköt
- Kemikaalinannostelulaitteet
- Flotaatioyksiköt
- Biologiset puhdistamot

► VESI-KEMIKAALIT

Water is the connection **kemira**



Kemira Oyj
PL 330
00101 Helsinki
Puh. 010-86 11
www.kemira.fi



**LAATUKEMIKAALEILLA
parhaisiin tuloksiin**

Vedenkäsittelykemikaalit

- Polyalumiinikloridit • Natriumaluminaatti
- Natriumhypokloriitti • Kloori • Natronlipeä

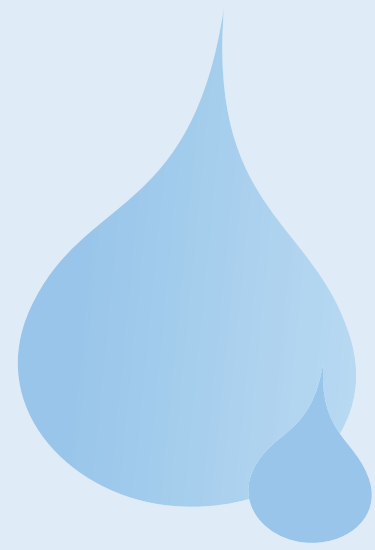
Eka Chemicals Oy, PL 198, 90101 Oulu
Puh. 0207 515 600, Faksi 0207 515 630 

**Nordkalk-kalkkituotteet
vedenkäsittelyyn**



kalkkikivirouheet
kalkkivijauheet
sammutettu kalkki
poltettu kalkki

Nordkalk Oyj Abp
puh. 020 753 7000
www.nordkalk.com/watergroup 




**ESIKÄSITTELYKEMIKAALIT • PINTAKÄSITTELYKEMIKAALIT • PERUSKEMIKAALIT
VEDENPUHDISTUSKEMIKAALIT • SAOSTUSKEMIKAALIT • RASKASMETALLIEN SAOSTUS**

Algol Chemicals Oy • Karapellontie 6 • PL 13, 02611 Espoo • Puhelin (09) 50 991 • Faksi (09) 5099 254

www.algol.fi 

Ilmoitus Vesitalous-lehden liikehakemistossa kannattaa!

ilmoitus.vesitalous@mvtt.fi

- 💧 **Ilmoitus liikehakemistossa 18 € / pmm tai pyydä tarjousta
puh. 050 66 174 / Harri Mannila.**
- 💧 **Valitse osastosi ja nosta yrityksesi tunnettavuutta näkyvällä toistolla.**
- 💧 **Toista tai vaihda ilmoitusta numeroittain.**
- 💧 **Palstan leveys liikehakemistossa 80 mm, kaksi palstaa 170 mm.**

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

ANNA-LEA RANTALAINEN AND HEIDI JÄÄSKELÄINEN:
Substances causing hormonal dysfunction

The increasing use of chemicals means that steadily rising quantities of contaminants are reaching treatment plants along with wastewater. Although much of the contaminants can be removed from the water, a fraction goes on its way with the purified water into the environment. Wastewater-based organic contaminants are fairly localised in a river environment as they break down or accumulate in the riverbed sediment, so transport to the lower reaches of the river and the Baltic Sea is not very likely. Harmful impacts on organisms are to be expected mainly in the vicinity of treatment plants.

NIINA VIENO:
Pharmaceuticals impacting our waterways

In Finland, a total of close to 1,000,000 kg of pharmaceuticals is taken annually, in terms of pure pharmaceutical content. Wastewater treatment does not remove all these substances and they end up in the waterways. Certain drugs may there accumulate in fish, interfering with their hormonal functions or damaging their organs.

**ERKKI VUORI, MARI HEINONEN, JAAKKO PIIRHONEN,
RIKU VAHALA AND MERJA RANTA:**
Drug residues in wastewater

Wastewater has been researched to extract information on human health for a long time. For example, studies of bacteria and viruses provide information on the prevalence of digestive tract diseases in the area, and research can even reveal diseases the presence of a condition which has not been detected by other means. Similarly, developments in analytical methods have permitted the use of drug analysis on wastewater to assess the use of narcotics in the area of the wastewater network. This yields independent information on the real consumption of drugs, which can be hard to study in other ways.

PANU RANTAKOKKO:
By-products of water disinfection

Chlorination of tap water was one of the greater advances in public health in the 20th century. For more than 70 years chlorination was considered totally innocuous until, in 1974, it was observed that during chlorination trihalomethanes are formed, including chloroform, which has been proved to be carcinogenic. Further by-products of chlorination began to be discovered in the early 1980s, when halogenated acetic acids were found in tap water and their concentrations were determined. So far, 600-700 different by-products have been recognised in tap water disinfected by various methods.

JARKKO RAPALA AND KIRSTI LAHTI:
Cyanobacteria and the toxins they produce

Cyanobacteria have been studied in Finnish waters and at water treatment plants for more than a quarter of a century. In spite of intensified action on water protection, cyanobacteria occur in our sources of raw water, and forthcoming climate change may further aggravate the problems they cause. However, it is comforting to know that the authorities monitor cyanobacteria in drinking water and that the treatment methods used by Finnish water treatment plants are capable of removing cyanobacterial cells and toxins produced by cyanobacteria from the water supplied to consumers to such an extent that it is harmless to water consumers.

JUHANI GUSTAFSSON:
A review of the prevalence of plant protectants in groundwater

The pesticides most commonly used in agriculture, forestry and market gardening are called plant protectants. They are also used in gardens and seedling nurseries against weeds, fungal infections and vermin. They have also been used earlier along rail tracks and on grass verges of roads and in traffic marshalling areas, mostly to eliminate weeds and undergrowth. Only a few cases of contamination of groundwater by plant protectants were known in Finland before 2000. The reason for this may be that no systematic examination of groundwater has been carried out on the same scale as in other parts of Europe.

Other articles

JARI KEINÄNEN:
Micropollutants – what are they all about?
(Editorial)

SUSAN LONDESBOROUGH:
New directive confirms quality norms for harmful substances in surface water

JORMA NIEMI:
Water quality in the Teno River 1964-2008

JARKKO KOSKELA:
Extra hydropower through better focused inflow forecasts

KATRI MEHTONEN AND SAIJA VUOLA:
Finnish Water Forum – from plans to action

MIRA POVELAINEN:
Water becoming a global scarcity factor

VEDESTÄ GLOBAALI NIUKKUUSTEKIJÄ

Kuluttajat ovat alkaneet viime vuosina kiinnittää enemmän huomiota kulutuksensa ympäristövaikutuksiin. Erilaisia mittareita ja merkkejä tuotteiden ympäristövaikutuksista on ilmestynyt tuotepakkauksiin, ja yritykset puhuvat niistä enemmän. Elintarvikkeiden osuus suomalaisten kulutuksen ympäristövaikutuksista on noin kolmannes, joten on ymmärrettävää, että kuluttajat toivovat tietoa myös ruokavalintojensa vaikutuksesta ympäristöön. Raisio Oyj:ssä tämä kuluttajien asenteiden muutos huomattiin vuoden 2007 loppupuolella. Vastatakseen tähän tiedon tarpeeseen Raisiossa päätettiin aloittaa selvitystyö omien tuotteiden ympäristövaikutuksista ja tietoa alettiin merkitä myös pakkauksiin. Ensimmäisenä lisättiin merkintä tuotteen ilmastovaikutuksista eli hiilijalanjälki (CO₂e) vuonna 2008 ja vesijalanjäljen kertova merkki vuonna 2009.

Vesijalanjälki on käsitteenä vielä nuori. Sen kehitti 2000-luvun alkupuolella hollantilainen tutkija Arjen Y. Hoekstra. Hän loi laskentamenetelmän, joka yhdistää tuotteiden suoran ja epäsuoran vedenkulutuksen yhdeksi luvuksi. Tuotteen suora vedenkulutus kuvaa tuotteen sisältämää vettä ja epäsuora vedenkulutus tuotteen valmistuksessa kulunutta vettä. Hoekstra myös jakoi veden väreihin sen mukaan, mistä vesi on peräisin. Sininen vesijalanjälki kuvaa tuotteen tuottamisessa käytettyä pintajalajai/tai pohjavettä. Vihreä vesijalanjälki taas kertoo kuluneesta sadevedestä ja harmaa kuvaa jätevetttä.

Vain prosentti maailman vesivaroista on juomakelpoista niin sanottua makeaa vettä. Tästä makeasta vedestä noin 70 prosenttia käytetään maatalouden tarpeisiin. On ennustettu, että puhtaasta vedestä tulee vielä suurempi asia kuin ilmastomuutoksesta. Tämä tulevaisuuden näkymä sai Raision kiinnostumaan

vesijalanjäljestä. Elovena-kaurahiutaleet valittiin esimerkkituotteeksi laskenta- projektiin, ja laskennan tuloksena saatiin tuotteen vesijalanjäljeksi 101 litraa per 100 grammaa tuotetta. Tämä luku kertoo tuotteen vedenkulutuksen koko tuotantoketjussa pellolta valmiiksi pakatuksi tuotteeksi asti. Suurin osa (yli 99 %) kaurahiutaleiden vedenkulutuksesta on kauran kasvuaikanaan käyttämää vettä, joka siis Suomen oloissa on sadevettä eli vesijalanjäljen määrittelmän mukaan vihreää vettä.

Raisio on ensimmäinen yritys, joka on merkinnyt tuotteensa vedenkulutuksesta kertovalla merkillä. Tämä osaaminen on herättänyt kiinnostusta sekä kotimaassa että kansainvälisesti. Viime syksynä Raision toimitusjohtaja Matti Rihko kutsuttiin yhdeksi pääpuhujista kansainväliseen vesijalanjälkikonferenssiin San Franciscoon. Samoin Raisio pyydettiin mukaan vesijalanjälkiverkostoon (Water Footprint Network), joka kehittää vesijalanjäljen laskentamenetelmiä sekä työkaluja laskemiseen. Verkoston tavoitteena on standardoitu menetelmä vesijalanjäljen laskentaan ja vaikutusarviointiin. Siinä on mukana yli sata yritystä tai organisaatiota. Elintarvike- ja juomateollisuudesta mukana Raision lisäksi ovat muun muassa Coca Cola, Dole Food, Heineken, Nestlé, PepsiCo ja Unilever.

Vesijalanjäljen laskentaperusteiden kehittäminen on vielä alkuvaiheessa. Jos vesijalanjälkeä vertaa vaikkapa hiilijalanjälkeen, suurin ero on vesijalanjäljen vaikutusarvioinnin puuttuminen. Kun hiilijalanjälki kertoo tuotteen elinkaaren aikaisten kasvihuonekaasujen yhteenlasketun määrän ja niiden vaikutuksen ilmaston lämpenemiselle, vesijalanjälki nykyisellään kuvaa vettä resurssina eli vedenkulutusta litroina ottamatta kantaa mahdollisiin vaikutuksiin. Vedenkulutuksen vaikutuksen arviointi ei kuitenkaan ole yksinkertaista. Se onko tuote vesijalan-



MIRA POVELAINEN
FT, kestävän kehityksen päällikkö
Raisio Oyj.
E-mail: mira.povelainen@raisio.com

jälkensä puolesta kestävä, riippuu tietysti vesijalanjäljen koosta, mutta myös ajankohdasta, sijainnista sekä veden väristä (vihreä, sininen vai harmaa). Kun näiden tekijöiden lisäksi otetaan huomioon paikalliset olosuhteet, jossa vesijalanjälki muodostuu, päästään jo laskennallisesti kohtuullisen monimutkaiseen yhtälöön. Tuotteen vesijalanjäljen kestävyyttä voidaan myös arvioida eri näkökulmista, joita voivat olla ympäristön lisäksi sosiaaliset tai taloudelliset näkökulmat. Vaikka veden riittävyys onkin jatkossa yhä enemmän globaali asia, vedenkulutuksen todelliset vaikutukset näkyvät aina paikallisesti. Tämä tekee vaikutusarvioinnista haastavaa.

Puhtaasta juomakelpoisesta vedestä muodostuu globaali niukkuustekijä ja veden puute tulee vaikuttamaan meihin kaikkiin suoraan tai välillisesti. Meillä Suomessa vettä riittää asiantuntijoiden arvioiden mukaan tulevaisuudessakin. Vesijalanjäljen tämänhetkisillä laskentamenetelmillä tämä runsasvetisten alueiden etu ei tule suoraan itse vesijalanjäljessä esille. Laskentaperusteita kuitenkin kehitetään koko ajan ja näin ollen vesijalanjäljestä voi hyvinkin tulla jatkossa kilpailuetu suomalaiselle ruoantuotannolle ja sitä kautta myös koko elintarviketeollisuudelle. 💧

WehoPuts - jäteveden pienpuhdistamolla puhdistat koko kylän jätevedet

Oli ratkaisusi oma tai yhteinen, meiltä löytyy aina oikean kokoinen puhdistamo.

Laaja, laadukas mallisto tarjoaa vaihtoehtot 5 - 1200 henkilön päivittäiseen jäteveden puhdistukseen.

- laaja puhdistamovalikoima
- pitkä kokemus
- kotimainen laatutuote
- maan kattavin
- vaivaton ja varma valinta
- huoltoverkosto

TESTATTUA LAATUA



WehoPuts-puhdistamot täyttävät standardin EN 12566-3 (CEN 2009) sekä talousjätevesiasetuksen 542/2003 vaatimukset

WehoPuts[®]

www.wehoputs.com

