VESITALOUS

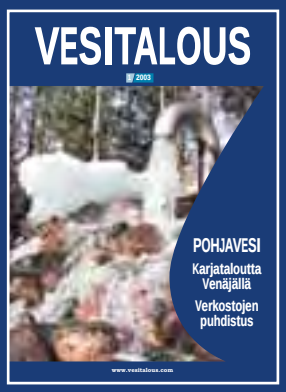
1/2003

POHJAVESI

Karjataloutta Venäjällä

Verkostojen puhdistus

www.vesitalous.com



VESITALOUS

1 / 2003

Vol. XLIV

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

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

Toimitus ja tilaukset
MARJA-LEENA JÄRVI
toimitussihteeri

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

Talous
Puhelin (09) 694 0622
Faksi (09) 694 9772
Nordea 120030-29103

Ilmoitukset
Puhelin (09) 412 5530
Faksi (09) 412 5207
E-mail: vesitalous@mvtt.fi

Kannen kuva
KALLE VUORELA

Painopaikka
FORSSAN KIRJAPAINO Oy
ISO 9002

ISSN 0505-3838

Ilmestyy kuusi kertaa vuodessa.
Vuosikerran hinta 40 €.

www.vesitalous.com

Tämän numeron kokosivat ja toimittivat
ESA RÖNKÄ
E-mail: esa.ronka@ymparisto.fi
RIKU VAHALA
E-mail: riku.vahala@vvy.fi

SISÄLTÖ

Pohjavesivarastot hälytysrajalla?
Esa Rönkä
5

MTBE:n aiheuttamien pohjavesiriskien hallinnasta
Juhani Gustafsson ja Tero Taipale
Bensiinin lisäaineena käytetyn MTBE:n vesiliukoisuus ja hidas hajoaminen maaperässä ja pohjavedessä sekä sen alhainen maku- ja hajukynnys ovat ominaisuuksia, joiden vuoksi MTBE aiheuttaa riskin pohjaveden laadulle.
7

Talousveden desifiointi ultraviolettivalolla
Marika Orava, Tapio Ala-Peijeri ja Huachen Pan
Ultraviolettidesinfiointi on helppokäyttöinen ja edullinen keino pohjaveden mikrobiologisen laadun varmistamiseen. Menetelmä on tehokas mikrobien tuhoamisessa, eikä sillä ole todettu merkittäviä haittavaikutuksia.
10

Vesipuitedirektiivi ja Suomen pohjavedet
Tapani Suomela
EU:n uusi vesipuitedirektiivi asettaa jäsenmaille useita pohjavesien suojelua koskevia velvoitteita. Monet niistä on Suomessa jo toteutettu, mutta mm. pohjavesien tarkkailu ja pohjavesialueiden suojelu-suunnitelmien laadinta tulee meillä tehostumaan.
16

Vaihtoehtoiset tiesuolat maistuvat vasta korkeina pitoisuuksina
Hanna Kivelä, Aino Nenonen, Taina Nystén, Pasi Hellstén ja Hely Tuorila
Tiesuolana käytetylle natriumkloridille on etsitty vaihtoehtoja. Kaliumformiaatti on laboratorio- ja suodatuskokeissa osoittautunut lupaavimmaksi vaihtoehdoksi. Myöskään aistinvaraisissa tutkimuksissa ei aineen käytölle todettu estettä.
18

Fluoridi tekopohjavesilaitoksilla
Timo Kyntäjä
Fluorin esiintymistä ja liukenemista sekä fluoridipitoisuuden sääntely-mahdollisuuksia on tutkittu Utin tekopohjavesilaitoksilla.
22

TOIMITUSKUNTA

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

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

ESKO KUUSISTO
fil.tri, hydrologi
Suomen ympäristökeskus, hydrologian yksikkö

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

MARJA LUNTAMO
dipl.ins., johtaja
Porin Vesi

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

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

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

RIKU VAHALA
dipl.ins. (väit.)
Vesi- ja viemärilaitosyhdistys

OLLI VARIS
tekn.tri, dosentti, akatemiatutkija
Teknillinen korkeakoulu

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

Erikoistoimittaja

HARALD VELNER
professori

Parantaako vesijohtoverkoston puhdistus veden laatua?
Tarja Nissinen ja Markku Lehtola

Vesijohtoverkoston puhdistamisella pyritään parantamaan veden laatua. Usein ongelmia aiheuttavat rautapitoisuus ja veden sameus. Verkoston puhdistamisella voitiin parantaa veden laatua, mutta kaikilta osin parannukset eivät olleet pitkäaikaisia **30**

Jätevesi uudelleenkäyttöön – menetelmät ja kustannukset
Helvi Heinonen-Tanski, Petri Juntunen, Ritva Rajala, Esko Haume ja Ari Niemelä

Puhdistetusta asumajätevedestä voitiin tehdä koagulanteilla tehostetun hiekkasuodatuksen ja sitä seuraavan UV-käsittelyn avulla vettä, joka oli kelvollista mm. raakana syötävien kasvien kasteluun. **35**

Liukoisuustesteistä riskienhallintaan kaivosympäristössä
Marja Liisa Räisänen, Maria Nikkarinen, Olli Lehto ja Soile Aatos

Kaivannaisteollisuuden sivutuotteille tehty tutkimus osoitti, etteivät liukoisuustestit sovellu mittaamaan rautasulfidipitoisten jätteiden hapettumisesta aiheutuvaa happamuuden kasvua ja haitallisten aineiden potentiaalista liukenevuutta läjitysalueilla. **39**

Karjatalouden vaikutus Suojujoen veden laatuun
Dina Judina

Ääniseen laskevan Suojujoen veden havaittiin suuren karjatilan kohdalla huonontuvan etenkin syksyisin. Veden happipitoisuus on vähentynyt ja ammoniumtyppi lisääntynyt. **44**

Vaihtelu ei aina virkistä – mielipiteet järvisäännöstelyistä selvitetty
Mika Marttunen ja Tuuli Saari

Ranta-asukkaiden ja virkistyskäyttäjien suhtautuminen vesistön säännöstelyihin on usein hyvin kielteistä. Säännöstelykäytäntö on vain yksi, mutta tämän tutkimuksen perusteella keskeinen tyytymättömyyteen vaikuttava tekijä. **49**

Kuka jatkaa kehittämistä Vesihuollon teknologiaohjelman jälkeen?
Riku Vahala ja Piia Moilanen

Kansainvälinen arviointi osoitti vesihuollon teknologiaohjelman onnistuneen hyvin. Menestyksekkäistä projekteista löytyi yhteisiä piirteitä, joista voidaan ottaa mallia tuleviin hankkeisiin. **55**

Liikehakemisto **58**

Mielipide **62**

Tapahtumia **63**

Tuhti tietopaketti kalavesistään kiinnostuneille
Harri Dahlström **64**

Abstracts **65**

Pohjavesi ja geologia
Heikki Niini **66**

Asiantuntijat ovat tarkastaneet lehden artikkelit.

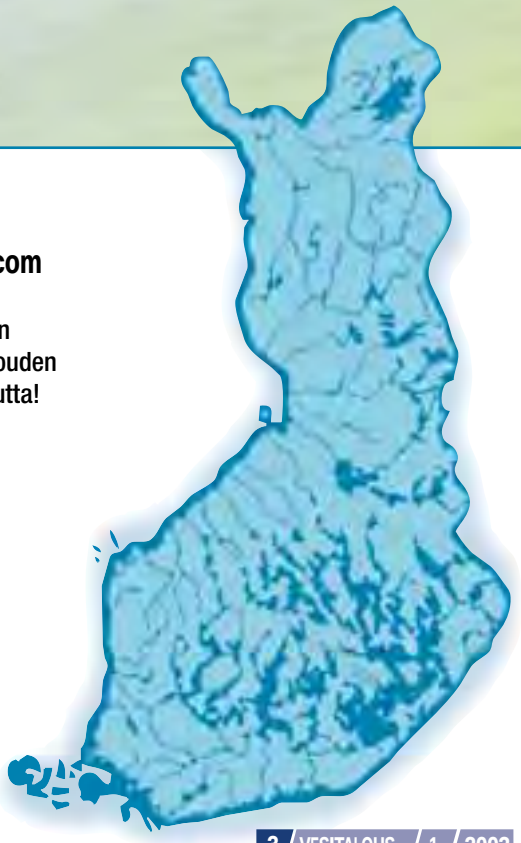
VESITALOUS 2/2003

ilmestyy 29.4., teemana on tulvat. Numeron kokoaa Esko Kuusisto.

Ilmoitusvaraukset 4.4. mennessä.

www.vesitalous.com

Pyydä vesihuollon tarviketarjous Vesitalouden markkinapaikan kautta!



Pumppaamoperhe Liningilta

PROLINING

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

- kierteetön liitosjärjestelmä - DN 32-300

Lining INDUTRADE GROUP

Oy Lining Ab
Riihikuja 5 • 01720 Vantaa • puh. 09-4764 611
Fax 09-4764 6220 • E-mail: lining.info@lining.fi

POHJAVESI-VARASTOT HÄLYTYSRAJALLA?

Esa Rönkä

erikoistutkija, fil.tri, dosentti
Suomen ympäristökeskus
E-mail: esa.ronka@ymparisto.fi

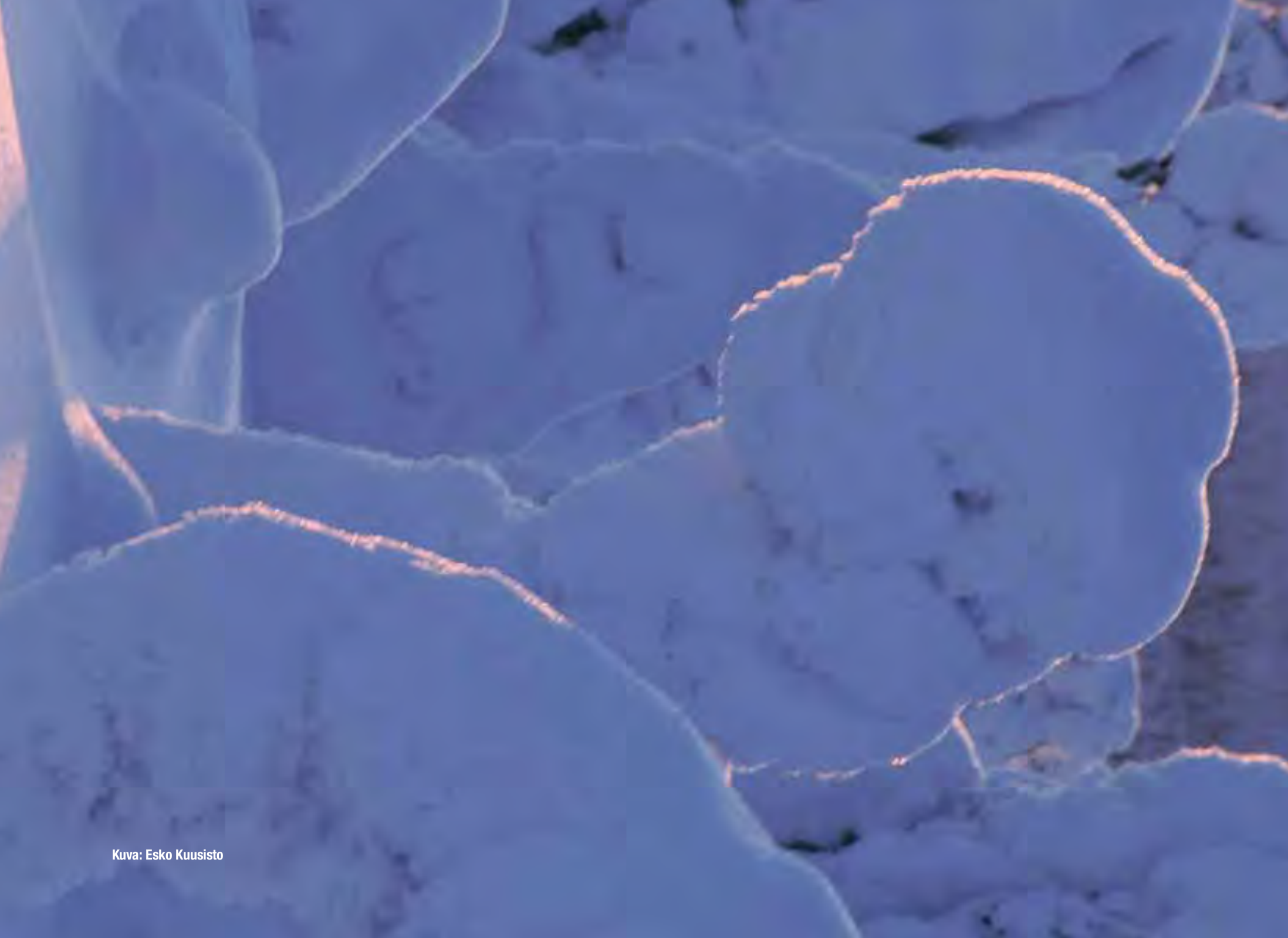
Kuivuus, veden vähyys ja pohjavedenpinnan aleneminen ovat olleet päivän puheenaiheita viime kesästä saakka. Jokaiselle veden puutteesta kärsivälle tilanne on aina monella tapaa vaikea ja lisäkustannuksia aiheuttava asia. Globaalisti tarkasteltuna Suomen tilapäinen vesipula ei ole kovin huolestuttava, sillä noin kolmannes maapallon väestöstä asuu alueilla, joilla veden puute on jokapäiväinen asia. Tämä vuosi on YK:n julistama makean veden vuosi, jonka tarkoitus on tuoda maailman vesiongelma yleiseen tietoisuuteen. Vaikka veden kulutus henkilöä kohden on saatu laskemaan useimmissa kehittyneissä maissa, kaksi kolmasosaa maailman väestöstä asuu 20 vuoden kuluttua veden puutteesta kärsivillä alueilla. Vesivarojen käytön ja hoidon suhteen Suomi on kuitenkin saanut tunnustusta arvovaltaiselta taholta, sillä hiljattain julkaistussa Word Water Councilin vertailussa Suomi todetaan maailman vesirikkaimmaksi maaksi ennen Kanadaa ja Islantia. Sijoittuminen oli hyvä kaikilla viidellä mittarilla mitaten ja parhaimman tuloksen antoi vielä ympäristön kestävää kehitystä kuvaava mittari.

Vaikka monessa EU-maassakin kuluneen vuoden aikana haittana ovat olleet tulvat, Suomessa veden vähyys on koetellut erityisesti oman kaivon varassa olevia yksityistalouksia. Suurista pohjavesimuodostumista vettä pumppaavien vesilaitosten toiminta on ollut varsin normaalia, mutta tosiasiassa nekin ovat käyttäneet maassa olevaa vesivarastoaan, koska uutta pohjavettä ei ole muodostunut. Pienempien pohjavedenottamoiden vastuuhenkilöillä on kaiken aikaa kasvanut huoli, riittääkö hyvälaatuista vettä koko talveksi, vai joudutaanko vettä säännöstelemään. Isojen pohjavesimuodostumien varaston käyttäminenkin tunnetaan vain teoriassa. Pohjavedenpinnan laajamittainen alentuminen aiheuttaa lähes poikkeuksetta muutoksia virtauskentässä. Esimerkiksi hapettomalta alueelta voi alkaa virrata enemmän vettä tuotantokaivoille ja liuenneiden haitta-aineiden määrä alkaa lisääntyä. Pohjavedenpinnan aleneminen merkitsee myös huomattavia kokonaisvesimääriä. Jos pohjavedenpinta olisi alentunut kaikilla vedenhankintaan tärkeillä (I-luokka) pohjavesialueilla keskimäärin puoli metriä, vastaisi se varovaisesti arvioituna yhteensä n. 500 milj. vesikuutiometrin varastovajetta.

Vaikka Suomen vedenhankinnalle tärkeät pohjavesivarat on kartoitettu ja luokiteltu, nyt viimeistään ymmärretään, että niiden tuntemus on vielä liian pintapuolista. Pohjavesiriskejä on selvitetty ja pyritty vähentämään muun muassa suojelusuunnitelmien avulla. Viimeisimmät selvitykset ja tutkimukset kuitenkin osoittavat, että monet riskit, kuten esim. tiesuola, bensiinin lisäaineet MTBE (metyyli-tertiääri-butyylieetteri) ja TAME (tertiäärinen-amyyli-metyylieetteri) sekä rikkaruohojen ja tuholaisten torjunta-aineet, ovatkin oletettua paljon suurempia.

Pohjavesiin, etenkin sen laatuun liittyvää seurantadataa on varsin paljon, mutta vastuut kyseisen tiedon kokoamisesta, käsittelystä ja dokumentoinnista pitäisi olla selkeämmät. Ympäristöministeriö vastaa pohjaveden suojelusta, maa- ja metsätalousministeriö vedenhankinnasta (veden johtamisesta verkostoon), ja sosiaali- ja terveysministeriö (STM) talousveden terveydellisen laadun valvonnasta. STM:n suorittama talousveden laadun tarkkailu tehdään talousvesidirektiivin mukaisesti verkostovedestä otettavista vesinäytteistä. Raakavettä eli varsinaista pohjavettä velvoitetaan tarkkailemaan ainoastaan siellä, missä veden ottaminen perustuu vesioikeuden tai ympäristölupaviraston myöntämän vedenottoluvan lupaehtoihin. Tämän lisäksi monet vesilaitokset seuraavat vapaaehtoisesti myös pohjaveden laatua. Nämä tiedot on saatu pyydettäessä vesilaitoksilta, mutta tulevaisuudessa ne kootaan ympäristöhallinnon pohjavesitietojärjestelmään (POVET) Suomen ympäristökeskukseen, josta ne on helposti saatavissa eri tarkoituksiin.

Vaikka kaivoja on kuivunut ja pohjavedenpinta alenee edelleen, pohjavesi ei Suomesta lopu. Alussa esille tuotu pohjavesien varastovaje on arviolta vain muutama prosentti tehollisesta kokonaisvarastosta. Poikkeuksellisen pitkään jatkunut ja vedenhankinnalle kustannuksia lisännyt pohjavesivarastojen väheneminen pitäisi kuitenkin pyrkiä myös hyödyntämään tehostamalla pohjaveden pinnankorkeuden ja laadun muutosten seurantaa, erityisesti pohjaveden ottamoiden vaikutusalueilla. Näillä tiedoilla on kysyntää myös vesivarastojen jälleen täytyttyä, puhumattakaan varauduttaessa seuraavaan ”kuivakauteen”.



Kuva: Esko Kuusisto

MTBE:n AIHEUTTAMIEN POHJAVESIRISKIEN HALLINNASTA

Juhani Gustafsson

vanhempi tutkija, fil.maist.
Suomen ympäristökeskus
E-mail: juhani.gustafsson@ymparisto.fi
Kirjoittaja toimii vastuullisena tutkijana hankkeessa "Bensiinin lisäaineiden (MTBE ja TAME) pohjavesiseurannan suunnittelu ja kehittäminen"

Tero Taipale

fil.yo
Helsingin yliopisto, geologian laitos
E-mail: tero.k.taipale@helsinki.fi
Kirjoittaja oli kesällä 2002 harjoittelijana kyseisessä projektissa Suomen ympäristökeskuksessa.

Bensiinin lisäaineena käytettävän MTBE:n aiheuttamista terveys- ja ympäristöhaitoista on keskusteltu runsaasti viime vuosina etenkin USA:ssa, missä MTBE:n kulkeutuminen pohjavesiin on mahdollisesti johtamassa sen käyttökieltoon. MTBE:n vesiliukoisuus ja hidas hajoaminen maaperässä ja pohjavedessä, sekä sen alhainen maku- ja hajukynnys ovat ominaisuuksia, joiden vuoksi aine aiheuttaa riskin pohjaveden laadulle. Kyseessä ei ole kuitenkaan terveydellinen haitta, vaan alhaisesta maku-ja hajukynnyksestä johtuva veden laadun huononeminen. Maaperään päässyt MTBE kulkeutuu nopeasti pohjaveteen, jossa jo hyvin pieni määrä ainetta riittää pilaamaan veden. Pilaantumisriski aiheutuu pääasiassa pistemäisten lähteiden päästöistä. Tällaisen riskin aiheuttavat pohjavesialueilla sijaitsevat huoltoasemat, ja näillä erityisesti bensiinin maanalaisten varastointijärjestelmien vuodot ja varastosäiliöiden ylitäytöt, jotka ovat merkittävin MTBE:n päästölähde.

Euroopassa nykyisin eniten käytetty bensiinin lisäaine on MTBE *(metyyli-tertiääri-butyylieetteri)*, jonka tehtävänä on bensiinin oktaaniluvun kohottaminen ja bensiinin palamisen edistäminen moottorissa. Aluksi MTBE:tä käytettiin ylläpitämään vaadittua oktaanitasoa, kun lyijy-yhdisteistä luovuttiin. Käyttö laajeni, kun mm. liikenteen päästöjen vähentämisvaatimukset loivat kysyntää happipitoiselle bensiinille. Sitä saatiin käyttämällä aiempaa enemmän MTBE:tä. Yhdysvalloissa aine otettiin käyttöön jo 1970-luvulla. Suomessa sitä on käytetty parikymmentä vuotta. MTBE:n rinnalla käytetään usein myös TAME:a *(tertiääristä amyylimetyylieetteriä)*, joka on ominaisuuksiltaan lähellä MTBE:tä. MTBE on halpaa, sitä on helppo valmistaa ja kuljettaa, ja se sekoittuu hyvin bensiiniin. Nämä ominaisuudet tekevät siitä yleisimmin käytetyn oksygenaatin.

Nykyisin Euroopan unionin alueella MTBE:n kokonaistuotannosta 98 % käytetään bensiiniin. Loppu käytetään lähinnä raaka-aineena kemianteollisuudessa ja lääketeollisuudessa. Vuonna 1997 EU:n alueella tuotettiin MTBE:tä noin kolme miljoonaa tonnia, josta 76 % käytettiin EU-maissa. Oksygenaattien käyttömäärät vaihtelevat monista syistä. Vuonna 1999 MTBE:tä käytettiin Suomessa 136 000 tonnia ja TAME:n 75 000 tonnia. Oksygenaattien pitoisuudet bensiineissä vaihtelevat paljon eri maiden ja jalostamojen välillä. Suomessa korkeat MTBE- ja TAME -pitoisuudet bensiinissä ovat yleisiä verrattuna muihin EU-maihin. Suomessa tietyt bensiinilaadut sisältävät MTBE:tä 11–15 til.% ja sen keskipitoisuus bensiineissä on 8,5 til.%. Muissa EU-maissa pitoisuudet vaihtelevat 0,6 til.%:n ja 3,9 til.%:n välillä, keskipitoisuuden ollessa noin 2,5 til.%. EU:n direktiivin 98/70/ETY mukaan bensiinin sisältämän MTBE:n enimmäismäärä saa olla 15 % tilavuudesta. Kokonaisuutena EU:n alueen MTBE:n kulutus on maailman toiseksi suurin USA:n jälkeen. EU:n kulutus on noin 40 % USA:n kulutuksesta. (EU, 2002)

Ilmakehään MTBE:ä vapautuu lähinnä autojen pakokaasuista ja tankkauksen yhteydessä huoltoasemilla. Korkean höyrynpaineen johdosta se höyrystyy pois bensiinistä, ja pieniä pitoisuuksia on todettu ilmassa paikallisesti esimerkiksi huoltoasemien lähettyvillä, mutta jakeluaseman mittarikentän ulkopuolella pitoisuudet jäävät kuitenkin alhaisiksi. Polttoaineen tankkauksen yhteydessä on mitattu 35 mg/m^3 MTBE:n pitoisuuksia ilmassa (EFOA, 2002). MTBE:tä vapautuu ilmakehään myös pakokaasujen mukana. On arvioitu, että käytetystä MTBE:n määrästä noin 2,5 % pääsee palamattomana pakokaasujen mukana ilmaan. Suomessa ilmaan pääsee siis vuosittain noin 5 000 tonnia MTBE:tä ja TAME:ta. Palokaasupäästöjen mukana ympäristöön pääsee selvitysten mukaan MTBE:tä keskimäärin 0,05 g/km (EFOA, 2002). MTBE:n käyttäytymiseen ilmakehässä vaikuttavat päästön määrä, tuulen suunta ja voimakkuus sekä lämpötila. Ilmakehään joutuneen MTBE:n puoliintumisaika on noin kolme vuorokautta. Ilmasta aine voi kulkeutua maahan laskeumana tai yleisemmin sadeveden mukana. Maanpinnalla osa yhdisteestä joutuu pintavaluntana purojen ja jokien kautta järviin ja meriin. Osa imeytyy maaperään ja voi päätyä pohjaveteen.

MTBE:n vaikutukset ihmisen terveydelle

Jo pienetkin MTBE:n pitoisuudet tekevät juomaveden kelvottomaksi aineen alhaisen haju- ja makukynnyksen vuoksi. Tutkimusten perusteella on MTBE:n makukynnykseksi arvioitu 40 µg/l ja hajukynnykseksi 15 µg/l, mutta herkät yksilöt saattavat havaita aineen jo alhaisimmissakin pitoisuuksissa. Korkeilla pitoisuuksilla tehdyissä kokeellisissa tutkimuksissa on todettu, ettei MTBE:llä ole merkittäviä vaikutuksia ihmisen terveydelle. Näin ollen EU:n asiantuntijaryhmä on päättänyt, ettei MTBE:tä ehdoteta luokiteltavaksi syöpäsairauden vaaraa aiheuttavaksi aineeksi. MTBE:n on todettu ärsyttävän ihoa toistuvassa altistuksessa, mutta aineen ei ole katsottu olevan herkistävää. Korkeilla annostasoilla pitkäaikaisissa tutkimuksissa MTBE:llä on todettu olevan vaikutuksia maksaan ja munuaisiin, mutta aine ei aiheuta perimän muutoksia eikä ole myöskään luokiteltu lisääntymistoksiseksi. (EU, 2002)

Pohjaveteen päästyään MTOE kulkeutuu helposti.

MTBE:n aiheuttamat ympäristöriskit ja riskinvähennysstrategia

Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) kemikaaliyksikkö on laatinut EU:n laajuisen MTBE:n riskiarvion. Riskinarviointi on osa laajaa EU:n kemikaalien riskinarviointiohjelmaa, joka perustuu neuvoston asetukseen (793/93) olemassa olevien aineiden riskien arvioinnista ja valvonnasta. Arvioinnissa tunnistettiin kaksi ympäristöriskiä, jotka molemmat liittyvät vesiin: MTBE:n pohja- ja talousveden laadulle aiheuttama riski, joka johtuu bensiinin päästystä maaperään ja pohjaveteen säiliöiden ylitäyttöjen ja vuotojen seurauksena sekä pintavesille aiheutuva riski, joka johtuu MTBE:tä sisältävien bensiinin varastosäiliöiden vesitysvesien johtamisesta vesistöön. Pohjaveteen päästyään MTBE kulkeutuu helposti. Se ei adsorboidu merkittävästi maaperän orgaaniseen tai epäorgaaniseen ainekseen, joten se pysyy pohjavedessä. Lisäksi MTBE:n biohajoaminen on erittäin heikkoa ja tämän seurauksena aineen luonnollinen pitoisuuden aleneminen pohjavedessä on erittäin hidasta. Tästä johtuu, että pohjaveteen päässyt MTBE aiheuttaa helposti laaja-alaisen ja pitkäkestoisen pilaantumisongelman.

EY:n komissio on antanut marraskuussa 2001 suosituksen (2001/838/EY) toimenpiteistä MBTE:n riskien vähentämiseksi. Suosituksessa todetaan, että ihmisen aiheuttamien päästöjen estäminen on ensisijainen tavoite yhteisön voimassa olevassa lainsäädännössä (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/60/EY). MTBE:n pohjavedelle aiheuttaman riskin vähentämiseksi komissio suosittelee mm. seurantaohjelmia niille pohjavesialueille, joilla sijaitsee bensiinin jakeluasemia. Seurannan tavoitteena on havaita MTBE:n aiheuttama pohjaveden likaantuminen mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, ennen kuin lika-aine on ehtinyt vedenottamolle asti.

Pilaantumistapauksista

Riskinarvioinnin yhteydessä kerättiin tietoa pilaantumistapauksista sekä MTBE -pitoisuuksista ympäristössä. Vuoteen 2001 mennessä on Suomessa todettu yhteensä kymmenkunta MTBE:stä johtunutta merkittävää pohjaveden pilaantumistapausta. Näiden alueiden MTBE:n maksimipitoisuudet pohjavedessä ovat olleet jopa 300 000 µg/l. Kaikki pilaantumistapaukset eivät ole tulleet esille. Eräänä syynä voitaneen pitää systemaattisen MTBE:n määrityksen puuttumista pohjaveden laadun tutkimuksista ja seurantaohjelmista. Tanskassa ja Isossa-Britanniassa on tehty laajoja kartoituksia MTBE:n esiintymisestä pohjavedessä. Vuonna 2000 Tanskassa tutkitusta 72 kohteesta MTBE:tä löytyi 62:ssa (86 %). Vastaavasti Isossa-Britanniassa

13 %:ssa tutkituista 800 kohteesta todettiin MTBE:tä. SYKE aloitti vuoden 2002 kesällä pilaantumistapausten selvittämisen. Selvitys on vielä kesken, mutta alustavien arvioiden mukaan tapausten määrä on selvästi lisääntynyt vuoden 2001 tilanteeseen verrattuna.

Huoltamot pohjavesialueilla

Vuoden 2002 alussa käynnistyi SYKEssä hanke, jonka tarkoituksena on edistää EY:n komission suosituksen (2001/838/EY) toimeenpanoa. Projektin tarkoituksena on kartoittaa ongelman laajuutta ja myös kehittää likaantumisherkkyystarkastelua, jonka avulla voidaan osoittaa ne pohjavesialueet, jotka kiireellisimmin tarvitsevat suojelutoimenpiteitä. SYKEssä tehtiin kesällä 2002 paikkatietoaineistoihin perustuva selvitys huoltoasemien sijoittumisesta pohjavesialueille. Käytetyssä paikkatietoaineistossa huoltamoiden osalta mukana olivat Öljy- ja Kaasualan Keskusliittoon kuuluvien öljy-yhtiöiden ketjujen asemat. Selvityksen perusteella luokitelluilla pohjavesialueilla on lähes 300 huoltoasemaa. Näistä suurin osa sijaitsee vedenhankintaa varten tärkeillä alueilla. Uudenmaan, Kaakkois-Suomen ja Hämeen ympäristökeskusten alueilla on eniten pohjavesialueilla sijaitsevia huoltoasemia. Uudenmaan pohjavesialueilla on yhteensä 56 huoltoasemaa, joista 50 sijaitsee vedenhankintaa varten tärkeillä pohjavesialueilla. Hämeen ympäristökeskuksen alueella vastaavasti pohjavesialueilla on yhteensä 49 asemaa, joista 47 on tärkeillä alueilla. Kaakkois-Suomessa yhteensä 54 pohjavesialueella sijaitsevasta huoltamosta 24 on vedenhankintaa varten tärkeillä alueilla.

Alkuselvitysten perusteella tullaan valitsemaan kaksi huoltamokiinteistöä, joilla kesän 2003 aikana toteutetaan pilot-hanke. Tämän projektin yhteydessä näille huoltamokiinteistöille asennetaan pohjaveden tarkkailuputket ja laaditaan seurantaohjelma sekä mahdollisuuksien mukaan myös testataan uuden näytteenottotekniikan soveltuvuutta MTBE:n monitorointiin ja päästöjen hallintaan. Pilot -hanke toteutetaan yhteistyössä Öljyalan Palvelukeskuksen kanssa. Projektissa kertyneen tiedon pohjalta laaditaan huoltamokiinteistöjä varten ohjeet pohjaveden seurannan järjestämiseksi. Varsinaisesta valtakunnallisesta pohjaveden seurannasta alueilla, joilla on huoltamo, ei ole vielä sovittu. Pohjavesiseurantojen osalta tapahtuu muutoksia seuraavan kolmen vuoden aikana, jolloin niitä kehitetään vesipuitedirektiivin asettamia vaatimuksia vastaaviksi.

Artikkeli pohjautuu pääosiltaan SYKEn tekemään olemassa olevien aineiden asetuksen (793/93) mukaiseen riskinarviointiin ja tämän pohjalta annettuun komission suositukseen (2001/838/EY) sekä SYKEn valmistelemaan MTBE:n riskinvähennysstrategiaan.

Kirjallisuus

EFOA, The European Fuel Oxygenates Association. 2002. MTBE: Resource Guide. http://efoa.org/fr/ressource_guide/here.htm, 16.8.2002.

Euroopan yhteisöjen virallinen lehti 22.12.2000. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/60/EY, annettu 23 lokakuuta 2000, yhteisön vesipolitiikan puitteista.

Euroopan yhteisöjen virallinen lehti 4.12.2001. Komission suositus 2001/838/EY, annettu 7 päivänä marraskuuta 2001, seuraavien aineiden riskinarvioinnin tuloksista ja riskinvähentämisen toimintasuunnitelmista: akryylialdehydi; dimetyylisulfaatti; nonyylifenoli; fenoli, 4-nonyyli-, haarautunut; tert-butyylimetyylieetteri.

European Union Risk Assessment Report tert-butyl methyl ether CAS No: 1634-04-4, EINECS No: 216-653-1. 2002. European Chemicals Bureau, Institute for Health and Consumer Protection. 3rd Priority List Volume: 19. European Commission Joint Research Centre, EUR 20417 EN. Luxembourg, European Communities, Luxembourg,

SYKE, Suomen Ympäristökeskus. 2001. Risk Reduction Strategy, Tert-butyl methyl ether, CAS-No.: 1634-04-4, EINECS-No.: 216-653-1. Draft of March 5, 2001. 89 s. [Julkaisematon.]

TALOUSVEDEN DESINFIOINTI ULTRAVIOLETTI-VALOLLA

Veden desinfiointi UV-valoa käyttäen tunnettiin jo viime vuosisadan alussa. Laitteet ovat kehittyneet vasta viime aikoina niin paljon, että menetelmä on tullut yleiseen käyttöön myös Suomessa. UV-laitetta hankittaessa ratkaistavia asioita ovat mm. desinfiointitulokseen vaikuttavat veden laatutekijät, miten laite mitoitetaan, minkä tyyppinen laite on sopivin ja kuinka varmistetaan riittävä UV-annos. Annoksen laskenta- ja esittämistapoja on useita. Näitä ja annoshajonnan vaikutusta desinfiointitulokseen on selvitetty Vesi- ja viemärilaitosyhdistyksen hankkeessa UV-desinfiointioppaan laatimiseksi.

Marika Orava

tekn. yo.
Tampereen teknillinen yliopisto / SCC Viatek Oy/Vesihydro
E-mail: marika.orava@vesihydro.fi
Kirjoittaja on tehnyt diplomityön TTY:n ympäristö- ja energiatekniikan osastolla aiheesta UV:n käyttö juomaveden desinfiointiin.

Tapio Ala-Peijari

dipl. ins.
SCC Viatek Oy / Vesihydro
E-mail: tapio.ala-peijari@vesihydro.fi
Kirjoittaja toimii projektipäällikkönä toiminta-alueenaan mm. vesilaitosten prosessitekniikka ja on osallistunut diplomityön ohjaukseen.

Huachen Pan

CFD-Finland Oy
E-mail: huachen.pan@cfdfinland.inet.fi
Kirjoittaja on vastannut diplomityössä käytetyistä tietokoneohjelmista ja annoslaskennan ohjelmoinnista.

Hyvälaatuista pohjavettä ei aina desinfioida, koska sitä ei ole koettu tarpeelliseksi. Pohjavesi voi kuitenkin likaantua myös mikrobiologisesti. Pahimmillaan tämä huomataan vasta ihmisten sairastuttua. Kloorausta on haluttu välttää, koska se voi vaikuttaa veden makuun ja muihin ominaisuuksiin. Mutta voidaan käyttää myös ultraviolettivaloa (UV) veden mikrobiologisen laadun varmistamiseksi ja satunnaisen saastumisen estämiseksi. UV-laite voidaan pitää käytössä jatkuvasti eikä siitä aiheudu haittoja veden laadulle.

Pienillä pohjavedenottamoilla juomaveden desinfiointia ovat rajoittaneet kuluttajien odotukset veden laadun suhteen sekä kloorille vaihtoehtoisten menetelmien korkea hinta. Kloori ja klooriyhdisteet heikentävät veden aistinvaraisia ominaisuuksia.

Ultraviolettidesinfiointia on helppo käyttää ja se on edullinen keino pohjaveden mikrobiologisen laadun varmistamisessa ja erityisesti ennakoimattomien likaantumistapausten aiheuttamien epidemioiden estämisessä. Pinta- ja tekopohjavesilaitoksilla on UV-desinfioinnin avulla voitu vähentää vapaan kloorin käyttöä ja siirtyä enemmän kloramiinikloraukseen, jolloin myös orgaanisten klooriyhdisteiden syntymistä on voitu vähentää.

UV-desinfiointi on tehokas menetelmä bakteerien, virusten, alkueläinten ja niiden kystien tuhoamiseen. UV-säteilyn ei ole todettu muodostavan haitallisia sivutuotteita. Se ei kuitenkaan anna suojaa verkostossa, joten verkoston

kunnosta ja laajuudesta riippuen voidaan tarvita jälkidesinfiointia.

Sveitsi ja Itävalta ovat olleet UV-desinfioinnin edelläkävijöitä 1950- ja 60-luvuilta lähtien. Ultraviolettisäteilyn mikrobeja inaktivoiva vaikutus tunnettiin jo viime vuosisadan alussa. UV-desinfiointi on havaittu helppokäyttöiseksi ja turvalliseksi varokeinoksi veden laadun varmistamisessa myös Suomessa.

Tässä esitetyt tulokset perustavat selvitystyöhön, jonka yhtenä osana oli aiheeseen liittyvä diplomityö. Toisena osana kehitettiin laskentamalli, joka ottaa aikaisempaa paremmin huomioon UV-desinfiointireaktorin virtausmallin sekä UV-valon intensiteetin jakautuman.

Kuva 1. Tyypillisen UV-laitteen leikkauskuva.

Vaikutusmekanismi

UV-desinfiointi perustuu valokemiallisiin reaktioihin, jotka tapahtuvat yleensä näkyvän tai ultraviolettivalon absorption eli imeytymisen seurauksena. Valokemialliset reaktiot ovat yleisiä ympäristössä. Esimerkiksi kasvien fotosynteesi, ihon ruskettuminen ja kankaiden väriaineiden haalistuminen perustuvat näihin reaktioihin.

Ultraviolettivalo sijoittuu näkyvän valon ja röntgensäteilyn välille. UV-aallonpituusalue on 190 …400 nm. Desinfiointiin soveltuu UV-C -alue optimin ollessa välillä 245…285 nm. Tehokkain aallonpituus mikrobien inaktivoinnissa on DNA:n maksimiabsorption aallonpituudella 260 nm.

Solujen sisältämä perimä (DNA) on herkkä UV-valolle. Mikrobin altistuminen UV-säteille aiheuttaa DNA-molekyylin rakenteen vaurioitumisen. Tämä estää mikrobin lisääntymisen. Myös mikro-organismien proteiinit ja entsyymit absorboivat UV-säteilyä, mikä muuttaa niiden rakennetta häiriten mikrobin elintoimintoja.

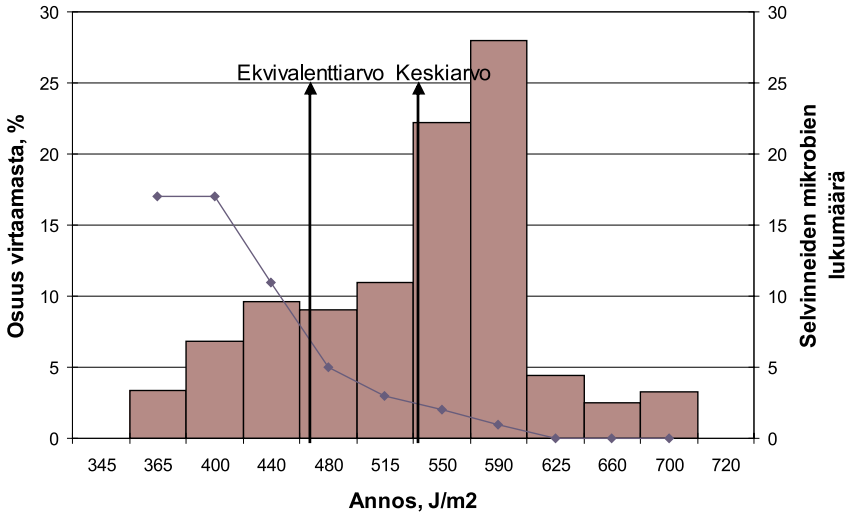
Tarvittava UV-annos

UV-desinfioinnin tehokkuus riippuu käytetystä annoksesta. Annos on valon intensiteetin ja vaikutusajan tulo eli $D = I \cdot t$. Annoksen yksikkö on J/m^2, joka on $0{,}1\ mJ/cm^2$.

UV-annos voidaan määrittää useilla eri tavoilla. Tällä hetkellä parhaimpana mittaustapana pidetään ns. biodosimetristä testiä, jossa käytössä olevaan laitteeseen syötetään testimikrobeja ja tutkitaan, mikä osuus niistä selviää käsittelystä. Koetulos liittyy aina käytettyyn virtaamaan ja vedenlaatuun. Menetelmästä on julkaistu standardeja mm. Itävallassa ja Saksassa. Tähänkin menetelmään liittyy ongelmia mm. virtaaman jakautumisen ja veden laadun vakioimisen osalta.

Laskennallisesti voidaan määrittää keskimääräinen annos, jolloin käytetään keskimääräistä valon intensiteettiä ja keskimääräistä virtaamaa huomioimatta virtausnopeuden ja siten viipymän vaihteluita reaktorin eri osissa. Samoin minimiannoksen määrittämisessä käytetään keskimääräistä virtaamaa, mutta intensiteettinä käytetään pienintä varsinaisen reaktoriosan intensiteettialuetta.

Diplomityön ja laskentamallin kehitystyön tuloksena laadittiin tietokonemalli. Ohjelman avulla voidaan arvioida keskimääräisen ja minimiannoksen lisäksi annosjakautumaa, jossa nähdään

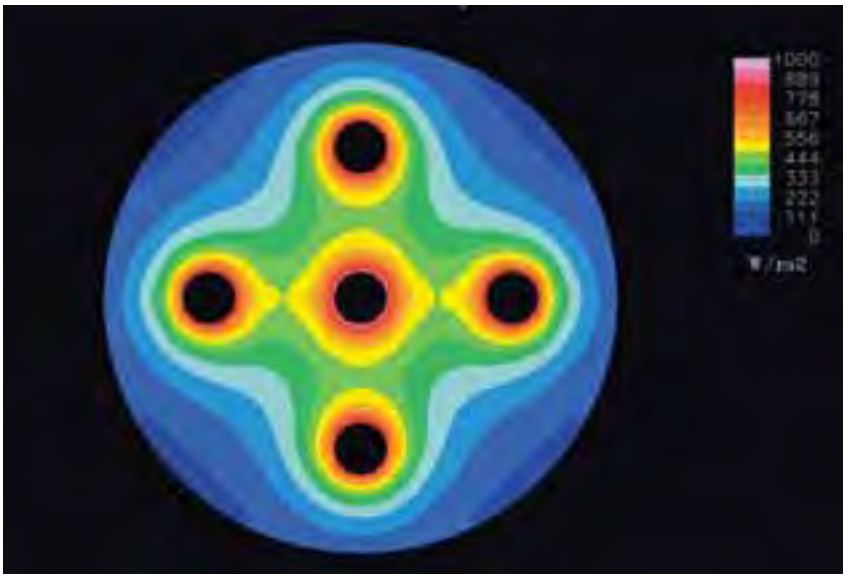


Kuva 2. Eräästä reaktorista saatu annosjakautuma. Pylväät osoittavat kuinka suuri osuus vedestä saa annoksen, joka on tietyllä annosvälillä. Käyrä ilmoittaa montako bakteeria jää aktiiviseksi ko. virtaamaosuudessa, kun alkuperäinen bakteerimäärä on 1 000 000 kpl.

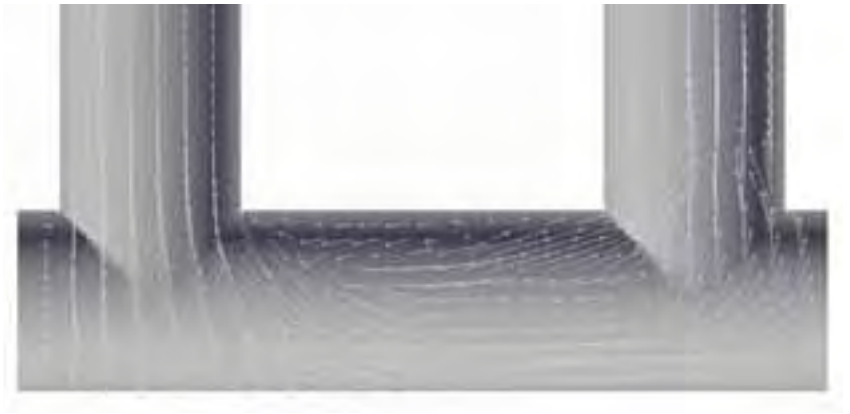
eri vesijakeiden saama annos. Annosjakautumalla on merkitystä eliöiden inaktivoitumisen suhteen, koska kokonaistuhoutumisen asteen määrää pääosin pienimmän annoksen saanut vesiosuus. Annosjakautumasta voidaan edelleen laskea ns. ekvivalenttiannos, joka teoriassa vastaa biodosimetristä annosta. Käytännössä aivan samaan tulokseen menetelmällä ei päästy, mutta laskennallisista annoksista tämä kuvaa parhaiten biodosimetristä arvoa.

Selvityksessä mukana olleiden laitteiden avulla kehitettiin diplomityössä laskentatuloksiin perustuva yksinkertaistettu menetelmä minimiannoksen arvioimiseksi. Tämä menettely ei kuitenkaan ole kovin tarkka, etenkään jos laitetyyppi poikkeaa merkittävästi työssä mallinnetuista.

Työssä esitettiin myös suositus erilaisissa vedenkäsittelyprosesseissa käytettävistä annoksista. Lähtökohtana tässä on ollut se, että normaalissa puhdistusprosessissa saadaan merkittävä osa bakteereista poistetuksi. Tällöin voidaan vastaavasti pienentää UV-desinfioinnin annosvaatimusta.



Kuva 3. Matalapainelamppuja käyttävän reaktorin intensiteettijakautuma poikkileikkauksen kohdalla.



Kuva 4. Yleisimmän reaktorityypin poikkileikkauksen virtauskuva. Nuolen pituus kuvaa virtausnopeutta.

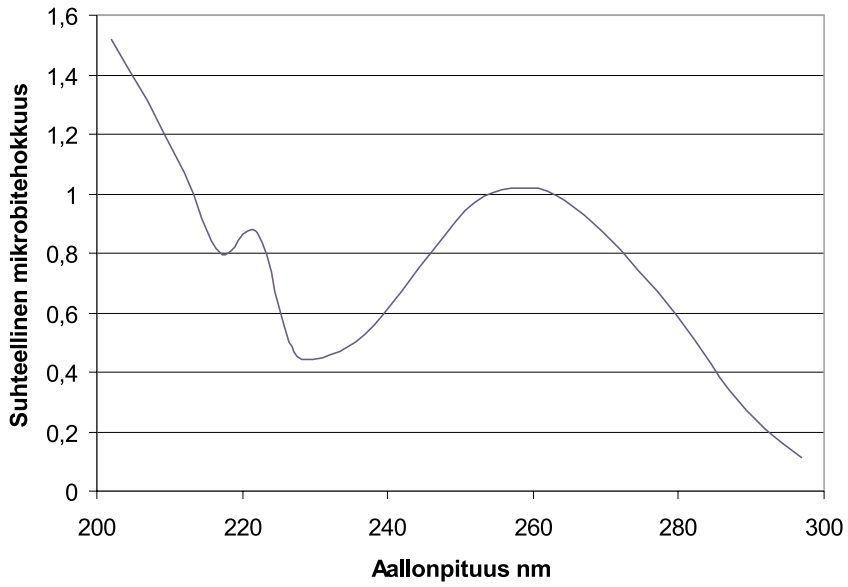
UV-desinfiointilaitteet

Ultraviolettidesinfiointilaitteet sijoitetaan usein vesilaitokselta lähtevään paineputkeen. Laitteet ovat umpinaisia metallilieriöitä, joissa lamput ovat virtauksen suuntaisesti tai kohtisuoraan virtausta vastaan. Laitteiden vaatima tilantarve on yleensä melko pieni. Useimmilla laitoksilla reaktorin halkaisija on välillä 0,1–0,5 m ja reaktorin pituus noin metri. Tämän lisäksi tarvitaan laitteen päätyyn huoltotilaa, jossa mahdutaan vaihtamaan lamput ja niiden suojaputket. Suurilla laitoksilla tarvitaan useita laitteita rinnan.

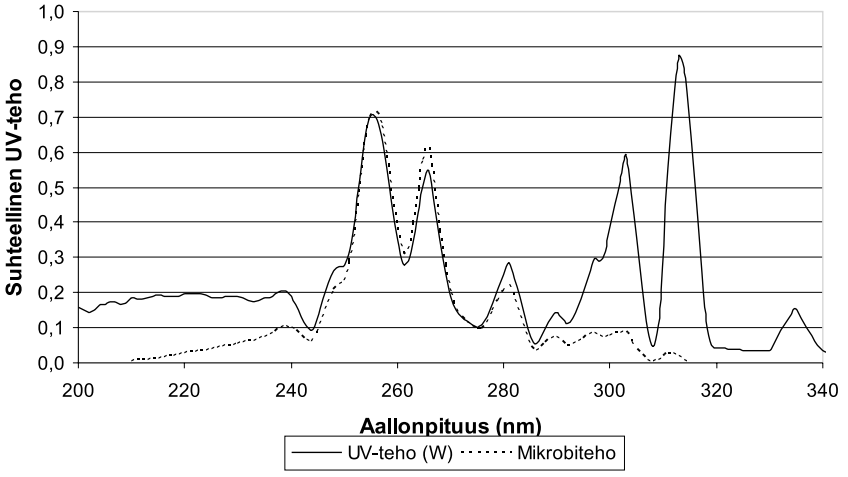
UV-lamput muistuttavat tavallisia loisteputkia. UV-lamppujen pintaa ei kuitenkaan ole päällystetty fluoresoivalla aineella ja niiden täytekaasujen koostumukset ovat erilaisia. Desinfiointiin käytetään kahta erilaista lamputyyppiä. Matalapainelamppu säteilee lähes pelkästään aallonpituudella 254 nm. Energiasta käytetään noin 40 % UV-valon tuottamiseen, jolloin lampun toimintalämpötila on noin 40°C. Keskipainelampun spektri on laajempi ja se säteilee kaikkia UV-alueen aallonpituuksia erilaisissa suhteissa. Keskipainelampun energiahyötysuhde on noin 10–15 %, ja lampun lämpötila on noin 400–800 °C. Lamppuja suojaa säteilykammiossa rikkoutumiselta ja likaantumiselta niiden ympärillä oleva suojalasi.

Laitteiden hankintakustannuksista voidaan todeta esimerkkinä, että hyvälaatuiselle pohjavedelle ja virtaamalle noin 70 m^3/h itse laitteisto maksaa noin 10 000 euroa. Tämän lisäksi kuluja aiheuttavat mm. putkistomuutokset, sähkön tuonti laitteelle, asennukset jne. Nämä kulut laitteistoa vanhaan laitokseen asennettaessa saattavat olla samaa luokkaa kuin itse laitteiston hinta. Lopulliseen hintaan vaikuttavat tietenkin veden laatu, valittu automaatiotaso yms. seikat.

Keskipainelamppujen intensiteetti on suurempi kuin matalapainelamppujen, joten niitä tarvitaan vähemmän, tai toisaalta niillä voidaan käsitellä suurempi virtaama. Matalapainelamppujen vaihtokustannus onkin suurempi kuin keskipainelampuilla, sillä niitä tarvitaan enemmän ison vesimäärän käsittelemiseen. Keskipainelamppujen sähkönkulutus taas on selvästi suurempi kuin vastaavien matalapainelamppujen. Mo-



Kuva 5. Erään DNA:n kyky absorboida eri aallonpituuksia. Absorboituva aallonpituus aiheuttaa muutoksia DNA:ssa, joten absorption maksimikohdassa myös desinfioiva vaikutus on tehokkainta.



Kuva 6. Keskipainelampun säteilemän UV-valon suhteellinen voimakkuus eri aallonpituuksilla. Toinen käyrä kuvaa laskennallista mikrobitehokkuutta vastaavilla aallonpituisuuksilla.

lempien tyyppien kokonaiskäyttökustannus on yleensä luokkaa 0,15–0,30 euroa/m^3.

Hankintaan ja käyttöön vaikuttavia tekijöitä

Hankittaessa UV-desinfiointilaitteistoa tärkeitä seikkoja ovat veden virtaama, veden valonläpäisevyys UV-alueella, rauta- ja mangaanipitoisuus sekä prosessi, johon UV-laite sijoitetaan. Jos muilla vedenkäsittelyvaiheilla on desinfiointivaikutusta, voidaan UV-laite mitoittaa pienemmälle annokselle kuin jos se on ainoa desinfiointimenetelmä. Tärkeää on tietää myös haluttu desinfiointitulos ja mikrobit, jotka halutaan inaktivoida.

Käsiteltävän veden rauta- ja mangaanipitoisuus vaikuttaa lamppujen suojalasien likaantumiseen. Näiden korkeat pitoisuudet nopeuttavat likaantumista. Etukäteen ei voida sanoa tarkasti, kuinka usein suojalasit täytyy puhdistaa, sillä likaantumisnopeus riippuu muistakin veden sisältämistä aineista.

Jos vedessä on kalkkia lähes kyllästymispitoisuudessa ja pH on lähellä kalkin saostumispistettä, voi UV-lamppujen aiheuttama pieni lämmönnousu suojalasin pinnalla nopeuttaa likaantumista. Tämä koskee erityisesti keskipainelamppuja.

UV-laitteistoja täytyy puhdistaa lampputyypistä ja käyttökohteesta riippuen neljän tunnin – vuoden välein. Useimmilla pohjavesilaitoksilla puhdistusta tarvitaan muutaman kuukauden välein. Laitteistoa voidaan puhdistaa automaattisilla pyyhkijöillä, jotka on asetettu toimimaan tietyin väliajoin, kemiallisella pesurilla tai pyyhkimällä suojalasit käsin. Pesumenetelmä voidaan laitteesta riippuen muuttaa myös jälkeenpäin asentamalla pesulaitteet erikseen.

UV-laitteiston huolto on suhteellisen helppoa. Käsin tehtävään pesuun menee noin 10 minuuttia lamppua kohden. Automaattiset pyyhkijät voivat toimia laitteen ollessa käynnissä. Kemiallisessa pesussa laitteessa kierrätetään pesuliuosta, minkä jälkeen laite huuhdotaan muutamaan kertaan.

Laitteiston tarkkailuun käytetään UV-anturia, joka mittaa valon intensiteettiä. Kun intensiteetti laskee asetetun rajan alapuolelle, lähettää automatiikka hälytyksen ja ilmoittaa pesutarpeesta. Laitteet ilmoittavat myös, kun valon voimakkuus on liian pieni, ja laite ei täytä desinfiointivaatimuksia. Samalla tulisi tarkkailla myös veden virtaamaa, jotta halutun annoksen saavuttamiseksi asetettua maksimivirtaamaa ei ylitettäisi. Annos riippuu siis valon määrästä ja vaikutusajasta eli virtaamasta.

Vedenlaadun vaikutus

Kemiallinen vedenlaatu kuten pH, lämpötila, alkaliteetti ja epäorgaanisen hiilen kokonaismäärä eivät tiettävästi rajoita ultraviolettidesinfioinnin tehokkuutta. Kuitenkin vedessä voi olla muita ominaisuuksia, jotka tähän vaikuttavat.

Taulukko 1. UV-laitteille laadittu annossuositustaulukko erilaisissa vedenkäsittelyprosesseissa.

Raakavesi	Vedenkäsittely	Annossuositus (J/m²)
Pohjavesi	-	400
Pohjavesi	suodatus	300–350
Pohjavesi	selkeytys + suodatus	250–300
Pintavesi	kontaktisuodatus	350–400
Pintavesi	selkeytys + suodatus	300–350
Pintavesi	selkeytys + suodatus + otsonointi + biologinen käsittely	250–300

Desinfiointitehoa heikentävät ne veden ominaisuudet, jotka absorboivat UV-valoa. Yleensä suurin vaikutus on veden humuksella. Muita aineita, joita ei kuitenkaan aina esiinny talousvedessä UV-desinfiointivaiheessa, ovat mm. rautayhdisteet [$Fe(OH)^{2+}$ ja Fe^{2+}], vetyperoksidi (H_2O_2), hypokloriitti-ioni (ClO^-), permanganaatti-ioni (MnO_4^-), otsoni (O_3), sulfiitti-ioni (SO_3^{2-}), orgaaniset aineet ja kiinteät hiukkaset. Kiintoainepartikkelit voivat myös suojata mikrobeja varjostamalla niitä UV-valolta.

Raakavesilähteellä voi myös olla merkitystä. Talousvedeksi käsiteltyjen pinta- ja pohjavesien absorbanssikäyrät UV-alueella näyttävät olevan erilaisia, joten pelkästään aallonpituudella 254 nm mitattu absorbanssiarvo ei tarkkaan ottaen riitä käytettäessä keskipainelamppuja. Pohjaveden absorbanssi on huomattavasti suurempi lyhyillä aallonpituuksilla. Käytettäessä keskipainelamppuja tämä johtaa noin 15 % pienempään annokseen kuin käsitellyllä pintavedellä, kun molempien vesien absorbanssi aallonpituudella 254 nm on sama.

Ei haitallisia sivutuotteita

Talousveden desinfioinnissa käytetyt UV-annokset ja aallonpituudet eivät merkittävästi muuta veden kemiaa ja siinä olevia kemiallisia yhdisteitä. UV-säteily voi synnyttää otsonia, mutta tätä muodostava aallonpituus suodattuu lampun kvartsilasiin.

UV-säteily voi muuntaa nitraattia nitriitiksi, mutta desinfioinnissa käytettävillä annoksilla tämä ei ole merkittävää. Humuksen hajoaminen UV-käsittelyssä voi otollisissa olosuhteissa lisätä mikrobien kasvua verkostossa, mutta käytettäessä pintavettä suositellaan vähintään saostusta ja suodattamista ennen UV-käsittelyä. Tällöin veden sameus ja orgaanisen hiilen pitoisuus sekä mikrobien määrä alenevat. Samalla veden valonläpäisevyys ja UV-desinfioinnin teho paranevat.

Verkoston suojaus

Ultraviolettivalo absorboituu vedessä nopeasti. UV-säteilyn vaikutus on siis hetkellinen toisin kuin kemikaalien, jotka jäävät veteen ja tuhoavat bakteereja vielä verkostossa. Mikäli verkosto ei ole riittävän hyvässä kunnossa, täytyy järjestää jälkidesinfiointi, jolla suojataan veden laatu verkoston etäisimpiin kulutuspisteisiin saakka. Verkoston suojaukseen tarkoitettu klooraus on suositeltavaa sijoittaa UV:n jälkeen, mutta laitoksen olosuhteiden vaatiessa se voidaan tarpeen mukaan sijoittaa myös ennen UV-desinfiointia.

UV-käsittelyn jälkeen pinta- ja tekopohjavesilaitoksilla verkoston suojadesinfiointiaineeksi tarvitaan usein kloramiini. Se muodostaa oleellisesti vähemmän orgaanisia klooriyhdisteitä kuin vapaa kloori, jota joudutaan käyttämään ellei UV-desinfiointia käytetä. Jälkidesinfiointia ei tarvita, jos käytettävä pohjavesilähde on hyvälaatuinen, verkoston kunto on hyvä ja vedessä ei ole mikrobeille käyttökelpoisia hiiliyhdisteitä.

Useimmiten verkostossa tapahtuva mikrobikasvu ei ole ongelma, ja ultraviolettidesinfiointia voidaan käyttää varmuustoimenpiteenä ennaltaehkäisemään likaantumisia. Jos laitoksella ei ole käytössä kloorausta, ei sitä myöskään tarvita UV-desinfioinnin takia. On kuitenkin hyvä muistaa, että ultraviolettikäsittelyllä ei ole vaikutusta sen jälkeen oleviin säiliöihin ja altaisiin, joissa voi olla ulkoinen kontaminaatiovaara.

Lopuksi

Diplomityön osana tehtiin UV-desinfiointia käsittelevä opas, jossa on selvitetty näitä asioita laajemmin. Opas on julkaistu Vesi- ja viemärilaitosyhdistyksen monistesarjassa ja se toimitetaan mm. vesilaitosten käyttöön. Diplomityössä aihetta on käsitelty mallinnustuloksineen, matemaattisine perusteluineen ja kirjallisuusviitteineen opasta täydellisemmin.

Kirjallisuus

Bolton, J. 2000. Calculation of Ultraviolet Fluence Rate Distributions in an Annular Reactor: Significance of Refraction and Reflection. Water Research 34(13):3315–3324. ISSN 0043-1354.

International Ultraviolet Association. http://www.iuva.org

Masschelein, W. 2002. Ultraviolet Light in Water and Wastewater Sanitation. Boca Raton, FL. Lewis Publishers, CRC Press LLC. 192 p. ISBN 1-56670-603-3.

Orava, M. 2003. Talousveden desinfiointi ultraviolettivalolla. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Ympäristö- ja energiatekniikan osasto. Diplomityö.

Vesi- ja viemärilaitosyhdistys ry. 2003. Talousveden desinfiointi ultraviolettivalolla. Helsinki. 55 s. ISBN 952-5000-38-9.

W 294 Technical Standard. 1997. 1997. UV Systems for Disinfection in Drinking Water Supplies – Requirements and Testing. Bonn, DVGW Deutscher Vereiningung des Gas- und Wasserfaches e.V. S. 61.

Önorm M. 5873-1. 2001. Plants for the disinfection of water using ultraviolet radiation requirements and testing low pressure mercury lmap plants. Wien, Österreichisches Normungsinstitut. S. 18.

Önorm M. 5873-2. 2001. Anlagen zur Desinfektion von Wasser mittels Ultraviolett-Strahlen: Anforderungen und Prüfung. Teil 2: Anlagen mit Quecksilberdampf-Mitteldruckstrahlern. VORSCHLAG. Wien, Österreichisches Normungsinstitut. S. 45.

Kirkkaasti parempi

Puhdasta vettä jo 40 vuotta!

UV-sterilisaattorit
Talousvesisuodattimet | Teollisuussuodattimet
Uraanin ja radonin poistolaitteet
Arseenin poistolaitteet
Käänteisosmoosi ja nanosuodatus
Uima-allaslaitteet
Kemikaalien annostelulaitteet

HOH Separtec Oy

Varpaanankatu 28, PL 19, 21201 Raisio | puh. (02) 436 7300, fax (02) 436 7355 | separtec@separtec.fi

www.hohsepartec.fi

Vesihuollon teknologia,
sähkötekniset palvelut ja
toimitukset.

SLATEK

Tuotekuja 4, PL 333, 90401 Oulu
puh. (08) 5620 200, fax (08) 5620 220
http://personal.inet.fi/yritys/slatek/

• Sähköistys, instrumentointi ja automatisointi • Valvomoratkaisut • Paineenkorotusasemat
• Jätevesipumppaamot • Ohjauskeskukset • Puhdasvesipumput

VESIPUITEDIREKTIIVI JA SUOMEN POHJAVEDET

Tapani Suomela

dipl.ins., yli-insinööri
Ympäristöministeriö
E-mail: tapani.suomela@ymparisto.fi
Kirjoittajan pääasiallisena vastuualueena on pohjavesien suojelu ja vesipuitedirektiivin pohjavesiä koskevien osien toimeenpano Suomessa. Hän on myös Suomen edustajana pohjavesidirektiiviä valmistelevassa asiantuntijaryhmässä.

Uusi vesipuitedirektiivi sisältää useita kohtia, joilla on suuri merkitys pohjavesien suojelussa. Monet direktiivissä edellytetyt asiat on meillä Suomessa jo toteutettu. Direktiivillä tulee kuitenkin olemaan vaikutusta erityisesti suojelusuunnitelmien laadintaan ja pohjavesitarkkailuun.

Vesipuitedirektiivi edellyttää, että jäsenvaltioiden tulee estää ja rajoittaa lika-ainespäästöjä pohjaveteen sekä estää pohjavesimuodostumien tilan huononeminen. Samoin niiden tulee suojella kaikkia pohjavesimuodostumia ja parantaa niiden tilaa. Kaikissa pohjavesimuodostumissa tulee vallita hyvä määrällinen ja kemiallinen tila viimeistään 15 vuoden kuluttua direktiivin voimaantulosta. Tätä määräaikaa voidaan jatkaa tietyin edellytyksin yhteensä 12 vuotta. Kaikki merkittävät ja pysyvät kasvavat likaantumistrendit, jotka johtuvat ihmisen toiminnoista, on käännettävä laskuun (artikla 4).

Jäsenvaltioiden tulee suorittaa pohjavesimuodostumien ominaispiirteiden alku- ja lisätarkastelut ja arviot ihmistoiminnan vaikutuksista neljän vuoden kuluessa direktiivin voimaantulosta (artikla 5). Samoin täytyy pohjavesimuodostumia koskevat tiedot tallentaa ATK-rekisteriin tai rekistereihin neljän vuoden kuluessa direktiivin voimaantulosta (artikla 6). Edelleen jäsenvaltioiden on yksilöitävä pohjavesiesiintymät, joista otetaan tai tullaan ottamaan pohjavettä talousvesikäyttöön yli 10 kuutiometriä vuorokaudessa tai yli 50 hengelle. Pohjavesimuodostumia, joista otetaan vettä yli 100 kuutiometriä vuorokaudessa, on tarkkailtava (artikla 7), samoin muita pohjavesimuodostumia, jotta saataisiin luotettava kuva pohjavesien tilasta (artikla 8).

Vesipuitedirektiivin valmistelun aikana esiintyi eriäviä näkemyksiä joistakin keskeisistä asioista, erityisesti siitä, mikä on pohjaveden hyvä kemiallinen tila. Ongelma ratkaistiin niin, että nämä asiat siirrettiin ns. tytärdirektiivin eli pohjavesidirektiivin piiriin kuuluviksi (artikla 17). Tästä direktiivistä komission olisi pitänyt tehdä esitys vuoden 2002 loppuun mennessä.

Nykytilanne Suomessa

Pohjavesiasioiden hoidon taso EU:n jäsenvaltioissa vaihtelee tuntuvasti. On ilahduttava tosiasia, että Suomen ei tässä vertailussa tarvitse hävetä. Monet puitedirektiivin edellyttämät toimenpiteet on meillä jo toteutettu. Vesilakiin sisällytettiin jo 1960-luvun alussa sangen merkityksellisiä säännöksiä, erityisesti pohjaveden pilaamis- ja muuttamiskiellot sekä pohjaveden ottoa koskeva lupajärjestelmä. Sen jälkeen näitä säännöksiä on uudistettu useampaan otteeseen.

Pohjavesimuodostumien määrällinen tila on meillä keskimäärin hyvä. Tämä johtuu siitä, että meillä on jo pitkään vaadittu lupa, jos pohjavedenottamo on suunniteltu yli 250 m^3/d suuruiseen ottoon tai otto on aiheuttanut pohjaveden muuttamiskiellon vastaisia seurauksia. Luvan myöntämistä harkittaessa on säännönmukaisesti tarkistettu, ettei pohjavesimuodostuman antoisuutta ylitetä. Eräissä Keski- ja Etelä-Euroopan maissa tilanne on tältä osin paljon huonompi. Pohjavettä on otettu liikaa, mikä on johtanut pohjavedenpinnan jatkuvaan laskuun ja rannikoilla meriveden imeytymiseen pohjaveteen.

Pohjavesien kemiallisen tilan suhteen tilanne on epämääräisempi sikäli, ettei selkeää hyvän kemiallisen tilan määritelmää ole vielä käytettävissä. On mahdollista, ettei sellaista täysin saadakaan tai se tulee olemaan suomalaisittain katsoen liian väljä. Eräissä keskieurooppalaisissa valtioissa, joilla on yhteisössä melkoisesti painoarvoa, ovat pohjavedet päässeet pahoin likaantumaan, ja tällä saattaa olla vaikutusta hyvän kemiallisen tilan määritelmään. Toisaalta Suomen kansallinen pohjavesien pilaamiskielto tulee meillä todennäköisesti käy-

tännössä ohjaamaan pohjavesien suojelutoimintaa varsin pitkälle. Vesipuitedirektiivihän on ns. minimidirektiivi eli jäsenvaltioilla on oikeus noudattaa harkintansa mukaan tiukempaakin linjaa kuin mitä direktiivi edellyttää.

Suomen pohjavesialueiden kartoitus ja luokitus käynnistettiin jo 1970-luvulla ja sitä on täydennetty vaiheittain, päätökseen se saatiin 1990-luvun puolivälissä. Tällä työllä on direktiivin toimeenpanon kannalta sangen suuri merkitys, sillä se vastaa varsin tarkoin direktiivissä edellytettyä pohjavesimuodostumien ominaispiirteiden alkutarkastelua. Tässä suhteessa Suomen tilanne onkin hyvä verrattuna eräisiin muihin yhteisön valtioihin, joissa tätä työtä ei ole vielä aloitettukaan.

Maassamme ryhdyttiin 1990-luvun alussa laatimaan ja toimeenpanemaan pohjavesialueiden suojelusuunnitelmia, joihin kuuluu mm. pohjavesialueen hydrogeologinen tarkastelu, riskien arviointi, toimenpidesuosituksien laatiminen ja varautuminen vahinkotilanteisiin. Kun näiden suunnitelmien laadinta käynnistyi, tuskin kukaan osasi arvata, että Euroopan yhteisö tulisi kymmenen vuotta myöhemmin edellyttämään jäsenvaltioilta ns. riskialueiden pohjavesimuodostumien ominaispiirteiden lisätarkastelua ja ihmistoiminnan vaikutusten arviointia.

Näiden toimien asiasisältöhän on liki yhteneväinen suojelusuunnitelman kanssa. Järjestelmä on siis luotu ja käytännössä testattu. Enää onkin vain kyse siitä, sujuuko suojelusuunnitelmien laadinta riittävän ripeästi, sehän on perustunut kuntien ja vesilaitosten vapaaehtoisuuteen. Alueellisten ympäristökeskusten osuus on ollut toimia aloitteen tekijänä, ohjaajana ja avustajana. Suojelusuunnitelmia on tällä hetkellä laadittu yli 500 pohjavesialueelle.

Suojelusuunnitelmien laadinta on saatava lakisääteiseksi.

Pohjavesialueita koskevat tiedot on meillä tallennettu pohjavesitietojärjestelmään (POVET), joten direktiivin vaatimukset on tältä osin jo täytetty.

Pohjavesiä koskevan seurannan osalta tilanne on hieman vaihtelevampi. Pohjavesitarkkailua on meillä jo pitempään tehty velvoitetarkkailuna pohjaveden oton yhteydessä, mutta tämä tarkkailu on koskenut vain oton vaikutuksia eikä niinkään suojelutarpeita. On tarkkailtu pohjaveden pinnan korkeuksia sekä viime vuosina lisääntyvässä määrin myös oton vaikutuksia pohjaveden laatuun. Muutoin laaduntarkkailu ei ole ollut kovin perusteellista. Suomen ympäristökeskuksella ja Geologian tutkimuskeskuksella on ollut omat havaintoverkostonsa, joita parhaillaan yhdistetään. Lisäksi pohjaveden laatua on tutkittu koepumppausten ja pohjaveden likaantumistapausten yhteydessä. Yleisin laaduntarkkailun muoto on ollut terveysviranomaisten ohjaama talousveden laaduntarkkailu, mikä ei riitä kattamaan pohjaveden suojelun tarpeita.

Jatkotoimenpiteet

Puitedirektiivin toteuttaminen on siis meillä edistynyt varsin pitkälle. Kuitenkin työtä riittää. Keskeisiä lähivuosien toimia:

Suomen tulee huolehtia siitä, että 4 artiklan yleistavoitteet toteutuvat direktiivissä edellytetyllä tavalla. Tämä on otettava huomioon mm. valtakunnallisessa tavoiteasettelussa, valvontatoiminnassa ja ympäristö- ym. lupia myönnettäessä.

Direktiivin tarkoittamiksi pohjavesimuodostumiksi tullaan meillä määrittelemään lähinnä luokkiin I ja II kuuluvat pohjavesialueet (tai tarkasti ottaen niiden sisältämät pohjavesiesiintymät), joista siis on varmuus, että maaperän rakenne niissä vastaa direktiivissä määriteltyä akviferia. Pääperiaatteena on, että yksi pohjavesialue käsittää yhden pohjavesimuodostuman.

Ominaispiirteiden alkutarkastelu on meillä käytännössä jo suoritettu. Kuitenkin tarvitaan rajausten ym. tietojen tarkennuksia ja päivityksiä. Lisäksi on suoritettava pohjavesimuodostumista riippuvaisten ekosysteemien määrittely.

Ominaispiirteiden lisätarkastelu ja ihmistoiminnan vaikutusten arviointi tulee tuottamaan vaikeuksia. Suojelusuunnitelmia toki laaditaan, mutta laatimistahti ei välttämättä ole riittävä direktiivissä asetettuun sangen tiukkaan määräaikaan nähden. Laihana lohtuna on se, että useimmat muut yhteisön maat ovat vielä hankalammassa asemassa. On mahdollista, että määräaikaa tullaan jatkamaan. Suojelusuunnitelmien laatiminen on saatava lakisääteiseksi ja niiden laatimisvastuu määriteltävä selkeästi.

On määriteltävä ns. riskialueet eli pohjavesimuodostumat, joissa mahdollisesti ei vallitse direktiivin mukainen hyvä määrällinen ja/tai kemiallinen tila. Määrittely on tarkoitus suorittaa jo käytettävissä olevien tietojen ja maanpäällisen riskinarvion perusteella. Pohjavesimuodostuman tila selviää sitten ominaispiirteiden lisätarkastelun avulla.

Ne pohjavesiesiintymät, joista otetaan tai tullaan ottamaan pohjavettä yli 10 m^3 vuorokaudessa tai yli 50 hengelle, löytyvät meillä luokasta I. Sen kokoalarajana oli vedenotto vähintään 10 talouden tarpeisiin. Nämä esiintymät ovat poimittavissa POVETista, samoin ne pohjavesimuodostumat, joista otetaan pohjavettä vähintään 100 m^3/d.

Pohjavesitarkkailun saattamisessa direktiivissä edellytetylle tasolle joudutaan mittaviin toimenpiteisiin. Tarkkailu tullaan järjestämään myös ottamoille, joilta otetaan pohjavettä 100–250 m^3/d. Lisäksi kaikilla ottamoilla tarkkailun pitää jatkossa koskea myös pohjavesiä. Tarkkailua tehdään tarpeen mukaan myös sellaisilla pohjavesialueilla, joista ei toistaiseksi oteta pohjavettä. Tarkkailun suoritus- ja kustannusvastuut tulee määrittää.

Erityisesti suojelusuunnitelmien laadinnassa ja tarkkailun järjestämisessä tarvitaan muutoksia laki- ja asetustasolla. Lisäksi tarvitaan ohjeistusta mm. alueellisille ympäristökeskuksille ja kunnille.

Vesipuitedirektiivin toimeenpanoa pohjavesiasioiden kannalta on valmistellut ympäristöministeriön nimeämä työryhmä, jossa allekirjoittanut on toiminut puheenjohtajana. Työryhmässä on lisäksi ollut edustus maa- ja metsätalousministeriöstä, Suomen ympäristökeskuksesta, Geologian tutkimuskeskuksesta, Suomen kuntaliitosta, Vesi- ja viemärilaitosyhdistyksestä sekä ympäristöhallinnon aluehallinnosta. Ryhmän työskentely on sujunut erinomaisesti. Pääasiallisena ongelmana on ollut hyvän kemiallisen tilan selkeän määritelmän puuttuminen, mikä puute toivottavasti poistuu, kun tytärdirektiiviehdotus valmistuu.

Hanna Kivelä

elintarviketiet.yo.
Helsingin yliopisto, elintarviketeknologian laitos
E-mail: hanna.m.kivela@helsinki.fi

Aino Nenonen

elintarviketiet.yo.
Helsingin yliopisto, elintarviketeknologian laitos
E-mail: aino.keinanen@helsinki.fi
Molemmat kirjoittajat ovat perehtyneet aistinvaraisiin laadunarviointimenetelmiin. Artikkelin muut kirjoittajat toimivat heidän ohjausryhmänään.

Taina Nystén
erikoistutkija
Suomen ympäristökeskus
E-mail: taina.nysten@ymparisto.fi
MIDAS-tutkimuksen vastuullinen johtaja

Pasi Hellstén
vanhempi tutkija
Suomen ympäristökeskus
E-mail: pasi.hellsten@ymparisto.fi
MIDAS-projektin päätutkija

Hely Tuorila
aistinvaraisen laatututkimuksen professori
Helsingin yliopisto, elintarviketeknologia
E-mail: hely.tuorila@helsinki.fi

VAIHTOEHTOISET TIESUOLAT

MAISTUVAT VASTA KORKEINA PITOISUUKSINA

Noin 3,5 miljoonaa suomalaista käyttää juomavetenään pohjavettä. Puolella vedenhankinnan kannalta tärkeistä pohjavesialueista on lentoasemia tai teitä, joilla talvisin käytetään sääolosuhteiden mukaan vaihtelevia määriä suoloja liukkaudentorjuntaan. Eduskunnan oikeusasiamiehen (1997) ja oikeuskanslieriviraston (2001) kannanottojen mukaan liukkaudenestosta ei kuitenkaan voida juridisin perustein täysin luopua. Siksi on etsittävä korvaavia ratkaisuja, joilla suolauksen haitat pohjavesialueilla voitaisiin minimoida. Lupaavimmilta vaihtoehdoilta vaikuttavien asetaattien ja formiaattien haju- ja makukynnykset määritettiin ennen MIDAS-projektin maastokoevaiheen (2002–2003) aloittamista.

Nykyisin Suomen teillä käytetään liukkaudentorjuntaan pääosin natriumkloridia ja lisäksi kalsiumkloridia. Kloridista johtuva autojen, siltojen ja vesijohtoverkoston korroosio aiheuttaa vuosittain merkittäviä kustannuksia. Lentokentillä käytetään natrium- ja kaliumformiaattia, natrium- ja kaliumasetaatteja sekä edelleen vähäisessä määrin ureaa. Asetaattien ja formiaattien pahimpina mahdollisina haittoina pidetään aineiden kemikaalijäämiä ja vesien happikatoa. Tosin aiemmin lentokentillä eniten käytetyn urean hapenkulutus on moninkertainen asetaatteihin ja formiaatteihin verrattuna. Laajassa, vuoteen 2004 jatkuvassa MIDAS-projektissa on tarkoituksena löytää NaCl:lle vähemmän ympäristöä ja pohjavettä kuormittavia vaihtoehtoja.

Korvaaviksi aineiksi on ehdotettu mm. kaliumformiaattia ja kaliumasetaattia. Kaliumformiaatti (KFo) on kiteisenä vesiliukoinen, väritön ja hajuton orgaaninen muurahaishapon suola. Kaliumasetaatti (KAc) on etikkahapon orgaaninen suola. Kiteisenä

se on väriltään valkea ja haju on etikkainen. MIDAS-projektin vuosina 1998–2002 laboratoriossa tekemien suodatuskokeiden perusteella KFo osoittautui lupaavimmaksi vaihtoehdoksi perinteiselle natriumkloridille (Hellstén ym. 2001 ja 2002). Kaliumformiaatti hajoaa maaperässä hiilidioksidiksi ja vedeksi, ja kuluttaa happea muita tutkittuja orgaanisia liukkaudentorjunta-aineita (KAc ja CMA:ta) vähemmän.

Muurahaishaposta ja kaliumhydroksidista valmistettava kaliumformiaatti on 10–15 kertaa kalliimpaa kuin perinteinen tiesuola (35 €/1000 kg). Orgaaniset aineet kuten formiaatit ja asetaatit kuitenkin syövyttävät vesijohtoverkostoa, autoja ja siltoja vähemmän kuin halvemmat kloridit. Orgaaninen liukkaudentorjunta-aine voisi tulevaisuudessa olla ainakin väliaikainen ratkaisu ennen kuin vedenhankinnan kannalta tärkeille pohjavesialueille rakennetaan kalliita, 500 000 €/km maksavia pohjavesisuojauksia.

Formiaatit ja asetaatit syövyttävät vähemmän kuin halvemmat kloridit.

Talvikaudella 2002–2003 Suomenniemen kunnan Kauriansalmen pohjavesialueella kulkevalla valtatie 13:lla käytetään liukkaudentorjunnassa kaliumformiaattia. Koska kyse on juomavetenä käytettävästä pohjavedestä, korvaava liukkaudentorjunta-aine ei saisi olla ihmisille haitallista ja veden olisi säilytettävä myös hajun ja maun puolesta juomakelpoisuutensa. Ennen maastokokeeseen siirtymistä selvitettiinkin Helsingin yliopistossa aistinvaraisella tutkimuksella, millaisissa pitoisuuksissa kaliumformiaatti ja –asetaatti saattavat aiheuttaa pohjaveteen hajua ja makua. Tutkimuksen tavoitteena oli löytää ärsytyskynnykset eli pienimmät havaittavat pitoisuudet pohjavedessä Kfo:n ja KAc:n maulle ja hajulle. Vertailun vuoksi selvitettiin myös perinteisen tiesuolan (NaCl) maun ärsytyskynnys.

Aistinvarainen tutkimus

Näytteet

Tutkittavat suolat olivat kaliumformiaatti (KFo), kaliumasetaatti (KAc) ja natriumkloridi (NaCl).

Materiaaleina tutkimuksessa käytettiin 50-prosenttisia KAc- ja KFo-liuoksia, kiinteää NaCl-jauhetta (puhtausaste 99,8%) sekä hyvänlaatuista Tuusulan Koskenmäen vesilaitoksen raakavesikaivo K1:n vettä. Kirjallisuudesta löytyi suuntaa-antavia kynnysarvoja KFo:n ja KAc:n suoloille, muurahaishapolle ja etikkahapolle, mutta ne vaihtelivat niin paljon tutkimuksesta toiseen, että tarvittiin esikokeita tutkittavan pitoisuusalueen määrittämiseksi.

Koska tutkimus edellytti KFo:n ja KAc:n maistamista ja haistamista, varmistettiin näiden aineiden turvallisuus. Sekä KAc että etikkahappo ovat hyväksyttyjä elintarvikkeiden lisäaineita (E261 ja E260). Niitä käytetään elintarvikkeissa lähinnä säilöntä- ja happamuudensäätöaineina. Elintarvikelaki ei aseta aineiden käytölle ylärajaa, joten molempia saa käyttää tarvittavia määriä eli quantum satis -periaatteella. Kaliumformiaattia ja muurahaishappoa ei käytetä lisäaineena Suomessa. Muurahaishappoa käytetään muun muassa säilörehun valmistuksessa sekä sikojen ruokinnassa. Tämän vuoksi formiaattijäämien vaikutusta on tutkittu ihmisiin, eikä toksisuutta ole havaittu. Ihmiselle turvallinen päivittäinen saantiraja (ADI) on 3 mg/kg ruumiinpainoa/d (Euroopan komissio, 2001), mikä on myös JECFA:n (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) hyväksymä. Kokeessamme käytettävät pitoisuudet olivat niin pieniä, että vaikka arvioijat olisivat juoneet kaikki makunäytteet, turvallista päivittäistä saantirajaa ei olisi ylitetty.

Menetelmä

Kynnysten määritystä varten valmistettiin viiden eri pitoisuuden geometriset näytesarjat KFo:n ja KAc:n maulle ja hajulle sekä NaCl:n maulle. Näytesarjan pienimmän pitoisuuden tuli olla sellainen, ettei juuri kukaan raatilaisista havaitsisi sitä, kun taas suurimman pitoisuuden tuli olla selvästi havaittavissa.

Arviointimenetelmänä käytettiin pari-kolmitestiä (Heiniö, 1993). Raatilaiset arvioivat arvotussa järjestyksessä kaikki viisi näytesarjaa (KFo/maku, KFo/haju, KAc/maku, KAc/haju ja NaCl/maku), joiden viisi eri pitoisuutta esitettiin satunnaistetussa järjestyksessä pareittain pohjaveden kanssa. Näytesarjan kanssa annettiin myös aina referenssi, joka oli pohjavettä. Arvioijat vertasivat yhtä näyteparia kerrallaan referenssiin ja pyrkivät erottamaan kumpi näytepareista oli erilainen kuin referenssi.

Makunäytteitä annosteltiin jokaiselle arvioijalle 20 ml 50 ml:n dekanterilasiin, jonka päälle laitettiin parafilmi. Kalvon läpi pistettiin pilli, jonka kautta näyte otettiin suuhun. Näytettä maisteltiin, syljettiin pois ja näytteiden välissä suu huuhdeltiin pohjavedellä. Hajunäytteet arvioitiin pienistä 80 ml:n kannellisista kertakäyttömukeista. Kutakin pitoisuutta kaadettiin 20 ml jokaiselle arvioijalle ja suljettiin kannet välittömästi, jotteivät hajut karkaisi. Näytteet tarjoiltiin huoneenlämpöisinä, ja kaikki astiat oli koodattu kolminumeroisin satunnaisluvuin. Yhdellä arviointikerralla esitettiin kaksi tai kolme näytesarjaa, joiden välissä arvioijia pyydettiin pitämään pieni tauko.

Raati

Raatilaisiksi valittiin 12 harjaantunutta aistinvaraista arvioijaa (10 naista ja 2 miestä), joilla ei kuitenkaan ollut aiempaa kokemusta vesinäytteiden arvioinnista. Arvioijat olivat Helsingin yliopiston elintarviketeknologian laitoksen opiskelijoita ja henkilökuntaa. Ikäjakauma oli 22–36 (keski-ikä 28 vuotta). Arvioinnit suoritettiin elintarviketeknologian laitoksen aistittavan laadun laboratoriossa.

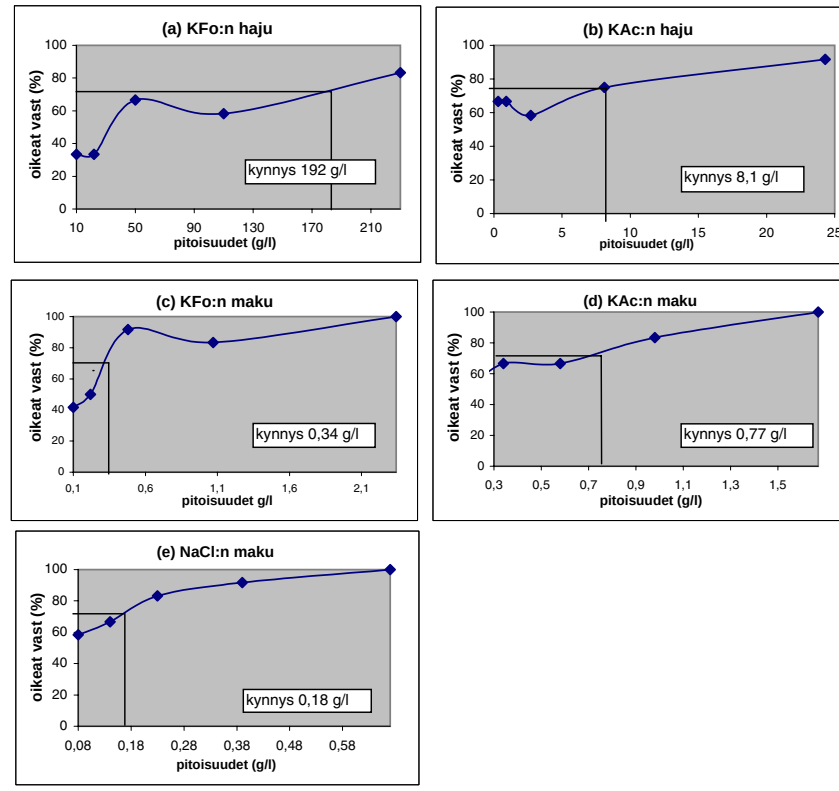
Tulosten käsittely

Oikeiden vastausten lukumäärät kullekin pitoisuudelle laskettiin yhteen ja niiden perusteella piirrettiin kuvaaja, jossa oli pitoisuudet oikeiden vastausten funktiona. Ärsytyskynnykset sijaitsevat siinä pisteessä, jossa oikeita vastauksia on puolet yli arvausmahdollisuuden, eli

pari-kolmitestissä 75 %:n kohdalla (Heiniö, 1993).

Tulokset

Tulosten perusteella maun ärsytyskynnykset ovat KFo:lle 0,34 g/l, KAc:lle 0,77 g/l ja NaCl:lle 0,18 g/l (kuva 1c, d ja e). Vaihtoehtoiset suolat maistetaan perinteistä tiesuolaa suuremmissa pitoisuuksissa, koska kummankin orgaanisen yhdisteen maun kynnysarvot ovat NaCl kynnystä suurempia. KFo:n hajun ärsytyskynnys on 192 g/l ja KAc:n 8,1 g/l (kuva 1a ja b) eli molemmat yhdisteet aiheuttavat hajua vasta paljon suuremmissa pitoisuuksissa kuin missä ne maistuvat.



Kuvat 1a–e. Haju- ja makukynnysten määritys kaliumformiaatille (a, c), kaliumasetaatille (b, d) ja natriumkloridille (e).

Pohdinta

MIDAS-projektin tutkimustulosten (Hellstén ym. 2002) perusteella vaihtoehtoiset suolat hajoavat lähes täysin hiilidioksidiksi ja vedeksi. Nämä orgaaniset aineet saattavat kulkeutua pohjaveteen, maakerroksen läpi suodattuen, vain hyvin pieninä pitoisuuksina. Pitoisuudet ovat selvästi pienempiä kuin määrittämämme maun ja hajun ärsytyskynnykset.

Turvallinen päivittäinen saantiraja (ADI-arvo) KFo:lle on 3 mg/kg/päivä, mikä merkitsee esimerkiksi 70 -kiloiselle henkilölle enintään 210 mg KFo:ta päivässä. KFo:n maun ärsytyskynnys (340 mg/l) onkin suhteessa ADI-arvoon korkea. Nauttimalla talousvettä, joka aistinvaraisen laadun perusteella on hyvälaatuista (KFo:ta alle 340 mg/l), voi päivittäinen formiaatin saanti ylittää turvallisen saantirajan ilman, että mahdollinen virhemaku varoittaisi yhdisteen korkeasta pitoisuudesta.

Yhden talven ajanjaksoa vastaavien suodatuskokeiden perusteella 3,5 metrin paksuisen maakerroksen (hiekka/sora + maannos) läpi suodattui formiaattia alle 3 % kaliumformiaatin 2,7 l/m^2 kokonaismäärästä. Kalium sen sijaan pidättyy erittäin tehokkaasti maaperän kationinvaihtopaikkoihin (Hellstén ym. 2002), eikä laboratoriokokeiden perusteella todennäköisesti aiheuta luonnossa pohjaveden kaliumpitoisuuden muutoksia. Kalium, kuten NaCl:n natrium, korvaa ioninvaihdolla maaperään pidättyessään runsaasti mm. kalsiumia ja magnesiumia. Kaliumformiaatin käyttö liukkaudentorjunnassa voi kuitenkin aiheuttaa pohjaveteen välillisesti makua, jos hapen puutteen takia mangaania tai rautaa liukenee pohjaveteen runsaasti. Tästä syystä erityisesti formiaatin hajoamisen nopeutta ja hapen kulutuksen määrää seurataan jatkuvasti Kauriansalmen pohjavesialueen maastokokeissa.

Johtopäätökset

Tähän mennessä tehtyjen aistinvaraisen tutkimuksen ja MIDAS-projektin täyden mittakaavan laboratoriokokeiden perusteella kaliumformiaatin mahdollisesti aiheuttamat virhemaut ja -hajut eivät ole pohjavedessä todennäköisiä, koska kaliumformiaattia kulkeutuu oletettavasti pohjaveteen maun ja hajun kynnysarvoja pienempiä määriä. Talvella 2002–2003 todellisissa maasto-olosuhteissa tutkitaan muun muassa sitä, missä määrin kaliumia ja formiaattia suodattuu maaperän läpi pohjaveteen sekä seurataan pohjaveden happipitoisuuden, raudan, mangaanin ja kaliumin pitoisuuksien muutoksia.

Nyt aistinvaraisella tutkimuksella määritetyt kynnysarvot ovat suuntaa-antavia ryhmäkynnyksiä. On luultavaa, että tutkittujen yhdisteiden kuten yleensäkin makujen ja hajujen havaitsemisessa on huomattavia yksilöllisiä eroja (Doty ja Kobal, 1995). Herkimpienkin käyttäjien pitäisi kuitenkin saada nauttia maultaan moitteetonta juomavettä. Sikäli kuin vaihtoehtoisia tiesuoloja suodattuu pohjaveteen merkittäviä määriä, saattaisi siis olla tarpeen määrittää yksilölliset maun ärsytyskynnykset myös laajalla kuluttajaraadilla.

Mikäli Suomenniemen kunnan Kauriansalmen pohjavesialueen maastokokeiden tulokset ovat lupaavia, voidaan jatkossa tapauskohtaisesti suositella vedenhankinnan kannalta tärkeillä pohjavesialueilla siirtymistä teiden liukkaudentorjunnassa kloridien käytöstä formiaattien käyttöön.

Kirjallisuutta

Doty, R.L. & **Kobal, G.** 1995. Current trends in the measurement of olfactory function. Teoksessa: Doty, R.L. (ed.). Handbook of Olfaction and Gustation. New York, Marcel Dekker. S. 191–226.

Euroopan Komissio. 2001. Report of Scientific Committee of Animal Nutrition on the use of potassium diformate (Formi-LHS) as feed additive. European Commission, Health & Consumer Protection, Directorate C, Scientific opinions.

Heiniö, R.-L. 1993. Erotustestit ja niiden sovelluksia. Teoksessa: Tuorila, H. & Hellemann, U. (toim.). Elintarvikkeet aistien puntarissa, H. Tuorila ja U. Hellemann (toim.),. Helsinki, Yliopistopaino. S. 43–55.

Hellstén, P. & **Nystén, T.** 2001. Vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden kemialliset reaktiot pohjaveteen kulkeutumisessa. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 515. 67 s.

Hellstén, P., Nystén, T., Kokkonen, P., Valve, M., Laaksonen, T., Määttä, T. ja **Miettinen, I.** 2002. Vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden kulkeutuminen pohjaveteen. Suomen ympäristö 552. 63 s.

LISÄTIETOJA:

SYKEssä aiheesta julkaistut tutkimusraportit:
http://www.vyh.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy515/sy515.htm

MIDAS-projektia (Migration of Alternative De-icing Chemicals in Aquifers) esittelevä www-sivu:
http://www.vyh.fi/tutkimus/ymphoito/pohjaves/liuktorj.htm

Ohjeita Vesitalous-lehden kirjoittajille

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

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

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

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

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

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

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

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

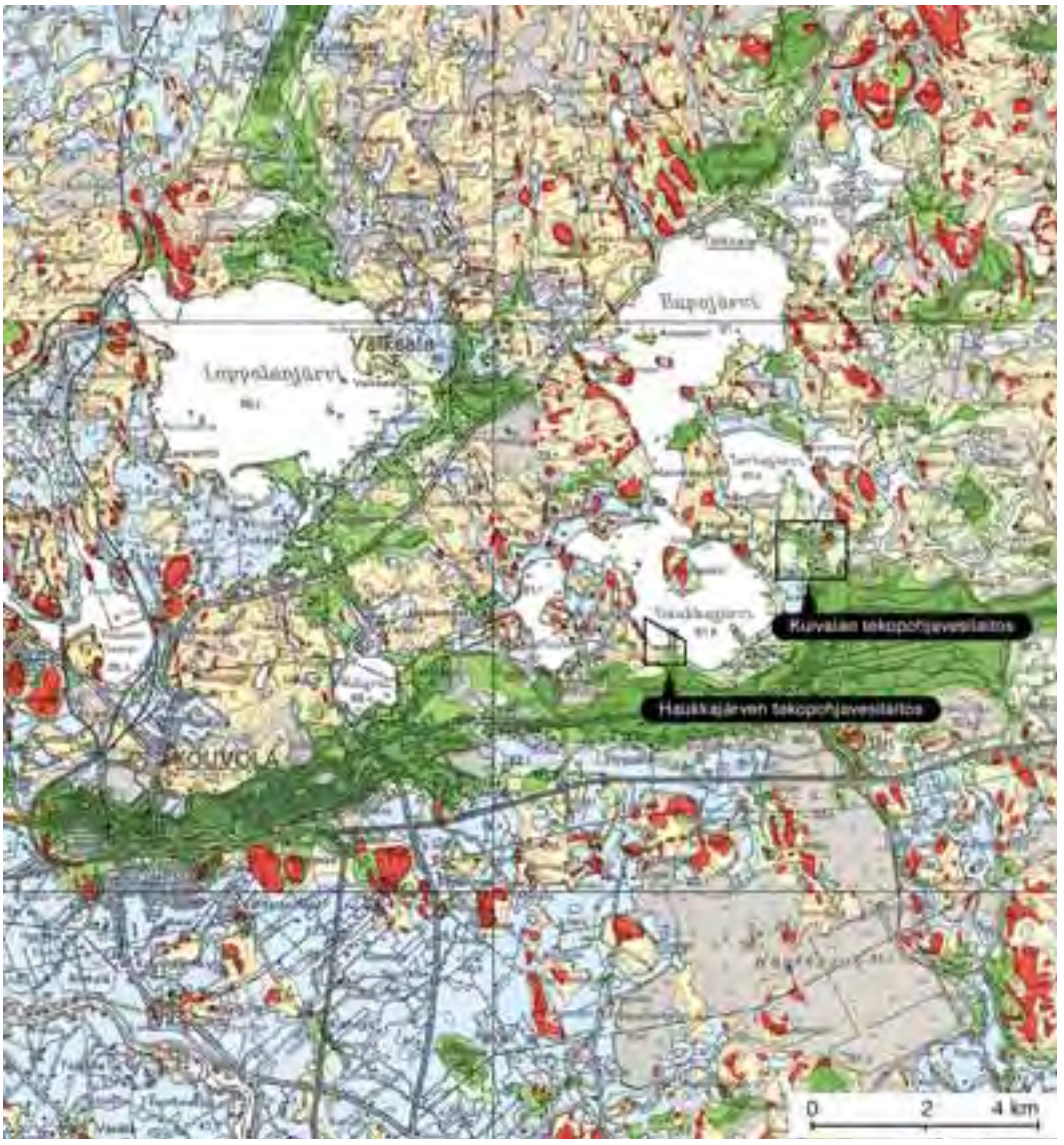
FLUORIDI TEKOPOHJAVESILAITOKSELLA

Kun Kaakkois-Suomen rapakivialueella toimivia, nykyisen Kouvolan Veden ja Kymenlaakson Vesi Oy:n tekopohjavesilaitoksia perustettiin, fluoridin korkein sallittu pitoisuus oli 3 mg/l^{-1}. Tekopohjavettä muodostettaessa laitosten veden fluoridipitoisuudet ovat kohonneet luonnollisista pitoisuuksista (1,0–1,5 mg/l^{-1}) niin, että nykyisin voimassa oleva raja-arvo 1.5 mg/l^{-1} ylittyy. Fluorin liukenemiseen maaperästä pystytään vaikuttamaan lämpötilaa säätelemällä. Vuosina 1992–2002 toteutettu tutkimus lienee yksi maailman laajasisältöisimpiä peruskallioympäristön pohjaveteen kohdistuvia fluoriditutkimuksia.

Timo Kyntäjä

käyttöpäällikkö
Kymenlaakson Vesi Oy
E-mail: timo.kyntaja@kymenlaaksonvesi.fi

Fluoridin raja-arvoksi asetettiin 1,5mg l^{-1} lääkintöhallituksen yleiskirjeessä nro/1977 12.12.1990, mikä tuli laitoksille yllätyksenä. Olihan Suomessa vielä 1990-luvun alussa talousveteen keinotekoisesti lisätty fluoridia noin 1,2 mg l^{-1}, koska se oli katsottu tarpeelliseksi hampaiden terveyden kannalta. Fluoridin esiintyminen pohjavesissä on tavallisimmin yhteydessä alueen kivilajeihin. Korkeimpia fluoridipitoisuuksia esiintyy yleensä alkalikivien ja graniittisten kivien, erityisesti rapakivialueiden pohjavesissä. Suomi edustaa jälkimmäistä ryhmää Kaakkois- ja Lounais-Suomessa esiintyvine laajoine rapakivialueineen. Fluoria sisältäviä mineraaleja esiintyy pääosassa Suomen kallio- ja mineraalimaaperää, mikä heijastuu myös pohjavesiin. Geologian tutkimuskeskuksen mukaan koko maan lähdevesien fluoridipitoisuuksien keskiarvot olivat 0,17 mg/l^{-1}, kuilukaivovesissä (maaperä) 0,21 mg/l^{-1} sekä kallioporakaivojen vesissä 0,63 mg/l^{-1}. Keskimääräistä suurempia pitoisuuksia esiintyy nimenomaan rapakivialueiden maa- ja kallioperän pohjavesissä niiden vaihdellessa yleensä rajoissa 0,5–2,0 mg/l^{-1}.



Kuva 1. Geologinen maaperäkartta (Geologian tutkimuskeskus 1970) sekä Utin tekopohja-vesilaitosten sijainti 1. Salpausselällä. Vihreä = hiekka-soramuodostumia.

Tutkimusten tausta ja toteutus

Vesilaitokset käyttävät raakavetenä Valkealan reittiin kuuluvan Haukkajärven vettä, jonka fluoridipitoisuus on 0,6–0,8mg/l^{-1}. Vuonna 1992 Kouvolan Veden Haukkajärven tekopohjavesilaitokselta lähtevän veden fluoridipitoisuus oli keskimäärin 1,7 mg/l^{-1} ja Kymenlaakson Vesi Oy:n Kuivalan laitokselta lähtevän veden 1,5 mg/l^{-1} (kuva 1). Kun kehityssuunta lisäksi näytti nousevalta, vesilaitokset asettivat samana vuonna työryhmän tutkimaan asiaa. Se koostui vesilaitosten edustajien ohella seuraavista ulkopuolisista asiantuntijoista: fil.tri Antti Vuorinen, professori Esko Mälkki, fil.lis. Juho Hyyppä ja dipl.ins. Jorma Myry. Helsingin yliopiston geologian laitoksen geologian ja mineralogian osasto osallistui tutkimukseen merkittävällä tutkimus- ja kehittämispanoksella.

Työryhmä otti tehtäväkseen tutkia syitä liiallisen fluoridipitoisuuden esiintymiseen ja nousevaan kehitykseen sekä toisaalta mahdollisuuksia ja menettelytapoja fluoridipitoisuuden rajoittamiseen. Ryhmän työ oli monitahoinen. Siihen kuuluivat yhteydenotot alan asiantuntijoihin ja instituutioihin. Ryhmä suunnitteli ja ohjasi ja sen jäsenet toteuttivat vesilaitoksien kanssa erilaisia tutkimuksia ja selvityksiä, joiden pääaihepiirejä olivat:

- tekopohjavesilaitosalueiden maa- ja kallioperäolosuhteet ja geokemialliset erityispiirteet
- fluorin liukeneminen ja siihen vaikuttavat tekijät
- raaka- ja kaivovesien laatu
- tekopohjaveden laadun muutokset virtauksen aikana ja kaivojen vedenlaadun kehityskuva
- ”mitä asialle on tehtävissä” -vastauksien etsiminen edellisten tuloksista ja muista lukuisista pienemmistä selvityksistä

Edellisiin sisältyi perustöiden, kuten hydrogeologisten olosuhteiden selvitysten ja vesianalytiikan / vedenlaadun kehityksen seurannan ja vesilaitosteknisten tarkastelujen lisäksi osatehtävinä mm. pohjavesiputkista tehtyjä mittauksia, suodatuskokeita, mineralogisia määrityksiä sekä erittäin laajana ja

merkittävänä osana fluorin käyttäytymiseen liittyviä laboratoriotutkimuksia (Antti Vuorinen, Geologian laitoksen geokemian laboratorio).

Tutkimuksen tulokset on esitetty pääraportin ohessa kahdeksassa osaraportissa. Kuten osaraporttien määrä ja otsikot jo osoittavat, tutkimus on ollut niin laaja ja monisisältöinen, että seuraavassa on mahdollista käsitellä vain joitakin keskeisiä perusasioita, tutkimustuloksia ja niiden perusteella tehtyjä päätelmiä.

Vesilaitokset

Kuivalan tekopohjavesilaitos (KLV Oy) toimii noin 10 km Kouvolasta Lappeenrannan suuntaan, Valkealan Utissa. Laitokselta johdetaan tekopohjavettä keskimäärin 22 000 m^3/d osakaskuntien (Anjalankoski, Hamina ja Kotka) kulutukseen. Laitoksella veden pH ja kovuus säädetään ennen johtamista DN 700 millimetrin siirtolinjaan.

Haukkajärven laitos sijaitsee Kouvolan kaupungin ja Kuivalan laitoksen puolivälissä. Sieltä johdetaan tekopohjavettä 8 000–10 000 m^3/d Kouvolan tarpeisiin.

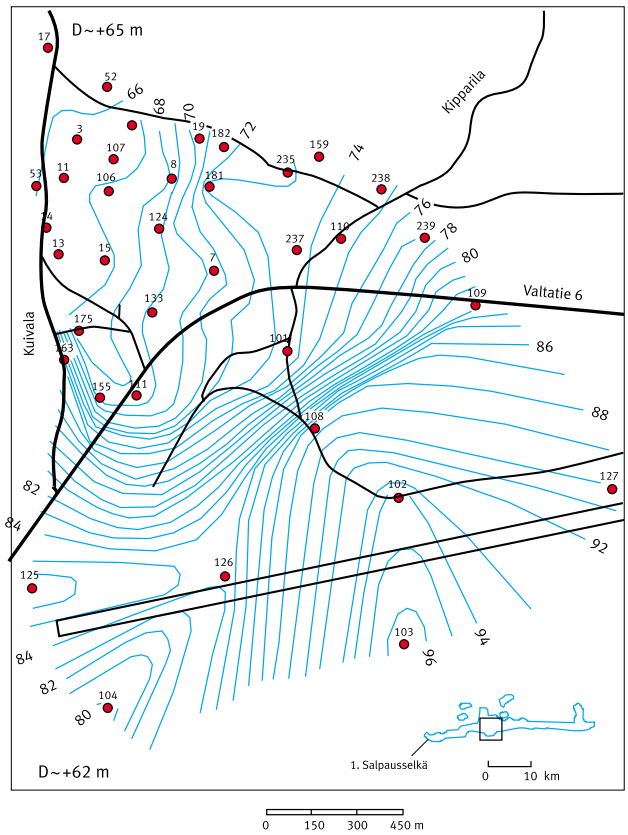
Piirteitä tutkimustuloksista

Hydrogeologiset olosuhteet

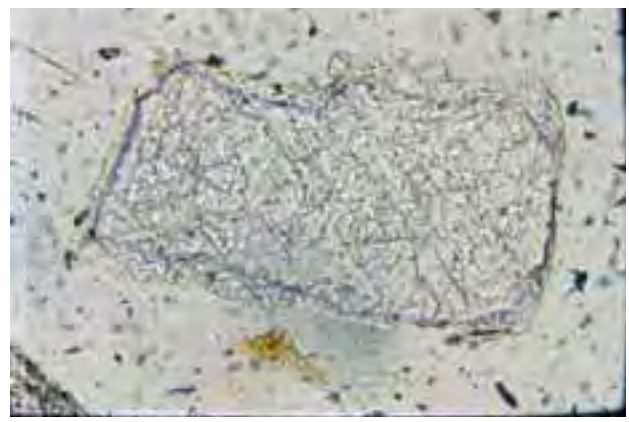
Tutkimusympäristönä on ollut Salpausselkä I -muodostumaan liittyvä pohjavesivyöhyke. Molempien tekopohjavesilaitosten alueella Salpausselkään yhtyy pitkittäisharjuja, joita muodostaneet vesivirrat ovat tuoneet muodostumaan riittävästi karkearakeisia aineksia ja luoneet perusedellytykset tekopohjaveden tuotantoon. Maaperän hydraulinen johtavuus on näille muodostumille tyypillisesti erittäin vaihteleva. Asteikko ulottuu erinomaisesta heikkoon johtavuuteen. Kerrosvaihtelulle on luonteenominaista pikkupiirteisyys ja tiiviiden, johtamattomien kerrosten (savi – hieno siltti) jopa varsin paksujen kerroksien (5–10 m) esiintyminen erityisesti muodostumien pohjaosissa.

Varastovesikerroksen paksuus vaihtelee tavallisimmin rajoissa 10–20 metriä. Pohjavesi on muodostumille tyypillisesti varastoitunut pinnanmuodoltaan kupolimaiseksi. Pohjavedenpinnan hydraulinen gradientti vaihtelee sijaintikohdasta riippuen yli yhdestä prosentista promillen osiin heijastaen hyvin maaperän johtavuusominaisuuksia (kuva 2, esimerkki Kuivalasta).

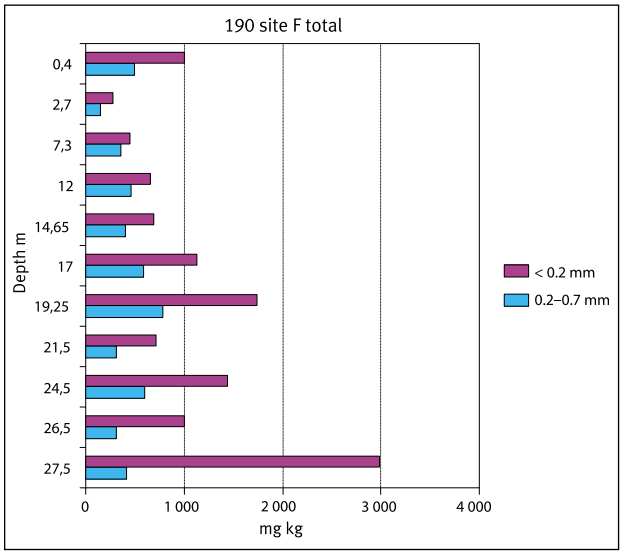
Fluoria esiintyy fluoriitissa eli fluorisälvässä ja kiilleryhmään kuuluvassa biotiitissa (kuva 3) sekä sarvivälkkeessä. Eri puolilta otettujen maanäytteiden mukaan fluoripitoisten mineraalien määrä koko mineraaliaineksesta on 4–6 %. Itse fluorin määrä on huomattavasti pienempi, todennäköisesti alle prosentin riippuen eniten fluoria sisältävän fluoriitti-mineraalin ja liuenneen fluorin määrästä. Hapan sadevesi on vuosituhansien ajan uuttanut maaperää, minkä seurauksena fluoria on liuennut erityisesti maaperän ylimmistä horisonteista. Sieltä fluoriitti on lähes kokonaan hävinnyt ja muutkin fluoria sisältävät mineraalit kadottaneet osan fluoripitoisuudestaan. Kokonaisfluoripitoisuus lisääntyy syvemmällä. Merkittävin muutoshorisontti on pohjavedenpinnan



Kuva 2. Pohjavedenpinnan luonnontilaisia korkeuskäyriä Kuivalan - lentokentän alueella.



Kuva 3. Mikroskooppivalokuva rapakivessä olevasta fluoriittirakeesta, Kuivala. Suurennus 400-kertainen.



Kuva 4. Havaintoputki 190:n maaperäprofiilin kokonaisfluoripitoisuudet, pohjavedenpinnan syvyys maanpinnasta on 24–28 metriä.

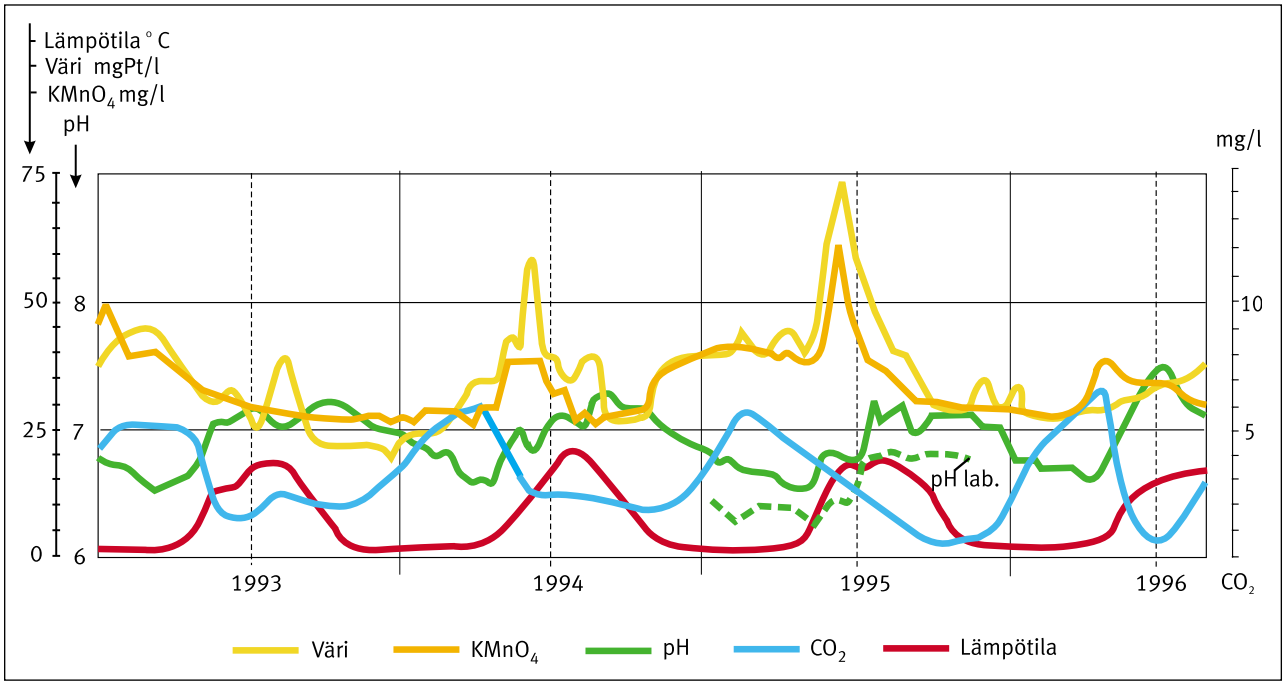
tuntumassa. Sen alapuolella fluorin määrä on merkittävästi suurempi kuin yläpuolella (kuva 4).

Fluorin liukenemiseen vaikuttavia tekijöitä

Fluorin liukenemiseen vaikuttaa voimakkaimmin raakaveden lämpötila. Talvella raakaveden ollessa kylmää (~0°C) lämpötila laskee maaperässä. Imeytysaltaiden lähellä olevissa putkissa on mitattu lähellä nollaa olevia tekopohjaveden lämpötiloja ja jopa milligramman litrassa alittavia fluoridipitoisuuksia. Raakaveden lämpötilahuiput heijastuvat maaperässä tekopohjaveden jopa yli 15°C lämpötiloina ja niiden aikana on havaittu yli 2,5 mg/l^{-1} olevia fluoridipitoisuuksia. Tutkimuksissa todettiin myös, että kylmällä säällä pintamaat sorptioivat raakaveden fluoridia ja lämpimällä säällä sitä jälleen vapautuu. Lämpötilavaikutus vaimenee nopeasti imeytysaltailta kauemmaksi siirryttäessä.

Raakaveden laadun vuodenaikaisvaihtelu lienee myös merkittävä tekijä. Mm. Haukkajärven veden $KMnO_4$-kulutus, pH ja hiilidioksidipitoisuudet (kuva 5) vaihtelevat merkittävästi ja niistä ainakin osa vaikuttanee suoraan tai välillisesti fluorin liukenemiseen. Kationi- ja fluoridipitoisuuksissa on havaittu pienempää, noin 20 %:n vaihtelua. Kun mainittujen aineiden vaihtelut tekopohjavedessä ovat huomattavasti suuremmat, eivät raakaveden laatumuutokset yksin riitä selittämään tekopohjaveden vastaavien aineiden vaihteluja. Toisaalta raakaveden laadunvaihtelu saattaa jopa kumota lämpötilan vaikutusta mm. fluorin liukenemiseen. Havainnot osoittavat, että tekopohjaveden lämpötilan ollessa esimerkiksi tammikuussa imeytyspaikkojen läheisyydessä vielä laskussa, fluoridipitoisuudet kääntyvät usein jo pysyvään "kevätnousuun".

Raakaveden imeytystapa on epäilemättä merkittävä vaikuttaja. Allasimeytyksessä altaan pohjalle kehittyy biologisesti aktiivinen ns. schmutzdecke-kerros. Siinä levät, yhdessä mm. raakaveden kiintoaineksen, liuenneen humuksen ja rautapitoisten



Kuva 5. Haukkajärven raakaveden laatu 1993–1996.

Kuva 6. Suodatuskokeissa käytetyt kolonnit. Niiden pituus oli 15 m ja läpimitta 0,4 m. Kolonnien takaosassa pystysuorat jatkeet.

kolloidien kanssa muodostavat "yhteisön", joka lisäksi käsittää eläviä organismeja kuten mikrobeja, bakteriofaageja ja alkueläimiä. Kerros toimii erittäin tehokkaasti, ja imeytyvä vesi köyhtyy tässä vaiheessa mm. fluoridista. Sadetusimeytyksessä vastaavaa kerrosta ei muodostu ja fluoridipitoisuuden kehittymiseen ilmeisesti vaikuttava humus myös pääsee syvemmälle. Eri imeytysmuodoissa imeytyvän veden lämpötilan kehitys on erilainen ja vaikuttaa mm. tekopohjaveden fluoripitoisuuden maksimi- ja minimiarvoihin. Havainnot eri imeytysmuotojen paremmuudesta fluoridipitoisuuden kehittymistä ajatellen ovat toistaiseksi riittämättömät. Kuivalan alueella, jossa voitiin tehdä jonkin verran vertailua, vaaka kallistuu allasimeytyksen eduksi.

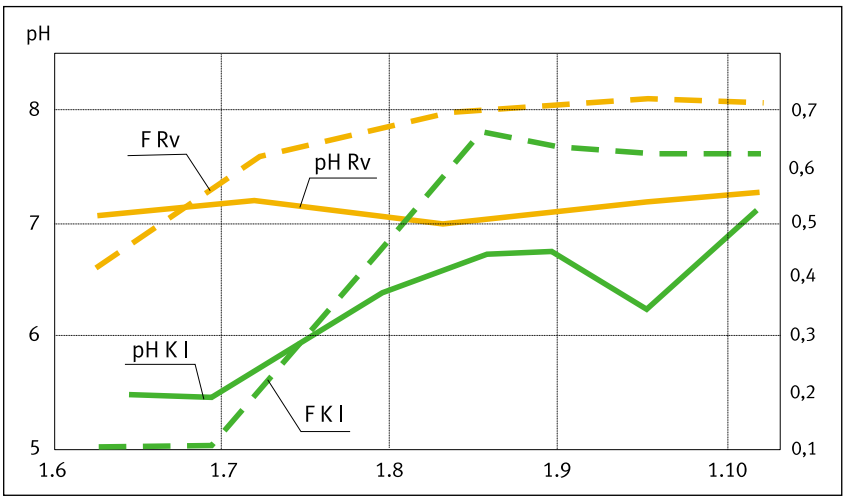
Muista vaikuttavista tekijöistä mainittakoon raakaveden ioniväkevyys, maaperän rapautuneisuus ja uuttuneisuus, maa-aineksen raekoko, maaperä -pH ja happoneutralisaatiokapasiteetti, erityisesti kaivokohtaisissa pitoisuuksissa myös kaivonpaikan olosuhteet sekä raakaveden ioniköyhyys.

Fluoridipitoisuuden kehittyminen vajo- ja pohjavesivirtauksen aikana

Fluorin pääasiallinen liukeneminen imeytettyyn raakaveteen tapahtuu jo vajovesivirtauksen aikana eli imeytyskohdan maanpinnan ja pohjavedenpinnan välillä (keskimäärin 20 m). Raakaveden luonnollinen fluoridipitoisuus, 0,6–0,8 mg/l^{-1}, kasvaa vajo- ja lyhyen pohjavesivirtauksen aikana lämpimimpänä kautena lähes kolminkertaiseksi kuten imeytysalueiden pohjavesiputkista saadut havainnot osoittavat. Kylmänä aikana kehitys on aikaisemmin esitetyin lähtökohdin toisenlainen. Veden jatkaessa virtaustaan kohti kaivoja fluoridipitoisuus asteittain laskee kohti luonnollisen pohjaveden pitoisuuksia. Niihin ei kuitenkaan täysin päästä mm. veden muuttuneiden ja vuodenaikojen mukaan vaihtelevien lämpötilojen vuoksi.

Fluorin suuri liukenemisherkkyys raakaveteen näkyy jo edellisissä havainnoissa. Tutkimalla tarkemmin fluorin liukenemis- ja pidättymisreaktioita 15 metriä pitkillä, maa-aineksella täytetyillä kolonneilla (kuva 6) saatiin runsaasti uutta tietoa. Pintahiekalla täytetyssä kolonnissa läpivirtaava raakavesi kadotti aluksi lähes kokonaan fluoridipitoisuutensa ja vasta useiden kuukausien jälkeen kolonnista purkautuvan veden fluoridipitoisuus vastasi raakaveden pitoisuutta (kuva 7). Veden ioniköyhyyden vaikutusta sen liuotuskykyyn osoittavat myös laboratoriokokeiden havainnot maa-aineksen fluorin liukenemisesta tislattuun veteen. Vastaavasti pohjavedenpinnan alta otetulla "syvähiekalla" täytetyssä kolonnissa läpivirtaavan raakaveden fluoridipitoisuus kohosi välittömästi sunnilleen luonnollisen pohjaveden fluoriditasoon (kuva 8). Liukeneminen väheni kuitenkin niin, että kun raakavettä oli virrannut noin 20 m^3 kolonnin maa-aineksen kuutiometriä kohti, lähestyttiin raakaveden fluoridipitoisuutta.

Hapan sadevesi (pH noin 5) on ollut voimakas liuotin, joka on tyhjentänyt varsinkin maaperän pintaosien fluorivarastoja (kuva 9). Imeytetyn, sadevettä emäksisemmän raakaveden fluoridi

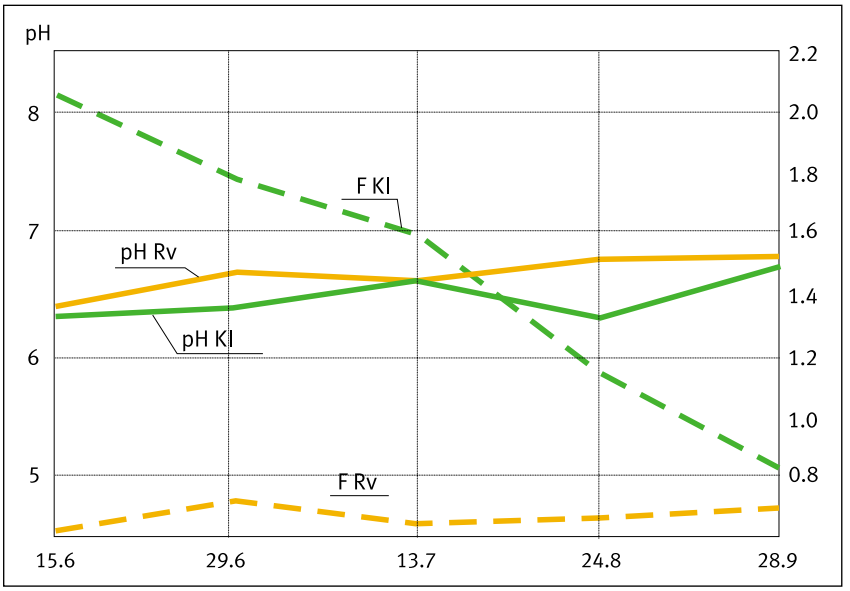


Kuva 7. Raakaveden (Rv) sekä Kuivalan pintahiekalla täytetyn kolonni I:n (KI) läpivirtaavan veden fluoridipitoisuus ja pH kesällä 1993. Koe on aloitettu 2.6.

korvaa ensimmäiseksi tämän vajauksen, ja imeytettävän veden fluoridipitoisuus laskee. Havainnot kuvastavat sitä, että maaperä toimii ajoittain kuin akku: fluorista paljolti tyhjentynyt maaperän yläosa latautuu uudelleen raakaveden tuomalla fluoridilla. Vastaavasti kun koeolosuhteissa johdetaan vähäfluoridista raakavettä syvämaan läpi, hakee vesi nopeasti edellisestä poikkeavan liukoisuustasapainon tämän maa-aineksen kanssa. Tässä tilanteessa raakaveden fluoridipitoisuus nousee selvästi. Tämä heijastaa myös sitä, että viimeistään pohjavesivyöhykkeessä fluoria liukenee lisää imeytettyyn veteen, jos se on fluoriköyhää.

Pintamaalla tehtyyn suodatuskokeeseen liittyy myös merkittäviä pH:n vaihteluja, jotka ilmeisesti johtuvat vahvasti happamoituneen maaperän vaikutuksesta.

Vajovesivyöhykkeen fluorin uuttumisesta huolimatta sitä riittää raakaveteen jatkuvasti ja pohjavesivyöhykkeen mineraalirakeiden fluorivarasto vaikuttaa ehtymättömältä. Jälkimmäisen kokeen havainnot samoin kuin yhdessä allasalueen putkessa havaittu fluoridin väheneminen kuitenkin osoittavat, että fluorin liukeneminen vajovesivyöhykkeessä vähenee suurten vesimassojen huuhdellessa maaperää. Siitä voisi päätellä, että allasimeytyksellä, jossa pintakuorma on sadetusimeytystä huomattavasti suurempi, on fluorin liukenemista ajatellen tiettyjä etuja.



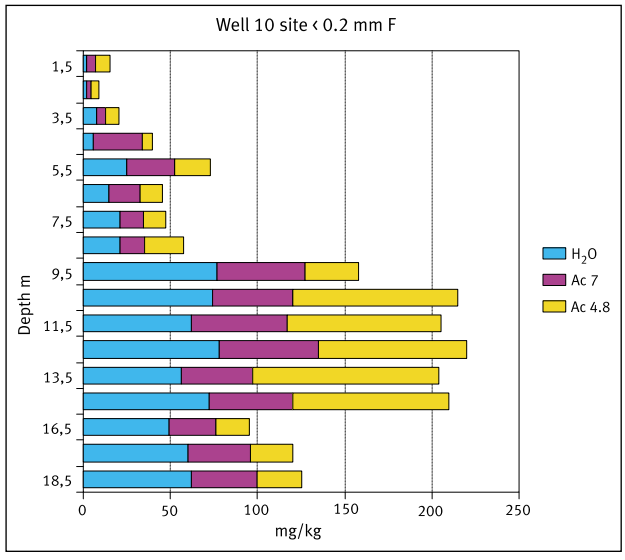
Kuva 8. Raakaveden (Rv) sekä Kuivalan syvähiekalla täytetyn kolonni I:n (Kl) läpivirtaavan veden fluoridipitoisuus ja pH kesällä 1995. Koe on aloitettu 2.6.

Tekopohjaveden fluoridipitoisuuteen vaikuttavat tekijät

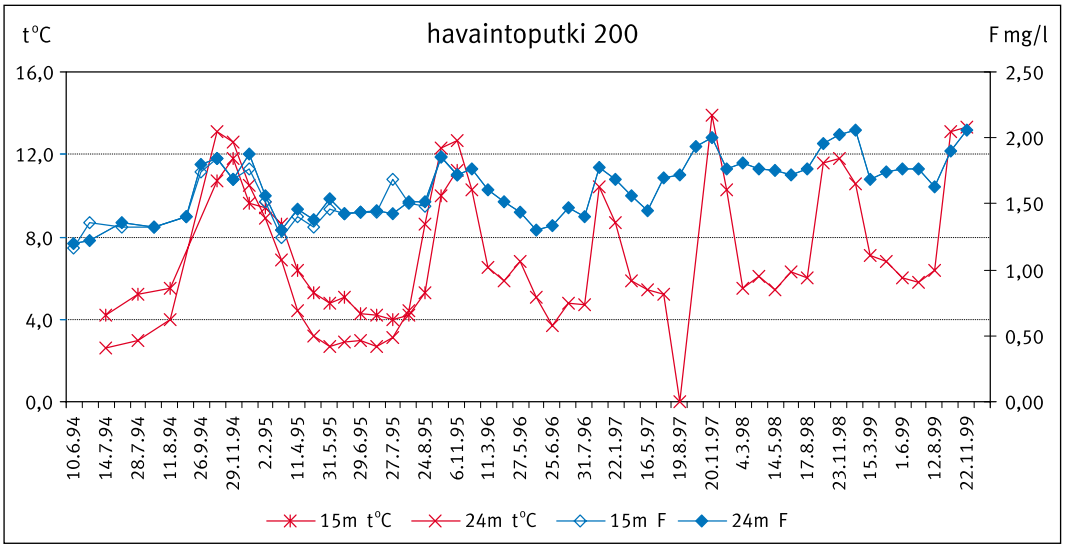
Tekopohjaveden fluoridipitoisuuteen vaikuttaa samanaikaisesti monta, usein pitoisuutta eri suuntiin vievää tekijää. Kullakin hetkellä voimakkain vaikuttaja tai sellaisten yhdistelmä määrää fluoridipitoisuuden kehityssuunnan. Tulkintoja tapahtumista vaikeuttaa, että juuri kun tietynsuuntainen vuodenajan olosuhteisiin liittyvä kehitys on päässyt vauhtiin, olosuhteet muuttuvat ja alkavat kumota tapahtunutta.

Noin kahdeksan vuoden seuranta-aikana tuli selvästi esiin, että maaperä on imeytetyn raakaveden vaikutuksesta laitosalueella lämpiämässä. Kun laitosten toiminnan alkuvaiheessa tekopohjaveden lämpötila oli imeytysalueiden putkissa raakaveden kaltainen, ts. vesi oli kylmää noin viiden kuukauden ajan, kylmän ajan jakso on nyt imeytysalueiden lähiputkissa jopa vain muutamia viikkoja. Samantapainen kehitys on havaittavissa myös kauempana (kuva 10). On selkeästi havaittavissa, että optimoimalla kaikkien mahdollisuuksien rajoissa veden imeytys suhteessa määrään ja kohteisiin, voidaan tekopohjaveden fluoridipitoisuutta rajoittaa. Tämä tarkoittaa mm. raakaveden kylmävarastointia. Raakaveden esikäsittely vähentänee myös tekopohjaveden fluoridipitoisuutta. Imeytystavan valinnallakin on merkitystä, kuten edellä on osoitettu.

Koska pohjavesivyöhykkeen luonnollinen fluoridipitoisuus kuitenkin on juuri sallitun enimmäispitoisuuden tuntumassa, ja tiedetään fluorin herkkäliukoisuus, eivät edellä mainitut toimenpiteet – kun otetaan vielä huomioon kooltaan rajalliset laitosalueet – voi taata veden jatkuvaa raja-arvon alittavaa fluoridipitoisuutta. On varauduttava veden fluoridipitoisuuden pie-



Kuva 9. Kuivalan tekopohjavesilaitoksen pohjavesikaivon 10 maaperäprofiilin fluoripitoisuus välillä 1,5–18,5 m maanpinnasta.



Kuva 10. Tekopohjaveden lämpötilan ja fluoridipitoisuuden kehitys havaintoputkessa 200 vuosina 1994–1999. Putki sijaitsee noin 300 m lähimmästä imeytysaltaasta.

nentämiseen laimentamalla joko vähäfluoridisella luonnollisella pohjavedellä tai käsitellyllä vedellä. Lämpötilan sääntelyllä ja muilla edellä mainituilla toimenpiteillä voidaan kuitenkin pienentää hankittavan vähäfluoridisen laimennusveden määrää ja vaikuttaa näin laitosten käyttökustannuksiin.

Kymenlaakson Vesi Oy:n toimenpidenäkymät

Sosiaali- ja terveysministeriön antaman asetuksen 461/2000 mukaan fluoridin raja-arvon 1,5 mg/l^{-1} mukainen vaatimus tulee täyttää 25.12.2003 mennessä. Kun tutkimustyön kuluessa kävi selväksi, ettei fluoridipitoisuutta pystytä riittävästi alentamaan tutkimuksesta saatujen tietojen avulla, vesilaitoksella päätettiin käynnistää fluorinpoistolaitoksen suunnittelu ja rakentamisen valmistelu. Lupa fluorinpoistolaitoksen rakentamiseen on haettu ja varsinaiset rakennustyöt on aloitettu kuluvan vuoden tammikuussa. Tavoitteena on käynnistää fluorinpoistolaitos syksyllä 2003, riittävän ajoissa, että tarpeelliset koeajot hienosäätöineen pystytään suorittamaan ennen edellä mainitun määräajan umpeutumista. Säätelemällä tutkimuksesta saatujen tietojen mukaisesti Kuivalan tekopohjavesilaitoksen imeytysprosessia saadaan fluorinpoistolaitoksen käyttökustannukset pienemmiksi.

Raporttikokonaisuus:

Pääraportti

Eskola, T., Hyyppä, J., Isakow, M., Kyntäjä, T., Myry, J., Mälkki, E. & Vuorinen, A. (2002). Utin tekopohjavesilaitosten fluoriditutkimukset ja selvitykset 1992–2001, 1. Salpausselkä. Kouvolan Vesi ja Kymenlaakson Vesi Oy.

Osaraportit (julkaisijat kuten edellä)

Vuorinen, A. (2002a). Fluoridi Suomen pohjavesissä. Osaraportti, I, 7 s.

Mälkki, E. (2002a). Utin Haukkajärven ja Kuivalan tekopohjavesilaitosalueiden hydrogeologiset olosuhteet, 1. Salpausselkä. Osaraportti II, 18 s.

Vuorinen, A. (2002b). Fluori sekä sen luonnollinen ja muuttunut esiintymisympäristö Utin tekopohjavesilaitosalueiden hiekkamaa- ja rapakivikallioperässä, 1. Salpausselkä. Osaraportti III, 78 s.

Vuorinen, A. (2002c). Fluorin ja eräiden alkuaineiden liukenemiseen vaikuttavia tekijöitä, 1. Salpausselkä. Osaraportti IV, 58 s.

Mälkki, E. (2002b). Pilot-suodatuskokeissa ja raakaveden imeytyksessä saatuja havaintoja rapakivialueen maaperään imeytetyn pintaveden laadun kehityksen selvittämiseksi, 1. Salpausselkä. Osaraportti V, 30 s.

Mälkki, E. (2002c). Fluoridin ja muutamien muiden vedenlaatuparametrien vaihtelu Utin tekopohjavesilaitosten virtauskentässä, 1. Salpausselkä. Osaraportti VI, 62 s.

Vuorinen, A. (2002d). Imeytystavan vaikutus fluoridien esiintymiseen ja käyttäytymiseen sekä allas- ja sadetusimeytyksen vertailu Kuivalan tekopohjavesilaitoksella, 1. Salpausselkä. Osaraportti VII, 38 s.

Hyyppä, J. (2002). Tekopohjaveden laadun, erityisesti fluoridipitoisuuden, kehitys Kuivalan laitoksen kaivovesissä, 1. Salpausselkä. Osaraportti VIII, 53 s.

Kirjallisuus

Frycklund, C. (1998). Artificial recharge of groundwater for public water supply. Potential and limitations in Boreal conditions. Royal Institute of Technology, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Stockholm.

Huisman, L. & Olsthoorn, T.N. (1983). Artificial groundwater recharge. Pitman Books Ltd, London. 320 s.

Lahermo, P. & Backman, B. (2000). The occurrence and geochemistry of fluorides with special reference to natural waters in Finland. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 149, 40 s.

Lahermo, P., Ilmasti, M., Juntunen, R. & Taka, M. (1990). The hydrogeochemical mapping of Finnish groundwaters. Tiivistelmä: Suomen haja-asutusalueiden pohjavesien hydrogeokemiallinen kartoitus. Suomen Geokemian Atlas. Osa 1. The Geochemical Atlas of Finland. Part. 1. Geological Survey of Finland. 66 p.

Simonen, A. & Vorma, A. (1969) Amphibole and biotite from rapakivi. Bull. Comm. Geol`. Finlande 238, s. 1–28.

Tiljander, M. (1997). Fluorin esiintyminen Utin tekopohjavesilaitoksilla. Pro gradu-tutkielma, julkaisematon. Helsingin yliopisto, geologian laitos, geologian ja mineralogian osasto.

Yordanov, R.V., Lamb, A.J., Melvin, M.A.L. & **Littlejohn, J.** (1996). Biomass characteristics of slow sand filters receiving ozonated water. Teoksessa Graham, N. ja Collins, R. (eds.) Advances in Slow Sand and Alternative Biological Filtration. John Wiley & Sons Ltd, England. s. 108–118.

Putkistojen kuntokartoitus osana ympäristöstrategiaa

Puhdas maaperä ja puhtaat pohjavedet ovat kansallisvarallisuuttamme. Kunnat, kaupungit, teollisuuslaitokset sitoutuvat suojelemaan pohjavesialueita ja ehkäisemään maaperän pilaantumisen toimimalla ennakoivasti ja ennaltaehkäisevästi ympäristölupahakemuksensa ja strategiansa mukaisesti.

Maan alla sijaitseva putkistoverkosto on näkymätön osa ympäristöämme ja jakaantuu laajalle alueelle maantieteellisesti. Vaurioitunut putkistoverkosto vuotaa mm. jätevesiä maaperään.

Painehuuhtelu Oy PTV:n päätoimialana on putkistoverkostojen puhdistus ja kuntokartoitus. Työ toteutetaan joko TV-kuvauksella tai uudella DigiSewer™-huipputeknologialla. Menetelmiä hyödynnetään kunta-, teollisuus- sekä kiinteistökohteissa.

Näillä menetelmillä varmistetaan verkoston rakenteellinen ja toiminnallinen kunto ja selvitetään mahdollinen haitallisten jätevesien vuotavuus maaperään. Kuntokartoitus on osa hyvää ympäristöstrategiaa ja työväline päätöksentekoa varten.

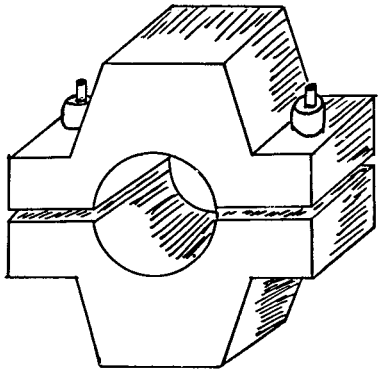
Painehuuhtelu Oy PTV

ASIANTUNTIJAOSAAMISTA YLI 25 VUODEN KOKEMUKSELLA

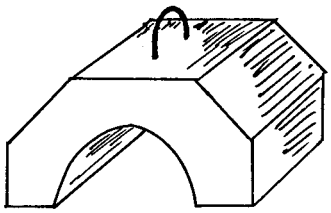
Alaniityntie 6, 01900 Nurmijärvi
puhelin (09) 290 2230 | fax (09) 2902 2333

Yhteyshenkilö: Riitta Virtanen
e-mail: riitta.virtanen@painehuuhteluptv.fii

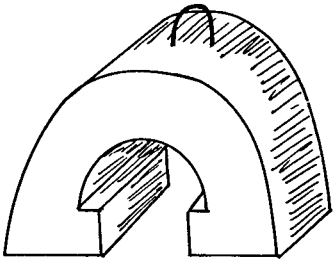
BETONIPAINOJA PEH-PUTKIEN VESISTÖIHIN UPOTTAMISTA VARTEN



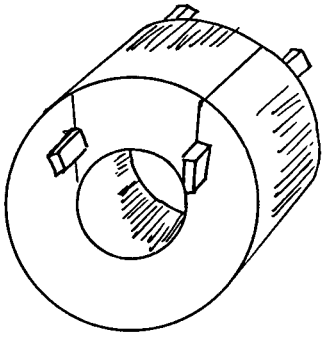
FLEXIPAINO



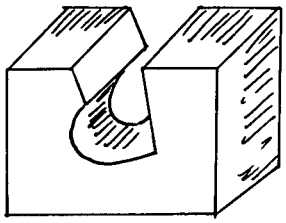
MAAKAASUSATULAPAINO



SATULAPAINO



PUUKIILAPAINO



KUUTIOPAINO

MUOTTIPOJAT JA SEMENTTI OY

Puh. 03 7531393, 7532375 Fax 03 7535796

PARANTAAKO VESIJOHTOVERKOSTON PUHDISTUS VEDEN LAATUA?

Tarja Nissinen

fil.tri
Kansanterveyslaitos, kemian laboratorio, Kuopio
E-mail: tarja.nissinen@ktl.fi
Kirjoittaja on tutkija, hänen tutkimustyönsä pääaiheena on talousveden klooraukseessa ja otsonoinnissa syntyvät desinfioinnin sivutuotteet.

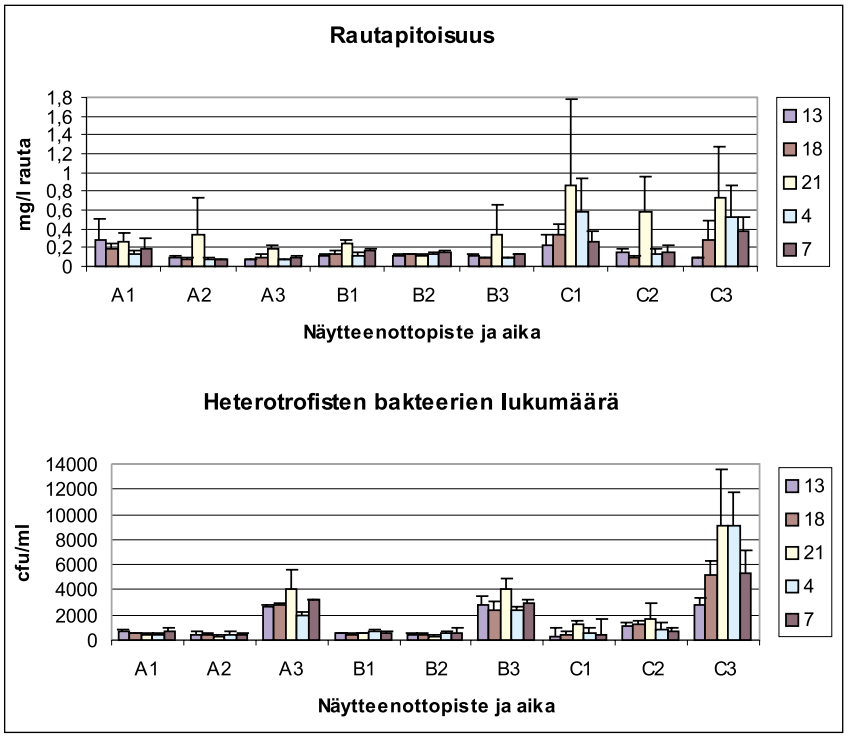
Markku Lehtola

fil.tri
Kansanterveyslaitos, ympäristöterveyden osasto, Kuopio
E-mail: markku.lehtola@ktl.fi
Kirjoittaja on tutkinut erityisesti ravinteiden vaikutusta veden mikrobikasvuun sekä erilaisten vedenkäsittelyprosessien vaikutusta veden kemialliseen ja mikrobiologiseen laatuun.

Vesijohtoverkosto vaikuttaa voimakkaasti talousveden laatuun. Ongelmia voivat aiheuttaa mm. rautaputkista liukeneva rauta sekä verkostoon kertyvä orgaaninen aines ja mikrobikasvusto. Verkoston puhdistuksella pyritään vähentämään veden laadun heikkenemistä verkostossa. Uudessa tutkimuksessa selvitettiin verkoston puhdistuksen vaikutuksia talousveden laatuun.

Ajan myötä vesijohtoverkostoon kertyy saostumia, joiden käyttäytyminen verkostossa on oikullista. Irrotessaan putken seinämästä saostumat aiheuttavat välittömän teknis-esteettisen haitan ja ne ovat yksi merkittävimmistä verkostoveden laadun muutosten syistä. Verkostojen saostumissa elää tuhansia kertoja enemmän mikrobeja kuin vedessä. Vaikka normaaliolosuhteissa suurinta osaa näistä saostumien mikrobeista ei havaita vesinäytteissä, voivat verkostossa äkillisesti tapahtuvat virtausolosuhteiden muutokset irrottaa saostumia ohivirtaavaan veteen huonontaen veden hygieenistä laatua. Saostumien irtoaminen lisää usein myös veden rauta- ja mangaanipitoisuutta sekä sameutta. Verkoston biofilmit ovat hyvä suoja- ja kasvupaikka myös joillekin mahdollisesti patogeenisille mikrobeille. Tällainen hetkellinen mikrobien joukkoirtoaminen verkoston biofilmeistä voi siten aiheuttaa riskin veden kuluttajille.

Verkostojen käyttäytymisen ymmärtäminen muodostaa yhden vesihuollon suurimmista haasteista. Hyvälaatuista talousvettä tuottavan laitoksen verkostot voivat olla vanhoja, heikkokuntoisia ja toiminnallisesti huonosti suunniteltuja. Verkoston toiminnassa tapahtuvat äkilliset muutokset saattavat johtaa veden laadun merkittävään laskuun. Veden hyvää laatua ei näin ollen voida aina taata kaikkialla verkostossa. Ver-



Kuva 1. Rautapitoisuus ja heterotrofisten bakteerien lukumäärä Savonlinnan verkostovedessä eri kellonaikoina (pylväiden värit). Näytteenottopisteet A = ennen puhdistettavaa aluetta, B = heti puhdistetun alueen jälkeen, C = vertailualue. Näytteenottoajankohdat 1= esiseuranta, 2 = 1. jälkiseuranta, 3 = 2. jälkiseuranta 3 kk:n päästä.

kostoveden laatu saattaa huonontua alueilla, joilla väestön määrä vähenee ja veden viipymäaika verkostossa kasvaa.

Uudessa talousvesiasetuksessa (461/2000) painotetaan ihmisten terveyden suojelua. Ihmiset eivät saa altistua talousveden välityksellä haitallisessa määrin mikrobeille, muille pieneliöille tai kemiallisille aineille. Verkoston kunnon merkitys korostuu, sillä talousvesiasetus säätelee ainoastaan kuluttajan saaman veden laatua, ei vesilaitoksen tuottamaa vettä tai raakavettä.

Paineilma-syke-puhdistus kiinnostaa

Saostumia voidaan poistaa verkoston seinämiltä mm. huuhtelun ja pehmopuhdistuksen avulla. Verkostoa voidaan puhdistaa myös paineilma-syke-puhdistuksella (vesi-ilmahuuhtelu), joka on vielä suhteellisen uusi menetelmä. Tässä menetelmässä verkostoon johdetaan automatiikan välityksellä vuorotellen paineilmaa ja vettä. Paineilmapatsaan ja vesipatsaan rytmikäs vuorottelu putkessa saa aikaan sykemäisen virtauksen, joka poistaa saostumia tehokkaammin kuin perinteinen vesihuuhtelu. Paineilma-syke-puhdistus on helpompi suorittaa kuin pehmopuhdistus, sillä se ei vaadi maan kaivamista, eivätkä verkostossa olevat venttiilit haittaa sitä niin kuin pehmopuhdistusta. Menetelmä vaatii kuitenkin erityiskalustoa ja ammattitaitoa. Paineilma-syke-puhdistuksessa puhdistettava linja on saatava paineettomaksi, eli se on suljettava täysin muusta verkostosta. Tavalliset palopostit soveltuvat sisäänmeno- ja ulostuloaukoiksi. Paineilma-syke-puhdistus soveltuu hyvin valurautaputkille, ja myös suurempien vesijohtojen puhdistukseen paremmin kuin perinteinen vesihuuhtelu. Suomessa paineilma-syke-puhdistuksesta on vasta vähän käytännön kokemusta, mutta kiinnostusta menetelmää kohtaan on.

Vesijohtoverkoston puhdistukseen liittyvä tutkimus käynnistyi vuoden 2001 alussa Savonlinnan ja Järvenpään vesilaitoksilla. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää paineilma-syke-puhdistuksen vaikutusta verkostoveden kemialliseen ja mikrobiologiseen laatuun Savonlinnan ja Järvenpään verkostoissa, sekä veden kulutuksen vaikutusta Savonlinnan veden laatuun vuorokauden eri aikoina. Tutkimus kesti kaikkiaan puolitoista vuotta. Tutkimuksella oli useita rahoittajia.

Savonlinna ja Järvenpää tutkimuskohteina

Savonlinnan Vääräsaaren vesilaitos käyttää raakavetenään järvivettä. Saostuksen (rautasulfaatti) ja hiekkasuodatuksen jälkeen kolmasosa vedestä suodatettiin aktiivihiilen läpi ja vesi desinfioidaan kaasumaisella kloorilla (syöttömäärä 0,6 g/m^3). Tutkimuksen kohteena ollut verkoston osa sijaitsi 6 km:n päässä vesilaitokselta (Kellarpelto). Putket olivat 150 mm valurautaputkia ja ne oli rakennettu vuonna 1966. Puhdistetun putken pituus oli 850 m. Kellarpellon alue valittiin tutkimuskohteeksi, koska siellä oli havaittu ajoittaista veden laadun heikkenemistä (mm. veden sameutta), jonka arveltiin johtuvan saostumien irtoamisesta veteen. Alueen verkostoa ei ollut puhdistettu mekaanisesti aikaisemmin.

Järvenpään tutkimusalueen (Kyrölä) talousvesi oli peräisin Jäniksenlinnan tekopohjavesilaitokselta (Tuusulan Seudun Vesilaitos). Laitoksella on käytössä hidassuodatus ja kalkkikivisuodatus. Vettä ei desinfioida. Kyrölän tutkimusalue sijaitsi noin 10 km Jäniksenlinnan vedenottamolta. Puhdistetun verkoston pituus oli 3 km. Putket olivat 100–150 mm valurautaa ja päättyvät linjat (pituudeltaan 50–60 m) PVC muovia. Verkosto on rakennettu vuosina 1974–1982. Tutkimusalueen verkostoa ei ollut puhdistettu aikaisemmin.

Verkostoissa olevat näytteenottopisteet sijaitsivat ennen puhdistettavia alueita (A, Savonlinna ja PP 1, Järvenpää), heti puhdistettujen alueiden jälkeen (B ja PP 3) ja vertailualueilla (C ja PP 6). Vertailualueiden verkostoja ei

puhdistettu. Näytteet otettiin verkoston paloposteista ja vesilaitosten lähtevästä vedestä (VL). Verkostoveden laatua tutkittiin ennen verkoston puhdistusta huhti-toukokuussa kolmen viikon aikana, jolloin näytteitä otettiin kerran viikossa. Toukokuussa esiseurannan jälkeen suoritettiin verkostojen puhdistukset paineilma-syke-menetelmällä. Heti puhdistuksen jälkeen näytteitä otettiin kolmesti kahden viikon aikana (1. Jälkiseuranta). Tämän tarkoituksena oli selvittää puhdistuksen välittömät vaikutukset veden laatuun ja sitä, aiheuttavatko puhdistuksessa mahdollisesti irtoavat saostumat riskejä kuluttajille. Vesinäytteitä otettiin vielä elokuussa kolmen kuukauden päästä puhdistuksesta (2. Jälkiseuranta) samalla tavalla kuin esiseurannassa.

Verkostoveden laatua seurattiin Savonlinnassa myös vuorokauden eri aikoina. Verkostosta otettiin näytteitä sekä kulutushuippujen että matalan kulutuksen aikaan (alhaisin kulutus klo 4, suurin kulutus klo 21).

Veden laatu heikkenee etenkin huippukulutuksen aikana

Vesilaitoksilta lähtevän veden ja verkostoveden laatu on esitetty taulukossa 1. Savonlinnan tutkimusalueella rautapitoisuudet olivat hieman koholla. Veden rautapitoisuudessa ja sameudessa oli voimakasta vaihtelua, eli saostumien liikkeelle lähtiessä veden rautapitoisuus kohosi hetkellisesti. Vedenkulutus vaikutti saostumien liikkeelle lähtöön. Korkeimmat rautapitoisuudet ja sameusarvot havaittiin klo 21, jolloin myös veden kulutus oli suurimmillaan (kuva 1). Ennen verkoston puhdistusta rautapitoisuuden muutokset veden kulutuksen mukaan olivat tilastollisesti merkitseviä. Järvenpäässä rautapitoisuudet olivat korkeita sekä puhdistetulla alueella että vertailualueella. Veden rautapitoisuus ja sameus johtuivat verkostossa tapahtuvista muutoksista, koska vesilaitoksilta lähtevän veden arvot olivat alhaiset.

Veden mikrobipitoisuudet kasvoivat verkostossa, vesilaitokselta lähtevä vesi oli mikrobiologiselta laadultaan yleensä moitteetonta. Verkostossa veden bakteeripitoisuudet kohosivat. Veden lämmetessä kesän aikana myös bakteerikasvu talousvedessä oli voimakkaampaa, tämä oli havaittavissa erityisen selvästi Savonlinnassa. Tarkasteltaessa veden viljeltävien bakteerien lukumääriä tulee ottaa huomioon se, että ne on saatu käyttämällä herkempää menetelmää (R2A-kasvatusalusta, inkubointi 7 vrk, 22 °C:ssa) kuin olemassa oleva standardimenetelmä. Tämän vuoksi pitoisuuksia ei tule verrata standardimenetelmällä saatuihin tuloksiin. Bakteerien kokonaislukumäärästä (akridiinioranssisuoralaskenta) vain n. 2 % oli viljeltävissä (taulukko 1).

Desinfioinnin sivutuotteisiin vedenkulutus ei vaikuta

Savonlinnan lähtevän veden THM-, HAAs- ja AOX-pitoisuudet olivat korkeimmat elokuussa kolmen kuukauden päästä puhdistuksesta, jolloin veden lämpötila ja kokonaisklooripitoisuus olivat korkeimmillaan (taulukko 1). Lähtevän veden THM:n kokonaispitoisuudesta 93 % oli kloroformia, < 2 % bromidikloorimetaania ja < 1 % dibromikloorimetaania. Vastaavasti HAAs-pitoisuudesta 61 % oli dikloorietikkahappoa (DCAA), 26 % trikloorietikkahappoa (TCAA), 5 % monokloorietikkahappoa ja < 1 % bromikloori- ja bromidikloorietikkahappoa. Näistä yhdisteistä kloroformi, bromidikloorimetaani, DCAA ja TCAA ovat ihmiselle mahdollisesti syöpää aiheuttavia yhdisteitä.

Verkostovesistä mitattiin aina korkeampia THM-pitoisuuksia kuin vesilaitoksen lähtevästä vedestä. Pitoisuudet jäivät kuitenkin reilusti alle EU-raja-arvon 100 µg/l. Näytteenottohetkellä kloori sammutettiin Na-tiosulfaatilla ($Na_2S_2O_3$ x 5 H_2O), jolloin kloorin ja orgaanisen aineen väliset reaktiot (THM-yhdisteiden muodostuminen) loppuivat. Verkostossa kloorilla oli huomattavasti pidempi aika reagoida orgaanisen aineen kanssa kuin vesilaitoksella, minkä vuoksi pitoisuudet verkostonäytteissä olivat aina suuremmat.

HAAs-pitoisuudet laskivat aina verkostossa. Sen aiheutti pääasiassa DCAA-pitoisuuden lasku, mikä johtui luultavasti yhdisteen mikrobiologisesta hajoamisesta (LeBel ym. 1997, Baribeau ym. 2000). DCAA-pitoisuus laski voimakkaammin elokuussa lämpimän veden aikaan. Lähtevästä vedestä ja verkostovedestä mitattiin samaa tasoa olevia TCAA-pitoisuuksia muulloin paitsi toisen jälkiseurannan aikaan elokuussa, jolloin TCAA laski verkostossa selvästi. Suomessa ei ole raja-arvoa HAAs-yhdisteille, mutta pitoisuudet jäivät tuntuvasti alle Yhdysvalloissa voimassa olevan raja-arvon 60 µg/l. Myös AOX ja mutageenisuus laskivat verkostossa selvästi. Tämä johtui ilmeisesti yhdisteiden hajoamisesta verkostossa.

Vedenkulutuksella ei ollut vaikutusta desinfioinnin sivutuotteiden pitoisuuksiin.

Verkoston puhdistus vähentää veden laadun vaihtelua

Puhdistuksen jälkeen vaihtelut Savonlinnan rautapitoisuudessa ja sameudessa loppuivat lähes kokonaan (B2 kuvassa 1). Vertailualueella oli havaittavissa pitoisuuden voimakasta vaihtelua (C2 kuvassa 1). Verkoston puhdistus alensi Fe-pitoisuutta Järvenpäässä, mutta pitoisuus ylitti kuitenkin laatusuosituksen 0,2 mg/l. Sameus väheni Järvenpäässä 67 %. Vielä kolmen kuukauden päästä verkoston puhdistuksesta sameus oli 45 % alhaisempi kuin ennen verkoston puhdistusta, myös raudan pitoisuus oli alhaisempi kuin ennen puhdistusta (taulukko 1). Verkoston puhdistus ei vaikuttanut TOC-pitoisuuksiin kummankaan vesilaitoksen verkostoissa.

Savonlinnassa veden bakteeripitoisuus laski välittömästi puhdistuksen jälkeen, kun taas vertailualueella bakteeripitoisuus kasvoi samana ajanjaksona. Kolmen kuukauden kuluttua puhdistuksesta veden lämpötila Savonlinnassa oli noussut voimakkaasti, mikä näkyi myös mikrobipitoisuuden kasvuna vedessä. Erityisesti puhdistamattomalla alueella mikrobikasvu kiihtyi voimakkaasti veden lämmettyä. Rauta ja sameus käyttäytyivät kolmen kuukauden kuluttua samalla tavoin kuin ennen puhdistusta, eli klo 21 oli havaittavissa saostumien irtoamisen vaikutus veden laatuun (kuva 1). Järvenpäässä puhdistuksella ei havaittu olevan selvää vaikutusta veden mikrobipitoisuu-

teen.

Verkoston puhdistus ei vaikuttanut Savonlinnan THM-pitoisuuksiin, mutta sitä vastoin HAAs-pitoisuuksiin puhdistuksella saattoi olla vaikutusta. Verkoston puhdistuksen jälkeen HAAs-pitoisuudet olivat alhaisimmat heti puhdistetun alueen jälkeen. Tämä saattaa viitata siihen, että puhdistettuun putkeen on kehittynyt hyvin aktiivinen biofilmikerros, joka pystyy hajottamaan dikloorietikkahappoa (DCAA) hyvin. Tämä näkyi tuloksissa toisen jälkiseurannan aikaan elokuussa. Verkoston puhdistuksella ei ollut juurikaan vaikutusta AOX-pitoisuuteen eikä mutageenisuuteen.

Irtoavissa sakoissa on paljon bakteereita

Viime aikoina Suomessa esille tulleet laajat vesiperäiset epidemiat ovat he-

Taulukko 1. Savonlinnan Vääräsaaren ja Tuusulan Jäniksenlinnan lähtevän veden laatu sekä Savonlinnan ja Järvenpään tutkimusalueiden verkostoveden laatu ennen verkoston puhdistusta (Esiseuranta), heti verkoston puhdistuksen jälkeen (1. Jälkiseuranta) ja 3 kk:n päästä verkoston puhdistuksesta (2. Jälkiseuranta). Näytteenottopisteet: VL = vesilaitoksen lähtevä vesi, A ja PP1 ennen puhdistettavaa aluetta, B ja PP3 = heti puhdistetun alueen jälkeen, C ja PP6 = vertailualue

	Esiseuranta ennen puhdistusta				**1. Jälkiseuranta** heti puhdistuksen jälkeen				**2. Jälkiseuranta** 3 kk:n päästä puhdistuksesta			
Savonlinna	**VL***	**A**	**B**	**C**	**VL***	**A**	**B**	**C**	**VL***	**A**	**B**	**C**
Lämpötila (°C)	3,7±1,3	–	–	–	7,4±0,2	6,2±0,4	5,5±0,3	6,8±0,4	19±0,5	15±0,7	12±0,5	15±0,4
Kokonaiskloori (mg/l)	0,37±0,02	0,06±0,01	0,06±0,01	0,07±0,01	0,47±0,11	0,06±0,02	0,06±0,01	0,06±0,01	0,58±0,02	0,04±0,01	0,04±0,01	0,04±0,01
Rauta (mg/l)	0,09±0,03	0,28±0,23	0,15±0,06	0,46±0,45	0,05±0,02	0,09±0,02	0,13±0,02	0,22±0,24	0,01±0,01	0,07±0,00	0,15±0,15	0,40±0,34
Sameus (FTU)	0,16±0,01	0,55±0,54	0,30±0,09	0,28±0,04	0,11±0,01	0,19±0,04	0,30 ±0,05	0,40±0,16	0,10±0,05	0,21±0,03	0,57±0,52	0,38±0,07
TOC (mg/l)	1,9±0,1	2,8±0,8	2,7±1,2	2,9±1,7	1,9±0,1	1,9±0,1	1,8±0,1	1,8±0,1	2,2±0,2	2,2±0,2	2,0±0,1	2,1±0,1
AOC potential (µg/l)	104±15	53±18	72±29	195±179	89±4	80±28	72±17	97±40	88±1	65±18	91±39	79±38
Kokonais P (µg/l)	2±2	6±3	4±3	5±3	1±0	1±2	1±0	2±3	<2	<2	<2	1±0
MAP (µg/l)	0,22±0,04	0,26±0,07	0,28±0,14	0,43±0,26	0,31±0,09	0,34±0,22	0,24±0,06	0,35±0,14	0,19±0,10	0,19±0,04	0,20±0,09	0,23±0,12
HPC (cfu/ml)	5±7	548±201	565±189	565±736	14±24	405±123	460±148	1143±596	26±36	2938±947	2936±838	6320±3299
Kok.bakt/ml*1000	64±28	77±20	82±35	72±37	71±12	92±28	79±22	102±32	78±13	103±31	95±32	102±37
THM (µg/l)	14±2,8	21±1,4	20±1,3	21±1,3	13±0,7	21±1,6	21±1,8	21±0,6	21±0,9	31±1,9	30±2,2	30±2,5
HAAs (µg/l)	16±1	7,4±0,2	7,6±1	7,1±0,4	9,1±1,9	5,3±1,4	3,7±0,6	3,9±1,4	20±4,9	4,2±2,6	2±0,1	2,9±1,6
AOX (µg/l)	93±15	86±7	81±12	77±9	77±17	69±7	65±6	67±11	96±14	78±3	71±4	73±5
Mutag. (net revert/l)	1620±190	1230±80	1290±110	–	1770±120	1300±75	1260±95	-	1470±120	820±60	780±140	–
Järvenpää	**VL'**	**PP 1**	**PP 3**	**PP 6**	**VL'**	**PP 1**	**PP 3**	**PP 6**	**VL'**	**PP 1**	**PP 3**	**PP 6**
Rauta (mg/l)	<0,1	<0,1	0,54±0,24	0,12±0,03	<0,1	<0,1	0,26±0,08	0,27±0,29	<0,1	<0,1	0,28±0,31	0,38±0,38
Sameus (FTU)	0,06±0,02	0,08±0	4,33±2,97	0,49±0,23	0,07±0,03	0,06±0,01	1,45±0,58	1,19±1,83	0,07±0,04	0,18±0,14	2,38±3,33	1,23±0,82
TOC (mg/l)	1,8±0,1	1,9±0,1	1,5±0,2	1,5±0,1	2,1±0,2	2,1±0,1	2,0±0,3	2,0±0,3	1,9±0,0	2,0±0,3	1,7±0,2	2,1±0,3
AOC potential (µg/l)	17±6	52±31	155±194	22±12	25±11	22±12	39±14	43±32	10±18	47±26	33±5	33±18
Kokonais P (µg/l)	1±1	1±1	2±1	1±1	<2	<2	1±1	<2	<2	<2	1±1	<2
MAP (µg/l)	0,19±0,16	0,64±0,08	0,80±0,15	0,43±0,09	0,08±0,01	0,38±0,12	0,44±0,28	0,37±0,11	0,05±0,07	0,23±0,09	0,54±0,45	0,37±0,16
HPC (cfu/ml)	533±857	277±179	1093±837	788±479	82±45	392±76	1279±885	399±144	53±29	906±684	4137±6177	664±144
Kok.bakt/ml*1000	64±26	93±65	81±18	55±41	67±9	88±24	91±24	69±8	87±27	145±51	150±93	82±1

* = Vääräsaaren vesilaitoksen lähtevä vesi, ' = Jäniksenlinnan vesilaitoksen lähtevä vesi, - = ei määritetty

TOC, kokonaisorgaaninen hiili; AOC, mikrobeille käyttökelpoinen hiili; Kokonais P, kokonaisfosfori; MAP, mikrobeille käyttökelpoinen fosfori; HPC, viljeltävät bakteerit;

Kok. bakt, bakteerien kokonaisluku suoralaskennalla; THM, trihalometaani; HAAs, halogenoidut etikkahapot; AOX, adsorboituvat orgaaniset halogeeniyhdisteet

rättäneet keskustelua taudinaiheuttajien esiintymisestä talousvedessä. Tutkimuksessa ei löydetty kaliki-viruksia eikä koliformisia bakteereita verkoston puhdistuksen yhteydessä otetuista muutamasta saostumanäytteestä. Suomessa ei ole tehty laajamittaisia selvityksiä taudinaiheuttajien esiintymisestä vesijohtoverkostojen saostumissa, mutta kansainvälisissä tutkimuksissa taudinaiheuttajien on todettu säilyvän ja mahdollisesti jopa lisääntyvän vesijohtoverkostojen saostumissa (Percival and Walker 1999).

Savonlinnan aineisto jaettiin vedessä havaitun rautapitoisuuden mukaan ns. rautaepisodeihin, jolloin vedessä oli yli 0,40 mg/l rautaa. Tällöin oletettiin, että putkistosta oli irronnut löyhä saostuma, joka vaikutti veden laatuun. Koko aineistossa tällaisia näytteitä oli 10 %. Tässä ylimmässä kymmenyksessä rautapitoisuus korreloi veden mikrobiravinteiden (hiili ja fosfori) ja bakteerien kokonaislukumäärän kanssa. Sakkaisen veden bakteeripitoisuus oli 3,3 -kertainen ja ravinnepitoisuus 1,5 -kertainen verrattuna veteen, jossa rautaa oli alle 0,40 mg/l. Tulos on mielenkiintoinen, sillä se kertoo siitä, että saostumat sisältävät suuren biomassan lisäksi myös runsaasti mikrobeille käyttökelpoisia ravinteita. Tämä saattaakin selittää sen, miksi lämpötilan noustessa puhdistetulla alueella mikrobikasvu ei ollut yhtä voimakasta kuin puhdistamattomalla vertailualueella.

Kirjallisuus

Baribeau, H., Krasner, S.W. & **Singer, P.C.** 2000. Impact of biomass on the stability of haloacetic and trihalomethanes in a simulated distribution system. In: Proceedings of the American Water Works Association Water Quality Technology Conference . Denver, Colorado.

LeBel, G.L., Benoit, F.M. & **Williams, T.D.** 1997. A one-year survey of halogenated disinfection by-products in the distribution system of treatment plants using three different disinfection processes. Chemosphere 34(11):2301–2317. ISSN 0045-6535.

Percival, S.L. & **Walker, J.T.** 1999. Potable water and biofilms: a review of the public health implications. Biofouling 42(2):99–115. ISSN 0892-7014.

Yhteenveto / Johtopäätökset

Tavoite 1. Parantaako verkoston puhdistus verkostoveden laatua?

Välittömästi puhdistuksen jälkeen veden laatu oli parempi kuin ennen puhdistusta. Savonlinnassa rautapitoisuus palasi kolmen kuukauden kuluttua samalle tasolle kuin ennen puhdistusta, mutta Järvenpäässä vaikutus sekä raudalle että sameudelle oli pysyvämpi. Lyhyellä aikavälillä erityisesti veden laadun vaihtelut olivat vähäisempiä puhdistetulla alueella. Ravinne- ja mikrobirikkaiden saostumien poistaminen voi vähentää mikrobien kasvupotentiaalia verkostossa myös pidemmällä aikavälillä. Kaikkia ongelmia ei kuitenkaan voida poistaa puhdistamalla vain pieni osa vesijohtoverkostoa.

Tavoite 2. Vaikuttavatko kulutustottumukset veden laatuun?

Putkistossa olevat löyhät saostumat lähtivät todennäköisimmin liikkeelle silloin, kun vedenkulutus oli suurimmillaan klo 21. Tämä näkyi veden kohonneina rauta-, sameus-, bakteeri- ja ravinnepitoisuuksina. Kulutustottumukset eivät vaikuttaneet desinfioinnin sivutuotteiden pitoisuuksiin.

Tavoite 3. Miten desinfioinnin sivutuotteet käyttäytyvät verkostossa?

THM-pitoisuus kasvoi verkostossa, mutta HAAs- ja AOX-pitoisuudet sekä mutageenisuus laskivat verkostossa. Verkoston puhdistuksella ei ollut merkitystä muiden desinfioinnin sivutuotteiden pitoisuuksiin kuin dikloorietikkahapon, jonka mikrobiologista hajoamista puhdistus saattoi kiihdyttää.

Tavoite 4. Aiheuttaako puhdistus riskejä kuluttajille?

Verkoston puhdistus ei aiheuttanut terveydellisiä riskejä kuluttajille, sillä verkostosta irtoavista saostumista ei löytynyt ainakaan kaliki-virusta eikä koliformisia bakteereita. Muiden taudinaiheuttajien esiintymistä saostumissa ei tutkittu. Veden bakteeripitoisuudet eivät myöskään olleet koholla välittömästi puhdistuksen jälkeen.

JÄTEVESI UUDELLEEN-KÄYTTÖÖN

– MENETELMÄT JA KUSTANNUKSET

Helvi Heinonen-Tanski

fil.tri, dosentti
Kuopion yliopisto, ympäristötieteiden laitos
E-mail: heinotan@uku.fi
Kirjoittaja on ympäristömikrobiologian lehtori. Hän tutkii ulostemikrobeja ja niiden tuhoamista tavoitteena saada jätevedestä käyttövettä sekä lietteestä ja lannasta lannoitetta ja maanparannusainetta.

Petri Juntunen

Oulun yliopisto, prosessi- ja ympäristötekniikan osasto
E-mail: petri.juntunen@oulu.fi

Ritva Rajala

Kuopion yliopisto, ympäristötieteiden laitos
E-mail: ritva.rajala@uku.fi

Esko Haume

toim.joht.
Tampereen Vesi
E-mail: esko.haume@tampereenvesi.fi

Ari Niemelä

dipl.ins.
Suunnittelukeskus Oy
E-mail: ari.niemela@suunnittelukeskus.fi

Perinteisin menetelmin puhdistettu jätevesi sisältää paljon tauteja aiheuttavia mikrobeja. Suomessa, ja vielä enemmän monissa lämpimämmissä ja kuivemmissa maissa, pintavettä käytetään kuitenkin vihannesten ja kasvien kasteluun. Kasteluun kuluu suurin osa maailman makeasta vedestä. Jos jätevesi puhdistettaisiin paremmin, sitä voitaisiin käyttää kasteluun ja näin lisätä ns. vihreän veden määrää. Parempi puhdistus turvaisi myös virkistyskäytön.

Monissa maissa kasteluvedelle on olemassa suolistomikrobeja koskevia laatuvaatimuksia sen mukaan, käytetäänkö vettä raakana syötävien kasvien vai muiden kasvien kasteluun. Nämä laatuvaatimukset ovat yleensä tiukempia kuin suomalaiset uimaveden laatuvaatimukset (Sosiaali- ja terveysministeriö 1999) tai talousveden raakavedelle asetetut (EEC 75/440). Tiukkoja laatunormeja kasteluvedelle on mm. Kaliforniassa ja Italiassa, joissa sallitaan korkeintaan 2,2 totaalikoliformia/100 ml, kun vettä käytetään raakana syötävien kasvien kasteluun (EPA, 1992 ja Lubello ym., 2002).

Jäteveden mikrobiologisen laadun parantamista tertiäärikäsittelyin kannattaisi meilläkin harkita mm. sisämaassa pitkien reittivesistöjen varrella sekä siellä, missä jätevedenpuhdistamoiden alapuolisilla vesillä on suuri virkistyskäyttöarvo. Keski-Euroopan jokireiteillä hygienisointitarvetta on, sillä nämä joet ovat usein ainoat mahdolliset raakavesilähteet.

Puhdistetun jäteveden hygieenisen laadun parantamistavan valinta

Tekesin Vesihuolto 2001-ohjelman rahoittamana olemme tutkineet puhdistetun jäteveden infektiivisten mikrobien vähentämistä.

Mikrobien lukumäärää jätevedestä voitaisiin alentaa desinfiointikemikaalien tai UV-käsittelyn avulla, joista valitsimme jälkimmäisen vaihtoehdon. Pelkkää UV-käsittelyä jäteveden ter-

tiäärikäsittelynä ovat aikaisemmin tutkineet Suomessa Savolainen (1991) ja Al-Mogrin (1999), heistä ensin mainittu Tampereen ja jälkimmäinen Kuopion jätevedellä. UV-käsittely yksin ei näissä kummassakaan työssä tuottanut vettä, joka olisi täyttänyt laatuvaatimukset (esim. fekaalisia koliformeja 500 kpl/100 ml, kuten meillä uimavesien kansallinen vaatimus on ainakin tällä hetkellä Sosiaali- ja terveysministeriön v. 1999 tekemän päätöksen nojalla). Al-Mogrin (1999) pystyi sitä vastoin tuottamaan jätevedestä kotimaansa Saudi-Arabian kasteluvesinormit täyttävää vettä yhdistämällä hidashiekkasuodatuksen ja UV-käsittelyn.

Koska hidashiekkasuodatus voi olla vaikea toteuttaa mm. suuren maapohjavaatimuksensa tai ilmaston vuoksi, päädyimme tutkimaan yhdistelmää: ensin nopea hiekkasuodatus (pikahiekkasuodatus) ja sitten UV-käsittely. Tässä artikkelissa käsitellään kokeita, jotka tehtiin Tampereen Viinikanlahden jätevedenpuhdistamolla sekä niiden perusteella tehtyä teknillis-taloudellista tarkastelua samaa puhdistamoa ajatellen. Mikrobiologiset ja fysikokemialliset tulokset on julkaistu tarkemmin erikseen (Rajala ym. 2002a ja Rajala ym. 2002b), samoin teknillis-taloudellinen tarkastelu (Juntunen 2002).

Koeajot pohjana käytettyihin laskelmiin

Tampereen koeajot tehtiin talviaikaan. Puhdistamon biologisen osan mitoitusvirtaama on 70 000 m^3/d ja huippuvirtaama oli 4 870 m3/h vuonna 2000. Saman vuoden jäteveden kokonaismäärä oli kaikkiaan 22 Mm^3 (Tampereen vesilaitos 2001). Jäteveden laatuun vaikuttavat asutuksen ohessa kartonkitehdas ja muu teollisuus lisäämällä värilukua, joka jatkopuhdistusta ajatellen alentaa UV-säteilyn läpäisevyyttä. Puhdistetun, jatkokäsittelyyn tulleen jäteveden kokonaisfosforipitoisuus vaihteli koejakson aikana välillä 0,13–0,48 mg/l. Puhdistettu jätevesi sisälsi keskimäärin useita kymmeniä tuhansia ulostemikrobeja 100 ml:ssa.

Jäteveden jatkopuhdistusmenetelmät

Suodattimeen johdettiin aktiivilietevaiheessa puhdistettu jätevesi. Itse suodatin oli jatkuvatoiminen, hiekan raekoko oli 0,9–1,2 mm ja hiekkapatsaan korkeus 3,5 m. Suodattimen pintakuorma oli joko 7,7 tai 6,0 m/h. Jätevettä johdettiin suodattimeen joko sellaisenaan tai lisäämällä siihen koagulantteja, joina toimivat joko PAX XL60 tai PAX 18. Koagulanttien pitoisuudet olivat joko 27, 20 tai 15 mg/l. Suodatettu jätevesi johdettiin UV-reaktoreihin, jotka oli sijoitettu sarjaan. UV-lamppujen säteilytehot olivat täten 16 tai 32 W. Teoreettisesti laskien käytetyt säteilyannokset olivat olleet 900 J/m^2 tai 1 800 J/m^2 kvartsiputken pinnassa, mutta säteily vaimenee nopeasti jätevedessä.

Itse reaktorissa säteilyintensiteetti I laskettiin ensin absorptiovakion, avulla ja lopuksi lasketaan säteilyannos (D).

Tässä a laskettiin seuraavasti:

$$Tr = 100\% \, e^{-\alpha} \qquad (1)$$

Tässä Tr on läpäisevyys (transmittanssi).

Säteilyintensiteetin laskemiseksi on olemassa useita kaavoja. Itse laskennassa käytetään usein tietokoneohjelmia. Koska koeajoissa käytetyt lamput olisivat olleet täyden mittakaavan laitteistoon aivan liian pieniä, käytettiin seuraavaa kaavaa säteilyintensiteetin I laskentaan:

$$I = P\,(1-e^{-\alpha(r-ro)}) \,/\, ([\pi\, l\,]\, \alpha\, (r^2 - r_o^2)] \qquad (2)$$

Tässä kaavassa:

P = lampun teho (W)
α = absorptiovakio (1/cm)
l = lampun pituus (cm)
r = reaktorin säde (cm)
r_o = suojaputken säde (cm)

Laskennassa oletettiin, että teho alenee lampun suojalasin absorption tähden lampun vanhetessa, likaantuessa jne. Tehosta arvioitiin saatavan käyttöön keskimäärin 90%.

Edelleen UV-säteilyannos D laskettiin:

$$D = I\,t \qquad (3)$$

I = intensiteetti
t = viipymä (s)

Sijoittamalla kaavoihin koeajoissa mitatut Tr:n arvot sekä P:n lamppuyhdistelmien tehot (yksi vai kaksi lamppua) mukaan, saatiin säteilyannokset laskettuiksi väliltä 190-340 J/m^2 tai 390–670 J/m^2.

Jatkuvatoimisen suodattimen pesuvesi johdettiin koeajoissa lähtevän veden virtaan, mutta täyden mittakaavan laitoksissa se johdettaisiin takaisin aktiivilietealtaaseen, jolloin suodattimien kuormitus lisääntyisi.

Jätevedestä tutkittiin hygieniaa indikoivat mikrobit, joita olivat fekaaliset koliformit, enterokokit, sulfiittia pelkistävät klostridit sekä somaattiset kolifaagit (isäntänä *Escherichia coli* ATCC 13706) ja FRNA-kolifaagit (isäntänä *E. coli* ATCC 15597), menetelmin, jotka Rajala ja Heinonen-Tanski (1998) ovat tarkemmin kuvanneet.

Tulokset jatkopuhdistuksen kustannuslaskentaan

Kun suodatus tehtiin pelkästään mekaanisena ilman koagulantteja, veden läpäisevyyden arvo parani 8–18 %. Mikrobireduktiot suodatuksesta olivat hyvin pieniä (11–35 %) eikä niillä ole mitään merkitystä. Kokonaisfosforille reduktio oli 30–40 %, mutta liukoiselle fosforille ei tapahtunut juuri mitään.

Sitä vastoin koagulantteja käytettäessä veden läpäisevyyden arvo parani 27–33 % eli siis tasolle 60 %. Tällöin mikrobireduktiot olivat tutkituilla mikrobiryhmillä 88–98 %. Jätevesi olisi fekaalikoliformien suhteen täyttänyt EU:n uimavesidirektiivin ehdottoman rajaarvon laatuvaatimuksen (2 000 FC/100 ml) (76/160/ETY) koagulanteilla tehdyn saostuksen jälkeen. Kokonaisfosforin pitoisuus oli enää vain 0,03–0,08 mg/l, joten reduktio oli siis tässä vaiheessa yli 80 %.

UV-säteilytys paransi vielä lisää mikrobien reduktiota. Tulos oli hyvä kaikissa tapauksissa, mutta selvästi pa-

rempi silloin, kun suodatusvaiheessa oli käytetty koagulantteja läpäisevyyden parantamiseksi. Koeajoissa, jos suodatuksissa käytettiin koagulantteja, käytetyt UV-annokset olivat eräissä tapauksissa jo tarpeettomankin suuria, koska jo pienemmälläkin tutkitulla UV-annoksella mikrobien määrät laskivat alle määritysrajan. Kun käytettiin koagulantteja, suodatutussa ja UV-säteilytetyissä vesissä oli enää hyvin vähän mikrobeja. Geometriset keskiarvot vaihtelivat eri mikrobeille välillä alle 1 (=alle määritysrajan) ja 3 kpl/100 ml tässä vaiheessa. Kalifornian vaatimukset (2,2 totaalikoliformia/100 ml) kaikkeen tarkoitukseen soveltuvan kasteluveden suhteen (EPA 1992) olisi voitu saavuttaa. Koagulanttien käyttö suodatuksen yhteydessä hidasti huomattavasti myös lamppujen likaantumista.

Tampereelta kerätyn aineiston perusteella koagulanttien keskinäinen paremmuus ei selvinnyt, sillä molemmat toimivat varsin hyvin. Isomman aineiston perusteella PAX XL60 on katsottu paremmaksi (Rajala ym., 2002a, b).

Taulukko 1. Suodatinlaitteiston vuotuiset käyttökulut euroina.

Kustannustekijä	Selvitys	Hinta euroina
Työkulut	3 h:n päivittäinen työpanos sivukuluineen	15000
Kemikaali	330 t PAX XL60	72000
Energiaa	Pumppaus- ja huuhtelukulut, 4 m pumppauskorkeus 22 Mm^3/a, hyötysuhde 75%.	28700
Huoltotyöt	Mammut-pumppujen uusiminen 5 vuoden välein, kuoletus	7600
Muut kulut		1700

Taulukko 2. UV-yksikön vuotuiset käyttökulut euroina.

Kustannus	Selvitys	Hinta euroina
Työkulut	2 h:n päivittäinen työpanos sivukuluineen	10000
Lamput	Käyttöaika 10000h, vaihtotarve 0,876/a x 220x 400 e	77000
Energiaa	Kulutusteho 300W -> 578160 kWh/a á 0,07 e/kWh	40500
muut kulut	Mm. elohopealamppujen jätehuolto	10000
	Yhteensä	137500

Taulukko 3. Kokonaiskulut vuotta ja 22 Mm^3 jätevesimäärää kohti euroina laskettuna.

	Kustannus €/a	Kustannus / jätevesi €/m^3
Suodattimen investointikulut	450000	0,0205
Suodattimen käyttökulut	125000	0,0057
UV-yksikön investointikulut	86000	0,0039
UV-yksikön käyttökulut	137500	0,0063
Yhteensä	798500	0,0364 ≈ 0,036

Mitoitusperusteet

Mitoitusta tehtäessä asetettiin tavoitteeksi saada vettä, joka sisältäisi fekaalisia koliformeja enää korkeintaan 200 kpl/100 ml, mikä on mm. USA:ssa asetettu raja-arvoksi vesistöön laskettavalle jätevedelle (AWWOA, 2000).

Viinikanlahden puhdistamon biologisen osan virtaama on 70 000 m^3/d, joten se olisi 20 h:lle jaettuna 3 500 m^3/h. Pintakuormalla 8 m/h suodatuspintaalan tarve olisi noin 440 m^2. Pintakuorma ei kasvaisi vielä liian isoksi, vaikka suodatin joutuu vastaanottamaan myös pesuveden (5–10%) sekä välillä huippukuorman (4 780 m^3/h). Suodatinyksiköt on tässä ajateltu sijoitettaviksi kymmenen suotimen ryhmiin, jotka pannaan omiin betonialtaisiinsa. Altaat on tässä ajateltu osin (noin 2 m) maan alle, jotta pumppauksen nostokorkeustarve olisi neljä metriä. Itse suodatin sijoitettaisiin ulkotilaan, koska jäteveden lämpö on yleensä aina yli 6°C, mutta pesuriyksikkö ja kemikaalisyöttö suojataan jäätymiseltä. Koagulantin annosteluksi ajateltiin 15 mg/l PAX XL60.

UV-reaktorin UV-annostarpeeksi arvioitiin 250 J/m^2, mikä annos tässä lasketulla kaavalla (kaava 2) olisi osoittautunut riittäväksi Tampereen aineistolle. Mitoituksessa virtaamaksi valittiin 4 500 m^3/h sekä UV-läpäisevyydeksi vain 50 % yhden senttimetrin etäisyydellä lampusta. Valittu läpäisevyys on siis aika alhainen ja vähemmän kuin mitä koeajoissa saavutettiin, sekä vähemmän kuin mitä laitteiston valmistaja suosittelee. Jos veden UV-läpäisevyys saadaan suodatuksella paremmaksi, UV:n teho kasvaa ja asetetut raja-arvot on helppo saavuttaa.

Tarvittaisiin 220 kpl korkeaintensiteettistä lamppua, kukin säteilyteholtaan 100 W (sähkönkulutusteholtaan 300 W). Tämä lampputyyppi on siis tehokkaampi kuin tässä pilot-työssä käytetty. Kyseessä on kuitenkin vielä ns. matalapainelamppu, jonka paine ja lämpötila ovat vain vähän korkeammat kuin tavallisissa matalapainelampuissa. Lamppujen säde (r_o) on 1,27 cm ja pituus noin metri. Lamput voidaan sijoittaa veden virtauskanavaan aina 7,5

cm:n etäisyydelle toisistaan (keskipisteestä keskipisteeseen) esim. kahdeksi 10 x 11 lampun matriisiksi. Vesi virtaisi lamppujen pituussuuntaan vesikanavissa, joiden yhteinen poikkipinta-ala olisi tässä noin 1,1 m^2. Veden virtausnopeus siis noin 1,1 m/s eli viipymä UV-lampun vieressä olisi noin 0,9 sekuntia. Viipymäaika olisi siis selvästi vähemmän kuin Tampereen jätevedenpuhdistamolla tehdyssä työssä, mutta säteilyannos olisi samaa luokkaa kuin pilot-ajon pienempi säteilyteho, koska lamppujen intensiteetti on suurempi. Lamppujen toimintaa voidaan valvoa automatiikalla sekä hälytyksellä.

Mitä lisäkäsittely maksaisi?

Seuraavan kustannustarkastelun hinnat perustuvat syksyn 2001 tasoon. Suodattimen investointikuluihin on laskettu itse suodattimet hiekkoineen ja altaineen sekä kompressorit, kanavat ja pumppaamorakennus, pohjatutkimus, sähköt ja automaatiotyöt sekä kemikaalien annostelulaitteisto. Suodatuslaitteiston investointikuluiksi saatiin 4,36 miljoonaa euroa. Vastaavasti UV-laitteiston investointikuluiksi 0,84 miljoonaa euroa. Hinta sisältää lamput pidikkeineen, sähköistyksineen ja ohjauslaitteistoineen sekä vesikanavat.

Käyttökustannukset aiheutuvat työ-, huolto- ja energiakuluista sekä kuluvien osien korvaamisesta uusilla. Taulukkoon 1 on kerätty suodatinlaitteiston vuotuisiksi arvioidut kulut, jotka ovat 125 000 euroa.

Vastaavasti UV-käsittelyn osalta vuotuisista 137 500 euron käyttökuluista on tehty taulukko 2. Kaikki lamput on ajateltu vaihdettavaksi 10 000 tunnin välein. Toki¸ jos jokin lamppu sammuu, se voidaan vaihtaa aikaisemminkin.

Investointikuluille on tässä laskettu takaisinmaksuaikaa 15 vuotta 6 %:n korolla. Tällä perusteella investointikulut ja taulukoista 1 ja 2 lasketut käyttökulut vuotta kohti on laskettu taulukkoon 3. Vuotuisiksi kustannuksiksi saadaan täten noin 800 000 euroa, mikä tekee noin 0,036 euroa/m^3, kun vuotuinen kokonaisjätevesimäärä on 22 Mm^3.

Tulosten tarkastelu

Kokeessa käytetty laitteisto toimi varsin hyvin ja osoitti, että valittu ratkaisu toimisi täyden mittakaavan laitoksessakin.

Kuluista valtaosan aiheuttavat suodattimen investointikulut. Panostaminen yksinomaan UV-laitteistoon ei silti kannata, sillä kuten aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu, pelkkä UV-laitteisto ei tuottanut riittävän puhdasta jätevettä (Savolainen, 1991 ja Al-Mogrin, 1999). Lisäksi ilman suodatuksella koagulanttien kanssa tehtyä esipuhdistusta lamppujen likaantuminen olisi lisännyt selvästi UV-yksikön käyttökuluja. Huomattavaa on, että jäteveden läpäisevyys oli tässä koeajossakin vain noin 60 %, mikä on heikompi kuin laitteiston valmistajan suositus.

Erittäin suureksi eduksi on myös laskettava koagulanttien avulla suodatuksessa saatu suuri fosforin alenema, jolla olisi merkityksensä vesistöjen tilaan. Tulevaisuudessa, jos lupaehdot kiristyvät, tässä voisi olla yksi ratkaisu fosforipäästöjen alentamiseen.

Suodatuksen ja sen jälkeen tehtävän UV-käsittelyn aiheuttama lisähinta ei vaikuta korkealta verrattaessa sitä normaaleihin jätevedenpuhdistuksen ja viemäröinnin kustannuksiin.

Pelkkä UV-laitteisto ei tuottanut riittävän puhdasta vettä.

Jos työssä olisi asetettu alun perin käsitellyn jäteveden hygieeniselle laadulle suurempi hygienisointitavoite, sekin olisi ollut saavutettavissa suhteellisen helposti. Keinot olisivat olleet paremman UV-läpäisevyyden saavuttaminen hiekkasuodatuksessa sekä UV-käsittelyn vesikanavan pidentäminen ja UV-lamppujen määrään lisääminen.

Kirjallisuus

Al-Mogrin S. M. 1999. Ultraviolet disinfection of filtered effluents for reuse in irrigation. A possibility to increase water resources in Saudi-Arabia. Kuopio University Publications C 103.

AWWOA. Overview of wastewater disinfection. 2000. http://AWWOA.ab.ca/Acrobat/UV%20Disinfection.pdf

EEC. 1975. Community Directive concerning the Drinking Water Production (75/440/EEC).

EPA. 1992. Guidelines for water reuse. EPA/625/R-92/004.

Euroopan Yhteisöjen Neuvosto. 1975. Neuvoston direktiivi uimaveden laadusta (76/160/ETY).

Juntunen, P. 2002. Pikasuodatuksen ja ultraviolettikäsittelyn teknillis-taloudellinen käyttökelpoisuus jäteveden tertiäärikäsittelymenetelmänä. DI-työ. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto, Oulun yliopisto.

Lubello, C., Caretti, C. & **Gori, R.** 2002. Comparison between PAA/UV and H2O2 disinfection for wastewater reuse. Water Science and Technology. Water Supply 2 (1) : 205–212.

Prominent 2002. UV-laitteiston tuote-esittely. http://www.prominent.de (21. 1. 2002)

Rajala, R. & **Heinonen-Tanski, H.** 1998. Survival and transfer of faecal indicator organisms of waste water effluents in receiving lakewater. Water Science and Technology, 38 (12): 191–194.

Rajala, R., Niemelä, A. & **Heinonen-Tanski, H.** 2002a. Puhdistetun jäteveden infektiivisten mikrobien vähentäminen UV- säteilyllä hiekkasuodatuksen jälkeen. Loppuraportti valmisteilla.

Rajala, R.L, M. Pulkkanen, M. Pessi & **H. Heinonen-Tanski.** 2002b. Removal of Microbes from Municipal Wastewater Effluent by Rapid Sand Filtration and Subsequent UV Irradiation. IWA World Water Congress, Melbourne April 7–12, 2002.

Savolainen, R. 1991. Ultraviolet disinfection of secondary effluents. Aqua Fennica 21: 211–218.

Sosiaali- ja terveysministeriö. 1999. Päätös yleisten uimarantojen veden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista annetun Sosiaali- ja terveysministeriön päätöksen muuttamisesta 41/1999.

Tampereen vesilaitos. 2001. Vuosikertomus

Tampereen vesi. 2002. Toimintakertomus 2001. http://www.tampere.fi/vesi/pdf/toimintakertomus_2001.pdf

LIUKOISUUS-TESTEISTÄ RISKIEN-HALLINTAAN KAIVOSYMPÄRISTÖSSÄ

Marja Liisa Räisänen

fil.tri
Geologian tutkimuskeskus, maankäyttö ja ympäristö
E-mail: marja.raisanen@gsf.fi

Maria Nikkarinen

fil.lis.
Geologian tutkimuskeskus, maankäyttö ja ympäristö
E-mail: maria.nikkarinen@gsf.fi

Olli Lehto

fil.lis.
Geologian tutkimuskeskus, geolaboratorio
E-mail: olli.lehto@gsf.fi

Soile Aatos

fil.kand.
Geologian tutkimuskeskus, maankäyttö ja ympäristö
E-mail: soile.aatos@gsf.fi
Kirjoittajat ovat kaivannaisteollisuuden ympäristövaikutusten arviointiin erikoistuneita tutkijoita.

Kaivannaisteollisuuden kivi- ja mineraalijätteiden ympäristö- ja kaatopaikkakelpoisuuden arviointi on tarpeen tehdä kokonaisvaltaisesti ottamalla huomioon kivi- ja mineraaliaineksen geokemiallinen koostumus, potentiaaliset rapautumisreaktiot eri kivilajiympäristöissä ja läjitysalueen maaperäympäristössä sekä suotovesihavainnot kaivosalueilta. Geologian tutkimuskeskuksessa on parin viime vuoden aikana selvitetty kaivannaisteollisuuden ympäristövaikutuksia ja haittojen minimointiin liittyvää luontaista puhdistusta kosteikko- ja suoympäristössä. Uuttomenetelmien vertailututkimus osoitti, etteivät liukoisuustestit (CEN:n prEN 12457-3-testi, TCPL-testi, kolonnitesti NEN 7343) sovellu mittaamaan rautasulfidipitoisten jätteiden hapettumisesta aiheutuvaa happamuuden kasvua ja haitallisten aineiden potentiaalista liukenevuutta läjitysalueilla.

Kaivannaisteollisuuden sivukivien (raakkukivien) ja rikastushiekkojen koostumus ja haitta-ainepitoisuudet vaihtelevat taloudellisesti hyödynnettävän geologisen muodostuman mukaan. Suurin kemiallinen ympäristöriski liittyy niihin sivutuotteisiin, jotka sisältävät runsaasti rautasulfideja (= rautakiisuja) ja muita raskasmetallisulfideja. Rautasulfidien hapettumisessa syntyy happoja, jotka liuottavat haitallisia alkuaineita muista raskasmetalli-

Taulukko 1. Mustaliuskeen, kiilleliuskeen, vuolukiven, graniitin ja rikastushiekan rikki-, rauta-, arseeni-, nikkeli- ja sinkkipitoisuudet. Selitykset: – ei analyysitulosta, < pitoisuus on alle määritysrajan.

	SAMASE-toimenpide raja-arvo1)	Mustaliuske	Kiilleliuske	Vuolukivi	Graniitti	Rikastushiekka
As mg/kg	60	<10	<10	<10	<10	<10
Ni mg/kg	200	191	73	661	<5	17
Zn mg/kg	700	359	94	14	79	1084
S %	-	6,60	0,06	0,05	0,01	4,20
Fe %	-	12,83	8,53	6,10	3,76	9,24*)

*) mittaus tehty ICP-AES-laitteella kuningasvesiuutosta
1) Ympäristöministeriö 1994

sulfideista ja silikaattimineraaleista (Nordstrom & Alpers 1999). Tästä ilmiöstä käytetään englannin kielistä kirjainlyhennelmää AMD (acid mine drainage) tai ARD (acid rock drainage). Useimpien luonnonkivien (tarve- tai rakennuskivien) ja teollisuusmineraalimalmien louhinnassa ja jatkojalostuksessa syntyvät sivutuotteet eivät juuri sisällä sulfideja tai haitallisia alkuaineita.

Tällä hetkellä kaivannaisteollisuuden sivutuotteiden sijoituskelpoisuuden arvioinnissa sovelletaan päätöksiä kaatopaikoista (VNp 861/97/muutos 1049/99, liite 2). Vuoden 2002 alussa voimaan tulleen ympäristöministeriön asetuksen (1129/2001) mukaan ongelmajätteeksi luokitellaan sulfidimalmin käsittelyssä syntyvät happoa muodostavat rikastushiekat ja muut rikastushiekat, jotka sisältävät vaarallisia aineita, sekä vaarallisia aineita sisältävät kiviainekset. Mikäli sivutuotteen haitta-aineiden kokonaispitoisuudet ylittävät maaperälle annetun tavoitearvon (ohjearvon), on haitta-aineiden liukoisuusominaisuudet selvitettävä tarkemmin ennen sivutuotteen sijoittamista pysyvän jätteen tai tavanomaisen jätteen kaatopaikalle (ks. Mroueh ym. 2000, Wahlström ym. 2001). Pitoisuuksien vertailutasona käytetään saastuneen maan raja-arvoja (Ympäristöministeriö 1994, Assmuth 1997).

Kaatopaikkakelpoisuuden määrittämiseksi suositellaan käytettäväksi standardoituja liukoisuustestejä (Wahlström & Laine-Ylijoki 1996, Mroueh ym. 2000, Wahlström ym. 2001). Liukoisuustestien oletetaan ilmentävän jätteiden aiheuttamaa ympäristökuormitusta lyhyellä ja pitkällä aikavälillä, eri haitta-aineiden maksimiliukoisuuksia sekä jätteiden liukoisuusominaisuuksien muuttumista esim. eri pH- ja redox-olosuhteissa.

Tutkimuksen tavoitteet ja näytemateriaalit

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli arvioida Suomessa käytössä olevien liukoisuustestien soveltuvuutta kaivannaisteollisuuden sivutuotteiden, sivukivien ja rikastushiekkojen ympäristö- ja kaatopaikkakelpoisuuden määrittämiseen (Räisänen ym. 2002). Erityisesti lähtökohtana oli selvittää standardimenetelmien soveltuvuus rautasulfidipitoisten jätteiden ympäristöhaittojen pitkäaikaisvaikutusten arviointiin. Lisäksi pohdittiin vaihtoehtoisia tutkimusmenetelmiä rikastushiekka- ja kivijätteiden läjityksen ympäristövaikutusten ennakoitiin.

Aiemmissa liukoisuustestitutkimuksissa on selvitetty testien soveltuvuutta prosessiteollisuudesta syntyville erilaisille tuhkamateriaaleille, rautasakka- ja sinkki-rautasuolajäännöksille sekä teräskuonille (Vaajasaari ym. 1997 ja 1998, Wahlström & Laine-Ylijoki 1997). Sen sijaan vertailutietoa sivukivistä ja rikastushiekoista ei ole ollut käytettävissä. Tässä tutkimuksessa kokeeseen valittiin ravistelutesteistä CEN-testi (prEN 12457-3 1999) ja EPA:n TCLP-testi (EPA 1990) sekä hollantilainen kolonnitesti (NEN 7343 1995). Näytteinä olivat rautasulfidipitoinen rikastushiekka ja mustaliuskemurske, vähän sulfideja sisältävä kiilleliuskemurske ja vuolukivijauhe sekä kiisuton graniittijauhe (taulukko 1).

Liukoisuustestien käyttökelpoisuuden arviointi

Testien tulokset osoittivat, ettei liukoisuustestien uutto-olosuhteissa käynnistetä rautasulfidien hapettumista. Uutteiden raskasmetallien liukoisuudet olivat vähäisiä (taulukko 2, Räisänen ym. 2002). Tulokset olivat ristiriidassa vanhojen, osittain hapettuneiden läjitysalueiden suotovesikoostumuksiin (taulukko 3, kuva 1). Suotovesien raskasmetallipitoisuudet havaintokohteissa olivat 10-100 000 kertaa suuremmat kuin testeissä uuttuneet metallipitoisuudet. Esimerkiksi mustaliusketta sisältävän kivikasan ja osittain hapettuneen rikastushiekkakasan suotovesien pH oli kolme, kun testeissä rikastushiekasta ja mustaliuskeesta saadun uutteen pH vaihteli välillä 8 ja 6 (Räisänen ym. 2002).

Liukoisuustesteissä alkuaineita liukeni jauhatuksessa heikentyneiden mineraalien sidospinnoilta (Räisänen ym. 2002). Tämä näkyi esimerkiksi graniittinäytteen tuloksissa. Graniitista liukeni enemmän rautaa kuin rautasulfidi-

Kuva 1. Suotovesialue sivukivikasan rinneluiskan helmassa. (Kuva M. L. Räisänen)

pitoisesta mustaliuskeesta (kuva 2). Tulokset osoittivat, että happamella vesiuutolla ei varsinaisesti mitata kiven rapautuvuutta, vaan esikäsittelyn vaikutusta alkuaineiden irtoavuuteen mineraaleista (Keller ym. 1963).

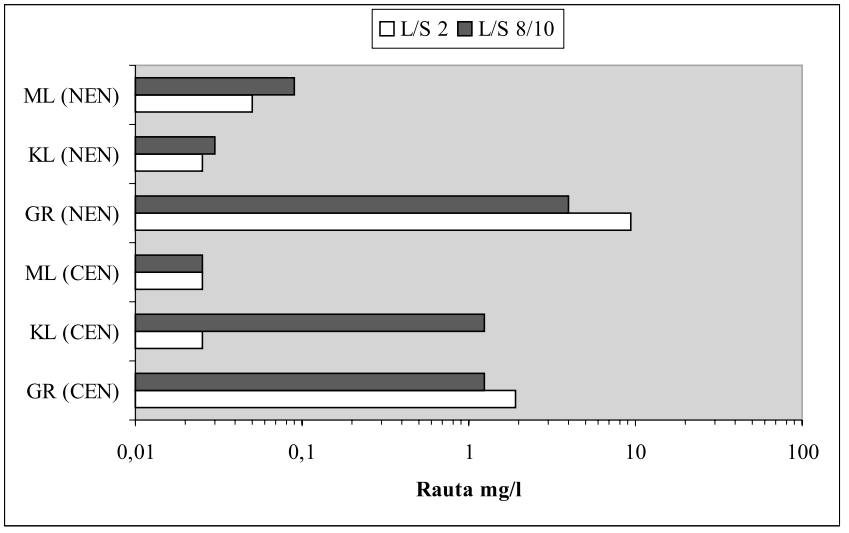
Liukoisuustestitulokset osoittivat myös, että hapan vesiuutto voi antaa kiviainekselle liian suuren potentiaalisen haitta-arvion suhteessa aineksen sisältämään haitta-ainevarastoon. Tutkimuksessa olleesta luonnonkivijalostamon vuolukivijauheesta mitattiin kolonnitestissä viranomaisten esittämän suositusarvon ylittävä arseenipitoisuus (taulukko 2). Näytteen arseenin kokonaispitoisuus alitti kuitenkin Assmuthin (1997) ehdottaman saastuneen maan uuden ohjearvon 13 mg/kg (vrt. taulukko 1).

Pohdintaa ja päätelmät

Kiviaineksille tehdyt liukoisuustestitulokset osoittivat, että testien avulla voidaan mitata murskatun tai jauhetun kiviaineksen puskurointikykyä, joka määräytyy rapautumattoman silikaattiaineksen tai karbonaattien liukenevuudesta happamaan uuttoliuokseen (Räisänen ym 2002). Murskauksessa syntyvien uusien pintojen vaikutuksesta liuoksen puskurointiominaisuuksiin on raportoitu myös aiemmissa teräskuonille tehdyissä tutkimuksissa (Wahlström & Laine-Ylijoki 1997).

Sen sijaan kiviaineksen rautakiisujen hapon tuottokykyä ja siihen liittyvää puskurointipotentiaalia ei voida mitata testeissä käytetyillä uuttoliuoksilla (Räisänen ym. 2002). Raskasmetallien pitkäaikaisen liukenevuuden otaksutaan kuvastuvan liukoisuustesteissä kasvattamalla uuttosuhdetta L/S 2:sta L/S 10:een. Tämän tutkimuksen tulokset eivät kuitenkaan tukeneet tätä oletusta. Uuttosuhteen kasvu ei lisännyt happamuutta ja siihen liittyvää haitallisten metallien liukoisuutta tutkituilla materiaaleilla.

Luonnossa rautasulfidien hapettuminen käynnistyy ilman hapen, sadeveden ja bakteeritoiminnan yhteisvai-



Kuva 2. Raudan liukenevuus (mg/l) graniitti (GR), kiilleliuske (KL) ja mustaliuske (ML) -näytteissä CEN- ja kolonnitestien (NEN) uuttoliuoksiin. Kiinteä aines-uuttoliuossuhde (L/S) oli CEN-testissä 2 ja 8 ja kolonnitestissä 2 ja 10.

Taulukko 3. Rikastushiekkakasan ja mustaliusketta sisältävän kivikasan suotovesien koostumuksen vertailu rikastushiekan ja mustaliuskeen kolonnitestissä liuenneisiin arseeni-, nikkeli-, sinkki-, rauta- ja rikkipitoisuuksiin (mg/l). Läjitysalueiden ikä vaihtelee 20–30:een vuoteen.

		Rikastushiekka			Mustaliuskevaltainen kivikasa		
		Suotovesi	Kolonnitesti		Suotovesi	Kolonnitesti	
			L/S 2	L/S 10		L/S 2	L/S 10
As	mg/l	0,0043	0,0003	0,0002	0,0286	0,0001	0,0001
Ni	mg/l	1,71	0,0168	0,0027	168	0,0225	0,0212
Zn	mg/l	8,33	0,0185	0,0043	510	0,0062	0,0081
Fe	mg/l	293	<0,03	<0,03	228	0,05	0,09
S	mg/l	935	20,1	108	3170	688	5,62

Taulukko 2. Arseeni-, nikkeli-, sinkki-, rikki- ja sulfaattipitoisuudet (mg/kg) liukoisuustesteissä. L/S = kiinteä aines-uuttoliuossuhde.

		TCLP (EPA) (EPA)	CEN-test i (prEN 12457-3)		Kolonnitesti (NEN7343)		Liukoisuusraja-arvot (Emax)*	
		L/S = 20	L/S = 2	L/S = 10	L/S 2	L/S 10	Suomi	Hollanti
Rikastushiekka								
As	mg/kg	0,6	<0,02	<0,02	0,0004	0,0004	0,14	0,88
Ni	mg/kg	1,14	<0,1	<0,1	0,033	0,027	1,2	1,1
Zn	mg/kg	14,5	<0,1	<0,1	0,03	0,034	1,5	3,8
S	mg/kg	1056	938	1230	1376	1077	–	–
SO_4^{2-}	mg/kg	–	–	–	2819	2753	1500	750
Mustaliuske								
As	mg/kg	<0,4	<0.1	<0,1	0	0	0,14	0,88
Ni	mg/kg	<0,2	<0,1	<0,1	0,05	0,21	1,2	1,1
Zn	mg/kg	<0,2	<0,1	<0,1	0,012	0,07	1,5	3,8
S	mg/kg	127	59,9	107	44,4	56,1	–	–
SO_4^{2-}	mg/kg	–	–	–	91	131	1500	750
Kiilleliuske								
As	mg/kg	<0,4	<0,1	<0,1	0,0016	0,003	0,14	0,88
Ni	mg/kg	3,18	<0,1	<0,1	0,03	0,13	1,2	1,1
Zn	mg/kg	1,15	<0,1	<0.1	0,008	0,045	1,5	3,8
S	mg/kg	84,8	34,9	46,3	36,8	49,5	–	–
SO_4^{2-}	mg/kg	–	–	–	107	141	1500	750
Vuolukivi								
As	mg/kg	<0,4	0,2	0.9	0,17	0,82	0,14	0,88
Ni	mg/kg	31	<0,1	0,2	0,13	0,18	1,2	1,1
Zn	mg/kg	0,75	<0,1	<0,1	0,014	0,0017	1,5	3,8
S	mg/kg	238	309	339	245	284	–	–
SO_4^{2-}	mg/kg	–	–	–	755	798	1500	750
Graniitti								
As	mg/kg	<0,4	<0.1	<0,1	0,01	0,02	0,14	0,88
Ni	mg/kg	0,26	<0.1	<0,1	0,01	0,018	1,2	1.1
Zn	mg/kg	4,60	<0.1	0,20	0,18	0,33	1,5	3,8
S	mg/kg	15,4	12,9	16.3	15,1	21,6	–	–
SO_4^{2-}	mg/kg	–	–	–	37,4	59,0	1500	750

* maanrakennuskäyttö, päällystämätön

kutuksesta pitkällä aikavälillä, mitä tutkimuksessa olleet liukoisuustestit eivät pystyneet simuloimaan. Rautasulfidien liukeneminen ei varsinkaan alkuvaiheessa ole pH:n kontrolloima, mikä on keskeinen tekijä liukoisuustestien sovelluksissa. Yhtenä parannusvaihtoehtona olisi hapettaa sulfidit voimakkaalla hapettimella, esimerkiksi vetyperoksidilla ennen varsinaista uuttamista. Tämän menetelmän heikkoutena on rautaoksidien saostuminen ja miten se estetään uuton aikana (Fletcher 1981). Ongelmallisinta on kuitenkin bakteeritoiminnan simuloiminen ja siihen liittyvänä silikaattien liukeneminen, joilla on keskeinen rooli ARD-ilmiössä (Nordstrom & Alpers, 1999).

Sulfidipitoisten kaivannaisteollisuuden sivutuotteiden pitkän aikavälin ympäristökelpoisuuden testaukseen on kehitelty mineralogiseen koostumukseen ja mineraalien rapautumisreaktioihin perustuvia laskentamalleja (White ym. 1999). Laskentamallien heikkoutena on rapautumisreaktionopeuden ja -suunnan ennustamisen epävarmuus pitkällä ajalla (Filipek ym. 1999). Esimerkiksi rapautumisessa irtoavista metalleista osa voi sitoutua rapautumisreaktioissa syntyviin saostumamineraaleihin läjitysalueen sisällä, jolloin suotovesien haitta-ainekuormitus vähenee (GTK:n julkaisematon läjitysalueiden suotovesiaineisto). Toisaalta osa metalleista (esim. nikkeli) voi kulkeutua suotovesissä ympäristöön huolimatta saostumisesta ja vajovesien neutraloitumisesta läjitysalueen sisällä (Heikkinen ym. 2002).

Standardimittausmenetelmien käyttö olisi selkeätä ja yhtenäistä ympäristövaikutusten arvioinnissa. Tämän selvityksen mukaan ne eivät kuitenkaan anna luotettavaa kuvaa kaivannaisteollisuuden sivutuotteiden kaatopaikka- ja ympäristökelpoisuudesta.

Vaihtoehtona ehdotamme kokonaisuuden huomioivaa arviointimenettelyä. Siinä sivukivien ja rikastushiekkojen happokuormitus- ja haitta-aineiden liukoisuuspotentiaali arvioitaisiin kivitai mineraaliaineksen kokonaiskoostumuksen ja mineralogian perusteella. Lisäksi arvioinnin perustana olisi tietämys potentiaalisista rapautumisreaktioista eri kivilajiympäristöissä, läjitysalueen maaperäympäristön ominaisuudet ja suotovesihavainnot kaivosalueilta. Haitta-aineiden liukenevuus niistä luonnonkivistä, jotka eivät sisällä rautasulfideja, on erittäin vähäistä pitkälläkin aikajänteellä. Tällaisten kivien (esim. graniitti, kalkkikivi) ympäristöhaitan arviointiin riittäisi mineralogian tuntemus. Näiden kivien testaaminen liukoisuustesteillä on turhaa.

Kirjallisuus

Assmuth, T. 1997. Selvitys ja ehdotuksia ympäristövaarallisten aineiden pitoisuuksien ohjearvoiksi maaperässä. Helsinki: Suomen ympäristökeskus, Suomen ympäristökeskuksen moniste 92, 56 s.

EPA 1990. Method 1311 Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCPL). EPA. Federal Register. Rules and Regulations. Vol 55, no 61, 1990. pp. 11863–11877.

Filipek, L. H., Wyngarden, T. J., Papp, C. S. E. & Curry, J. 1999. A multi-phased approach to predict acid production from porphyry copper-gold waste rock in an arid Montane environment. Teoksessa: L. H. Filipek, and G. S. Plumlee (toim.) The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits. Part B: Case studies and research topics. Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology, Volume 6B, 433–445.

Fletcher, W.K. 1981 (toim.). Analytical methods in geochemical prospecting. Volume 1. Teoksessa: G.J.S. Govett (toim.) Handbook of exploration geochemistry. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 255 s.

Heikkinen P.M., Korkka-Niemi, K., Lahti, M., Salonen V.-P. 2002: Groundwater and surface water contamination in the area of the Hitura nickel mine, Western Finland. Environmental Geology 42, 313–329.

Keller, W. D., Balgord, W.D. & Reesman, A. L. 1963. Dissolved products of artificially pulverized silicate minerals and rocks: Part I. Journal of Sedimentary Petrology 33, 191–204.

Mroueh U.-M., Mäkelä E., Wahlström M., Kauppila J., Sorvari J., Heikkinen P., Salminen R., Juvankoski M. ja Tammirinne M., 2000. Sivutuotteet maarakenteissa. Käyttökelpoisuuden osoittaminen. Helsinki: TEKES, Tekologiakatsaus 93/2000, 87s.

NEN 7343, 1995. Leaching characteristics of building materials and solid waste materials – Leaching tests – Determination of leaching characteristics of inorganic components from granular and building waste materials. Delft: Nederlands Normalisatie-Instituut, 11 p.

Nordstrom, D. K. & Alpers, C .N. 1999. Geochemistry of acid mine waters. Teoksessa: G. S. Plumlee and M. J. Longsdon (toim.) The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits. Part A: Processes, Techniques and Health Issues. Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology, Volume 6A, 133–160.

prEN 12457-3, 1999. Characterization of waste - Leaching - Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges. Part 3: two stage batch test at a liquid to solid ratio of 2 and 8 l/kg with particle size below 4 mm (without or with size reduction). Brussels: European Committee for Standardization, 21 p.

Räisänen, M. L., Nikkarinen, M. Lehto, O. & Aatos, S. 2002. Liukoisuustesti- ja heikkouuttomenetelmät kaivannaisteollisuuden sivutuotteiden ympäristö- ja kaatopaikkakelpoisuuden määrittämisessä. Espoo: Geologian tutkimuskeskus, Kuopion yksikkö, raportti S44/0000/1/2002, 21 s.

Vaajasaari, K., Dahlbo, H. & Pönni, S. 1997. Liukoisuustestit jätteiden kaatopaikkakelpoisuuden määrittämisessä. Väliraportti. Hämeenlinna: Hämeenlinnan ympäristökeskus. Alueelliset ympäristöjulkaisut no 47, 76 s.

Vaajasaari, K., Dahlbo, H., Joutti, A., Schultz, E., Ahtiainen, J., Nakari, T., Pönni, S. & Nevalainen, J. 1998. Liukoisuus- ja biotestit jätteiden kaatopaikkakelpoisuuden määrittämisessä. Loppuraportti. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 202, 84 s.

Wahlström, M., Laine-Ylijoki, J. 1996. Standardoidut liukoisuustestimenetelmät maarakentamisessa hyötykäytettävien materiaalien ympäristötestauksessa. Espoo: Valtionteknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 1801, 44 s.

Wahlström, M., Laine-Ylijoki, J. 1997. Ympäristötekijät ja niiden tutkiminen maarakentamisessa hyötykäytettävien materiaalien liukoisuustutkimuksissa. Espoo: Valtionteknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 1852, 78 s.

Wahlström, M., Laine-Ylijoki, J., Walavaara, M. & Vahanne, P. 2001. Teollisuusjätteiden kaatopaikkakelpoisuus. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT tiedotteita 2086, 69 s.

White III, W. W., Lapakko, K. A. & Cox, R. L. 1999. Static-test methods most commonly used to predict acid-mine drainage – Practical guidelines for use and interpretation. Teoksessa: G. S. Plumlee and M. J. Longsdon (toim.) The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits. Part A: Processes, Techniques and Health Issues. Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology, Volume 6A, 325–338.

Ympäristöministeriö 1994. Saastuneet maa-alueet ja niiden käsittely Suomessa. Saastuneiden maiden tutkimus- ja kunnostusprojektin loppuraportti. Ympäristöministeriö Muistio 5/1994.

KARJATALOUDEN VAIKUTUS SUOJUJOEN VEDEN LAATUUN

Dina Judina

E-mail: dina.judina@onego.ru
Kirjoittaja on jatko-opiskelija Petrozavodskin valtionyliopistossa Karjalassa ja toimii myös hydrobiologian opettajana.

Suuren nautakarjatilan valumajätteiden vaikutusta Äänisjärveen laskevaan Suojujokeen selvitettiin yhtenä sulavesikautena. Joen alajuoksuun kohdistuu voimakas maatalouden hajakuormitus, ja veden laatu on huonontunut viimeisten neljänkymmenen vuoden aikana. Tutkimustilan kohdalla havaittiin valumavesien aiheuttama jokiveden laadun huononeminen, joka ilmeni Venäjän luonnonvesille sallittujen raja-arvojen ajoittain korkeana ylittymisenä. Yksittäisen karjatilan osuutta joen kokonaiskuormituksesta ei voitu kuitenkaan selkeästi osoittaa, koska suurivirtaamaisessa joessa tapahtuu myös voimakasta itsepuhdistumista.

Suojujoki, venäjäksi **Shuja,** on Karjalan tasavallan suurimpia jokia. Se virtaa eteläisen Venäjän-Karjalan läpi ja laskee Äänisjärveen aivan Petroskoin kaupungin yläpuolella. Kokonaisvesimäärän monen vuoden keskiarvo on 3,06 kuutiokilometriä. Veden ominaisuudet, kemiallinen laatu ja käyttötarve ovat erilaiset ylä-, keski- ja alajuoksulla. Maaperä ja sen soveltuvuus maanviljelyyn on vaihtelevaa; maataloutta ja teollisuutta on eniten alajuoksulla. Vettä käytetään juomavetenä koko joen pituudelta.

"Agrofirm Zaitzev" -niminen valtion omistama osakeyhtiömuotoinen maatila on entinen sovhoosi ja tyypillinen venäläinen suurtila. Sen talouskeskus on Suojujoen partaalla (kuva 1.) Vesinäytteet otettiin kohdista 1–3. Suojun kylätaajama sijaitsee tilan vieressä. Matkaa Karjalan tasavallan pääkaupunkiin Petroskoihin on asfalttitietä 15 km. Sorapintaiset tilustiet ja pihat muuttuvat kuraisiksi sadesäällä.

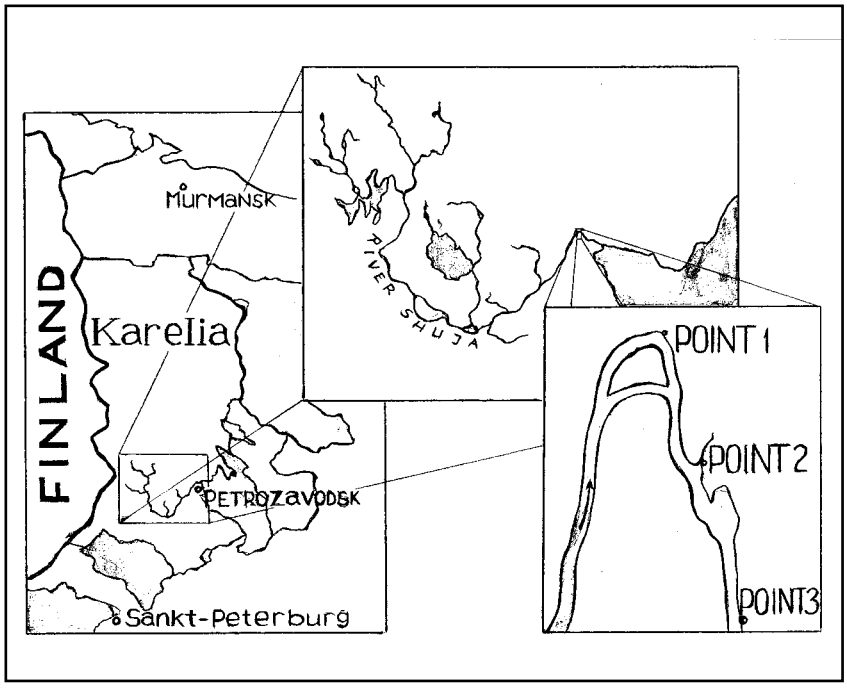
Tilalla on 950 lypsylehmää ja hiehoa sekä 1050 vasikkaa yhdeksässä navetassa. Pihapiirissä on lisäksi huolto- ja toimistotiloja, kaksi heinäsuojaa, väkirehunvalmistus- ja konehuoltorakennus, eläinlääkärintoimisto, vesitorni sekä säilörehulaakasiiloja. Tutkimusajankohtana ei valmistettu väkirehua eikä tehty koneiden huoltotöitä. Avoimet tiivispohjaiset lantavarastot ovat noin kahden kilometrin päässä tilan rakennuksista ja joesta. Navetoiden likavesien valuminen jokeen on pyritty estämään maavallilla, joka kuitenkin on rikkoutunut. Laitumet ympäröivät navetoita ja talouskeskusta. Viljapellot ovat kauempana, mutta myös niiden valumat saattavat suuntautua jokeen.

Vesinäytteet otettiin 19.5.–27. 11.1997 viikoittain kolmesta kohdasta jokea. Keskimmäinen näytteenottokohta oli navetoiden lähellä jokeen tulevan salaojan laskukohdassa, missä myös maavalli oli rikkoutunut. Jätevesien välitön vaikutus jokiveteen arvioitiin tästä kohdasta otettujen näytteiden perusteella.

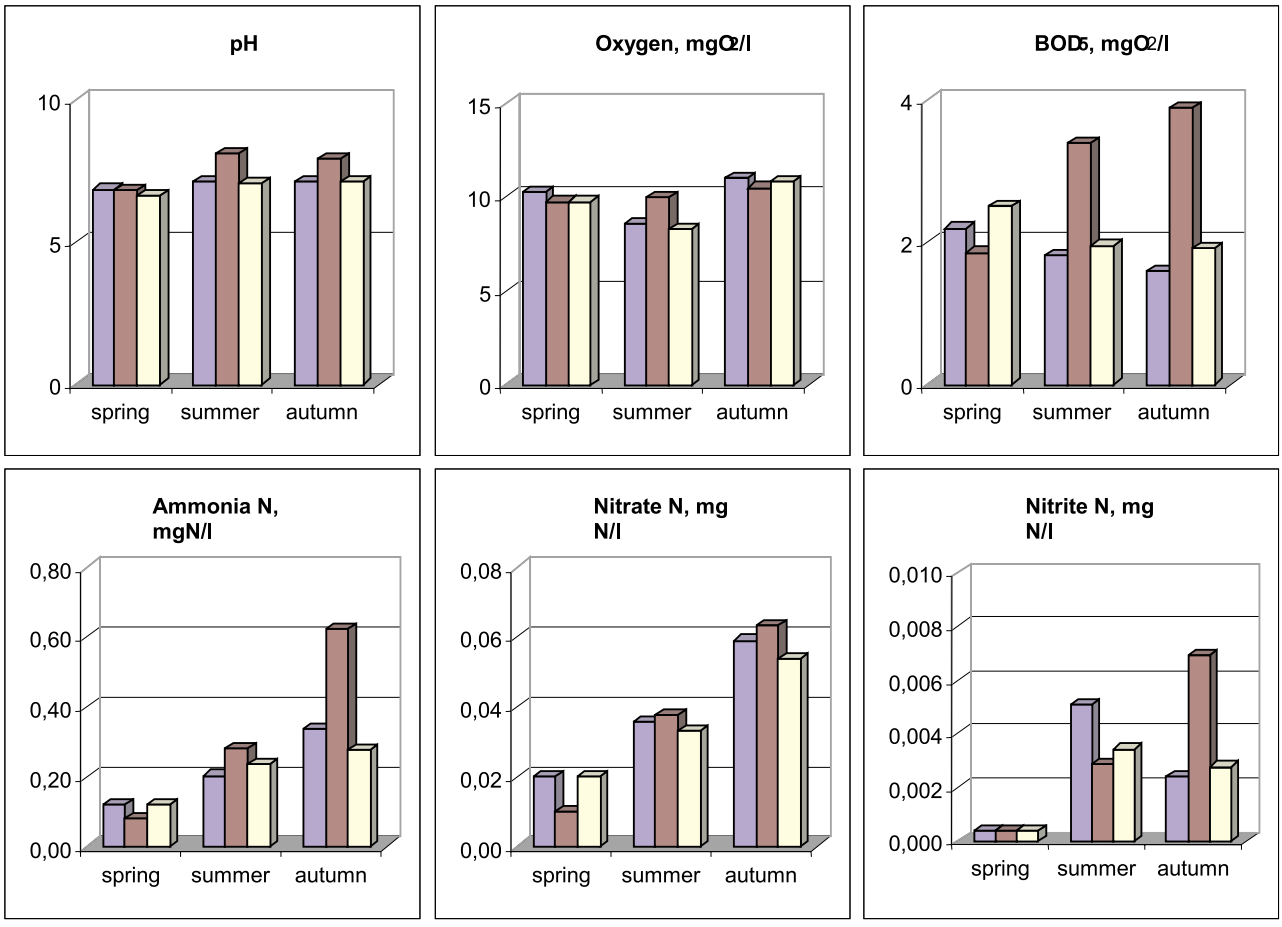
Muut kohdat olivat 500 metrin päässä ylä- ja alavirtaan. Alempien kohteiden tuloksia verrattiin ylimmän eli oletettavasti puhtaimman veden tuloksiin.

Näytteet tutkittiin fysikokemiallisesti. Kaikki analyysit tehtiin 24 tunnin kuluessa näytteenotosta. Veden lämpötila mitattiin näytettä otettaessa. Tutkitut parametrit olivat: pH, liuennut happi, biokemiallinen hapen tarve (BOD_5), ammoniumtyppi, nitraattityppi, nitriittityppi ja fosfaatit.

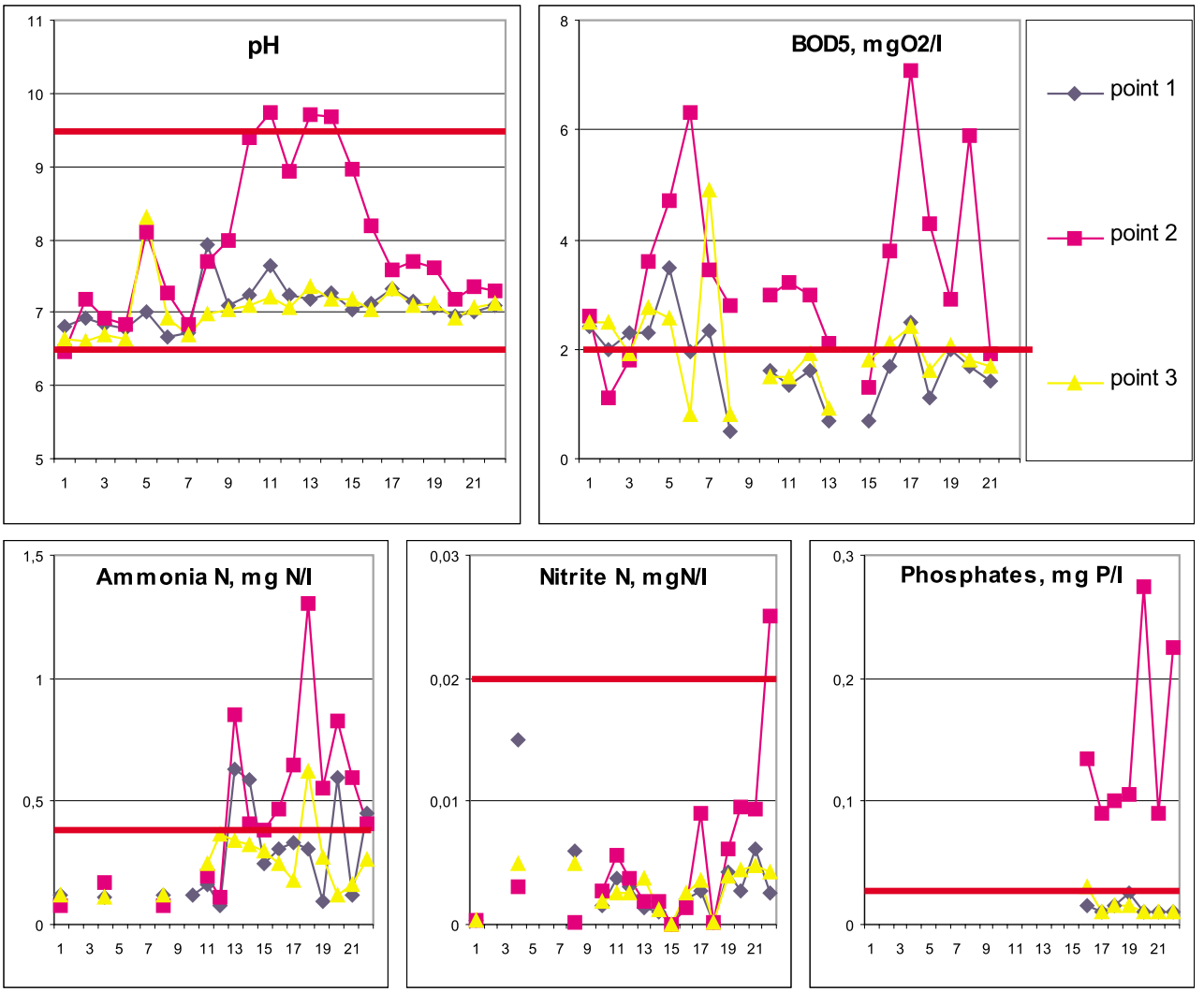
Happamuus mitattiin laimentamattomasta näytteestä elektrometrisesti. Liuennut happi määritettiin jodimetrisesti. BOD_5 mitattiin amperimetrimetodilla. Vesinäytettä inkuboitiin viisi päivää ja BOD_5 saatiin laskemalla ensimmäisen ja viidennen päivän välinen happipitoisuuden erotus. Ammoniuntyppi, nitraattityppi ja nitriittityppi analysoitiin kolorimetrisesti vesifiltraatista. Myös fosfaatit määritettiin kolorimetrisesti.



Kuva 1. Suojujoki ja kolme näytteenottopaikkaa (points 1–3). Zaitsevin karjatila kohdassa 2.



Kuva 2. Vesinäytteiden ph- ja BOD_5-tasojen sekä happi- ja typpipitoisuuksien kausivaihtelut näytteenottopaikoissa.



Kuva 3. pH- ja BOD_5-tasojen sekä ammonium- ja nitriittitypen ja fosforin konsentraatiot verrattuna korkeimpiin sallittuihin raja-arvoihin (MAC).

Tulokset

Vesinäytteiden parametrien kausivaihtelut näkyvät kuvassa 2. Kaksi ensimmäistä näytettä otettiin toukokuussa, jolloin joen vesimäärä oli runsaimmillaan kevään sulamisvesien ansiosta. Viimeiset näytteet otettiin syyssateiden alettua.

Happamuus oli matalin keväällä ja korkein kesällä; pH-arvojen muutokset olivat suurimpia keskimmäisessä näytteenottopaikassa.

Veden happipitoisuus oli matalin kesällä ja korkein syksyllä. Keskimmäisen paikan muutokset olivat vähäisimmät.

BOD_5 oli suurimmillaan keväällä ylimmässä ja alimmassa paikassa ja aleni kohti syksyä, kun taas keskimmäisessä näytteenottopaikassa se oli pienimmillään keväällä ja lisääntyi huomattavasti kesällä ja oli suurimmillaan syksyllä.

Ammoniakki-, nitraatti- ja nitriittipitoisuudet lisääntyivät keväästä syksyyn kaikissa näytteenotopaikoissa. Keskimmäisessä paikassa nitriittiä ei ollut lainkaan keväällä, sen konsentraatio oli matala kesällä, jolloin se oli 2,4 kertaa pienempi kuin muissa paikoissa, kunnes se nopeasti syksyllä lisääntyi viisinkertaiseksi kesään verrattuna.

Fosfaattianalyysi tehtiin vain syksyllä, joten kausivaihteluita ei voitu nähdä.

Vertailu korkeimpiin sallittuihin pitoisuuksiin

Karjatalouden vaikutusta veden laatuun arvioitiin vertaamalla tuloksia luonnonvesille annettuihin raja-arvoihin. Venäjällä sallitut korkeimmat arvot (MAC) on esitetty taulukossa 1.

Kuva 3 osoittaa, kuinka ja missä havaittiin saastuttavaa vaikutusta. Kaikki MAC-tasosta poikkeavat arvot osoit-

Taulukko 1. Venäjällä sallitut luonnonvesien laatua osoittavien parametrien korkeimmat sallitut raja-arvot (MAC)

Parametri	Raja-arvo
pH	6.5-8.5
BOD_5	I2.00
AmmoniaN, mg N/	0.39
NitraattiN, mg N/l	9.10
NitriittiN, mg N/l	0.02
Fosfaatti, mg P/l	0.025

Taulukko 2. Suojujoen veden laatu 1997 verrattuna aikaisempiin tutkimustuloksiin.

Tutkimuskohta	pH	O_2	BOD_5	$N_{amm.}$	$N_{nitriit.}$	$N_{nitraat.}$	Fosfaat.
Alajuoksu							
mittaukset 1959			0.13	0.000	0.025	0.033	
mittaukset 1960			0.13	0.000	0.020	0.046	
mittaukset 1986	6.8	10.9	1.5	0.17	0.006	0.740	0.060
Omat mittaukset 1997							
-kohta 1	7.03	9.9	1.85	0.22	0.003	0.041	0.018
-kohta 2	7.60	10.0	3.01	0.34	0.005	0.041	0.138
-kohta 3	6.94	9.6	2.16	0.20	0.003	0.039	0.018
-keskiarvo (1,2,3)	7.19	9.85	2.34	0.25	0.004	0.040	0.058
-keskiarvo (1 ja 3)	6.99	9.8	2.01	0.21	0.003	0.040	0.058

tavat veden laadun huononemista. Sallitut pH-arvot ylittyivät kohdassa 2 elosyyskuussa. BOD_5 -arvo ylittyi usein kaikissa kohdissa; maksimiylitys havaittiin kohdassa 2 (3,0–3,6 -kertainen), kohdissa 1 ja 3 se oli myös korkea (1,75- ja 2,49-kertainen). Kesän loppupuoliskolla MAC-arvon heikko ylittyminen oli jatkuvaa.

Nitraattien MAC-taso on korkea ja sen ylitystä ei havaittu. Nitriittitypen MAC-arvo ylittyi vain kerran elokuussa kohdassa 2; tämä typen muoto on peräisin muista lähteistä kuin nitraatit ja siksi se ei anna kovinkaan paljoa informaatiota typpisaastumisesta. Kiinnostavin on ammoniumtyppi, joka osoittaa tuoretta, äskettäin tapahtunutta saastumista. MAC-taso ylittyi jatkuvasti elokuun 25. päivästä lähtien maksimin ollessa 3,6 -kertainen. Syyssateet alkoivat elokuun lopussa ja ne huuhtoivat lisää jätevesiä jokeen. Fosfaattien MAC-tason ylitys oli myös huomattava kohdassa 2; maksimilisäys oli 11,2 -kertainen.

Veden lämpötilan suhde happi- ja pH-arvoihin

Veden kulloisenkin lämpötilan suhdetta sen happi- ja pH-arvoihin pyrittiin seuraamaan. Veden lämpötilan noustessa siihen liukenevan hapen määrä väheni kaikissa näytteenottokohdissa. BOD_5 ja pH kohosivat kohdassa 2, mutta muissa kohdissa ei korrelaatiota voitu osoittaa.

Karjatilan kokonaisvaikutus Suojujoen veden laatuun

Karjatilalta peräisin olevan jätevesikuormituksen vaikutusta Suojujokeen selvitettiin vertaamalla tilan yläpuolisten ja alapuolisten näytteenottopaikkojen (1 ja 3) tuloksia. Niistä voitiin havaita, että:

- happamuus ja liuenneen hapen määrä pysyi tilan alapuolella samanlaisena kuin se oli yläpuolella
- BOD_5 lisääntyi vähän
- typpipitoisuus (nitriitti, nitraatti ja ammonium) jopa aleni tilan alapuolella
- fosfaattitaso pysyi samanlaisena

Mitään suoranaista kielteistä vaikutusta koko Suojujoessa virtaavan veden fysikokemialliseen laatuun ei siis tässä yhden karjatilan yhden sulavesikauden tutkimuksessa paljastunut. Voidaan tehdä johtopäätös, että joessa tapahtui jokseenkin voimakasta itsepuhdistumista.

Suojujoen veden laadun muutokset viimeksi kuluneiden 38 vuoden aikana

Tutkimuksessa oli mahdollista käyttää nyt saatuja tuloksia ja vuosina 1959–1960 ja 1986 mitattuja parametreja osoittamaan veden laadun dynamiikkaa pitkällä aikavälillä. Nämä arvot ovat taulukossa 2. Niistä näkyy viimeisten 38 vuoden kehitys. Tänä aikana voidaan havaita tapahtuneen joitakin muutoksia. Ammoniumtypen määrä ylitti edellisten tutkimusten tason. Nitriittityppeä ei havaittu 1959–1960 lainkaan, mutta 1986 sen määrä oli suurempi kuin 1997. Sama tendenssi oli nitraattitypellä ja fosfaateilla. pH ja BOD_5 olivat korkeampia 1997 kuin 1986, liuennut happi oli matalampi.

Pohdinta

Maatalous on luonnonvesien hajakuormituksen pahimpia aiheuttajia. Pellot, laitumet, kotieläintuotanto, metsätalous, kaupungistunut maaseutuasutus ja ilmanlaskeumat tuottavat ravinteita veteen enemmän kuin vesistön yksittäiset kuormittajat (Shuyler 1993, Koubratova ym. 1996, Summers ja Pech 1997, Zylicz 1997). Maatalouden tuottaman ravinnekuormituksen määrä riippuu: 1) maan käytöstä, esimerkiksi metsätalouden osuus koko maa- ja metsätalouden aiheuttamasta kuormituksesta on vähäinen (Baker ja David 1993, Shuyler 1993), 2) tilalla viljellyistä kasvilajeista (Kourbatova ym. 1996) ja tilan tuotantoeläinlajeista (Koluchev ja Bytakov 1991), sekä 3) lannan ja muun eläinperäisen jätteen käsittelystä ja varastoinnista (Golosov ja Pributkov 1978, Mironenko ym. 1978, Vorochilov ym 1991, Sajapin 1991, Sundell 1997).

Tämän tutkimuksen kohteeksi valittiin tyypillinen karjatila Suojujoen alajuoksulta, koska tämä osa jokea on eniten altistunut maatalousperäisille ravinteille. Tila sijaitsee alavalla maalla joen

varrella kylätaajaman yläpuolella. Paikka on vesiensuojelualuetta. Ympäristönsuojelua ei ole otettu huomioon tilaa perustettaessa ja niinpä ympäristöhaitat ovat ilmeiset. Ravinteiden suora huuhtoutuminen karjasuojien viemäreihin ja niistä jokeen on todennäköistä. Rehun sekä lannan ja muiden eläinperäisten jätteiden varastoista saattaa valua likavesiä jokeen. Tutkimusaikana karja laidunsi joka päivä vapaasti joen lähettyvillä. Laitumelle jääneen lannan ja virtsan vaikutusta maaperän kautta jokeen ei tunneta, mutta myös se voi lisätä ravinnekuormitusta.

Suojujoen valuma-alueella 1986 tehty tutkimus (Karelia 1991) osoitti, että kotieläintilat olivat veden likaantumisen aiheuttajia. Useimmat alueen tilat (84 %) sijaitsivat vesiensuojelualueella. Ne olivat silloin sekä nautakarja-, sika- että turkiseläintiloja. Puhdistetun veden määrä jokiin ja järviin tiloilta virtaavasta jätevedestä oli noin 85 % ja puhdistamattoman 9 %. Puhdistamattoman jäteveden laimentamiseen tarvittiin 10 % joen vuosittaisesta virtaamasta. Vuoden 1986 lukujen mukaan kotieläintilojen jätevedet toivat Suojujokeen 6,1 tonnia typpeä ja 225 tonnia fosforia vuoden avovesikauden aikana.

Vuonna 1989 tehty tutkimus (Petrozavodsk:Karelia 1991) osoitti, että Suojujoen alajuoksulla veden kokonaistyppi ja -fosfori ylittivät silloin 2,2-kertaisesti luonnonvesien sallitut raja-arvot, kun ne ylä- ja keskijuoksulla ylittyivät 1,9- ja 1,2-kertaisesti. Kuormitus oli pääasiallisesti ihmisen aiheuttamaa. Veden antropogeenisen kuormituksen osuus oli yli 50 % kokonaistypestä ja -fosforista, 33-42 % ammoniumtypestä ja noin 90 % nitraateista. Maatalous oli ravinnepäästöjen päälähde. Alueen maataloustuotannon rakenne on vuoden 1989 jälkeen suuresti muuttunut. Sika- ja turkiseläintilat ovat hävinneet lähes kokonaan ja karjatilojen määrä vähentynyt. Tämä selittänee nitriitti-, nitraatti- ja fosfaattikuormituksen vähenemisen. Eläinmäärä tilaa kohti on kuitenkin vielä suuri. Vesien suojaamiseksi tehdyt rakennelmat ovat saattaneet rikkoutua, kuten on tapahtunut tutkimustilan maavallille, eikä välttämättömiä korjauksia ole tehty.

Ravinnepitoisuuksien muutokset riippuvat vuodenajoista ja vedessä jatkuvasti tapahtuvista prosesseista. Keväällä ja syksyllä valumat ovat suuria, ja valumien nitraattipitoisuus on korkea. Kesällä ja talvella valumat ovat vähäisiä, mutta veden ravinnepitoisuuden vaihtelut ovat erilaisia. Kesällä typpeä ja fosforia kuluu biologisiin prosesseihin ja konsentraatiot eivät kohoa kovin korkeiksi. Talvella typpeä vapautuu myös sedimentistä ja sitä siirtyy ylempiin vesikerroksiin, minkä seurauksena typpikonsentraatio nousee. Nitraattityppi lisääntyy keväästä lähtien ja on maksimissaan talvella, jolloin vähäinen eliöperäisten aineiden hajoaminen vähentää sen kulutusta. Nitriitit ovat maksimissaan syksyllä eli silloin, kun eliöperäiset aineet hajoavat. Talvella vedessä ei ole lainkaan nitriittejä. Ammoniumtypen konsentraatiot ovat enimmillään syksyllä ja talvella, kun fytoplanktonin kulutus on vähäistä. Tämän tutkimuksen tulokset ovat yhdensuuntaisia näiden aikaisemmin tehtyjen havaintojen kanssa (McDowell ym. 1989, Baker ja David 1993, Shuyler 1993, Sundell 1997, Valpasvuo-Jaatinen ym 1997).

Vesien ravinnekuormituksen lähteiden tarkkaa määritystä on vaikea tehdä. Kourbatova et al. kuvaa maatilan tai maataloutta harjoittavan yksikön vuorovaikutteisten toimintojen kokonaisuudeksi ja viittaa vaikeuksiin erottaa esimerkiksi keinolannoitteiden käyttö muista tilan toiminnoista. Shyler huomauttaa, että eläinjätteistä peräisin oleva vesien kuormitus saattaa näyttää matalalta, koska se on peräisin vain eläintilojen jätevesistä eikä aiheuttajaksi lueta mukaan lantaa, joka levitetään viljapelloille ja luetaan viljelysmaasta peräisin olevaksi kuormittajaksi.

Kirjallisuus

Baker, D.B. 1993. The lake Erie agroecosystem program: water quality assesments. Agriculture, Ecosystems and Environment 46: 197–215.

Golosov, I.M. & **Pributkov, P.F.** 1978. Sanitarno-gigienicheskaja ocenka i ispolzovanie vody v zhivotnovodste (Sanitary-hygienic estimation and using of water in animal breeding). Moscow, Rosselhozizdat. 119 p.

Koluchev, N.M. & **Bytakov S.J.** 1991. Ekologicheskoe sostojanie krupnyh zhivotnovodcheskih kompleksov i puti ego uluchenija (Ekological condition of large animal breeding complexes and the ways of their improvement). Novosibirsk Nauka. Sibirsky vestnic selskohozaistvennoi nayki 4.

Koubratova, M., Mincoff, N. & **Vutkova, D.** 1996. Management of agricultural non-point source pollution: a fuzzy optimation aproach. Actahortic. Leuen, Belgium, International Society for Horticultural Science 406: 451–461.

Logan, T.D. 1993. Agricultural best management practices for water pollution control: current issues. Agriculture, ecosystems and environment 46 (1/4): 223–231.

McDowell, L.L., Willis G.H. & **Murphree C.E.** 1989. Nitrogen and phosphorus yields in run-off from silty soil in the Missisippi Delta, USA, Agriculture and Environment 25: 119–137.

Mironenko M.A., Jarmolic I.F. & **Kovalenko A.V.** 1978. Sanitarjana ohrana vneshnei stredy v raionah krupnyh promushlennyh zhivotnovodheskih kompleksov (Sanitary protection of environment in the areas of large industrial animal breeding complexes). Moscow, Medicina. 170 p.

Novikov U.V 1990. Metody issledovanija kachestva vody vodoemov (Methods of water quality researches for lakes and rivers). Moscow, Medicina.

Poverhostnue vodu ozern-rechnoi sistemu Shuji v yslovijah antropogennogo vodzeistvija (Surface waters of lake-river system of Shuja in antropogenig influence conditions). 1991. Petrozavodsk, Karelia. 212 p.

Sajapin V.P. 1991. Veterinarno-sanitarnue i gigienicheskie aspekty ispolzovanija zhivotnovodcheskih stokov v selskom hozaistve (Veterinary-sanitary and hygienic aspects of animal sewages using in agriculture). Moscow, VNIITElagroprom. 49 p.

Shuyler, L.D. 1993. Non-point source programs and progress in the Chesapeake Bay. Agriculture, ecosystems and environment 46: 217–222.

Summers, R.N. & **Pech, J.D.** 1997. Nutrient and metal content of water, sediment and soil amended with bauxite residue in the catchment of the Peel Inlet and Harvey Estuary, Western Australia, Agriculture, ecosystems and environment 64: 219–232.

Sundell, B. 1997. The future of agriculture in the Baltic Sea Region: sustainable agriculture and new tecnological development. Ambio 26: 448–455.

Valpasvuo-Jaatinen, P., Rekolainen, S. & **Latostenmaa, H.**1997. Finnish agriculture and its sustainability: environmental impacts. Ambio 26: 448–455.

Vorochilov, U.I., Dubibayev, S.D. & **Erbanova, A.N.** 1991. Zhivotnovodcheskie komplexy i ohrana okruzhauchei sredy (The animal breeding complexes and the environmental protection). Moscow, Agropromizdat. 170 p.

Zylicz. T. 1997. Agriculture and environment in Poland. Ambio 26: 445–447.

VAIHTELU EI AINA VIRKISTÄ

– MIELIPITEET JÄRVISÄÄNNÖSTELYISTÄ SELVITETTY

Mika Marttunen

tutkimusinsinööri
Suomen ympäristökeskus
E-mail: mika.marttunen@ymparisto.fi
Kirjoittajalla on pitkäaikainen kokemus vesistösäännöstelyihin liittyvissä kysymyksissä.

Ranta-asukkaiden ja virkistyskäyttäjien suhtautuminen vesistösäännöstelyihin on usein hyvin kielteistä. Esimerkiksi Päijänteellä ja Kemijärvellä noin 80 % ranta-asukkaista on tyytymättömiä nykyiseen säännöstelyyn. Paineet säännöstelykäytäntöjen tarkistamiseen ja haittojen lieventämiseen ovat siksi huomattavat. Artikkelissa kuvataan syitä tyytymättömyyteen ja pohditaan keinoja sen vähentämiseksi.

Tuuli Saari

tekn. yo., korkeakouluinsinöörioppilas
Suomen ympäristökeskus
E-mail: tuuli.saari@ymparisto.fi
Kirjoittaja opiskelee Teknillisessä korkeakoulussa vesitaloutta ja työskentelee osa-aikaisena Suomen ympäristökeskuksen vesivarayksikössä.

Suomessa on noin 300 säännösteltyä järveä. Suuri osa säännöstelyistä on toteutettu tai suunniteltu yli 40 vuotta sitten. Tuona aikana vesistön käytössä ja yhteiskunnan arvostuksissa on tapahtunut huomattavia muutoksia. Myös tietämys säännöstelyn ekologisista vaikutuksista ja haittojen vähentämisestä on lisääntynyt merkittävästi (Marttunen ja Hellsten 1997, Marttunen et al. 2001). Paineet jo toteutettujen säännöstelyjen tarkistamiseen ja haittojen vähentämiseen ovatkin olleet voimakkaat. Säännöstelyjen kehittämistä on vauhdittanut vesilain tarkistaminen vuonna 1994, mikä on antanut aikaisempaa selvästi paremmat mahdollisuudet jo toteutettujen säännöstelyjen tarkistamiseen (Vähäsöyrinki 1997). Suomen ympäristökeskuksessa vuonna 2000 tehdyn kyselyn mukaan säännöstelyjen kehittämishankkeita oli toteutettu tai käynnissä yli 80 kpl.

Säännöstelyjen vaikutuksia ja kehittämistarpeita on arvioitu kaikissa merkittävimmissä säännöstellyissä järvissämme kuten Päijänteellä, Inarilla, Oulujärvellä, Kallavedellä ja Kemijärvellä. Useimmissa hankkeissa on selvitetty myös ranta-asukkaiden ja virkistyskäyttäjien mielipiteitä säännöstelyistä postikyselyillä. Suomen ympäristökeskuksessa laadittiin kesällä 2002 yhteenveto näiden kyselyjen tuloksista. Sa-

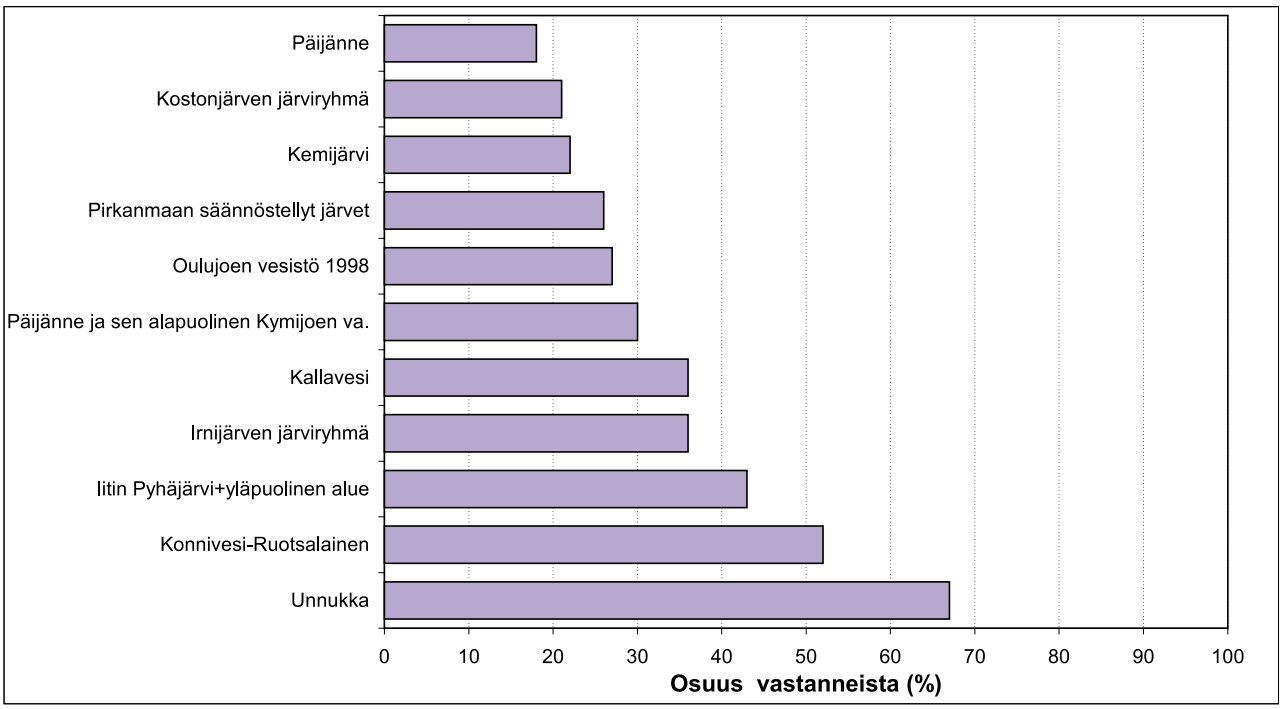
Kuva 1. Konnevesi keväällä 1998.

malla analysoitiin, missä määrin käyttäjien suhtautuminen säännöstelyyn riippuvat säännöstelyn ankaruudesta ja missä määrin sitä selittivät muut tekijät. Tutkimus oli osa Suomen ympäristökeskuksen johdolla tehtävää ja Suomen Akatemian rahoittamaa PRIME-REG-hanketta, jonka keskeisenä tavoitteena on konkreettisen sisällön määrittäminen ekologisesti, sosiaalisesti ja taloudellisesti kestävälle säännöstelylle.

Tutkimusaineiston muodostivat vuosina 1990–2002 tehdyt yhdeksän kyselytutkimusta, joiden piirissä oli yhteensä 38 järveä (taulukko 1). Tulosten vertailtavuutta paransi se, että suuressa osassa tutkimuksia käytettiin Päijänteen säännöstelyn kehittämisselvityksen yhteydessä laadittua kyselylomaketta, jota oli tarvittaessa muokattu paikalliset olosuhteet huomioonottavaksi. Kyselyjen kohderyhmänä olivat vesistöjen käyttäjät, useimmiten taajama-alueiden ulkopuolella sijaitsevien rantakiinteistöjen omistajat. Tutkimusaineistossa olivat hyvin edustettuina niin eteläsuomalaiset kuin pohjoissuomalaisetkin järvet. Säännöstelyjen voimakkuudessa oli huomattavia eroja; vuosivaihtelu oli pienin Unnukassa, 0,2 metriä, ja suurin Kemijärvessä, 7 metriä. Joukossa oli vertailun vuoksi myös muutama säännöstelemätön järvi.

Taulukko 1. Kyselytutkimusten vesistöt, kyselyn ajankohta sekä otanta ja vastausprosentti.

Tutkimusten järvet	Ajankohta	Otanta / Vastausprosentti
Pirkanmaan keskeiset järvet: Vanajavesi, Tampereen Pyhäjärvi, Näsijärvi, Kulo-, Rauta- ja Liekovesi sekä säännöstelemättömät Iso-Tarjannevesi ja Toisvesi	2000	3216 / 36 %
Oulujoen vesistö: Oulujärvi, Kiantajärvi, Vuokkijärvi, Ontojärvi, Lentua, Lammasjärvi, Nuasjärvi, Rehjänselkä ja Kiimasjärvi	1990 1998	2858 / 38 % 1858 / 54 %
Päijänne ja sen alapuolinen Kymijoen vesistöalue: Päijänne, Konnivesi, Ruotsalainen, litin Pyhäjärvi sekä säännöstelemätön Keitele	1997	2511 / 79 %
Inari	1993	1552 / 70 %
Kemijärvi	2001	700 / 62 %
Kallavesi ja Unnukka: Kallavesi, Unnukka, Koirus-Sotka, Maaninkajärvi, Juurusvesi, Akonvesi ja Suvasvesi	2000	387 / 39 %
Iijoen vesistön latvajärvet: Irnijärven järviryhmä (Irni-, Polo- ja Kerojärvi) ja Kostonjärven järviryhmä (Koston-, Kynsi- ja Tervajärvi)	1998	194 / 72 %
Iso-Pyhäntäjärvi	2001	116 / 60 %



Kuva 2. ”Vesistön säännöstelyssä on nykyisin pystytty hyvin sovittamaan yhteen eri tahojen erilaiset ja osittain ristiriitaiset tavoitteet”. Niiden vastanneiden osuus, jotka olivat samaa mieltä väitteen kanssa.

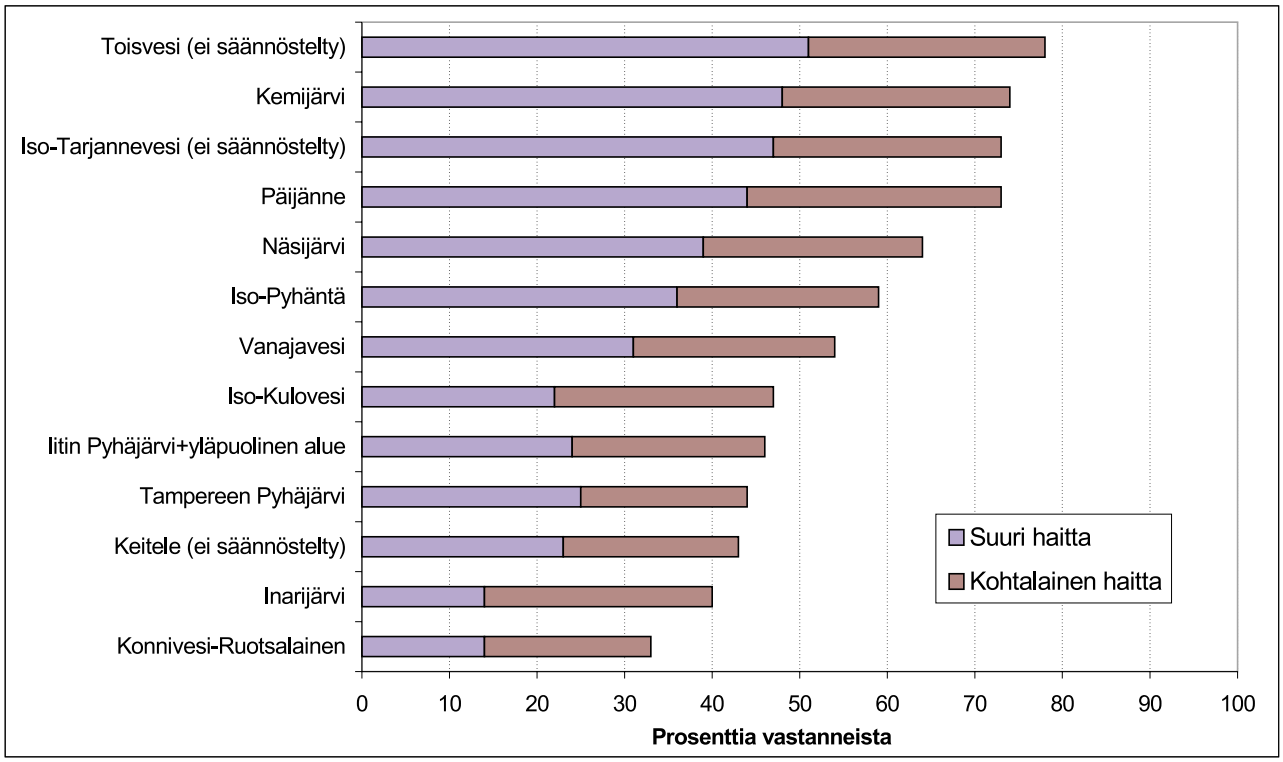
Virkistyskäyttäjät tyytymättömiä vedenkorkeuksiin

Yleisesti ottaen ranta-asukkaat ja vesistön virkistyskäyttäjät suhtautuvat säännöstelyihin varsin kielteisesti. Tyytymättömimpiä olivat Pohjois-Suomen voimakkaasti säännösteltyjen järvien kuten Kostonjärven ja Kemijärven vastaajat (kuva 2). Myös Päijänteen ranta-asukkaat suhtautuivat säännöstelyyn erittäin kielteisesti. Heistä vain viidennes oli samaa mieltä väittämän ”vesistön säännöstelyssä on nykyisin pystytty hyvin sovittamaan yhteen eri tahojen erilaiset ja osittain ristiriitaiset tavoitteet” kanssa. Tyytyväisimpiä oltiin Unnukalla ja Konnivesi-Ruotsalaisella, joille tyypillistä on vedenkorkeuden vähäinen vuosivaihtelu ja kesällä lähes samalla tasolla pysyvä pinta. Esimerkiksi Unnukalla kesävedenkorkeuden vaihtelu on pienentynyt luonnonmukaisesta merkittävästi ja nykyistä säännöstelyä voidaankin vähäisen vaihtelun vuoksi kutsua ”uima-allas-säännöstelyksi”.

Sopimattomat vedenkorkeudet koettiin lähes poikkeuksetta suurimmaksi vesistön virkistyskäytön haitaksi. Ainoastaan voimakkaasti kuormitetuilla Tampereen Pyhäjärvellä ja Iso-Kulovedellä leväkukinnat koettiin sopimattomia vedenkorkeuksia suuremmaksi ongelmaksi. Eniten sopimattomista vedenkorkeuksista kärsittiin Toisvedellä, Kemijärvellä, Iso-Tarjannevedellä ja Päijänteellä. Näillä järvillä 73–78 %:lle vastaajista oli aiheutunut haittaa sopimattomista vedenkorkeuksista (kuva 3). Kemijärven sijoittuminen tähän ryhmään ei ole yllättävää, sillä kyse on Suomen voimakkaimmin säännöstellystä luonnonjärvestä. Sen sijaan Toisveden, Iso-Tarjanneveden ja Päijänteen osalta tulos on hämmentävä. Toisvesi ja Iso-Tarjannevesi ovat pirkanmaalaisia säännöstelemättömiä järviä ja Päijänteen säännöstelyä voidaan pitää suhteellisen lievänä. Iso-Tarjanneveden ja Toisveden kohdalla osa selityksestä löytyy kuivasta kesästä ja tutkimusajankohdan poikkeuksellisen alhaisista vedenkorkeuksista. Tapausta Päijänne käsitellään tarkemmin tuonnempana.

Liian matalista vedenkorkeuksista oli aiheutunut huomattavasti enemmän haittaa kuin liian korkeista. Tämä oli odotettu tulos, koska säännöstelyillä on alennettu kevättulvia laskemalla vedenpintaa kevättalvella luonnonmukaista alemmaksi. Säännösteltyjen ja säännöstelemättömien järvien välillä oli selvä ero. Säännöstellyillä järvillä liian matalat vedenkorkeudet olivat haitanneet useimmiten kevättalvella ja keväällä, säännöstelemättömillä järvillä liian matalat vedenkorkeudet aiheuttavat sen sijaan enemmän haittaa loppukesällä ja syksyllä. Tulos olisi ollut toisenlainen, jos kyselyn toteutusvuonna olisi poikkeuksellisen vähävetisyyden sijasta ollut poikkeuksellisen märkää. Työssä kävi myös ilmi, että säännösteltyjen ja säännöstelemättömien järvien käyttäjät voivat nähdä säännöstelyn aivan eri tavalla. Säännöstellyillä järvillä säännöstely nähdään usein syynä koettuihin haittoihin, kun taas säännöstelemättömillä järvillä säännöstely voidaan nähdä ratkaisuna koettuihin haittoihin ja sen aloittamista pidetään jopa toivottavana (Nieminen ja Lehtimäki 2002).

Tutkimuksessa vertailtiin sopimatto-



Kuva 3. Sopimattomista vedenkorkeuksista suurta tai kohtalaista haittaa kokeneiden osuus vastanneista.

mista vedenkorkeuksista aiheutuvan haitan suuruutta kyselyajankohdan todellisiin vedenkorkeuksiin. Tarkastelussa käytettiin sekä kyselyvuoden vedenkorkeuksia että 20 vuoden havaintojen keskiarvoja. Tulosten perusteella vedenkorkeuksia kuvaavilla mittareilla voitiin selittää varsin hyvin haitan kokemista. Esimerkiksi kevättalven liian matalista vedenkorkeuksista haittaa kokeneiden osuus kasvoi lähes samassa suhteessa kuin vedenkorkeuden alenema talvella (kuva 4). Eniten ”ennustetusta” poikkesivat Kemijärvi ja Irnijärvi. Kemijärvellä tyytymättömyys oli vähäisempää ja Irnijärvellä suurempaa kuin talvialeneman perusteella olisi voitu arvioida.

Monia syitä tyytymättömyyteen

Säännöstelykäytäntö on vain yksi, mutta tämän tutkimuksen perusteella keskeinen ranta-asukkaiden tyytymättömyyteen vaikuttava tekijä. Sen lisäksi sopimattomista vedenkorkeuksista aiheutuvan haitan kokeminen riippuu mm. käyttörannan laadusta. Tyytymättömimpiä ovat loivien ja pehmeäpohjaisten rantojen käyttäjät. Virkistyskäytön määrällä ja ajoittumisella on myös oma merkityksensä. Esimerkiksi pilkkijä voi kokea kevättalven matalat vedenkorkeudet hyvin haitallisina, mutta tyypillinen kesämökkeilijä ei välttämättä edes huomaa pinnan kevättalvista kuoppaa. Selvityksessä kävi myös ilmi, että joillakin järvillä oli samanaikaisesti koettu haittaa sekä liian matalista että korkeista vedenkorkeuksista.

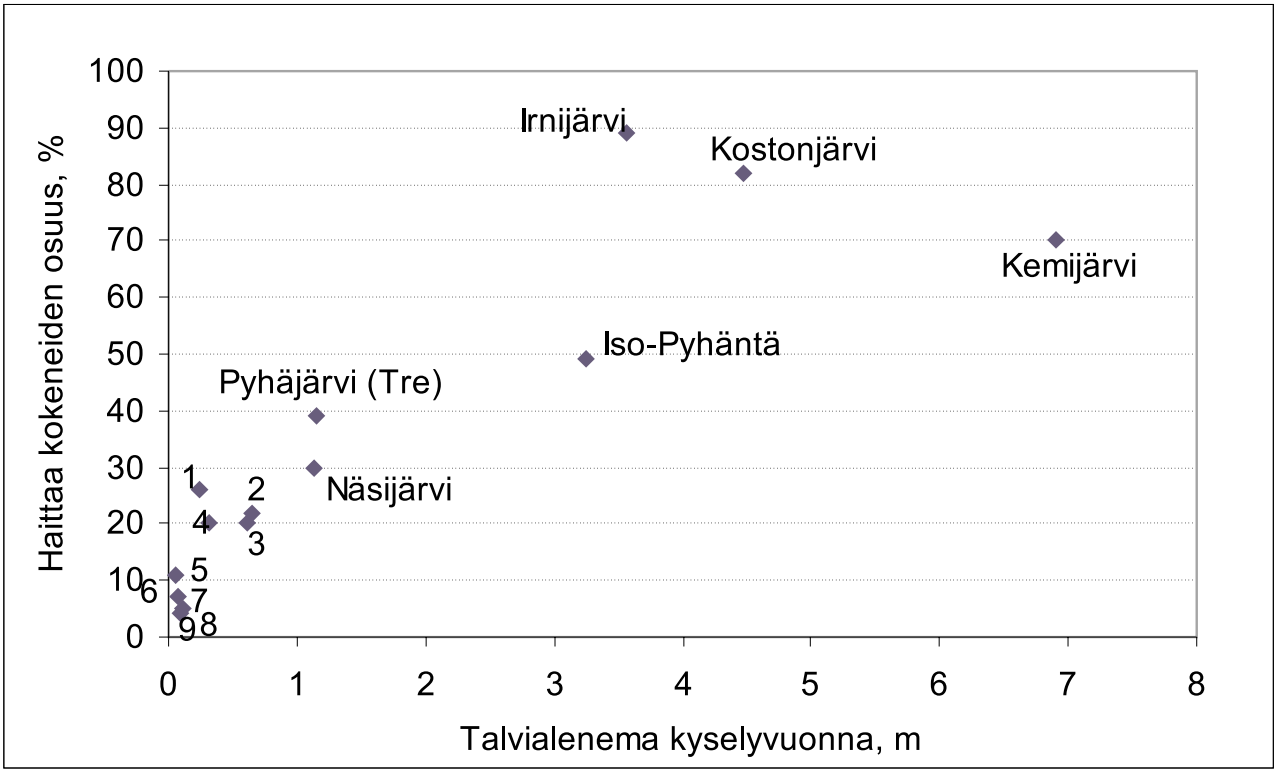
Suhtautumiseen vaikuttavat myös säännöstelyn tavoitteet ja toteutustapa. Lisäksi ilmeni, että esimerkiksi tulvasuojeluun suhtaudutaan myönteisemmin kuin vesivoiman tuotantoon. Etenkin vanhempien, jo ennen säännöstelyn aloittamista alueella asuneiden ihmisten suhtautumisessa säännöstelyyn vaikuttaa lisäksi voimakkaasti se, kuinka säännöstely on aikanaan toteutettu. Säännöstelyn aloittamisessa ilmenneet ristiriitatilanteet ja niiden ratkaisutapa säilyvät mielessä pitkään.

Säännöstelyn aiheuttamia haittoja on kompensoitu erilaisilla lakisääteisillä ja vapaaehtoisilla hoito- ja kunnostustoimenpiteillä, kuten esimerkiksi rantojen suojauksilla ja raivauksilla, kalanistutuksilla ja pohjapadoilla. Toteutetuilla toimenpiteillä ja niiden tuloksellisuudella on varmasti vaikutusta suhtautumisessa säännöstelyyn. Esimerkiksi Iijoen vesistön Kostonjärvellä taimenistutukset ovat tuottaneet hyvää tulosta ja järveä pidetään Pohjois-Suomen parhaimpiin kuuluvana taimenjärvenä.

Osittain tyytymättömyyteen ja haittaa kokeneiden määrään voi vaikuttaa myös järven alueellinen sijainti ja ihmisten kansanluonne. Pohjois-Suomessa vedenkorkeuden suureen vaihteluun on totuttu ja kenties ”alistuttu kohtaloon”, kun taas Etelä-Suomen järvillä ranta-asukkaat valittavat suhteellisen pienistäkin vedenkorkeuden vaihteluista.

Päijänteellä eniten tyytymättömyyttä – miksi?

Päijänteen säännöstely alkoi 1964 ja sen tavoitteena on tulvavahinkojen vähen-



Kuva 4. Liian matalista vedenkorkeuksista kevättalvella haittaa kokeneiden osuus sekä jäätymispäivän vedenkorkeuden ja jääpeitteisen ajan alimman vedenkorkeuden välinen erotus. 1 = Päijänne, 2 = Konnivesi, 3 = Rautavesi, 4 = Vanajavesi, 5 = Iitin Pyhäjärvi, 6 = Kallavesi, 7 = Tarjannevesi, 8 = Toisvesi ja 9 = Unnukka.

täminen itse järvellä ja alapuolisella Kymijoella sekä vesivoimatuotannon lisäys. Päijänteen säännöstely on ollut paljon esillä julkisuudessa viime vuosikymmenien aikana ja säännöstely on aiheuttanut laajaa tyytymättömyyttä. Tutkimusaineistossa Päijänne erottui muista järvistä juuri siinä, että siellä säännöstelyyn tyytymättömien osuus vastaajista oli huomattavan suuri. Päijänteellä kyselyyn oli myös vastattu erittäin aktiivisesti, vastausprosentti oli lähes 80, joten haittaa on koettu hyvin laajasti. Vesistön eri käyttäjäryhmien välillä ei haittojen kokemisessa ole kovin suuria eroja. Syyt Päijänteen ranta-asukkaiden poikkeukselliseen tyytymättömyyteen löytynevät säännöstelyn toteutuksen historiasta, säännöstelyn kielteisestä julkisuuskuvasta sekä Päijänteen luontaisesta hydrologiasta.

Eniten haittaa Päijänteellä oli koettu kevään ja syksyn matalista vedenkorkeuksista ja suuresta vedenkorkeuden vaihtelusta, joista haittaa oli kokenut 40-50 % vastaajista. Päijänteen osalta vedenkorkeuden vaihtelu selitti haittaa kokeneiden osuutta melko hyvin. Toisinaan haittaa oli koettu enemmän kuin vedenkorkeuksien perusteella oli odotettavissa. Esimerkiksi liian suurista vedenkorkeuden vaihteluista ja syksyn liian matalista vedenkorkeuksista oli Päijänteellä koettu enemmän haittaa kuin vedenkorkeuden vaihtelun perusteella olisi voitu odottaa.

Päijänne on vesistön keskusjärvi, jolle on luontaisesti ollut tyypillistä myöhäinen kevättulva. Säännöstelyllä on alennettu kevättalven vedenkorkeuksia keskimäärin noin 20 cm ja tulvahuippu on siirtynyt luonnontilasta runsaan viikon myöhäisemmäksi. Päijänteen ”hidasliikkeisyys” lisää osaltaan vesistön käyttäjien herkkyyttä vedenkorkeuden vaihtelulle. Keväällä suhteellisen vähäinenkin muutos luonnontilaan nähden koetaan kielteisenä, koska virkistyskäytön kannalta hyvä taso saavutetaan keskimäärin vasta kesäkuun alkupuolella. Eniten tyytymättömyyttä Päijänteellä aiheuttavatkin kevään alhaiset vedenkorkeudet.

Vesistön käyttäjien suhtautumiseen vaikuttaa muiden seikkojen ohella säännöstelyn julkisuuskuva. Muun muassa lehtikirjoitusten määrä ja sävy vaikuttavat asenteisiin. Päijänteen säännöstely on ollut paljon esillä julkisuudessa ja erityisesti mielipideosastojen kirjoituksissa suhtautuminen on ollut erittäin kriittistä. Onkin mahdollista, että sopimattomat vedenkorkeudet yhdistetään säännöstelyyn, vaikka kyse olisikin luonnollisesta vesivuosien erilaisuudesta.

Vuosina 1995–1999 tehtiin laaja selvitys Päijänteen säännöstelyn hyödyistä ja haitoista sekä mahdollisuuksista vähentää aiheutuneita haittoja. Tutkimuksen perusteella esitettiin yli 30 suositusta haittojen vähentämiseksi (Marttunen ja Järvinen 1999). Suositusten toteuttaminen, mm. lupaehtojen tarkistaminen, on parhaillaan käynnissä.

Mahdollisuudet säännöstelyjen kehittämiseen rajalliset

Säännöstelyjen kehittämistä rajoittavat sekä juridiset että teknis-taloudelliset reunaehdot. Vesivoimatuotannon merkitys Suomen sähköntuotannossa on suuri. Vesivoimatuotantoon ja tulvasuojeluun liittyvät kysymykset ovat olleet tärkeällä sijalla arvioitaessa mahdollisuuksia säännöstelyjen parantamiseen. Keski-Euroopan ja Ruotsin tulvien jälkeen tulvasuojelunäkökohdat ovat entisestään korostuneet.

Myös vesistön käyttäjien tottuminen vähäiseen kesävedenpinnan vaihteluun on joissakin tapauksissa rajoittanut säännöstelyn kehittämistä vesiluonnon kannalta parempaan suuntaan. Tämä on tullut vastaan mm. Konnivedellä ja Unnukalla tehdyissä säännöstelyn kehittämisselvityksissä, joissa vedenpinnan vaihtelun lisääminen kesäaikana 20-30 cm:llä koettiin hyvin kielteisesti. Sama seikka tuli esille myös kyselytutkimuksissa. Vaikka virkistyskäyttäjät yleisellä tasolla ovatkin kyselytutkimusten perusteella ympäristömyönteisiä, niin asetettaessa vastakkain rantojen käytettävyys ja vesiluonnon tila, näyttävät ihmisten tarpeet kuitenkin loppujen lopuksi menevän luonnon edelle. Tältä osin näkemykset olivat hämmästyttävän samansuuntaisia Inaria lukuun ottamatta kaikilla tutkimusjärvillä, sillä noin 70 % vastaajista oli täysin tai jokseenkin samaa mieltä seuraavan väittämän kanssa: ”vesistön säännöstelyssä on vedenkorkeuden taso pidettävä kesällä mahdollisimman vakaana vesistön virkistyskäyttöä ajatellen, vaikka kesän mittaan laskeva vedenkorkeus olisikin edullisempi vesiluonnon kannalta.”

Viestintää ja vuorovaikutusta lisättävä

Ranta-asukkaiden ja virkistyskäyttäjien tietämys säännöstelyistä on varsin huono. Monesti ei tiedetä, miksi vesistöä säännöstellään ja kuinka säännöstely on muuttanut luontaisia vedenkorkeuksia ja virtaamia. Varsinkin Etelä-Suomen suurilla järvillä säännöstelyjä kohtaan tunnettu laaja tyytymättömyys ja tietämättömyys kytkeytyvät toisiinsa. Moni vesistön käyttäjä kokee, että hänen kotijärveään säännöstellään puhtaasti voimatalouden ehdoilla, vaikka taustalla olisi myös ranta-asutuksen ja maatalouden suojelu tulvilta. Esimerkiksi Päijänteellä 19 % vastaajista katsoi maanviljelyn kärsivän säännöstelystä, vaikka ranta-asutuksen ja maatalouden suojelu tulvilta ovat säännöstelyn päätavoitteita. Loppukesän alhaisista vedenkorkeuksista syytetään säännöstelijää, vaikka todellisena syntipukkina olisikin pitkään jatkunut kuivuus.

Säännöstelyasioissa tiedottamiseen tulisikin panostaa nykyistä enemmän, koska säännöstelyn haitat ovat osin helposti nähtävissä, mutta hyötyjä on tavallisen vesistön käyttäjän mahdotonta havaita. Esimerkiksi kevään alhaisten vedenkorkeuksien vaikutukset maisemaan ovat kaikkien nähtävissä, mutta ylimpien vedenkorkeuksien alentumisen tai alimpien vedenkorkeuksien nousun seurauksia eivät rantojen käyttäjät voi tietää, elleivät ympäristöviranomaiset tai säännöstelijä tiedota asiasta. Tiedottamisella voidaankin katsoa olevan käyttäjien tyytyväisyyttä ja samalla säännöstelyjen hyväksyttävyyttä lisäävä vaikutus. Tätä olettamusta tukevat myös ranta-asukkaiden omat käsitykset. Esimerkiksi Päijänteen vastaajista 66 % oli samaa mieltä väittämän ”virkistyskäyttäjien ja kalastajien suhtautuminen säännöstelyyn olisi myönteisempää, jos heillä olisi nykyistä enemmän tietoa säännöstelyn tavoitteista ja vaikutuksista” kanssa.

Vesistöjen kestävä säännöstely edellyttää taloudellisten ja ekologisten näkökohtien lisäksi myös sosiaalisten vaikutusten huomioonottamista. Mahdollisuudet säännöstelyjen muuttamiseen ovat viimeisen kymmenen vuoden aikana toteutetuissa säännöstelyjen kehittämisselvityksissä osoittautuneet yleensä rajallisiksi. Muutokset säännöstelykäytäntöön niissä vesistöissä, joissa säännöstelyllä on suuri merkitys tulvasuojelun ja vesivoimatuotannon kannalta ovat olleet suhteellisen pieniä. Kuitenkin jo se, että säännöstelyn vaikutuksia ja kehittämistarpeita arvioidaan ja haittoja vähennetään hoito- ja kunnostustoimenpitein, on lisännyt säännöstelyjen yleistä hyväksyttävyyttä. Säännöstelyjen yleisen hyväksyttävyyden parantaminen on ydinasia, johon ympäristöhallinnossa tulisi lähivuosina pyrkiä sekä säännöstelyjä parantamalla että tiedottamalla tehokkaammin jo tehdystä työstä ja säännöstelyjen vaikutuksista.

Kirjallisuus

Marttunen, M., Hellsten, S. & **Keto, A.** 2001. Sustainable development of lake regulation in Finnish lakes. Vatten 57(1):29–37. ISSN 0042-2886.

Marttunen, M. & **Järvinen, E.A.** 1999. Päijänteen säännöstelyn kehittäminen: Yhteenveto ja suositukset. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 357. 168 s. ISBN 952-11-0602-6, ISSN 1238-7312.

Marttunen, M. & **Hellsten, S.** 1997. Säännöstelyjen kehittäminen ympäristövaikutusten arvioinnista monitavoitteiseen päätöksentekoon. Vesitalous 38(6):4–13. ISSN 0505-3838.

Nieminen, H. & **Lehtimäki, K.** (toim.). 2002. Pirkanmaan keskeisten järvien säännöstelyjen kehittäminen: Vesistöjen käyttäjien mielipiteitä vedenkorkeuksista ja säännöstelyistä. Tampere, Pirkanmaan ympäristökeskus. Alueelliset ympäristöjulkaisut 256. 67 s. ISBN 952-11-1096-1, ISSN 1238-8610.

Saari, T. & **Marttunen, M.** 2003. Ranta-asukkaiden ja virkistyskäyttäjien suhtautuminen järvisäännöstelyihin. Yhteenveto kyselytutkimuksista [Käsikirjoitus].

Vähäsöyrinki, E. 1997. Vesistön säännöstelyt ja niiden tarkistaminen. Vesitalous 38(1):1–3. ISSN 0505-3838.

YT03
Yhdyskuntatekniikka
Infratech 4.–6.6.
Jyväskylä Paviljonki
Puh.09-868 9010, email: yt@vvy.fi

KUKA JATKAA KEHITTÄMISTÄ

VESIHUOLLON TEKNOLOGIA-OHJELMAN JÄLKEEN?

Riku Vahala

vesihuoltoinsinööri,
dipl.ins.(väit.)
Vesi- ja viemärilaitosyhdistys
E-mail: riku.vahala@vvy.fi
Kirjoittaja toimi Vesihuollon teknologiaohjelman ulkoisena ohjelmapäällikkönä vuosina 1998–2002.

Vesihuollon tutkimus- ja tuotekehitystyöhön panostettiin vuosina 1998–2001 miljoonia euroja. Kansainvälisen arvioinnin mukaan Tekesin Vesihuollon teknologiaohjelman (1997–2001) tavoitteet saavutettiin hyvin. Ohjelmasta voidaan oppia paljon enemmänkin. Seuraavassa on tiivistetty arvioijien käsitys menestyvän hankkeen elementeistä ja kerrotaan vesihuollon keskeisten rahoittajien ja tutkijoiden odotuksista alan kehittämiselle.

Piia Moilanen

teknologia-asiantuntija, tekn.lis.
Tekes
E-mail: piia.moilanen@tekes.fi
Kirjoittaja toimii Tekesin energia- ja ympäristöteknologiayksikössä vesihuoltoasioiden vastuuhenkilönä.

Tekes käynnisti Vesihuolto 2001 -teknologiaohjelman vuonna 1997. Tuolloin oli odotettavissa vesihuollolle asetettavien vaatimusten tiukentuminen haja-asutusalueilla ja taajamissa. Samalla pohjoismaisen vesihuollon korkean lähtötason etumatka oli kuroutumassa umpeen, ja vesihuoltoteknologiaa tarjoavien yritysten ennustettiin joutuvan aiempaa kovempaan kilpailuun alan avautuessa ja kansainvälisen tarjonnan lisääntyessä. Yrityssektorin tutkimus- ja kehitystoiminnan laajuus oli kasvanut, mutta vesi- ja viemärilaitokset, julkiset tutkimusyksiköt sekä teknologiayritykset tekivät vain vähän yhteistyötä.

Vesihuolto 2001 -teknologiaohjelman panokset päätettiin kohdentaa yhdyskuntien ja haja-asutusalueiden vesihuoltoteknologian kehittämiseen. Neljän vuoden aikana rahoitettiin 39 projektia. Näistä noin puolet sijoittui jätevesipuolelle ja puolet puhdasvesipuolelle. Puolet resursseista suunnattiin yrityssektorille ja puolet julkiselle sektorille eli julkisiin tutkimushankkeisiin. Kaiken kaikkiaan projekteihin käytettiin rahaa 11,4 miljoonaa euroa, josta Tekesin osuus oli noin 50 %.

Ohjelman kansainvälinen arviointi

Australialainen Dr. Booker ja norjalainen prof. Ødegaard arvioivat ohjelman ja sen julkiset tutkimushankkeet marraskuussa 2001. Arviointia varten heille toimitettiin ennakkoon hankkeista laaditut englanninkieliset tiivistelmät. Lisäksi he viettivät Suomessa viikon ajan haastatellakseen tutkimushankkeiden avainhenkilöt ja ohjelman johtoryhmän jäseniä. Samalla arvioijille toimitettiin hankkeiden siihenastiset kansainväliset julkaisut.

Arvioinnin tulokset koottiin englanninkieliseen loppu- ja evaluointiraporttiin, joka julkistettiin ohjelman päätösseminaarissa Vanajanlinnassa. Arviointiraportti ja osa seminaarin luennoista on luettavissa ohjelman kotisivuilla http://www.vvy.fi/2001/

Tavoitteet saavutettiin

Arvioijat totesivat, että useimmat ohjelman hankkeet olivat korkeatasoisia ja ajankohtaisia. Ohjelmalla oli tiivis kytkös Suomen vesihuollon toimijoihin: yrityksiin, viranomaisiin ja vesihuoltolaitoksiin. Vaikkei arvioijilla ollut mahdollisuutta haastatella yritysosallistujia, heidän mielestään lähes kaikkien hankkeiden tuloksissa oli kaupallistamispotentiaalia.

Ohjelma oli suuntautunut enemmän olemassa olevan teknologian kehittämiseen kuin uuden tiedon tuottamiseen. Erityisesti teknologiansiirtohankkeiden nähtiin onnistuneen hyvin. Ohjelmahankkeiden innovaatiotasoa pidettiin keskimäärin melko matalana. Pitkällä tähtäimellä teknologian siirtoon painottuneen lähestymistavan satona ovat kustannustehokkaammat ja ympäristöystävällisemmät investointiratkaisut.

Menestyksekkään projektin ainekset

Parhaiten onnistuneissa tutkimushankkeissa oli arvioijien mielestä tyypillisesti mukana sekä soveltavaa tutkimusta tekevä yritys tai tutkimuslaitos ja perustutkimusta tekevä yliopisto tai korkeakoulu. Tämä menettely mahdollisti mm. aikaavievien kirjallisuusselvitysten edullisemman teettämisen opiskelijoilla.

Menestyksekästä hanketta johti yleensä huippututkija ja niissä oli mukana myös tutkijoita perinteisen vesihuoltoalan ulkopuolelta.

Menestyksellisen hankkeen johtoryhmässä oli lisäksi edustaja teollisuudesta ja vesihuoltolaitoksilta, jolloin tutkimuksella oli linkki käytännön vesihuoltoon.

Vesisektori tarvitsee kansainvälistä yhteistyötä

Ohjelman hankkeet julkaistiin hyvin kansallisella tasolla. Tuloksia esiteltiin hankeraporteissa, kotimaisissa lehdissä ja seminaareissa. Useimpien hankkeiden kansainvälinen näkyvyys oli kuitenkin vaatimatonta. Vaikka suurin osa tutkimushankkeista olisi herättänyt mielenkiintoa myös maamme rajojen ulkopuolella, vain muutamat hankkeet olivat tehneet kansainvälisiä esitelmiä tai julkaisuja. Arvioijien mukaan parhaiten julkaisseet hankkeet olivat usein myös muilta osin hyviä.

Vain harvat ohjelman tutkimushankkeet tekivät yhteistyötä ulkomaisten tutkimusryhmien kanssa. Tämä saattaa osittain johtua siitä, että hakuvaiheessa kansainvälistä yhteistyötä ei mainittu erityisenä hankkeen lisäansiona. Nykyisin Tekes korostaa aiempaa enemmän kansainvälisen verkottumisen merkitystä, mikä osaltaan on lisännyt hankkeiden kansainvälisyyttä.

Jätevesilietteen hyödyntäminen – vesihuoltotutkimuksen suurin haaste

Kesän 2002 alussa Tekes ja VVY kutsuivat kolmisenkymmentä vesihuollon keskeistä tutkimus- ja rahoittajatahoa keskustelemaan vesihuollon tutkimuksen tulevaisuudesta. Tilaisuudessa pohdittiin tulevia haasteita sekä tunnistettiin ryhmätöinä vesihuollon tärkeimmät tutkimustarpeet lähitulevaisuudessa:

1. Jätevesilietteet: hyödyntäminen, laadun parantaminen ja synnyn ehkäisy
2. Haja-asutuksen vesihuolto; erityisesti jätevedet
3. Riskinarviointi ja –hallinta; ympäristövaikutukset
4. Verkostosaneeraus
5. Juomaveden laatu, riskit ja analytiikka
6. Prosessit: ohjaus, instrumentointi ja tiedon hallinta
7. Vesipolitiikka: typpikysymys, vesien käyttö ja suojelu, elinkaari- ja ekotehokkuusanalyysit, toimintayksiköiden kasvattaminen

Jätevesilietteen hyödyntämiseen ja laadun parantamiseen tähtäävä tutkimus koettiin selvästi tärkeimmäksi. Jo tällä hetkellä lietteitä kerääntyy enenevässä määrin välivarastoihin ja useat laitokset miettivät tulevaisuuden ratkaisuja. Lietteisiin liittyvään tutkimukseen ja tuotekehitykseen on mahdollista saada rahoitusta mm. Tekesin Streams jätevirroista liiketoimintaan -teknologiaohjelmasta (http://akseli.tekes.fi/).

Kuka koordinoisi vesihuoltotutkimusta?

Vesihuollon tutkimuksen keskeisimmäksi ongelmaksi tunnistettiin rahoituksen riittämättömyys. Erityisen vaikeaa on saada rahoitusta lähellä perustutkimusta oleviin hankkeisiin. Tutkijat joutuvat tyypillisesti hakemaan rahoitusta monelta organisaatiolta, koska vastuu vesihuollon kehittämisestä on jakautunut usealle taholle. Pirstaleisuudesta johtuen jopa alan tutkijoiden on vaikea saada kokonaiskuvaa siitä missä mennään ja mihin aihealueisiin ollaan halukkaita panostamaan. Myös rahoituskriteerien erot aiheuttavat hakijoille ylimääräistä päänvaivaa.

Monelta taholta esitettiin toiveita, että Vesi- ja viemärilaitosyhdistys voisi toimia tutkimuskentän kokoavana tahona. Yhdistyksen oma projektitoiminta on kuitenkin tällä hetkellä rahoituspanokseltaan melko vaatimatonta ja keskittyy ensisijaisesti välittömästi vesihuoltolaitoksia palveleviin hankkeisiin. Tällaisia hankkeita, joiden rahoittamisesta laitosten ulkopuoliset tahot eivät ole juuri kiinnostuneita ovat esimerkiksi vesihuoltolaitosten taksalaskentamallit ja yleiset toimitusehdot. Myös ulkopuolisten hankkeiden rahoitus on lähinnä nimellistä.

Vesihuoltolaitosten tutkimusedellytykset parantuneet

Uuden vesihuoltolain myötä laitoksilla on entistä paremmat edellytykset kehittää toimintaansa pitkäjänteisesti. Lisääntyvä itsenäisyys mahdollistaa pitkällä jänteellä sen, että pieni osa liikevaihdosta suunnataan tutkimus- ja tuotekehitystoimintaan. Pitkällä tähtäimellä panokset maksavat itsensä takaisin joko parempana palvelutasona, pienempinä käyttö- ja investointikustannuksina tai korkeampana ympäristön- ja terveydensuojelun tasona.

Vesi- ja viemärilaitosyhdistys on päättänyt selvittää laitosten kiinnostuksen yhteisesti kerättävän projektirahoituksen kasvattamiseen. Kevään 2003 aikana kysytään laitosten halukkuutta maksaa erillistä toimitetun veden määrään sidonnaista "kehittämismaksua". Tällä voitaisiin jakaa laitosten kesken tasaisemmin vesihuoltoalan kehittämiskuluja ja se mahdollistaisi paremmin VVY:n toimimisen vesihuollon kehittämisen solmupisteenä.

Kirjallisuus

Vesihuolto 1997-2001 (2001). Loppuraportti. Teknologiaohjelmaraportti 13/2001. Tekes. 94s. http://www.tekes.fi/

Water Services 1997–2001 (2002). Evaluation and Final Report. Technology Programme Report 6/2002. Tekes. 135s. http://www.tekes.fi/

Vahala R., Ødegaard H., Booker N. (2002). Promoting the Development of the Water Sector with the Technology Programme. In: Proc. of IWA WorldWater Congress, 7.–12.4.2002, Melbourne, Australia

Arvioinnin voittaja: KAATO2001

Kaato2001 -hankkeessa tutkittiin kaatopaikkavesien vaikutusta yhdyskuntien jätevedenpuhdistamon toimintaan sekä arvioitiin kaatopaikkavesien esikäsittelytarvetta ja -menetelmiä. Hanketta johti Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen professori Jukka Rintala. Yliopiston lisäksi hankkeeseen osallistui useita yrityksiä, vesihuoltolaitoksia ja jätelaitoksia.

Arvioitsijoijien mielestä hanke oli menetelmällisesti, lähestymistavoiltaan, tieteellisesti sekä julkaisuiltaan ohjelman paras hanke. Myös sen kustannustehokkuutta pidettiin hyvänä.

Vesitalouden artikkeleita ovat v. 2002 toimituskunnan jäsenten ohella tarkastaneet seuraavat asiantuntijat:

Ilkka Alitalo
Juhani Anhava
Esko Haume
Jarmo Huhtala
Lea Kauppi
Timo Kulmala
Hannele Kärkinen
Kirsti Lahti
K. Matti Lappalainen
Virpi Lehtoranta
Harri Mattila
Ilkka Miettinen
Ari Niemelä
Maija Paasonen-Kivekäs
Meeri Palosaari
Juhani Puolanne
Heikki Pusa
Markku Puupponen
Mika Rontu
Esa Rönkä
Jouko Sarvala
Pertti Seuna
Juha-Heikki Tanskanen
Kati Vaajasaari
Pertti Vakkilainen
Pekka Vihervuori
Jarmo Vääriskoski

ABS
COST-EFFECTIVE PUMPING

- pumppaamot
- jätevesipumput
- kaukolämpöpumput
- NOPOL/OKI ilmastimet
- epäkeskoruuvipumput
- työmaauppopumput
- potkuripumput
- tyhjöpumput
- sekoittimet

ABS Pumput Oy
Höyläämötie 16, 00380 Helsinki
puh. (09) 506 8890, fax (09) 558 053, www.abspumps.com

Lokapalvelu
H. EEROLA Oy
24 h (09) 855 30 450
Monipuolista viemärihuollon palvelua
kaivon tyhjennyksestä viemäreiden
kuvauksiin ja saneerauksiin
asianmukaisella erikoiskalustolla!
OTA YHTEYTTÄ!
Puh. (09) 8553 0450, fax (09) 852 1616

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

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

AKVA FILTER -
PUHTAAN VEDEN PUOLESTA!
-suunnittelua ja palvelua yli 35 vuoden kokemuksella.
-vedenkäsittelyratkaisut ja suodatusmateriaalit raudan, mangaanin, orgaanisten aineiden, raskasmetallien ja kloorin poistoon sekä veden neutralointiin.
-suodattimet manuaalisena tai moottoriventtiiliautomatiikalla varustettuina.
-vedenottamoille 10-1000 m³/vrk.
-omakotitalouksiin, maatiloille, laitoksiin.
-myös vesipistekohtaiset suodattimet.

AKVA FILTER OY
www.akvafilter.fi,
E-mail:akva.filter@co.inet.fi
PL 33,
19650 Joutsa
Puh. 014-883 521
Fax 014-883 522

Etelä-Pohjanmaan VESITUTKIMAT OY
Puh. (06) 424 2800, fax (06) 424 2888
- Akkreditoitu testauslaboratorio T153
- Julkisen valvonnan alainen vesilaboratorio.
- EELA:n hyväksymä vesilaboratorio.
- Sosiaali- ja terveysministeriön hyväksymä vesilaboratorio.

BIOPERT-ohjelmistot jätevedenkäsittelyn ohjaukseen sekä raportointiin. Myös erillisiä raportointijärjestelmiä lähinnä WINDOWS-ympäristöön.
Enviro Data Oy, Tekniikantie 21, 02150 Espoo,
puh. (09) 2517 5246, fax (09) 2517 5247
www.envirodata.fi

CLEWER®
clean water

Clewer® Clean Water

Teollisuuden ja yhdyskuntien prosessi- ja jätevesien biologiset puhdistusjärjestelmät.

Clewer Oy Ltd., Raidetie 1, 96910 Rovaniemi
puh. (016) 332 550, fax (016) 332 5522
info@clewer.com, www.clever.com

Helsingin toimisto: Koetilantie 7, 00710 Helsinki
puh. (09) 350 5960, 050 553 6510, fax (09) 3505 9650

FC
MEMBRAANITEKNOLOGIALLA VALMISTETUT PUHTAAT TUOTTEEMME
- Natriumhypokloriitti
- Natronlipeä
- Suolahappo
- Kloori

TEHOKKAASTI - JOUSTAVASTI

FINNISH CHEMICALS OY
Vaihde 0204 31 11
Fax 0204 31 0431
www.finnishchemicals.com
Jälleenmyyjä:
Bang & Bonsomer Oy
Vaihde (09) 681 081
Fax (09) 692 4174
www.bangbonsomer.fi

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

Harkkoraudantie 4, 00700 Helsinki, puh. 09 350 88 140, fax. 09 350 88 150
Email: dosfil@dosfil.com, internet: www.dosfil.com, Antti Jokinen GSM 0400 224777

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

POHJAVESI
* harjujen 3D rakenneselvitykset
* isotooppiselvitykset
* pohjaveden virtausmallinnus
* maa- ja kallioperän vaikutus pohjaveden laatuun

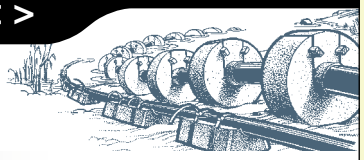
JÄRVISEDIMENTIT
* pilaantuneet sedimentit
* ravinteisuuden rekonstruktiot
* luonnontilan selvitykset
* fosforin esiintymismuodot

PL 96, 02151 ESPOO
Puh. 020 550 11, Fax 020 550 12

Sähköposti: services@gsf.fi
www.gsf.fi

www.kokkobe.fi

Nopeasti asennusvalmiit KOKKO-painot >



KOKKO S-10
Lukkopaino 90mm:stä ylöspäin
KOKKO S-20
Sidos 75mm:stä alaspäin

OY KOKKOBE AB
PL 202, 67101 KOKKOLA
PUH. (06) 8242 700
FAX (06) 8242 777

KOKKOBE

Jäteveden puhdistamot:

www.greenrock.fi

GREEN ROCK

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

VESIKEMIKAALIEN YKKÖNEN

- Rauta- ja alumiinipohjaiset koagulantit, polymeerit, hiililähteet sekä näiden yhdistelmätuotteet
- Asiakaskohtaisesti räätälöidyt koagulantit
- Veden ja jäteveden käsittelyn tuotesovellutukset

kemira

Kemwater
PL 330, 00101 HELSINKI
Puh. 010 86 1211, Fax 010 862 1968
http://kemwater-fi.kemira.com

TURBO SUOMI

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

HV-TURBO kompressorit
STAMO sekoittimet
LANDIA upposekoittimet ja pumput

Kala-ja Vesitutkimus Oy

* kalatalous
* vesistötutkimus
* vedenhankinta

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

KMV-tuotteet

KAIKKEA VEDEN PUMPPAUKSEEN JA SUODATUKSEEN.

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

KART OY KART AB

– urakoiva ja valmistava konepaja

Jätevedenpuhdistamot, -pumppaamot
Välppeenkäsittely

Raakavesipumppaamot
Kalkkirouhesäiliöt, -siilot, -suodattimet
Suodatussäiliöt

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

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

LÄNNEN ALITUSPALVELU OY

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

PUMPPULOHJA WatMan

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

VEDEN JA JÄTEVEDEN KÄSITTELYLAITTEET- JA LAITOKSET

- kotitalouksille
- kunnille
- vesiosuuskunnille
- teollisuudelle

Yrittäjäntie 4, 09430 SAUKKOLA
puh. (019) 357 071 fax. (019) 371 011
www.pumppulohja.fi

Flotaatiotekniikkaa yli 35 vuotta
Vesilaitokset
Jätevesilaitokset
Jäähdytysvesilaitokset

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

RADIOMODEEMIT

SALMETEK OY TOIMITTAA:

Langattomaan tiedonsiirtoon laitteita, joilla voit siirtää RS 232- tai RS 485-tietoa, ON/OFF-tietoa, 4–20 mA-viestejä, pulsseja.

Langalliseen siirtoon modeemeja sekä valinnaiseen verkkoon että kiinteille yhteyksille, myös optiseen kuituun.

Kysy meiltä ELPRO- ja WESTERMO-tuotteita.

SALMETEK OY
PL 103, 01801
Klaukkala
Puh. 09-2766 250
Fax. 09-2766 2550

www.salmetek.fi
info@salmetek.fi

SALMETEK OY

PUHTAAN VEDEN PUOLESTA
INTERNATIONAL POMILTEK

LUOTETTAVAA JÄTEVEDENKÄSITTELYÄ YLI 15 VUODEN KOKEMUKSELLA

Puhdasvesi / jätevesilaitosurakoinnit ja kattavat laitteistotoimitukset

- hydrauliset porrasvälpät
- hydrauliset välpepuristimet
- rumpusiivilät
- ruuvivälpät
- suotonauhapuristimet
- polymeerilaitteistot
- hiekkapesurit
- lieto,- kalkki- ja AVR siilot
- seik. lasahakoneistot
- flotaatio laitteet
- ruuvikuljettimet
- typenpoistolaitteistot

Varikontie 1
60800 Ilmajoki
www.pomiltek.fi
info@pomiltek.fi
puh: 06-4240 700
fax: 06-4240 750

RUMPUSIIVILÄT
KONEVÄLPÄT
RUUVIKULJETTIMET
DEKANTTERILINGOT

- SUOTONAUHAPURISTIMET
- NESTESUODATTIMET
- VÄLPEPURISTIMET
- POLYMEERILAITTEET

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

ProMinent Finland Oy
Orapihlajatie 39, 00320 HELSINKI
puh. (09) 4777 890 faksi (09) 4777 8947

- Otsonaattorit
- UV-desinfiointi
- Annostuspumput
- Polymeerilaitteet
- Kemikaalisäiliöt
- Klooridioksidilaitteet
- Käänteisosmoosi (RO)
- Mittaus- ja säätötekniikka

VARASTO : MYYNTI : HUOLTO

www.prominentfinland.fi
ProMinent®

MODERNIA TEKNIIKKAA VESIHUOLTOON

- Automatisointi - sähköistys - valvomoratkaisut
- Paineenkorotusasemat
- Suunnittelu - asennus - huolto

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

SK-TRADE OY
PINNINKATU 53, FIN-33100 TAMPERE
☎ 03-211 0166 Fax 03-214 4315
www.sk-trade.com

UV-LAITTEET
♦ JUOMAVEDET
♦ PROSESSIVEDET
♦ JÄTEVEDET

HANOVIA UV
WORLD LEADERS IN ULTRA VIOLET TECHNOLOGY

STEMCO
Stemco Oy
PL 5 40701 Jyväskylä
Ylistönmäentie 26 40500 Jyväskylä
Puh: 014 4451 320
Fax: 014 4451 320
Email: toimisto@stemco.fi
Web: www.stemco.fi

Tarjoamme biologisten prosessi- ja jätevedenpuhdistamojen prosessisuunnittelua vesien käsiteltävyyskokeista prosessin käynnistykseen ja henkilöstön koulutukseen saakka. Teemme myös neste- ja ainetaselaskelmia tuottavalle teollisuudelle sekä ympäristönhallintaan liittyvää konsultointia.

Yhteistyöllä luontoa säästäviin tuloksiin
◆ Laaja valikoima kiertomäntäpuhaltimia: **Hibon, Hick Hargreaves, WKE ja Roots**
◆ **Elmacron**-näytteenottimet ja pH-laitteet
◆ **ProMinent**-pumput, hoito- ja valvontavälineet
◆ Mukavat ja hajuttomat **BioLet**-kompostivessat

Kysy lisää! Meiltä saat asiantuntevaa palvelua!

Launeenkatu 67
15610 LAHTI
Y-LAITE OY
Puh. (03) 884 080
Fax (03) 884 0840
Internet: http://www.y-laite.fi Sähköposti: info@y-laite.fi

SUOMEN KONSULTTITOIMISTOJEN LIITON JÄSENET

AIR-IX SUUNNITTELU
VESIHUOLTO ✯ YMPÄRISTÖNSUOJELU
MAANKÄYTTÖ ✯ TIE- JA LIIKENNE
LVI ✯ SÄHKÖ ✯ AUTOMAATIO
PL 453, 33101 TAMPERE Puh. (03) 2442 111
PL 52, 20781 KAARINA Puh. (02) 515 9500
Sepänkatu 9 A 7, 90100 OULU Puh. (08) 883 030

Competence. Service. Solutions.
• *Jyväskylä* • *Kuopio* • *Lahti* • *Lappeenranta* • *Lapua* • *Oulu* • *Tampere* • *Turku* • *Vantaa*
JAAKKO PÖYRY INFRA
Maa ja Vesi
Maa ja Vesi Oy • *PL 50 (Jaakonkatu 3), 01621 Vantaa*
Puh. (09) 682 661 • e-mail: sw@poyry.fi

NEUVOTTELEVIA INSINÖÖRITOIMISTOJA

KeR Kiuru & Rautiainen Oy
Vesihuollon asiantuntijatoimisto
• Laitosten yleis- ja prosessisuunnittelu
• Vesihuollon kehittämissuunnitelmat
• Talous- ja organisaatioselvitykset
• Ympäristölupahakemukset
www.kiuru-rautiainen.fi

Vesilaitokset
Jätevesilaitokset
Flotaatiolaitokset
INSINÖÖRITOIMISTO OY RICSON AB
Sibeliuksenkatu 9 B 00250 HELSINKI
Puh. 09-447 161 Fax 09-445 912

Vesi- ja ympäristötekniikan asiantuntemusta ja suunnittelua
TRITONET OY
Pinninkatu 53 C, 33100 Tampere
Puh. (03) 3141 4100, fax (03) 3141 4140
E-mail pertti.keskitalo@tritonet.fi

• Vesihuolto, vesirakenteet
• Suunnittelu, työnjohto
oy vesirakentaja
INSINÖÖRITOIMISTO
Hiihtomäentie 39 A 1, 00800 Helsinki, puh. 09-7552 1100

"Jos kaikki Suomen järvet..."
VESISTÖJEN KUNNOSTUS JA HOITO
SUUNNITTELU JA TUTKIMUS
TOTEUTUS
VESI-EKO OY WATER-ECO
Yrittäjäntie 12
70150 Kuopio
Puh. (017) 279 8600
Fax (017) 279 8601

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

Ajatuksia virtavesien kunnostamisesta

Kiitokset mielenkiintoisesta Vesitalouslehden 6/2002 teemanumerosta, jossa käsiteltiin monipuolisesti vesistöjen kunnostusta. Itseäni kiinnosti erityisesti virtavesikunnostamiseen liittyneet kirjoitukset, joista heräsi seuraavia mietteitä.

Timo Yrjänän tutkimuksissaan tekemä havainto Iijoen keskiosan purojen tilasta - luonnontilaisia puroja ei suojelualueiden ulkopuolelta juuri löydy - on valitettavasti mitä ilmeisimmin yleistettävissä myöskin Lapin tehometsätalouden piirissä oleville alueille. Tätä oletusta tukevat viime vuosien aikana tehdyt Kittilän ja Savukosken kuntien alueella tehdyt puroinventoinnit[1].

Yrjänän esittämä ajatus alueellisten suojelu- ja hoito-ohjelmien laatimisesta onkin mitä kannatettavin. Näkemykseni mukaan Lapissa laajoilla alueilla virtavesien oma palautumiskyky ihmisen aiheuttamista häiriöistä on kuitenkin ylitetty ja aktiivisia kunnostamistoimia tarvitaan. Esimerkiksi Savukoskella havaittiin, että kunnostettaviksi valitut purot olivat latvoiltaan satojen metrien jopa kilometrien matkalta täyttyneet hiekalla, hiesulla yms. hienojakoisella kiintoaineksella. Aiemmin 1-3 metriä syvässä purossa oli ennen kunnostamista vesisyvyyttä 10–50 cm. Taimenen lisääntymis- ja poikastuotantoalueet olivat peittyneet paksun, iskostuneen kiintoaineskerroksen alle. Puroissa suoritettiin sähkökoekalastuksia ennen kunnostamistoimenpiteitä ja kohteet havaittiin miltei kalattomiksi, todellisiksi "turhapuroiksi". Alueella tehtyjen imuruoppausten ja muiden kunnostustoimien jälkeen puroilla on havaittu jälleen taimenen poikastuotantoa

Savukosken purokunnostusprojektin tarkoituksena oli kehittää kunnostuksessa tarvittavaa kalustoa sekä työllistää paikallisia asukkaita. Näiden syiden vuoksi kunnostuksen kustannukset nousivat varsin korkeiksi, 148 euroa kunnostettua metriä kohden. Purokunnostusten nykyistä kustannustasoa saataisiin varmuudella alaspäin, mikäli kunnostusten toteutuksessa voitaisiin käyttää samaa toimintamallia kuin velvoite- ja kalataloudellisten kunnostusten suorittamisessa. Em. kunnostuksissa työnjohdosta vastaa ympäristöhallinto ja kunnostamistyöt teetetään yksityisellä koneurakoitsijalla. Koneurakoitsijat eivät kuitenkaan tällä hetkellä voi investoida purokunnostuksessa käytettävään kalustoon, koska minkäänlaista varmuutta kunnostushankkeiden alkamisesta ei vielä ole.

Alueellisiin suojelu- ja hoito-ohjelmiin tulee sisällyttää, kuten Yrjänä esittää, entisten uittojokien täydennyskunnostustarpeen kartoittaminen. Lapissa uittoväyliä on ollut kaikkiaan noin 10 000 km:n pituudelta. Uittosääntöjen kumoamisen yhteydessä Lapissa kunnostetaan vuoteen 2006 mennessä noin 1 200 –1 300 ha jokipinta-alaa. 1970- ja 1980 -luvuilla kunnostetuissa kohteissa ei kuitenkaan voitu huomioida kaikkia arvokalojen elinympäristövaatimuksia. Näiden todennäköisesti täydennyskunnostustarpeessa olevien jokialueiden pinta-ala on noin 700 ha. Lapissa alueellisten suojelu- ja hoito-suunnitelmien yhteydessä on siis tarvetta tehdä varsin mittavia virtavesien kunnostustarpeen inventointeja ja mitä ilmeisimmin myös kunnostuksia.

Olin erittäin tyytyväinen siitä, että Yrjänä oli kiinnittänyt huomiota artikkelissaan virtavesikunnostusten työnaikaisen ohjauksen järjestämiseen. Varsin usein turhan vähälle huomiolle jää, kuinka virtavesikunnostuksen toteutuksen asiantuntijaohjaus työmaalla järjestetään. Onhan olennaisen tärkeää kunnostuksen onnistumisen kannalta, että työmaalta löytyy työnohjaaja, joka pystyy soveltamaan käytäntöön kunnostamiseen liittyvän tutkimustiedon sekä käytännön kokemukseen perustuvan "hiljaisen" kunnostamistietämyksen.

Myös työnohjaajan työnjohdollisiin valmiuksiin on kiinnitettävä huomiota. Virtavesikunnostustyömaalla työskentelee ihmisiä, joiden koulutustausta ja tietämys virtavesikunnostamisesta vaihtelee varsin paljon. Työnohjaajan tulee pystyä kommunikoimaan erilaisten ihmisten kanssa ja motivoimaan työntekijät tehtäviinsä.

Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että työnohjaajan on kyettävä selvittämään ihmisille suoritettavan työn tarkoitus, hankkeen tavoitteet yms. Virtavesikunnostustyömaalla tapahtuva ohjaus on ihmisten johtamista ja ohjaajan auktoriteetin on perustuttava vahvaan osaamiseen.

Vesipolitiikan puitedirektiivin tarkoituksen saavuttaminen edellyttää Yrjänän ja Lehtisen kirjoituksissaan esittämää laajaa yhteistyötä niin viranomais- kuin muidenkin virtavesien ekologiseen tilaan vaikuttavien toimijoiden kesken. Yhteistyö voi edellyttää sitä, että toimijoiden on huomioitava toiminnassaan tavoitteita tai arvoja, joita aikaisemmin on voinut jättää vähemmälle huomiolle kunkin organisaation tehtäviin "kuulumattomina". Kuinka tässä yhteistyössä onnistutaan, jää nähtäväksi.

Jarmo Huhtala
Lapin ympäristökeskus

P. Kuosku, T. Rautiainen & J. Huhtala raportti Savukosken purokunnostusprojektista julkaistaan "Luomujoki 2 B loppuraportissa" vuonna 2003 toim. Syke.

Vuonna 2001 Kittilässä inventointiin puroja 21 kpl ja puroihin suoraan laskevia metsäojia löydettiin 105 kpl ja purot olivat kiintoaineksen täyttämiä.

Maailman Vesipäivä 2003

SEMINAARI 19.3.2003 klo 9.30–18.30

Säätytalo, Snellmaninkatu 9–11, Helsinki

Puheenjohtajina ympäristöneuvos **Tapio Kovanen** ja professori **Heikki Kiuru**

Kaivot tyhjinä, järvet kuivina

Ilmoittautumiset **10. maaliskuuta 2003** mennessä osoitteella markku.korhonen@ymparisto.fi , puh. 09-40300405 tai jouko.saarela@ymparisto.fi , puh. 09-40300870. Lisätietoja myös os. pertti.seuna@ymparisto.fi , puh. 09-40300366. Osallistumismaksu on 70 euroa + alv (Vesiyhdistyksen jäseniltä 50 euroa + alv; samalta työantajalta kolme kahden hinnalla).
Tilaisuutta tukee Maa- ja vesitekniikan tuki ry.

Tampereen teknillisen korkeakoulun (TTKK) nimi on muuttunut
1.1.2003 alkaen
Tampereen teknilliseksi yliopistoksi (TTY).

Kotimaan tapahtumakalenteri:

19.3.2003	Maailman vesipäivä ”Kaivot tyhjinä, järvet kuivina” Helsinki, Säätytalo
20.-21.3.2003	Kuntaliiton ympäristöpäivät Helsinki, Kuntatalo
21.3.2003	Vesi, lumi, jää – tulevaisuus Rovaniemi, Arktikum
24.-26.3.2003	Biotech Helsinki 03 Helsingin messukeskus
3.4.2003	VVY:n alueellinen vesihuoltopäivä Laihia
8.-9.5.2003	Sixth Finnish Conference of Environmental Sciences Joensuu
20.-21.5.2003	Valtakunnalliset XXIV ympäristöterveyspäivät Kuopio
4.-6.6.2003	Yhdyskuntatekniikka 2003 –näyttely oheistapahtumineen Jyväskylä Paviljonki (kts. takakansi)

Ympäristötekniikan väitös

Tampereen teknillisessä yliopistossa

Tekn.lis. Sakari Halmemiehen väitöskirja ”Development of a Vacuum-Extraction Based Emergency Response Method and Equipment for Recovering Fuel Spills from Underground” (Alipaineimuun perustuvan torjuntamenetelmän ja -laitteiston kehittäminen polttoainevuotojen poistamiseksi maaperästä) tarkastettiin TTY:n ympäristötekniikan osastolla 21.2.2003. Vastaväittäjinä toimivat Ph.D. John S. Gierke (Michigan Technological University) ja fil.tri Eero Priha (Tampereen aluetyöterveyslaitos). Tilaisuuden valvojana oli prof. Tuula Tuhkanen (TTY).

Lisätietoja:
sakari.halmemies@pelastus.intermin.fi

Suomen Kalankasvattajaliitto ry
järjestää **lohi- ja kalaterveyspäivän** sekä **ympäristöpäivän** Turussa 13.–14.3.2003.
Tiedustelut:
toimisto@kalankasvattajaliitto.fi
tai puh. (014) 218 222.

TUHTI TIETOPAKETTI
KALAVESISTÄÄN KIINNOSTUNEILLE

Esittelyssä kirja:
MATTI SALMINEN ja PAULA BÖHLING (toim.) 2002:
Kalavedet kuntoon. 258 s. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Helsinki.
ISBN 951-776-388-3

Kalavedet kuntoon on riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen tutkimus- ja koetoiminnan tuloksena kertyneestä tietämyksestä puristettu tiivis kalavesien hoidon tietopaketti. Laitoksen julkaisusarjoissa ja alan lehdissä julkistettujen tulosten ja käytännön työssä tehtyjen havaintojen muodostama aineisto on teoksessa koostettu selkeään muotoon. Kirjallisuusviitteet antavat hyvät mahdollisuudet etsiä tarvittaessa täydentävää lisätietoa. Samoin tekstin lomaan sirotellut ”luukut” nostavat esiin merkityksellisiä seikkoja ja yksityiskohtia. Niiden runsaus tosin tekee teoksen luettavuudelle paikoin haittaa.

Kalavedet kuntoon teos on ”tarkoitettu tavoitteellisen kalavesien hoidon apuvälineeksi”. Se ei ole mikään yhden lukukerran kirja vaan käsikirjaston hakuteos. Suomessahan käytetään vuosittain kalavesien hoitoon yli kaksikymmentä miljoonaa euroa ja niiden lisäksi runsaasti talkootunteja ja kokousaikaa. Kuten toimittajat johdannossaan toteavat ”käytettyyn rahasummaan nähden tulokset eivät kuitenkaan ole parhaat mahdolliset”.

Teoksessa lähdetään liikkeelle kalavesien ja kalatuotannon perusteiden selvittelystä ja pohditaan kalastuslainsäädännön ja kestävän käytön periaatteiden puitteissa, miksi ja kenen tulisi kalavesiä suunnitelmallisesti hoitaa. Tähän suunnitelmallisuuteen olisi syytä syventyä perusteellisemminkin, mutta kenties monilukuisen ja monimielisenkin tutkijajoukon tekstien muokkaamisessa on ollut omat vaikeutensa. Laajakantoiset valumaaluekohtaiset tms. rehevöitymisen torjuntaan tähtäävät toimet on vain esitelty, mutta pienvesiin ja osakaskuntien ja kalastusalueiden hallitsemiin vesialueisiin soveltuvia hoitomenetelmiä niin vedenlaadun parantamiseksi kuin kalavesien kunnostamiseksi on tarkasteltu yksityiskohtaisemmin. Kalastuksen ohjauksen käsittely on varsin perusteellinen ja monipuolinen kuten asiaan kuuluukin. Yhteen tai pariinkin petokalalajiin kohdistunut kiinnostus voi johtaa rajoituksiin, jotka estävät tai haittaavat – mielestäni kohtuuttomasti – vesialueen muiden talouskalalajien pyyntiä. Tätä usein verkkokalastuksen ja viehekalastuksen välistä ongelmaa pohditaan, mutta kirjoittajien sympatiat ovat kyllä nykyisin suosittujen saalislajien – mm. taimen, kuha - saalisvarmistelun puolella. Tämän linjauksen vuoksi monet talouskalalajimme jäävät alikalastetuiksi. Monilajikalastuksen ylläpito tarvitsee ohjausta, kenties oman lukunsakin!

Kalaistutusten mahdollisuuksia, ongelmia ja riskejä pohdiskellaan monipuolisesti. Poikasten tuottaminen – kalanviljely – ei kuuluu käsiteltäviin asioihin, mutta sitä enemmän puhutaan istutuspoikasten laadusta ja kunnosta. Tilaaja ja kalanpoikaslastin vastaanottaja saa hyviä toimintaohjeita. Samoin kustannuslaskelmiin tarvittavaa tietoa on tarjolla. Parisenkymmentä koti- ja ulkomaista hoitokalalajia käsitellään teoksessa lajikohtaisesti. Varoituksen sanoja istutuslajin mahdollisista vaikutuksista istutusveden kalayhteisöön on kirjattu, mutta tekstien sanoma on varsin istutusmyönteinen, jopa myyntihenkinen. Tutkimuslaitoksen kalanviljelyllähän on velvollisuutena puhtaiden kantojen ylläpito ja poikasten tuottaminen. Rapukantojenkaan hoitoa ei ole unohdettu, vaan jokirapumme ja vierasperäisen täpläravun biologiaa ja hoito-ohjeita selvitellään teoksessa lyhyesti. Teksti on sopiva tähän yhteyteen, sillä alaltahan on tutkimuslaitoksen toimesta julkaistu erikseen laajemmat oppaat.

Lukija törmää siellä täällä kohtiin, jotka tarkemmalla hiomisella olisivat poistuneet tai tulleet perustelluiksi. Esiin voi poimia vaikka kohdan, missä kerrotaan Ruotsissa ehdotetun vapakalastukseen yleistä saaliskiintiötä – neljä kalaa vuorokaudessa – ja tätä suositellaan Suomeenkin ristiriitojen vähentämiseksi. Suomalainen lukija jo ryhtyy miettimään, montako päivää joutuu onkimaan tarvitsemiaan soppa-ahvenia. Kysymyksessä on kuitenkin Ruotsissa tietyillä vesillä voimassa olevaan vapaaseen viehekalastukseen liittyvä rajoitusehdotus. Kalavesien kaavoitusta pohtivassa luukussa pilkistää taas sananvalintojen takaa toive saada rajoittaa muutoinkin kuin erityistapauksissa kansalaisten yleiskalastusoikeuksia. Mielenkiinto herättää sivun 213 maininta, että rasvaeväleikkauksen vaikutusta kalojen eloonjääntiin ja kasvuun ei tunneta tarkkaan! Työryhmämietintö, jossa ehdotetaan kaikkien istutettavien lohen vaelluspoikasten merkitsemistä leikkaamalla rasvaevät pois, ilmestyi vastikään. Liekö tutkimuslaitoksen edustajaa kuultu?

Kaiken kaikkiaan *Kalavedet kuntoon* - teos on asiallinen ja tarpeellinen käsikirja, jonka soisi kuuluvan niin yleisten kirjastojen kuin osakaskuntien ja kalastusalueiden käsikirjastojen valikoimiin. Eikä sen hankkiminen ja lukeminen ole pahitteeksi yksityisille vesialueittemme kala- ja rapukantojen hoidosta kiinnostuneille kansalaisille, vapaa-ajankalastajille ja alan ammattilaisille.

Harri Dahlström

VESITALOUS

Finnish journal for professionals in the water sector

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

ABSTRACTS

Cleaner wastewater for reuse
by Helvi Heinonen-Tanski

Tertiary treatment of municipal wastewater with rapid sand filtration and coagulants followed by UV radiation produced water with less than the 2.2 faecal coliforms in 100 mL required by California. The investment and maintenance costs for rapid sand filtration with coagulants and for a UV unit would be €0.036/m^3 if annual treatment amounted to 22 Mm^3 and the number of faecal coliforms were set to 200/100 mL.

UV disinfection of groundwater
by Marika Orava, Tapio Ala-Peijari and Huachen Pan

Finnish groundwater has been considered safe enough as such and has not therefore always been disinfected. Ultraviolet (UV) light can be used to secure the hygienic quality of water should chemical methods not be considered appropriate. UV treatment is easy to carry out and does not change the chemical quality of water.

The Finnish Water and Waste Water Works Association has now published a booklet on UV treatment in Finland. A computer model developed in the course of the publication project incorporates velocity and intensity fields and can be used to size UV reactors. Important parameters in acquiring UV equipment are water flow rate and quality, especially the concentration of iron and manganese and transmittance in the UV range. All these issues are covered in the booklet.

Effect of a livestock farm on water quality of the Shuja river
by Dina Judina

The effect of a large livestock farm on the water of the Shuja, a river flowing into Lake Onega, was investigated. Previous studies had showed that more than 50% of the nitrogen and phosphorus contents of the river derived from agriculture. In the present study, the water was sampled weekly at three sites on the river: one close to the farm, one upstream and one downstream. A physico-chemical test measured the following parameters: nitrogen (ammonia, nitrate and nitrite), phosphorus, pH, soluble oxygen and biochemical oxygen demand (BOD_5). The values of the parameters for nutrient concentrations in water close to the farm were higher in the autumn than in the spring, especially those for ammonia and nitrite. Soluble oxygen content correlated significantly with water temperature. The pH level, BOD_5, ammonia N, nitrate N, nitrite N and phosphates exceeded the maximum admitted concentrations (MAC). Comparison with previous studies showed that water quality was now poorer than it had been 38 years ago. The farm studied was revealed to be a local source of pollution.

Fluoride investigations at a groundwater plant
by Timo Kyntäjä

During 1992–2001 the occurrence and behaviour of fluorine was investigated at the artificial groundwater plants of Kouvolan Vesi and Kymenlaakson Vesi at Utti, a site located on the First Salpausselkä ice-marginal ridge. The soil in the area derives from rapakivi granite, a rock type that contains more fluorine-bearing minerals than do other common rocks. The fluorine concentration in groundwater is therefore fairly high, commonly between 1 and 1.5 mg/l. When raw water is infiltrated into soil, the fluorine concentration tends to increase, especially during and after periods of hot weather, and may exceed the concentrations allowed for drinking water (1.5 mg/l). The fluorine concentration can be lowered in various ways, e.g. by regulating the temperature of artificial groundwater but also by applying technical measures.

Other articles

Groundwater reserves at alarm level?
by Esa Rönkä

Controlling groundwater risks due to MTBE
by Juhani Gustafsson and Tero Taipale

The Water Framework Directive and Finland's groundwaters
by Tapani Suomela

Alternative de-icing salts taste only when used at high concentration
by Hanna Kivelä and Aimo Nenonen

Will the cleaning of water distribution systems improve the quality of water?
by Tarja Nissinen and Markku Lehtola

From solubility tests to risk management in a mining environment
by Marja Liisa Räisänen

Developing a water supply technology programme
by Riku Vahala and Piia Moilanen

Groundwater and geology
by Heikki Niini

POHJAVESI JA GEOLOGIA

Heikki Niini

fil.tri, TKK:n taloudellisen geologian emeritusprofessori
E-mail: heikki.niini@hut.fi

Pohjaveden taloudellinen merkitys on kolmenlainen. Eliöitten perus-elinehto on veden määrällinen riittävyys. Suomen geologisista muodostumista onneksemme löytyy pohjavettä lähes kaikkialta - paikoin jopa riittävästi pienten kaupunkien vedenhankintaan. Toiseksi, on pystyttävä varmistamaan pohjaveden riittävä puhtaus; ihmisen lisäksihän myös itse luonto pilaa pohjavettä merkittävästi liuottamalla siihen myrkkyjä, esimerkiksi fluoria, radonia, arseenia tai elohopeaa ja muita metalleja. Kolmanneksi, laadustaan riippumatta pohjavesi voi myös muuten olla ihmiselle haitta: se voi esimerkiksi vaikeuttaa rakentamista ja liikennettä sekä jähmeitten raaka-aineitten hankintaa aiheuttamalla muun muassa maan painumia, sortumia ja vieremiä sekä rakennuksissa ilmeneviä tulva-, vuoto-, home- ja radonhaittoja ja perustusten rikkoutumista.

Hyvälaatuisen pohjaveden saatavuuden varmistaminen edellyttää seikkaperäisiä geologisia tutkimuksia. Tämä tarkoittaa pohjavesimuodostumien ainesten, rakenteitten, ilmiöitten ja prosessimuutosten sekä niitten alueellisen ja ajallisen esiintymisen riittävää selvittämistä kyseisillä alueilla. Tämän työn tueksi tulisi lisäksi käyttää muualta ja muistakin hankkeista saatavaa havainto- ja tutkimusaineistoa. Esimerkiksi taajamien ja teitten rakennus- ja huoltotöissä sekä monenlaisissa kairauksissa ja maansiirroissa etenkin mineraali- ja kiviainesten hyödyntämishankkeissa konsulteille ja urakoitsijoille kertyy tärkeää pohjavesigeologista tietoa. Ilman järjestelmällistä dokumentointia se voi turhaan unohtua ja hävitä.

Tällainen geologinen tieto voi olla merkittävää vesihuoltoratkaisuille vain, kun tarkasteltavat kohteet ovat riittävän samanlaisia eli analogisia. Siksi geologisten analogioiden kritiikitön otto ulkomailta voi olla vaarallista. Esimerkiksi pohjaveden osalta EU-direktiivien laatijat ovat hämmästyttävän kevyesti jättäneet huomiotta Suomen ja muitten maitten ratkaisevat geologiset erot. Maamme vasta jääkaudella ja sen jälkeen muodostunut maaperä on ohuempi ja karumpi kuin muitten EU-maitten. Suomen kallioperä puolestaan on muitten maitten kallioperää vanhempi ja siten granitoidivaltaisempi ja pienpiirteisemmin mekaanisesti muokkautunut. Näistä syistä muun muassa maamme pohjaveden fluori-, radon- ja arseenipitoisuudet sekä niitten alueellinen, esiintymäkohtainen ja (lähinnä talvisesta roudasta johtuva) ajallinen vaihtelu ovat Suomessa yleisesti merkittävästi suuremmat kuin muissa EU-maissa.

Asetetut pitoisuusrajat eivät kuitenkaan ole mitään ehdottomia terveysriskirajoja eivätkä luonnontieteellisiä totuuksia, vaan vain hallinnollisia keinoja tavoitella ihmisten hyvinvointia. Pitoisuusrajoja aseteltaessa tulisikin ottaa huomioon paikalliset vaihtoehdot. Liian tiukat raja-arvot voivat esimerkiksi kokonaan estää sadoiltatuhansilta suomalaisilta kallioporakaivoveden käytön, jolloin korvaavat vaihtoehdot - veden otto ja kuljetus kauempaa ja/tai puhdistus kaikkine luonnon myllerryksineen - aiheuttaisivat kokonaisuudessaan huikeasti suurempia epäkohtia.

Maamme geologian pienpiirteisen kirjavuuden ansiosta yksi lupaava vaihtoehto on tietysti vähemmän myrkyllisten esiintymien etsiminen ja käyttöönotto. Se edellyttää kyseisten muodostumien geologisen tutkimuksen voimakasta tehostamista, mihin taas hyvän lähtökohdan tarjoaa maamme innovaatioherkkien yliopistollisten tutkimusyksikköjen runsaus. Tämä tietysti edellyttää yhä tiiviimpää yhteistyötä suurten tutkimuslaitosten, Geologian tutkimuskeskuksen, Suomen ympäristökeskuksen ja Säteilyturvakeskuksen kanssa.

Akateemiselle tutkimukselle sopivia metodisia pohjavesiprobleemeja tarjonnevat muun muassa uudenlaiset muodostumarakenteitten ja -ilmiöitten 3D-spatiostatistiset mallinnukset sekä geofysikaaliset välilliset menetelmät: sähköiset, sähkömagneettiset, magneettiset, gravimetriset, seismiset, akustiset ja säteilymittaukset, joilla mitataan sekä luonnollisia ilmiöitä että mittaajien keinotekoisesti aiheuttamia vasteita. Mittaustuloksilla oletetaan olevan korrelaatiot itse pohjaveden virtauksia ja pitoisuuksia hallitseviin geologisiin ilmiöihin ja oloihin, kuten maankamaran vedenjohtavuuteen, huokoisuuteen, huokos-/rakorakenteeseen ja hydrauliseen gradienttiin sekä näitten tiheysvaihteluihin tilassa eli muutosderivaattojen suuruuteen ja suuntaan. Juuri tällaisten monimutkaisten riippuvuuksien epärutiininomaisessa selvittelyssä ja hyödyntämisessä voi monitieteinen akateeminen innovatiivisuus olla hedelmällistä. Se myös edistäisi pyrkimystä saada viralliset riskirajat kokonaisvaltaisesti parempaan sopusointuun luonnon tarjoamien geologisten olosuhteitten kanssa.

Vesitalous

Sisällysluettelo 2002

N:o 1

Olli Varis:
Integraatiosta integraatioon
Elina Rautalahti-Miettinen:
GIWA – kansainvälisten vesien tilan arviointi
Pertti Vakkilainen:
Globaalien vesikysymysten opetus
Jorma Koponen, Juha Sarkkula, Markku Virtanen:
Tonle Sap -järven alueen kehitys
Jarmo J. Hukka, Tapio Katko:
Vesihuollon instituutiot elävät muutosten aikaa
Olli Varis:
Riosta Johannesburgiin, Dublinista Bonniin
Jukka Ilomäki, Timo Tuominen, Hannu Vikman:
Näkökohtia vesihuoltolaitoksen paikkajärjestelmän hankinnasta
Hannu Majuri:
Oikeudellisista ongelmista vesistöjen kunnostushankkeissa
Jussi-Pekka Kinnunen:
Porin kaupunkialueen pohjavesiesiintymän mallinnus
Katri Saukkonen ja Anu Elina Turunen:
Vesityö tunnetuksi

N:o 2

Marja Luntamo:
Lisää lietteen kierrätystä
Juhani Puolanne:
Mitä tehdä puhdistamolietteille?
Eeva Heiska:
Aumakompostoinnin ympäristöhaittojen vähentäminen Oulussa
Mikko Kankaanpää:
Lietteen rumpukompostointi Heinolassa
Erkki Kettunen:
Lietteen terminen kuivaus Joensuussa
Jussi Uotila, Lotta Ruokanen, Gennadi Zaitsev:
Typenpoisto täsmäbakteereilla biosuotimessa
Antti Lindfors ja Kai Rasmus:
Pintavesien laadun jatkuva mittausmenetelmä
Tero Kärkkäinen:
Kastelusektorin hajautus ja hallinta kehitysmaissa
Pertti Seuna:
Maailman vesipäivä 2002
Pekka Vihervuori:
Vesikaupan juridiikan perusteita
Heikki Kiuru:
Vesialan koulutus teknillisissä korkeakouluissa
Martti Sinisalmi:
Vesihuolto ja palvelutoiminnan priorisointi

N:o 3

Matti Ettala:
Vahingosta viisastuu
Pekka Kansanen:
Töölönlahden kunnostushanke ennen ja nyt
Annukka Lipponen:
Päijänne- tunnelin geologinen ympäristö ja ympäristöriskit
Risto Kuusiniemi ja Timo Maijala:
Ovatko Suomen padot turvallisia?
Marja Englund:
Valokaapeli valvoo rakenteiden kuntoa
Matti Ettala, Pertti Hyvönen, Erkki Pesonen:
Kaatopaikan pintarakenteen toimivuus
Esko Rossi:
Pilaantuneiden maa-alueiden riskinarviointi
Irmeli Ahtela, Eija Lehtonen:
Ravinnetase maatalouden vesiensuojelun apuvälineenä
Kirsi Järvenranta, Perttu Virkajärvi, Irmeli Taipalinen, Helvi Heinonen-Tanski:
Säiliörehun puristeneste on edelleen todellinen uhka vesistöille
Heidi Vuoristo:
Velvoitetarkkailu ja järvien ekologisen tilan arviointi
Johanna Hakala, Heidi Vuoristo, Liisa Lepistö:
Kasviplanktontutkimusten laadunvarmistuksen ongelmista
Esa Tommila:
Onko ympäristönvalvonnan alueellisiin eroihin enää perusteita?

N:o 4

Rauno Piippo:
Vesihuollon toimintamallit uudelleen arvioitavina
Markku Maunula:
Vesitalous ja vesipolitiikan puitedirektiivi
Eeva Heiska:
Jäteveden biologinen suodatus kemiallisen puhdistuksen jälkeen
Robert Donner:
Matalaan perustetut vesi- ja paineviemäröintijohdot
Jouko Kettunen:
Hämeenlinnan seudun vesi Oy:n perustaminen
Harry Piirainen:
Vesilaitosten 2000-luvun taloudelliset haasteet
Heikki Kiuru:
Oikotie tehokkaaseen asumisjäteveden typenpoistoon?
Katriina Etholén:
Puhdasta vettä lontoolaisille
Juhani Kettunen:
Saimaan kanava – vuosisatoja haaveiltu, kolmasti rakennettu
Masi Rinkinen:
Kuinka kirjoittaa ymmärrettävästi
Timo Kietäväinen:
Kunta vesihuoltolaitoksen omistajana

N:o 5

Pertti Seuna:
Vesioikeuslaki – annettu 24. pnä Heinäk. 1902
Pekka Hallberg:
Vesioikeuslaki 100 vuotta
Erkki J. Hollo:
Vesioikeuslaki 100 vuotta – kehitystä ja mukautumista
Veikko Lammassaari:
Vesilainsäädäntö ja uitto
Jussi Hooli:
Maan kuivatus ja kastelu
Tapio S. Katko:
Vesihuollon virstanpylväitä
Timo Myllyntaus:
Kalastus ja vesien virkistyskäyttö
Timo Kotkasaari:
Vesilain säädännön uudistamisen suuntaviivoja
Esko Kuusisto:
Liikaa, likaista, liian vähän – pystymmekö ratkaisemaan tulevaisuuden vesiongelmat?
Markku Rummukainen:
Ilmastonmuutos jakaa maapallon vesivarat entistä epätasaisemmin
Meeri Palosaari:
Teollisuus vähentänyt jätevesipäästöjään murto-osaan 30 vuodessa

N:o 6

Markku Puupponen:
Äänetön asiakas
Antti Lehtinen, Ilkka Sammalkorpi, Heli Harjula, Teemu Ulvi:
Vesistöjen kunnostuksen tilanne ja ongelmat
Timo Yrjänä:
Jokien kunnostaminen Suomessa ja muualla
Jaakko Autio:
Vesien kunnostuksen oikeudellisia näkökohtia
Tuija Reinikainen:
Pelastustalkoot kotijärven puolesta
Riitta Murto-Laitinen:
Maakunnan liitot mukana kunnostuksessa
Teija Kirkkala, Anne-Mari Ventelä:
Pyhäjärven suojeluprojekti
Mauri Pekkarinen:
Pitkäjänteinen työ tuo tulosta – Tuusulanjärvi voi jo aika hyvin
Jukka Ruuhijärvi, Mikko Olin:
Onnistuuko ja vaikuttaako hoitokalastus?
Tero Väisänen, Hanna Kuusela:
Järven kunnostusmenetelmän valinta
Marko Lehmikangas ja Jouni Viinikka:
Järven tilapäinen kuivattaminen
Juhani Kettunen:
Saako ympäristönsuojelusta keskustella?
Pentti Tiusanen:
Vesi – elämän lähde

Yhdyskuntatekniikka Jyväskylä Paviljonki Infratech 4.–6.6.2003

Ilmoittaudu nyt!

YHDYSKUNTATEKNIIKAN VIIKKO, JYVÄSKYLÄ 3. – 7.6. 2003

TIISTAI 3.6.	KESKIVIIKKO 4.6.	TORSTAI 5.6.	PERJANTAI 6.6.	LAUANTAI 7.6.
Vesimittarikurssi (VVY)		Kuntatekniikan päivät (SKTY)		
Vv-laitosten asentajien ja työnjohdon koulutuspäivät (VVY)				
Jätevedenpuhdistamon hoitajien koulutuspäivät (VVY)				
	Vesihuoltopäivät 2003 (VVY)			
	Vesiensuojelun neuvottelupäivät (VVY)			
	Kesätiepäivät (STY)			
	SML:n neuvottelupäivät			
	Jätelaitospäivät (JLY)			

YHDYSKUNTATEKNIIKKA 2003 -NÄYTTELY
Infratech 2003 -Exhibition

Maksuttomat luennot näyttelyvieraille Paviljongissa

Kunnallisteknisen koneet Urheilu ja virkistys	Liikenneväylät ja ympäristö	Jätteet ja vesihuolto

YHDYSKUNTATEKNIIKKA / INFRATECH:
PL 122, 00521 HELSINKI, puh. (09) 868 9010, fax (09) 148 4750, email yt@vvy.fi, www.vvy.fi/yt

JÄRJESTÄJÄT
Vesi- ja viemärilaitosyhdistys (VVY), Suomen Maarakentajien Keskusliitto (SML), Suomen Kuntatekniikan Yhdistys (SKTY), Suomen Tieyhdistys (STY), Jätelaitosyhdistys (JLY).

• Energiahuolto • Jätehuolto • Katu-, tie- ja liikennetekniikka • Konekalusto • Mittaustekniikka • Satamat • Tietojenkäsittely- ja automaatiotekniikka • Työmaavarusteet • Urheilu- ja virkistysalueet • Vesihuoltotekniikka • Yhdyskuntasuunnittelu • Ympäristönsuojelu