

1.3.2011

Tavase Oy

Tavase Oy:n tekopohjavesilaitoksen talousveden
tuotantoon ja laatuun vaikuttavat tekijät

Tampere 2011

Sisältö

1	JOHDANTO	2
2	HANKKEEN KUVAUS.....	3
3	TEHDYT TUTKIMUKSET	3
4	RAAKAVESILÄHDE	5
4.1	Vedenotto ja Hiedanperänlahden veden laatu	5
4.1.1	<i>Roineen kasviplankton</i>	<i>6</i>
5	RAAKAVEDEN IMEYTTÄMINEN	7
5.1	Imeytysmenetelmät ja imeytysvesimäärät	7
6	MAAPERÄOLOSUHTEET JA -PROSESSIT SEKÄ VEDEN PUHDISTUMINEN.....	8
6.1	Pohjavesialueen ominaisuudet.....	8
6.2	Veden puhdistuminen	10
6.2.1	<i>Orgaanisen aineksen poistuminen.....</i>	<i>10</i>
6.2.2	<i>Happi.....</i>	<i>11</i>
6.2.3	<i>Rauta ja mangaani.....</i>	<i>12</i>
6.2.4	<i>Kiintoaine.....</i>	<i>12</i>
6.2.5	<i>Mikro-organismit ja virukset.....</i>	<i>13</i>
6.2.6	<i>Syanobakteerit</i>	<i>14</i>
7	ESIKÄSITTELYTARVE	14
8	VEDEN KÄSITTELY ENNEN VERKOSTOON JOHTAMISTA.....	15
9	JOHTOPÄÄTÖKSET	16
10	LÄHDELUETTELO	17

Liitteet

- Liite 1 Kartta: Vehoniemen-Isokankaan harjualueen tekopohjavesilaitos.
- Liite 2 Roineen päällysveden (0-2 m) laskennallinen kasviplanktonbiomassa vuosien 2004-2009 kasvukausina.
Orgaanisen aineksen molekyylikokojakauma eri raakavesilähteissä
- Liite 3 Esimerkkejä toiminnassa olevien tekopohjavesilaitosten ja Tavase Oy:n laitoksen ominaisuuksista.
- Liite 4 Mangaani- ja happipitoisuuden välinen riippuvuus Hiedanperänlahdella 15 m syvyydellä.
Sameuden ja kiintoainepitoisuuden välinen riippuvuus Hiedanperänlahdella 15 m syvyydellä.
- Liite 5 Roineen kiintoainepitoisuus ja sameus.

1

JOHDANTO

Tässä raportissa kuvataan Tavase Oy:n suunnitteilla olevan tekopohjavesilaitoksen veden tuotantoon ja tuotetun veden laatuun vaikuttavia tekijöitä. Osa esitetyistä tiedoista perustuu Tavase Oy:n tekemiin tutkimuksiin ja suunnitelmiin, osa riippumattomien tahojen tekemiin tutkimuksiin ja osa teoreettisiin laskelmiin. Tavase Oy:n tekopohjavesilaitosta verrataan toiminnassa oleviin tekopohjavesilaitoksiin.

Tehdyn tarkastelun pohjalta esitetään arvio tuotettavan veden laadusta, raakaveden esikäsittelytarpeesta sekä tuotettavan veden jälkikäsittelytarpeesta.

Raportin laadinnasta vastannut työryhmä vastuualueineen on esitetty alla.

- Raakaveden laatu:
 - Oravainen Reijo, MMM, limnologi, Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry
- Hydrogeologia:
 - Kallio Esa, FM, suunnittelupäällikkö, FCG Finnish Consulting Group
 - Ikäheimo Jukka, FM, johtava pohjavesiasiantuntija, Pöyry Finland Oy
- Maaperäprosessit, esikäsittely- ja jälkikäsittely:
 - Pääkkönen Jorma, DI, kemisti, johtava prosessiasiantuntija, FCG Finnish Consulting Group
- Orgaanisen aineksen poistuminen ja mikrobiologiset tekijät:
 - Puhakka Jaakko, Professori, Tampereen teknillinen yliopisto (6.2.1, 6.2.5, 6.2.6)
 - Kolehmainen Reija, TkT, vesihuollon asiantuntija, Pöyry Finland Oy (6.2.1, 6.2.5, 6.2.6)

Tavase Oy:n edustajana työryhmässä on toiminut toimitusjohtaja DI Petri Jokela. Raportin on toimittanut Reija Kolehmainen.

2

HANKKEEN KUVAUS

Tavase Oy:n suunniteltu tekopohjavesilaitoskokonaisuus sijoittuu Vehoniemenharju-Syrjänharju harjujaksolle Kangasalan ja Pälkäneen kuntien alueelle. Kalliokohoumat jakavat harjun erillisiin akvifereihin. Kukin kolmesta tuotantoalueesta sijoittuu omaan akviferiinsä. Liitteessä 1 on esitetty karttakuva tekopohjavesilaitoksen alueellisesta sijoitumisesta.

Pohjoisin Vehoniemen tuotantoalue koostuu yhdestä kaivoalueesta ja kahdesta imeytyslohkosta. Luontaisen pohjaveden virtaussuunnan mukaan imeytysalueet sijoittuvat akviferin eteläosaan ja kaivoalue niiden pohjoispuolelle. Vehoniemenharjulla on rakennettuna kaksi tuotantokaivoa, jotka palvelevat nykyisellään Kangasalan kunnan vesihuoltoa. Uusimmissa suunnitelmissa on harjun laen sadetusimeytyslohkon lisäksi hyödynnetty uutta tutkimustietoa ja sijoitettu uusi imeytyslohko mahdollisimman lähelle eteläistä kallioselkää. Tällä imeytysalueella voidaan sadetusimeytyksen vaihtoehtona käyttää kaivoimeytystä, mahdollisesti myös allasimeytystä. Tuotantoalue on kokonaisuudessaan Kangasalan kunnan aluetta ja sen tuotantokapasiteetin on suunniteltu olevan 22 000 m³/d.

Keskimmäinen tekopohjaveden tuotantoalue sijoittuu niin ikään Kangasalan kunnan alueelle. Kalliokynnykset rajaavat kyseistä akviferia siten, että pohjaveden luontainen virtaussuunta on harjun kulkusuuntaan nähden poikittain eli yleistäen idästä länteen. Imeytys toteutetaan allas-, sadetus- ja kaivoimeytyksenä. Allasimeytys on suunniteltu alueella sijaitsevan soranottoalueen pohjalle. Tekopohjaveden suunniteltu tuotantokapasiteetti on 28 000 m³/d. Kaivoalueelle on rakennettu yksi koekaivo.

Eteläisin tuotantoalue sijoittuu Pälkäneen kunnan alueelle. Tuotantoalueella pohjaveden luontainen virtaussuunta on harjun kulkusuunnan mukainen luoteesta kaakkoon. Hydraulisesti alue on muita haastavampi kallion muodostaessa alun perin suunniteltujen kaivo- ja imeytysalueiden väliin tekopohjaveden virtausta osittain estävän kynnyksen, ns. Taustialantien kynnyksen. Imeytystapoina ovat sadetusimeytys ja kaivoimeytys. Alueella on v. 2009-2011 toteutettu laaja imeytys- ja merkkiainekoe. Sen yhteydessä imeytysalueelle on rakennettu kolme imeytyskaivoa ja kaivoalueelle aiemman koekäivon lisäksi toinen koekaivo. Suunniteltu tekopohjavesikapasiteetti on 20 000 m³/d.

3

TEHDYT TUTKIMUKSET

Vehoniemen-Isokankaan harjualueella on tehty tekopohjavesihankkeen tutkimuksia vuodesta 1994 lähtien. Tutkimuksiin on sisältynyt:

- Geofysikaalisia tutkimuksia. Geofysiikalla kartoitetaan harjun maaperän rakennetta ja kallion asemaa. Tärkeimpiä menetelmiä ovat maatutkaluotaukset, gravimetriset mittaukset ja seismiset luotaukset. Gravimetrisia mittauksia ja maatutkaluotauksia on tehty useissa eri vaiheissa.
- Maaperäkairauksia ja pohjavesiputkien asennuksia. Alueelle on asennettu noin 160 pohjavesiputkea. Kairaukset kertovat tarkimmin maaperäolosuhteista. Niillä tarkennetaan geofysikaalisten tutkimusten antamaa tietoa.
- Kaivonpaikkatutkimuksia (maaperänäytteet, raekokoanalyysit, vedenjohtavuusmittaukset, videokuvaukset)

- Kaivokartoitusta. Alueen yksityiskaivoista on kerätty perustiedot (sijainti, rakenne, syvyys, vedenkäyttö ja pohjaveden pinnan taso). Myös kaivojen veden laatua on selvitetty.
- Pohjavedenpinnan seurantamittauksia asennetuista havaintoputkista. Mittauksia on tehty kuukausittain. Mittaukset antavat tietoa pohjavedenpinnan luonnollisista vuodenaikoihin sidotuista muutoksista.
- Koepumppauksia ja -imeytyksiä suunnitelluilla kolmella tutkimusalueella. Koejaksot olivat kestoaltaan 2 – 10 kk 10 vuoden ajanjaksolla.
- Imeytys- ja merkkiainekoe Pälkäneen tutkimusalueella.
- Tutkimukset raakaveden laadusta ja määrästä.
- Pohjaveden virtausmallinnusta.
- Kasvillisuusseurantaa.
- Sedimentologisia selvityksiä.
- Lämpökamerakuvauksia. Kuvauksissa selvitettiin maanalaisten lähdepurkautumien sijaintia ja lähdevesien purkautumista vesistöön.
- Pohjaveden ja pintaveden isotooppiselvityksiä.
- Avo-ojien virtaamamittauksia.
- Avovesipintojen seurantamittauksia.

Muiden tahojen tekemiä tekopohjavesitutkimuksia ovat olleet mm. seuraavat:

- TEMU: Tekopohjaveden muodostaminen: imeytystekniikka, maaperäprosessit ja veden laatu. Metla (2003). Rahoittaja: Tekes.
- Tampereen teknillisen yliopiston tekemät tutkimukset (2004-2011):
 - TEVA: Tekopohjaveden valmistaminen on-line-monitorointia ja ohjausta kehittämällä (2008-2011). Rahoittajat: Tekes, Tavase Oy, TSV Oy, Pöyry Finland Oy (ent. Pöyry Environment Oy), FCG Oy.
 - Orgaanisen aineksen biohajoaminen ja mikrobiyhteisödynamiikka tekopohjaveden muodostuksessa (alkup. *Natural organic matter biodegradation and microbial community dynamics in artificial groundwater recharge*). Kolehmainen Reija (Väitöskirja, 2008, Tampereen teknillinen yliopisto). Rahoittajat: Tampereen teknillisen yliopiston tutkijakoulu, Maj ja Tor Nesslingin säätiö, Maa- ja Vesitekniikan Tuki ry, Tekes (Finland Distinguished Professor Programme). Väitöstyön osatutkimuksia:
 - *Design and optimization of a fluidized-bed reactor for natural organic matter biodegradation studies*. Crochet Ludivine (Diplomityö, 2007).
 - BioArg (Tekopohjaveden mikrobiologia, 2008). Rahoittaja: Vesihuoltolaitosten kehittämisrahasto.
 - *Mikrobiyhteisön entsyymiaktiivisuus tekopohjaveden ravinnemittarina*. Korpela Jaana (Diplomityö, 2009).
- Turun Seudun Vesi Oy:n tekemät tutkimukset

4 RAAKAVESILÄHDE

4.1 Vedenotto ja Hiedanperänlahden veden laatu

Tavase Oy:n tekopohjavesilaitoksen raakavetenä käytetään Roineen vettä. Vesi otetaan Vehoniemen harjun vieressä olevalta Hiedanperänlahdelta. Imuputken pituus on 1700–1800 m ja sen pää tasossa -17 m keskivedenpinnasta. Vaihtoehtona on raakaveden otto kahdelta eri syvyydeltä siten, että piileväkukintojen aikana vesi otetaan pinnemmasta kuin normaalisti. Putken päähän rakennetaan siivilä.

Taulukossa 1 on esitetty raakaveden laadun keskeisimmät parametrit sekä vertailu toiminnassa olevien tekopohjavesilaitosten käyttämien raakavesilähteiden laatuun.

Hämeenlinnan Ahveniston tekopohjavesilaitoksella raakavesilähteenä on Alajärvi. Tuusulan tekopohjavesilaitoksen raakavesi puolestaan on peräisin Päijänteen Tehinselältä ja Vuonteen tekopohjavesilaitoksen Kuusvedestä. Turun Seudun Vesi Oy:n (TSV) raakavesi otetaan Kokemäenjoesta.

Roineen Hiedanperänlahden vesi on laadultaan Päijänteen Tehinselkään verrattavaa. Erona on Päijänteen voimakkaampi humusleima johtuen valuma-aluekijöistä. Humusleima kohottaa hieman myös veden typpipitoisuutta. Rautaa ja mangaania ei esiinny kummassakaan vedessä luonnontasoa enempää. Päijänteen vesi on kuitenkin kirkkaampaa kuin Roineen. Roineessa näkyy hienoista sameuden lisääntymistä, joka johtuu suuremmasta leväbiomassasta. Myös fosforipitoisuus on aavistuksen korkeampi. Roine kuuluu kuitenkin karuhkoon, ajoin lievästi rehevään tuotantotyyppiin. Leimaa antavia ovat alkukesän ja loppusyksyn leväsamennukset, jolloin biomassan määrä on rehevien vesien luokassa ($>2,5 \text{ g/m}^3$). Pääasiassa leväbiomassan määrä on lievästi rehevässä luokassa (vrt. liite 2).

Taulukko 1. Hiedanperänlahden päänlysveden ja syvyydellä 16 m olevan veden sekä raakaveden ottoon tekopohjavesilaitoksilla käytettävien vesialueiden yleisiä laatuparametreja (keskiarvot ja vaihteluvälit) (Lähde: Velvoitetarkkailujen tulosaisto ellei toisin mainittu).

Parametri	Yksikkö	Tavase Oy Roine Hiedanperänlahti Päänlysvesi 2003-2010 (n=12)	Tavase Oy Roine Hiedanperänlahti Syvyys 16 m 2003-2010 (n=12)	Tuusula Päijänne Tehinselkä 2000-2010 (n=22)	Hämeenlinna Alajärvi 2000-2010 (n=23)	TSV Oy Kokemäenjoki 2000-2010 (n=120)	Vuontee Kuusvesi 2001-2009 (n=13-127)
Sameus	FNU	2,1 (0,54-3,4)	2,5 (1,0-6,1)	0,5 (<0,3-0,7)	1,5 (0,3-5,6)	6,6 (0,9-17)	1,2 (0,4-2,4)
Kiintoaine	mg/l	2,0 (<1-4,4)	2,2 (0,8-4,3)	<2,0	-	5,1 (0,5-13)	-
Happamuus	pH	7,2 (6,9-7,5)	6,9 (5,7-6,1)	7,2 (6,8-7,7)	7,1 (6,7-7,7)	7,1 (6,8-7,5)	6,8 (6,0-8,4)
Väri	mgPt/l	20	-	24 (15-40)	62 (35-100)	50 (25-100)	15,8 (0-25)
Sähkönj.	mS/m	6,6 (6,3-6,8)	6,7 (6,4-7,3)	6,8 (6,7-7,1)	8,5 (7,8-9,5)	9,5 (7,8-13,2)	4,4 (3,0-7,9)
Rauta	µg/l	80 (23-140)	95 (39-150)	46 (25-79)	180 (76-660)	380 (120-990)	83 (1-466)
Mangaani	µg/l	25 (6-54)	75 (19-330)	11 (<10-18)	29 (5-54)	-	53 (2-490)
Typpi	µg/l	360 (290-450)	381 (280-490)	500 (390-590)	590 (390-930)	910 (450-2300)	381 (300-490)
Fosfori	µg/l	12 (8-15)	12 (9-17)	7,7 (5-11)	11 (6-22)	25 (14-50)	-
COD _{Mn}	mgO ₂ /l	4,5 (3,6-5,6)	4,3 (3,7-5,0)	6,4 (5,4-8,4)	12 (8,2-18)	9,1 (7,2-15)	-
TOC	mg/l	6,5 ¹ (6,0-7,6)	6,0 (5,7-6,1)	6,7 ² (6,2-7,0)	10,3	7,9 ³ (6,8-9,0)	6,7

¹ Roine v. 2009 (n=58) (Tampereen Vesi)

² Päijänne-tunneli, Jäniksenlinnan imeytysalue v. 2010-2011 (n=4) (Tuusulan seudun vesilaitos ky)

³ Kokemäenjoki 15.-31.10.2010 (TSV Oy)

Alajärven pintavesi on selvästi voimakkaammin humuksen leimaamaa kuin kahden edellisen järven. Humuksen mukana veteen jää rautaa ja tyypeä enemmän kuin kirkkaissa humuksettomissa vesissä. Raakaveden laatu on Alajärvessäkin hyvä. Kuusveden orgaanisen aineksen pitoisuus on hieman korkeampi mutta sameus hieman matalampi kuin Hiedanperänlahden veden. Päijänteen, Kuusveden ja Roineen vesien laatueroilla ei ole merkitystä tuotetun talousveden laadun kannalta.

Kokemäenjoki poikkeaa muista virtavetenä, mistä johtuen veden laatu vaihtelee enemmän vuodenaikojen mukaan. Kokemäenjoen vesi on puhdistunut voimakkaasti jätevesien käsittelyn tehostumisen ja metsäteollisuuden kuormituksen loppumisen myötä. Veden COD-arvot ovat nykyisin alhaisia ja rehevyystaso lievää rehevyyttä kuvaava. Veden laatuun vaikuttaa yläjuoksullakin hajakuormitus, mikä näkyy veden lievänä sameutena ja kiintoaineen lisääntymisenä. Veden laadun vaihtelu on huomattavasti suurempaa kuin järivialtaissa. Kokemäenjoen vesi esikäsitellään ennen imeytystä.

Roineen veden orgaanisen hiilen pitoisuus on samaa luokkaa kuin Päijänne-tunnelin veden. Liitteen 2 kuvassa 2 oleva vertailu Hiedanperänlahden ja Tampereen Veden vedenkäsittelylaitokselle johdettavan Roineen veden orgaanisen aineksen molekyyl kokoja-kaumasta osoittaa Hiedanperänlahden ja Tampereen Veden vedenkäsittelylaitokselle johdettavan Roineen veden orgaanisen aineksen laadun vastaavan toisiaan. Päijänne-tunnelin vedessä suurten orgaanisten molekyyliden suhteellinen osuus on jonkin verran Roineen vettä suurempi.

4.1.1 *Roineen kasviplankton*

Roineen päällysveden kasviplanktonin lajistoa ja biomassaa on seurattu Tampereen Veden toimesta jo vuosien ajan. Roineen leväbiomassan määrä on lievästi rehevien vesien tasolla. Alkukesäisin vedessä esiintyy biomassan määrän nousua kultalevien runsastuessa (mm. *Urogelna sp.*). Keskikesällä biomassamäärät ovat vedessä alhaisia ollen karujen vesien luokkaa. Syksyisin vesimassan sekoittuessa syyskierron yhteydessä piilevä alkaa runsastua. Piilevän määrä on sidoksissa ravinnetilanteeseen ja sitä kautta valumaloihin. Biomassan määrä vaihtelee vuosittain hyvin voimakkaasti. Mitä pidempään syyskierto kestää, sitä enemmän leväbiomassaa voi muodostua. Vallitsevana lajina on ollut *Aulacoseira sp.* Se on rihmamainen piilevä, joka takertuu helposti mm. verkon h vakseen ja likaa syyspyynnissä olevat verkot nopeasti. Jääpeitteen tulon jälkeen levä painuu nopeasti pohjaan ja vesi kirkastuu parissa viikossa. Pohjan lähellä voi olla tällöin runsaasti levää ja biomassan hajoaminen kuluttaa sieltä happea. Happipitoisuuden alentuessa rautaa ja mangaania vapautuu pohjan läheiseen veteen. Veden ottamista syvänteestä läheltä pohjaa tulee tällöin välttää.

Tyypillinen levätilanne oli esimerkiksi kesällä 2009 (liite 2, kuva 1). Tällöin tosin hie-man epätyypillistä oli voimakas piilevämaksimi jo toukokuussa. Tämä johtui viileästä alkukesästä, jolloin kerrostuminen tapahtui hitaasti ja piilevä pystyi keijumaan vedessä pidempään. Keskikesällä biomassaa oli alle 0,5 g/m³. Biomassaa oli vähemmän kuin keskimäärin, koska pintavesi oli poikkeuksellisen lämmintä. Näissä oloissa ravinteet laskeutuivat alusveteen. Syyskuussa veden alkaessa jäähtyä piilevän määrä lisääntyi vähitellen ja biomassaa oli joulukuussa järven ollessa edelleen sula jo yli 3 g/m³. Sinilevien osuus biomassasta on ollut koko ajan olematon eikä sellaista sinileväongelmaa, joka haittaisi raakaveden ottoa, Roineella ole.

Liitteen 2 mukaan syksyiset piilevämaksimit ovat jonkin verran taantuneet viime vuosi-na. Vuonna 2004 oli myös voimakas alkukesän maksimi, joka johtui *Asterionella for-mosa* piilevästä. Vuoden 2007 alkukesän levähuippu johtui *Uroglena sp.*:n runsastumi-sesta.

Kaiken kaikkiaan Hiedanperänlahden veden laatu on hyvää tekopohjaveden tuotantoa ajatellen.

5 RAAKAVEDEN IMEYTTÄMINEN

5.1 Imeytysmenetelmät ja imeytysvesimäärät

Raakaveden imeytys Tavase Oy:n tekopohjavesilaitoksella tapahtuu kolmella erillisellä tuotantoalueella Kangasalan ja Pälkäneen kuntien alueella. Imeytysvaihtoehtoina ovat kaivo-, sadetus- ja allasimeytys.

Kaivoimeytyksestä on tietoa kahdelta toiminnassa olevalta tekopohjavesilaitokselta (Nokia ja Tuusula). Menetelmän etuna allasimeytykseen verrattuna on leväkasvun es-tyminen. Kaivoimeytyksen käyttöä puoltavat tutkimukset, joiden mukaan raakaveden DOC-pitoisuus ei juuri alene suomalaisten tekopohjavesilaitosten vajovesivyohtyhykkeissä (Helmisaari *et al.* 2003). Lisäksi menetelmän käyttöä puoltavat maisemavaikutusten vä-häisyys ja turvallisuusnäkökohdat (il kivallan ehkäisy). Tuusulan tekopohjavesi-laitoksella menetelmä on ollut käytössä v. 2007 lähtien eikä tukkeutumista ole tänä ai-kanä tapahtunut. Myös Tavase Oy:n pohjavedellä tekemissä kaivoimeytyskokeissa (imeytysjaksot joulou-toukokuu 2009–2010 ja elo-marraskuu 2010) vesi imeytyi hyvin eikä tukkeutumista havaittu. Kokeissa käytettiin 3 siiviläkaivoa ja maksimissaan 7 000 m³/d imeytysvesimääriä.

Sadetusimeytystä on käytetty tekopohjaveden imeyttämiseen vuodesta 1995 lähtien. Sa-detusimeytyksen etuna on mm. se, ettei se vaadi metsämaan muokkausta. Haittana puo-lestaan on maaperän pH:n nousu ja tästä aiheutuva aluskasvillisuuden lajiston muutos (Helmisaari *et al.* 2003). Haittoja voidaan ehkäistä vaihtelemalla sadetusputkiston paik-kaa määrääjoin. Tavase Oy:n touko-elokuussa 2010 tehdyissä sadetusimeytyskokeissa vesi imeytyi hyvin maaperään myös rinteessä pintakuormilla 0,03–0,17 m/h.

Allasimeytys on vanhin Suomessa käytetty imeytysmenetelmä, jonka käyttöä etenkin yhdellä Tavasen imeytysalueista puoltaa alueen luonne sorakuoppaana. Allasimeytykses-sä pohjahiekka toimii eräänlaisena esisuodattimena ja se voidaan tarvittaessa puhdistaa tai vaihtaa.

Tavase Oy:n tekopohjavesilaitoksessa on yhdistetty kolme erillistä tekopohjavesilaitos-ta, joista kukin toimii erillisessä akviferissa. Tuotantoaluekohtaiset mitoitusilanteen imeytysvesimäärät ovat 22 000 m³/d (tuotantoalue 1), 28 000 m³/d (tuotantoalue 2) ja 20 000 m³/d (tuotantoalue 3) ja koko laitoksen keskimääräinen mitoitusilanteen imeytys-vesimäärä 70 000 m³/d (huippuimeytys 92 000 m³/d). Luontaisen pohjaveden muodos-tusmäärä kullakin Tavase Oy:n tuotantoalueella vaihtelee välillä 1 700 – 2 200 m³/d ollen n. 10 % imeytettävästä vesimäärästä. Imeytysveden määrä on Tavase Oy:n kol-mella suurimmalla imeytysalueella siten samaa suuruusluokkaa tai hieman korkeampi kuin toiminnassa olevilla suurimmilla tekopohjavesilaitoksilla (Hämeenlinna, Jyväskylä). TSV Oy:n laitoksen mitoitusilanteen imeytysvesimäärä on 105 000 m³/d eli 50 % Tavase Oy:n laitoksen imeytysvesimäärää suurempi.

6

MAAPERÄOLOSUHTEET JA -PROSESSIT SEKÄ VEDEN PUHDISTUMINEN

Imeytettävän veden laatu ja maaperän hydrogeologiset olosuhteet sekä imeytysmenetelmä vaikuttavat maaperässä tapahtuviin prosesseihin. Vallitsevat olosuhteet ja prosessit puolestaan vaikuttavat tuotetun veden laatuun. Tavase Oy:n tekopohjavesilaitoksen maaperässä tapahtuvia prosesseja ja tuotetun veden laatua voidaan arvioida tehtyjen tutkimusten sekä toiminnassa olevien tekopohjavesilaitosten keskeisten parametrien avulla.

6.1

Pohjavesialueen ominaisuudet

Vehoniemenharju-Syrjänharju on luode-kaakkoissuunnassa kulkeva harjujakso, joka on osa Ylöjärveltä Kangasalle ja Pälkäneelle ulottuvaa saumamuodostumaa. Tavase Oy:n tutkimusalueet sijoittuvat noin 7 km:n osuudelle. Kyseessä on kolme erillistä kalliokohoumien rajaamaa akviferia. Muodostuman leveys vaihtelee välillä 1 – 2 km. Harjujaksolle on tyypillistä hyvin vaihteleva kerrosjärjestys, joka käsittää silttiä, hiekkaa, soraa ja moreenia. Alueella on vaihteleva kalliotopografia, maakerrospaksuudet ovat tavallisesti 10–50 m suuruusluokkaa.

Viipymän määrittäminen on tekopohjavesitutkimuksissa keskeistä. Viipymällä tarkoitetaan tässä yhteydessä imeytetyn veden keskimääräistä virtausaikaa imeytyspaikalta vedenottokaivoille. Viipymän suuruus riippuu veden tehokkaasta virtausnopeudesta. Virtausnopeuteen vaikuttavat keskeisesti varastokerroin ja vedenjohtavuus sekä vedenpinnan kaltevuus. Maaperän vedenjohtavuus ja varastokerroin on Tavase Oy:n tutkimusalueilla arvioitu kairaustulosten, vedenjohtavuusmittausten, imeytyskokeiden ja niihin liittyvien laskennallisten menetelmien sekä virtausmalliajojen ja merkkiainekokeen tuloksien perusteella.

Tutkimusten mukaan tuotantoalueiden 1, 2 ja 3 viipymät ovat n. 50, 50 ja 75 d, vastaavasti (liite 3). Vertailussa mukana olevilla laitoksilla viipymä vaihtelee välillä ~15 – 90 d. Imeytysmatkan pituus on alueilla 1, 2 ja 3 puolestaan 750, 500 ja 1500 m. Toiminnassa olevilla liitteen 3 laitoksilla vaihteluväli on 200 – 1300 m. Tavasen viipymät asetuvat siten vertailussa mukana olevien tekopohjavesilaitosten viipymien välille. Imeytysmatka on yhdellä Tavasen imeytysalueista vertailun pienimmästä päästä, yhdellä keskitasoa ja yhdellä suurempi kuin yhdelläkään vertailun laitoksista.

Maaperän vedenjohtavuuksia eli k-arvoja on mitattu osasta Tavase Oy:n havaintoputkia kerroksittain (taulukko 2). Vedenjohtavuudet vaihtelevat tutkituissa pisteissä välillä 0,3 – 585 m/d. Kaiken kaikkiaan vedenjohtavuusarvot vaihtelevat Tavase Oy:n imeytysalueilla välillä 1 - 800 m/d. Pääosa pisteistä, kuten vedenjohtavuuksistakin voidaan päätellä, sijoittuvat selkeästi harjun ydinosan ulkopuolelle. Suurimmat vedenjohtavuusarvot edustavat pisteitä, jotka sijoittuvat lähelle ydinvyöhykettä. Harjun ydinalueella vedenjohtavuudet ovat luokkaa 700 – 800 m/d. Esimerkiksi tuotantoalueen 3 harjun ydinvyöhykkeen vedenjohtavuudeksi laskettiin imeytys- ja merkkiainekokeen perusteella 750 m/d. Taulukon 2 maksimiarvoista laskien saadaan vedenjohtavuuksien keskiarvoksi 117 m/d ja minimiarvoista laskien 13 m/d. TSV Oy:n osalta vedenjohtavuusarvot vaihtelevat välillä 1 – 1600 m/d, joista suurimmat arvot kuvaavat harjuytimen vedenjohtavuuksia.

TEMU-raportissa esitettyjen putkivirtausmittaustulosten perusteella Ahveniston pohjavesivyyhykkeen maaperän keskimääräinen vedenjohtavuus on 79 m/d, Vuonteenharjun 29 m/d, Pursialan 25 m/d, Jäniksenlinnan 104 m/d ja Rusutjärven 70 m/d. Esitetyt arvot ovat aluekohtaisia keskiarvoja. Vedenjohtavuus vaihtelee pisteittäin syvyyden mukaan ja sen lisäksi vielä pisteiden sijainnin suhteen pohjavesialueella. Vedenjohtavuusarvojen yleistämiseen koskemaan tiettyä pohjavesialuetta ja pohjavesialueiden välisten vedenjohtavuuksien vertailuun on siten suhtauduttava varauksella.

Mittaustulosten perusteella näyttää siltä, että vedenjohtavuusarvot ovat TSV Oy:n ja Tavase Oy:n osalta hieman suurempia kuin TEMU-tutkimuksessa esitetyt. Vedenjohtavuuden mittausten menetelmistä on todettava, että TEMU-tutkimuksessa käytetty putkivirtausmittaus poikkeaa menetelmänä Tavase-hankkeesta ja TSV Oy:n tutkimuksissa käytetystä k-arvomittauksesta (ns. packer-mittaus). Menetelmien vertailukelpoisuutta ei ole testattu. Vedenjohtavuusmäärittämisä on täydennetty sekä Tavase Oy:n että TSV Oy:n osalta merkkiainekokein ja sedimentologisin selvityksin.

Varastokerroin (S) vapaapintaisissa pohjavesiesiintymissä on sama kuin tehokas huokoisuus. Keskiparkean hiekan ja soran S-arvot ovat eri kirjallisuuslähteiden perusteella 0,15 – 0,35 (Johnson 1967). Varastokerroin voidaan määrittää myös laskennallisesti koepumppauksissa todettujen pohjavedenpinnan alenemien perusteella. Laskentamenetelmiin liittyy useita oletuksia, kuten pohjavesimuodostuman äärettömyys sekä maaperän homogeenisuus. Isokangas-Syrjänharju on voimakkaasti suuntautunut muodostuma, jonka akvifereja kalliotopografia rajaa tehokkaasti. Laskentamenetelmien käytön sijaan on ollut perusteltua käyttää kirjallisuudessa esitettyjä arvoja tehokkaalle huokoisuudelle. Varastokertoimenä on Tavase Oy:n tutkimusalueilla käytetty arvoa 0,25-0,3. TSV:n osalta varastokerroin on samoin 0,25 – 0,3. TEMU-tutkimuksessa määritetyt varastokertoimet ovat oletettavasti pienempiä kuin Tavase Oy:n ja TSV:n hankkeissa.

Taulukko 2. Tavase Oy:n tuotantoalueilla havaintoputkista mitattuja vedenjohtavuusarvoja.

Havaintoputki	K-arvo [m/d]	
	min	max
109	7	28
121	7	15
122	7	75
123	20	307
126	1	112
128	2	14
129	5	12
131	2	16
271	47	230
274	1	118
292	8	20
293	12	19
296	34	454
319	4	237
320	139	585
321	2	70
372	0	3
375	5	45
384	1	21
385	1	265
386	7	80
390	3	3
391	6	20
393	1	65
Keskiarvo	13	117

6.2 Veden puhdistuminen

6.2.1 Orgaanisen aineksen poistuminen

Veden orgaanisen aineksen määrää mitataan yleisesti TOC-pitoisuutena ja COD_{Mn} - arvona (hapettuvuus). COD-arvolle asetettu talousveden laatusuositus on alle 5 mg/l. TOC:lle ei talousveden laatusuosituksissa ole määritetty raja-arvoa (STM 2000). TEMU-projektissa tavoitteeksi oli asetettu <2 mg TOC/l.

Raakaveden orgaaninen aines poistuu maaperässä useiden fysikaalis-kemiallisten ja biologisten mekanismien toimesta. Tuotettavan veden orgaanisen aineksen määrään vaikuttavat mm. imeytettävän veden laatu, imeytysmatkan pituus, viipymä, maaperäolosuhteet sekä alueen luonnontilaisen pohjaveden määrä.

Orgaanisen aineksen poistumista tekopohjaveden muodostuksessa on tarkasteltu useissa tutkimuksissa niin Suomessa kuin muuallakin (mm. Ruotsista: Hanson 2000, Långmark *et al.* 2004, Frycklund 1995). TEMU-tutkimuksen mukaan imeytysmenetelmä (allas- tai sadetusimeytys) ei vaikuta tuotetun veden orgaanisen aineksen pitoisuuteen, joskin orgaanisen aineksen poistuminen imeytyksen alkuvaiheessa on eri menetelmillä hieman erilaista. Viipymääjalla todettiin TEMU-tutkimuksessa mukana olevilla laitoksilla olevan imeytysmatkaa suurempi rooli orgaanisen aineksen poistumassa. Lisäksi tutkimuksessa havaittiin, että orgaanisen aineksen poistumista ei juuri tapahtunut vajovesivyyhykkeessä. Tavoitetaso 2,0 mg TOC/l saavutettiin tutkimuksessa mukana olevilla laitoksilla hyvin erilaisilla viipymän (15 – 80 d) ja imeytysmatkan (160 – 1300 m) arvoilla.

Roineen veden orgaanisen aineksen poistumista maaperäimeytystä simuloivin kokein on tutkittu osana Tampereen teknillisessä yliopistossa v. 2008 valmistunutta väitöstyötä (Kolehmainen 2008a). Tehdyssä koelaitesimulaatiossa Ruskon vedenkäsittelylaitokselle johdettua Roineen vettä imeytettiin Vehoniemen-Isokankaan harjun hiekalla täytetyn putken läpi (l=18 m, Ø=0,30 m, viipymä arviolta 25 d, hiekan d₅₀=0,8 mm) (Kolehmainen *et al.* 2009a, Kolehmainen *et al.* 2008b). Putki oli asetettu noin 5° kulmaan ja vesi johdettiin alhaalta ylöspäin, jotta pystyttiin simuloimaan täysin saturoituneen pohjavesivyyhykkeen prosesseja. Roineen vettä käytettiin väitöstutkimuksessa lisäksi leijupetireaktorikokeessa (Kolehmainen *et al.* 2010). Leijupetireaktorin kantaja-aineeseen rikastettiin Roineen vedestä mikrobisto, jota käytettiin tutkittaessa tekopohjaveden tuotantoon liittyvien mikrobiologisten tekijöiden vaikutuksia orgaanisen aineksen biohajoamiseen.

Hiekkakolonnisimulaatiossa TOC-pitoisuus väheni ensimmäiseen näytteenotto-pisteeseen (0,6 m) mennessä keskimäärin 76 % ja koko kolonnin matkalla 81 % (useita kymmeniä näytekerroja). Merkkejä kolonnin tukkeutumisesta ei esiintynyt pitkästä koejaksosta (941 vrk) huolimatta. Kuten täyden mittakaavan laitoksilla (Kolehmainen *et al.* 2007, Nissinen *et al.* 2001), myös testikolonnisissa suuret molekyylikokofraktiot poistuvat imeytyksen alkupäässä.

Perustuen orgaanisen hiilen isotooppianalyysiin biohajoamisen osuus orgaanisen aineksen poistumasta oli ensimmäiseen näytteenottopisteeseen mennessä tapahtuneesta poistumasta 32 – 52 % riippuen veden lämpötilasta ja hydraulisesta viipymästä. Akviferissa biohajoamisesta vastaavat sekä veden että maaperäpartikkeleiden pinnoilla kasvavat mikrobit, joista jälkimmäisten rooli on todennäköisesti huomattavasti suurempi (Kolehmainen *et al.* 2008b). Raakaveden DOC-pitoisuus oli koejakson aikana keskimäärin

5,4 mg/l ja tuotetun veden 1,2 mg/l. Leijupetireaktorissa tehdyissä panoskokeissa Roineen veden orgaanisen aineksen biohajoamisen osuus vaihteli välillä 27 – 69 % (Kolehmainen *et al.* 2010).

Tutkimuksen perusteella veden humuksen biohajoaminen tapahtui vaihteittain: Ensin mikrobit hyödynsivät helpoiten saatavissa olevat humusfraktiot, jonka jälkeen biohajoaminen hidastui käytettävissä olevien humusmolekyylien ollessa vaikeammin hajotettavia (Kolehmainen *et al.* 2010, Kolehmainen *et al.* 2009b). Hiekkakolonnin hiekassa 1,2 m etäisyydellä mitattu kiinnittyneen orgaanisen aineksen (mikrobit ja muu orgaaninen hiili) määrä ($6,4 \pm 0,8$ mg VS g⁻¹ hiekkaa) vaihteli ajan kuluessa osoittaen, että orgaanista ainesta kiinnittyi/muodostui pinnoille ja irtosi siitä.

Testikolonnissa orgaanisen hiilen vähenemä oli samaa suuruusluokkaa kuin tekopohjavesilaitoksilla, joilla TOC-pitoisuus väheni imeytysmatkalla 73 – 91 %, laitoksesta riippuen (Kolehmainen *et al.* 2007). Seurantajakson aikana tuotetun veden TOC pitoisuus oli kaikilla laitoksilla alle tavoitetason 2,0 mg/l.

Biohajoamisen roolia orgaanisen aineksen poistumassa on tutkittu myös Tuusulan tekopohjavesilaitoksella (Kortelainen & Karhu, 2006). Tehty tutkimus antoi samansuuntaisia tuloksia biohajoamisen roolista orgaanisen aineksen poistumassa: 350 m imeytysmatkalla orgaanisesta aineksesta poistui 44 % ja tämä perustui yksinomaan mineralisaatioon. Loppuosa poistumasta (imeytysmatkan kokonaispituus 700 m) perustui sorptioon (23 %) ja laimenemiseen luonnontilaisen pohjaveden kanssa (14 %).

TEMU-tutkimuksessa mukana olleilla tekopohjavesilaitoksilla TOC-poistuma oli viipymällä 10 – 35 d noin 60 % ja viipymällä 20 – 60 d noin 70 %. Mikäli orgaanisen aineksen poistuma Tavase Oy:n tekopohjavesilaitoksella on samankaltaista kuin TEMU-tutkimuksen laitoksilla (viipymä vs. TOC-poistuma) ja viipymä 50 – 75 d, voidaan tuotetun veden orgaanisen aineksen poistuman arvioida Tavase Oy:n laitoksella olevan välillä 65 – 80 %, mikä vastaisi tuotetun veden TOC-pitoisuutta 1,3 – 2,3 mg/l (raakaveden arvo 6,5 mg/l).

6.2.2 *Happi*

Roineen Hiedanperänlahden veden happipitoisuus 15 m syvyydellä on vaihdellut välillä 4,2 – 12,9 mg/l. Alhaisimmillaan happipitoisuudet ovat olleet elo – syyskuulla. Tekopohjaveden imeytyksessä vesi ilmastuu lähelle lämpötilasta riippuvaa kyllästyspitoisuutta (tasolle noin 9 – 14 mg/l). Pohjavedessä orgaanisen aineen biologinen hajoaminen kuluttaa happea. Olettaen TOC:n biologisen hajoamisen osuuden olevan 30 – 50 % kokonaispoistumasta, happipitoisuuden alenemaa voidaan arvioida seuraavasti:

TOC:n enimmäispoistuma	5,2 mg/l
TOC:n biologinen poistuma	1,6 - 2,6 mg/l
Vastaava hapen kulutus	4,8 – 7,8 mg/l

Tekopohjaveden happipitoisuus näillä perusteilla tulee olemaan noin 2 – 9 mg/l. Pitkät viipymät tasoittavat jonkin verran vaihteluita. Luontaisen pohjaveden happipitoisuus on n. 6 mg/l, joten se tasaa hieman vaihteluita.

Hapenkulutuksen arviointi perustuu oletukseen, että biologisesti hajoava hiili hapettuu hiilidioksidiksi ja että humuksessa on hiilen (53 %) ohella vetyä (7 %), happea (22 %), typpeä (17 %) ja rikkiä (1 %) (huomioitu humuksen hapettumisen lisäksi nitraatin ja sulfidin hapettuminen). Teoreettiset hapenkulutukset vastaavat hyvin raportin Kolehmainen *et al.* (2009) tuloksia. Tuusulan Seudun vesilaitoksen Jäniksenlinnan tekopohjavesilaitoksella happipitoisuus on vedenottoaivoissa 8, 9, 10 ja 11 keskimäärin 5,0 mg/l (1,9 – 7,5 mg/l).

6.2.3 *Rauta ja mangaani*

Imeytettävässä vedessä rauta on hapettuneessa Fe(III)-muodossa sitoutuneena humukseen. Hiedanperänlahden vedessä syvyydellä n. 15 m rautapitoisuus on noin 100 µg/l. Pitoisuus voi nousta, mikäli veden happipitoisuus on alhainen (alle 1-2 mg/l). Tällaista riskiä ei näyttäisi olevan (Hiedanperänlahden veden happipitoisuus kpl 6.2.2 mukaisesti > 4 mg/l). Hiedanperänlahden vedessä olevalla raudalla ei siten ole merkitystä tuotetun tekopohjaveden kannalta.

Mangaanipitoisuus Hiedanperänlahden vedessä n. 15 m syvyydellä on keskimäärin 80 µg/l. Liitteen 4 kuvassa 1 on esitetty mangaanipitoisuuden riippuvuus happipitoisuudesta Hiedanperänlahden vedessä. Päälyysvedessä mangaanipitoisuus on esitettyä pienempi (taulukko 1). Mangaanipitoisuus voi ajoittain (syyskierron aikaan) olla korkeahko johtuen järven pohjasedimentin hapettomuudesta.

Raakaveden mangaani poistuu biologisesti muodostaen tummaa sakkaa. Imeytysaltaassa mangaani jää hiekan pintaosaan n. 5-20 cm syvyyteen biologisen toiminnan käynnistyttyä. Vähitellen mangaani huonontaa hiekan vedenläpäisevyyttä, mutta sen imeytystä tukkiva vaikutus on huomattavasti vähäisempi kuin raudalla.

Vehoniemen tuotantoalueella Kangasalan kunnan käytössä olevista kaivoista toisessa happipitoisuus on ajoittain ollut alhainen (alle 2 mg/l). Tekopohjavedessä happipitoisuuden on arvioitu olevan 2-9 mg/l (kpl 6.2.2). Rautaa on kaivovedessä esiintynyt enintään 40 µg/l (talousveden laatusuositus < 200 µg/l) (Kangasalan kunta, 2010). Tekopohjaveden tuotanto todennäköisesti jopa parantaa tilannetta. Tuotetun tekopohjaveden tarkkaa rauta- ja mangaanipitoisuutta on kuitenkin vaikea määritellä johtuen tuotanto-kaivoihin tulevista vesivirroista, joiden happipitoisuudet vaihtelevat. Kokemuksen perusteella vedessä ei välttämättä esiinny rautaa, vaikka happipitoisuus olisi 1 mg/l, kun taas toisinaan rautaa esiintyy happipitoisuudessa 2 mg/l.

Happipitoisuus ei todennäköisimmin laske Tavase Oy:n laitoksella niin paljon, että tuotettavassa vedessä olisi merkittäviä määriä rautaa tai mangaania.

6.2.4 *Kiintoaine*

Imeytettävän veden kiintoaine on tärkeä parametri arvioitaessa maaperän tai imeytysaltaan pohjan tukkivan aineksen määrää. Kiintoaine on osittain biohajoavaa (esim. levät), jolloin sen tukkiva vaikutus ei ole pysyvää. Piilevät voivat aiheuttaa pitkäaikaisempaa tukkeutumista. Tästä syystä sadetusimeytysalueita on vuoroteltava ja imeytysaltaiden pohjahiekkaa puhdistettava tai vaihdettava määrääjain.

Sameuden ja kiintoainepitoisuuden välillä vallitsee yleisesti positiivinen korrelaatio. Koska kiintoainepitoisuuden arvoja on käytettävissä suhteellisen vähän, voidaan sameutta käyttää kiintoaineen sijaan veden tukkivan vaikutuksen arvioinnissa. Liitteen 4 ku-

vassa 2 on esitetty sameuden ja kiintoainepitoisuuden välinen riippuvuus (Hiedanperänlahti, syvyys n. 15 m).

Liitteessä 5 on esitetty Roineen pääsyvänteen ja Hiedanperänlahden kiintoainetuloja sekä pääsyvänteen sameusarvoja. Kiintoaine ja sameus ovat alhaisimmillaan kevättalvella. Kesällä ja syksyllä pitoisuudet ovat korkeammalla johtuen leväkasvusta (2-3 mg/l). Pohjalla pitoisuudet ovat hieman päällysvettä korkeammat.

Roineen veden kiintoaine koostuu pääasiassa orgaanisesta aineksesta (detritus ja biomass): Veden kiintoaineen hehkutushäviöksi on mitattu 75 %. Roineen pääsyvänteen (piste 104) veden kiintoainepitoisuus oli vuosina 2000 – 2008 yli 10 m syvyydessä keskimäärin 1,6 mg/l (n=8). Hiedanperänlahden veden kiintoainepitoisuus syvyydellä n. 15 m oli keskimäärin 2,3 mg/l (n=17).

Tavanomaisessa allasimeytyksessä ja maaperäsadetuksessa imeytyspinnan on todettu tukkeutuvan kun pinnalle on tullut kiintoainekuorma n. 1 kgSS/m² (hiekan raekoko n. 0,8 – 1,2 mm). Tämä todettiin mm. TSV:n tekemisissä Karhiniemen pilot-kokeissa. Jos kiintoainepitoisuus on Hiedanperänlahden vedestä todettu (2,3 mg/l), tulisi imeytysaltaan pohja puhdistaa imeytyksellä 0,1 m/h noin 180 vrk välein.

6.2.5

Mikro-organismit ja virukset

Tampereen teknillisen yliopiston tekopohjavesitutkimuksissa mikro-organismien määrä arvioitiin fluoresenssimikroskooppisesti käyttäen DAPI-värjäystä. Vesihuoltolaitosten veden laadun seurannassa käytetään sen sijaan mikrobien viljelymenetelmiä.

Roineen vedellä tehdyssä hiekkakolonnisimulaatiossa solumäärä väheni jo ensimmäiseen näytteenottopisteeseen (0,6 m) mennessä raakaveden arvosta $20,2 \pm 5,7 \times 10^5$ solua ml⁻¹ arvoon $4,3 \pm 1,1 \times 10^5$ solua ml⁻¹. Toiminnassa olevilla tekopohjavesilaitoksilla solumäärä puolestaan väheni raakavesien arvosta $7,4 - 24,0 \times 10^5$ solua ml⁻¹ vedenotto-kaivojen arvoon $0,5 - 1,0 \times 10^5$ solua ml⁻¹ (Kolehmainen *et al.* 2007). Kemiallisilla vedenkäsittelylaitoksilla tuotetun veden solumäärät vaihtelivat Lehtolan *et al.* (2002) tutkimuksissa välillä $1,6 \times 10^3$ solua ml⁻¹ – $3,1 \times 10^5$ solua ml⁻¹. Luonnontilaisen pohjaveden mikrobisolumäärä on tyypillisesti luokkaa 10^3 - 10^7 solua ml⁻¹ (Männistö *et al.* 2001). Tulosten perusteella tekopohjaveden mikrobisolujen määrä on samaa suuruusluokkaa tai hieman suurempi kuin kemiallisilla vedenkäsittelylaitoksilla. Tekopohjaveden valmistus tuottaa biologisesti stabiilia ja hygieenisesti hyvälaatuista vettä.

Virusten poistumista tekopohjaveden muodostuksessa tarkasteltiin v. 2000 valmistuneessa diplomityössä indikaattoriviruksin käyttäen F-spesifisiä MS-2-bakteriofaageja (Kytövaara 2000). Kokeet tehtiin Harjavallassa Kokemäenjoen vedellä. Kokeessa imeytettävä vesi hiekkasuodatettiin (Dynasand) ja sen jälkeen johdettiin 5 m korkean, hiekkaa täynnä olevan vajovesivyöhykettä simuloivan putken läpi. Tämän jälkeen vesi johdettiin muoviin käärityn 2×18 m pitkän ja poikkileikkaukseltaan 4 m²:n vaakasuoran hiekkakerroksen läpi. Tulosten perusteella virusten poistuminen tekopohjaveden muodostuksessa on tehokasta: Indikaattorivirukset poistuivat log₁₀-asteikolla yli 7 yksikköä veden viipymän ollessa 19 vrk (taulukko 3). Yhtä hyvään tulokseen ei päästä veden kemiallisella käsittelyllä ja sen jälkeisellä desinfioinnilla (log₁₀ n. 5) (White, 1992). Raakaveden kolibakteerien poistuma oli harjavallan kokeissa tehokkaampaa kuin viruksien (hidassuodatuksella).

Taulukko 3. Bakteriofaagien poistumat harjavallan keinoharjussa (Kytövaara 2000).

	Poistuma \log_{10}	Viipymä d
Vajovesivyyhyke	1,5	
Koeharju 1.6	3,3	5
Koeharju 1.12	6,9	12
Koeharju 1.18	yli 6,9	19

6.2.6

Syanobakteerit

Syanobakteerit ja niiden tuottamat toksinit poistuivat vedenkäsittelyssä tehokkaasti biohajoamalla ja adsorptiolla (Rapala & Lahti, 2010). Samassa tutkimuksessa todettiin 9 päivän viipymän olevan riittävä mikrokystiiniin poistumalle.

Roineen vedessä syanobakteereiden osuus biomassasta on alhainen (Oravainen 2011, suullinen tiedonanto). Tavase Oy:n tekopohjavesilaitoksella tuotettavassa vedessä ei siten voida olettaa esiintyvän sinileväongelmaa.

7

ESIKÄSITTELYTARVE

Yleensä tekopohjavedeksi imeytettävää vettä ei esikäsitellä. Esikäsitely voi olla tarpeellinen, mikäli vedessä on runsaasti vedenjohtavuutta heikentävää kiintoainesta. Suomessa esikäsitely on käytössä mm. TSV:n ja Kuivalan tekopohjavesilaitoksilla. Kuivalassa vain osa raakavedestä esikäsitellään.

Edellä esitetyn mukaisesti imeytyksen vedenjohtavuuden heikentymistä voidaan arvioida kiintoainepitoisuuden ja sameuden avulla. Kokemuseräisesti allasimeytyksessä ja sadetusimeytyksessä pintamaan on todettu tukkeutuvan, kun kiintoainetta on tullut pinnalle n. 1 kgSS/m². Tiedossa tosin ei ole, kuinka suuri merkitys tulokseen on altaan pohjassa kasvavilla levillä. Koska tukkeutumista tapahtuu myös pikasuodatuksessa likimain samalla kiintoainekuormalla, ei leväkasvu välttämättä ole merkitsevin tukkeutumista aiheuttava tekijä. Imeytyshiekan tai soran laadulla on myös merkitystä, koska karkeamassa materiaalissa kiintoaines tunkeutuu syvemmälle.

Hiedanperänlahdessa n. 15 m syvyydellä kiintoainepitoisuus ja sameus ovat keskimäärin 2,2 mg/l (max 4,3 mg/l) ja 2,5 FTU (max 6,1 FTU), vastaavasti. Päijänteen vedessä (tunnelivesi Tuusulassa) kiintoaine on alle 1 mg/l (max 2 mg/l) ja sameus 0,46 FTU (max 0,74 FTU). Hiedanperänlahden vedessä on myös jonkin verran mangaania. Koska kiintoainepitoisuus ja sameusarvot poikkeavat vesissä merkittävästi toisistaan, ei Tuusulan kaivoimeytyskokemusten perusteella voida olla varmoja käsittelemättömän raakaveden kaivoimeytyksen pitkäaikaistoiminnasta Tavase Oy:n tekopohjavesilaitoksella.

Imeytettäessä yhteen kaivoon Hiedanperänlahden vettä esim. 3 000 m³/d, on vuotuinen kiintoainemäärä n. 2 400 kg. Tämä vaikuttaa suhteellisen suurelta kuormalta, jos se jää yhden kaivon ympärille. Arvioita siitä, miten pitkälle kiintoaine kulkeutuu ja miten suuri osa siitä hajoaa, ei voida antaa (riippuu mm. kaivon ympäristön soran laadusta).

Tuusulassa käytetty kaivoimeytyksen imeytysvesimäärä on v. 2010 ollut keskimäärin 3034 m³/d (min 2 780, max 3 413 m³/d). Jos oletetaan vuoden 2007 tammikuusta lähtien käynnissä olleen kaivoimeytyksen keskimääräiseksi imeytysvesimääräksi 2500 m³/d ja

Päijänteen veden kiintoainepitoisuudeksi 0,5 mg/l (ollut useimmiten alle määritysrajan eli <1 mg/l), saadaan kaivoon tähän saakka kulkeutuneen kiintoaineen määräksi noin 1000 kg. Imeytyksessä on ollut 9 kuukauden katkos Päijänne-tunnelin korjauksen aikana (huomioitu laskelmassa). Kaivo on äskettäin videokuvattu ja se on sisäosaltaan täysin puhdas. Kaivon imeytyskapasiteettiin laskettu kiintoainesmäärä ei ole vaikuttanut. Tämä viittaa siihen, että kiintoaines ei kerry pelkästään kaivon välittömään läheisyyteen ja/tai toisaalta myös siitä, että kiintoaineen humuskomponentti hajoaa.

Kaivoimeytyksessä pintakuorma (imeytetty vesimäärä pinta-alaa kohti) on monisatakertainen allas- ja sadetusimeytykseen verrattuna. Lisäksi Tuusulaan verrattuna Tavase Oy:n tekopohjavesilaitoksen raakaveden kiintoainepitoisuus on n. kaksinkertainen, mistä syystä esikäsittely saattaa ainakin osan aikaa vuodesta olla tarpeen kaivoimeytettävälle vedelle. Tähän soveltuu mekaaninen esikäsittely, kuten mikrosiivilöinti. Esikäsittelyn tarvetta voidaan vähentää käyttämällä kaivoja vuorotellen tai vuorottelemalla kaivo- ja sadetusimeytystä.

8

VEDEN KÄSITTELY ENNEN VERKOSTOON JOHTAMISTA

Tavase Oy:n suunnitelmien mukaan tekopohjavesilaitoksella tuotettava tekopohjavesi pumpataan maaperästä kolmen tuotantoalueen siiviläputkikaivoista. Tekopohjaveden laatu viimeistellään nostamalla veden pH ja alkaliteetti ennen verkostoon johtamista vesijohtoverkoston korroosion ehkäisemiseksi. Jälkikäsittely tehdään Ruskon, Tyrynlahden ja Kangasalan vedenkäsittelylaitoksilla.

Roineen veden hiilidioksidipitoisuus on v. 2009 ollut keskimäärin 2,2 mg/l (Tampereen Vesi). Imeytyksessä tapahtuva biologinen TOC:n hajoaminen (1,3 mgTOC/l) tuottaisi veteen n. 3,5 mg/l hiilidioksidia. Tämän perusteella tuotetun tekopohjaveden hiilidioksidipitoisuus on 8 mg/l, alkaliteetti 0,25 mmol/l, pH 6,5 ja kalsiumpitoisuus 5 mg/l.

Veden alkalointiin sopii parhaiten kalkkikivisuodatus tai vesilaitoskalkin ja hiilidioksidin annostelu. Myös kalkkikivisuodatuksella saatavan veden alkaliteetti jää pieneksi (myös tällä varautuminen hiilidioksidin annosteluun). Alkaliteetin nostotarve on tekopohjavesilaitoksilla vähäisempi kuin kemiallisilla vedenkäsittelylaitoksilla johtuen veden alhaisemmasta sulfaatti- ja kloridipitoisuudesta. TEMU-tutkimuksen mukaan tekopohjavesi on biologisesti stabiilia.

Tuotettava vesi on tarkoitus suojadesinfioida ennen verkostoon johtamista. Tavase-hankkeessa veden alkalointi ja desinfiointi ovat osakaskuntien vastuulla.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tavase Oy:n suunnittelema tekopohjavesilaitos tulee tuottamaan talousvettä osakaskunnilleen, joiden yhteenlaskettu asukasmäärä on yli 300 000. Tekopohjavesilaitos koostuu kolmesta erillisestä tuotantoalueesta, jotka kukin sijaitsevat erillisessä kallion erottamassa akviferissa. Tuotantoaluekohtaiset imeytysvesimäärät tulevat olemaan samaa suuruusluokkaa tai hieman suurempia kuin toiminnassa olevilla suurimmilla tekopohjavesilaitoksilla. Tavasen viipymät asettuvat vertailussa mukana olleiden tekopohjavesilaitosten viipymien vaihteluvälille. Imeytysmatka on yhdellä Tavasen imeytysalueista vertailun pienimmästä päästä, yhdellä keskitasoa ja yhdellä suurempi kuin yhdelläkään vertailun laitoksista. Näin ollen veden tuotanto-olosuhteet vastaavat pääpiirteissään toiminnassa olevien laitosten olosuhteita.

Raakaveden esikäsittelytarvetta pohdittaessa huomioitavia asioita ovat raakaveden laatu (erit. TOC ja kiintoaine), orgaanisen aineksen (TOC) poistuminen ja hapen kulumisen maaperässä sekä imeytysmenetelmä.

Tavase Oy:n tekopohjavesilaitoksen raakavetenä käyttämän Roineen vesi on hyvälaatuista. Veden orgaanisen hiilen pitoisuus on alhainen. Mm. Päijänteeseen ja Alajärveen verrattuna Roineen veden sameus on sen sijaan hieman korkeampi johtuen leväbiomassasta. Kokemäenjoen veden sameuteen verrattuna Roineen veden sameus on pienempi. Roineen veden syanobakteereiden määrä on vähäinen. Syanobakteereiden ja niiden tuottamien toksien vähenemä on lisäksi tekopohjaveden tuotannossa tutkimusten perusteella tehokasta.

Allasimeytyksessä osa kiintoaineesta pidättyy altaan pohjaan ja sadetusimeytyksessä metsämaahan. Näiden imeytysmenetelmien osalta veden esikäsittely ei ole tarpeellista. Kaivoimeytyksessä sen sijaan imeytettävän veden kiintoaine kulkeutuu suoraan maaperään. Lisäksi pintakuorma on kaivoimeytyksessä allas- ja sadetusimeytystä selvästi suurempi. Varmaa tietoa kiintoaineen käyttäytymisestä kaivoimeytyksessä ei ole. Tuusulan Rusutjärven tekopohjavesilaitoksen tähänastiset kokemukset kaivoimeytyksestä ovat erittäin positiivisia. Tuusulassa käytettävän Päijänne-tunnelin veden sameus (0,5 FNU) on kuitenkin pienempi kuin Roineen (2,1 FNU). Esikäsittelyn tarvetta voidaan vähentää käyttämällä kaivoja vuorotellen tai vuorottelemalla kaivo- ja sadetusimeytystä. Sadetusimeytyksen käyttö voisi olla perusteltua esim. syksyisin järven täyskierron aikaan, jolloin veden kiintoainepitoisuus on korkeimmillaan. Tarvittaessa kaivoimeytettävän veden esikäsittelymenetelmänä tulisi kyseeseen lähinnä mekaaninen suodatus, kuten mikrosiivilöinti.

Orgaanisen aineksen pitoisuus (TOC) vaikuttaa tuotettavan veden laatuun. TEMU-tutkimuksessa raportoidun käsittelyviipymän ja TOC-poistuman välisen riippuvuuden perusteella Tavase Oy:n tekopohjavesilaitoksen TOC-poistuman voidaan arvioida olevan 65 – 80 %, mikä tarkoittaa tuotetun veden TOC-pitoisuutta 1,3–2,3 mg/l. Maaperän vedenjohtokyvyn ja TOC-poistuman välistä yhteyttä tekopohjaveden valmistuksessa ei tiettävästi ole tutkittu. Tekopohjaveden valmistus tuottaa biologisesti stabiilia ja hygieenisesti hyvälaatuista talousvettä. Jälkikäsittelylle ei näin ollen ole tarvetta (lukuun ottamatta alkalointia ja veden desinfiointia).

Frycklund, C., 1995. Total organic carbon retention by filtersand in an infiltration pond for artificial groundwater recharge. *Aqua Fennica* 25-5-14.

Hanson, G. 2000. Konstgjord grundvattenbildning. 100-årig teknik inom svensk dricks-vattenförsörjning. (Artificial groundwater recharge - A method used in Swedish drink-ing water supply for 100 years). VAV Ab. ISBN 91-89182-41-3. 220 sivua.

Helmisaari, H-S., Illmer, K., Hatva, T., Lindroos, A-J., Miettinen, I., Pääkkönen, J., Rei-jonen, R. (toim.), 2003. Tekopohjaveden muodostaminen: imeytystekniikka, maaperä-prosessit ja veden laatu. TEMU tutkimus, Metla, 902, 209 s.

Johnson A.I., 1967. Specific yield – compilation of specific yields for various materials. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1662-D. 74 s.

Kangasalan kunta, Raikun pohjavedenotto, Vedenoton ja vedenkäsittelyn nykyti-laselvitys, Pöyry Finland Oy, 11.6.2010.

Kolehmainen, R., 2008a. Natural organic matter biodegradation and microbial commu-nity dynamics in artificial groundwater recharge. Väitöskirja. Bio- ja ympäristö-teknikan laboratorio. Tampereen teknillinen yliopisto. Julkaisu 781.

Kolehmainen R.E., Kortelainen N.M., Langwaldt J.H., Puhakka J.A. Biodegradation of natural organic matter in long-term continuous-flow experiments simulating artificial groundwater recharge for drinking water production. *Journal of Environmental Quality* 2009a (38): 44-52.

Kolehmainen R.E., Crochet L.M., Kortelainen N.M., Langwaldt J.H., Puhakka J.A. Bi-odegradation of aqueous organic matter over seasonal changes: bioreactor experiments with indigenous lake water bacteria. *Journal of Environmental Engineering* 2010 (vol. 136, no. 6): 607-615.

Kolehmainen R.E., Tirola M., Puhakka J.A. Spatial and temporal changes in Actino-bacterial dominance in experimental artificial groundwater recharge. *Water Research* 2008b (42): 4525-4537.

Kolehmainen R.E., Langwaldt J.H., Puhakka J.A. Natural organic matter (NOM) re-moval and structural changes in the bacterial community during artificial groundwater recharge with humic lake water. *Water Research* 2007 (41): 2715-2725.

Kolehmainen R.E., Korpela J.P., Münster U., Puhakka J.A., Tuovinen O.H. Extracellu-lar enzyme activities and nutrient availability for bacteria during artificial groundwater recharge. *Water Research* 2009b (43): 405-416.

Kortelainen, N.M., Karhu, J.A. 2006. Tracing the decomposition of dissolved organic carbon in artificial groundwater recharge using carbon isotope ratios. *Applied Geoche-mistry* 21:547-562.

Kytövaara, A., 2000. Raakaveden esikäsittely ja tekopohjaveden muodostaminen; Har-javallan kokeet. Diplomityö, Oulun yliopisto, 114 s.

Lehtola, M.J., Miettinen, I.T., Vartiainen, T., Martikainen, P.J., 2002. Changes in content of microbially available phosphorus, assimilable organic carbon and microbial growth potential during drinking water treatment processes. *Water Research* 36:3681-3690.

Långmark, J., Storey, M.V., Ashbolt, N.J., Stenström, T.A., 2004. Artificial groundwater treatment: biofilm activity and organic carbon removal performance. *Water Research* 38:740-748.

Männistö, M.K., Salkinoja-Salonen, M.S., Puhakka, J.A. 2001. In situ polychlorophenol bioremediation potential of the indigenous bacterial community of boreal groundwater. *Water Research* 35:24962504.

Nissinen, T.K., Miettinen, I.T., Martikainen, P.J., Vartiainen, T., 2001. Molecular size distribution of natural organic matter in raw and drinking waters. *Chemosphere* 45:865-873.

Rapala Jarkko & Lahti Kirsti, 2010. Syanobakteerit ja niiden tuottamat toksiinit. *Vesitalous* 04/2010.

STM 2000. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista.

White, G.C., 1992. *Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants*, Van Nostrand Reinhold, ISBN 0-422-00693-4.

Tampereella 1.3.2011.

Reijo Oravainen

Esa Kallio

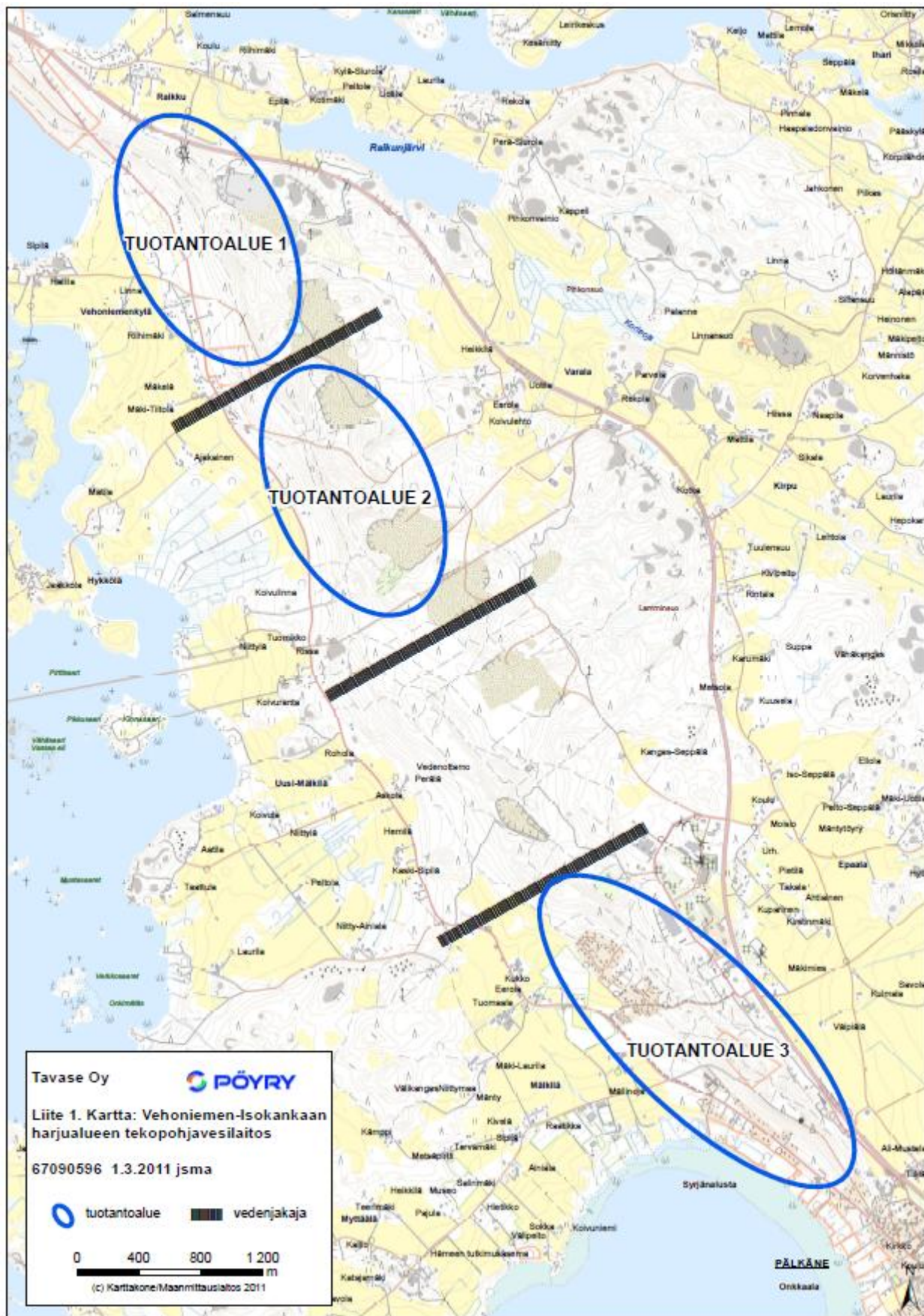
Jukka Ikäheimo

Jorma Pääkkönen

Jaakko Puhakka

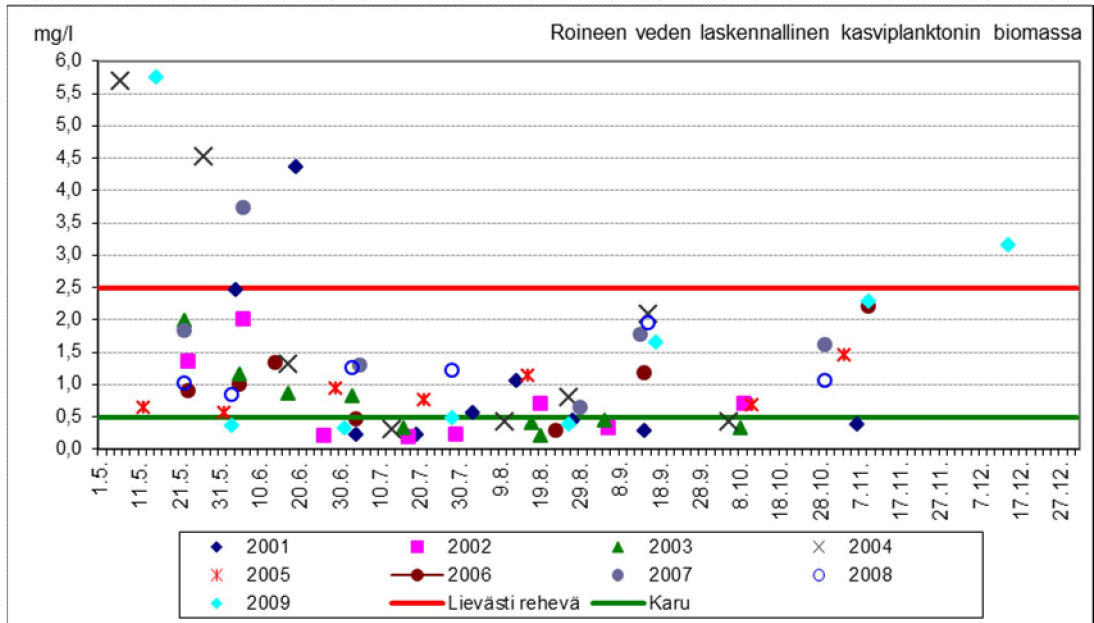
Reija Kolehmainen

LIITE 1

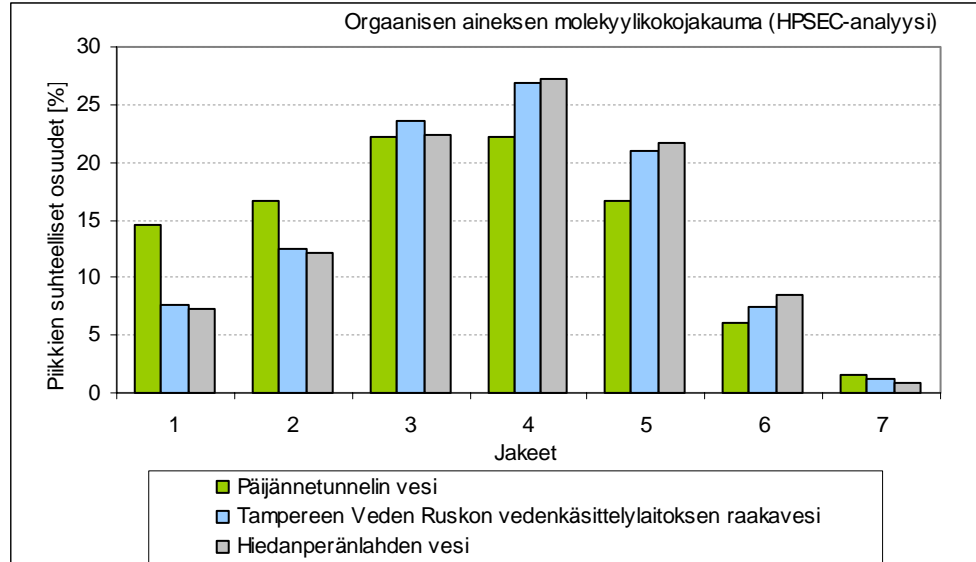


Tavase Oy:n tekopohjavesilaitos muodostuu kolmesta erillisestä tekopohjavesilaitoksesta (saman harjumuodostelman kolme erillistä akviferia).

LIITE 2



Kuva 1. Roineen päänlyysveden (0-2 m) laskennallinen kasviplanktonbiomassa vuosien 2004-2009 kasvukausina. Karun järviuokan maksimiarvo (0,5 mg/l) on merkitty vihreällä ja lievästi rehevän (2,5 mg/l) punaisella viivalla.



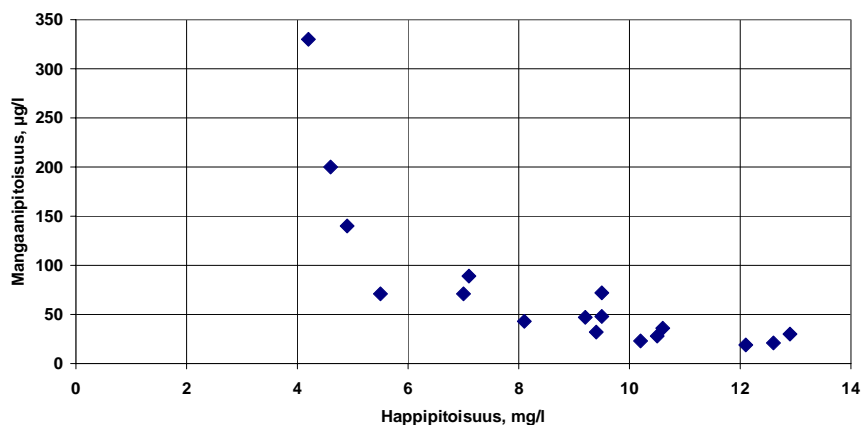
Kuva 2. Orgaanisen aineksen molekyylikokojakauma eri raakavesilähteissä (suuruusluokat) (1=suurin, 7 =pienin).

LIITE 3

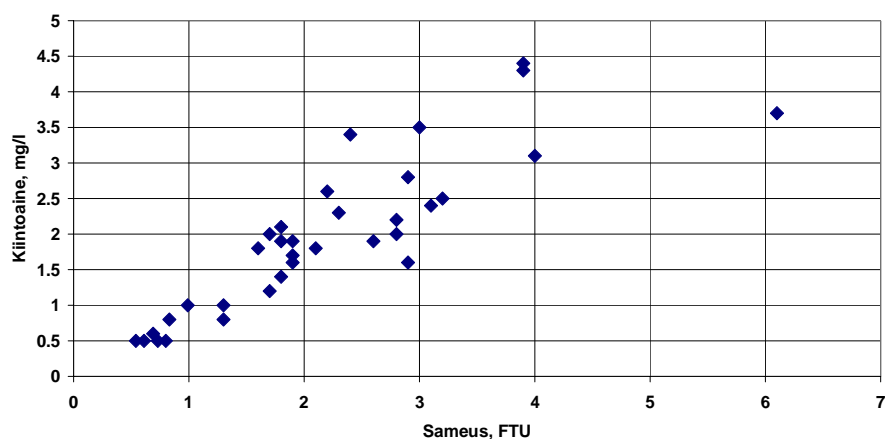
Taulukko 1. Esimerkkejä toiminnassa olevien tekopohjavesilaitosten ja Tavase Oy:n laitoksen ominaisuuksista.

Laitos	Imeytysmenetelmä	Käyttöön-ottovuosi	Imeytysmäärä keskimäärin [m ³ /d]	Imeytysmatka [m]	Arvioitu keskimääräinen viipymä [d]	Raaka-veden TOC [mg/l]	Tuotetun veden TOC [mg/l]	K-arvo [m/d]	Luonnontilaisen pohjaveden muodostuminen [m ³ /d]	LÄHDE
Hämeenlinna, Ahvenisto	Allas Sadetus	1976 1995	20000	1300 – 1500	80 - 105	10,3	2,0	79	-	TEMU 2003
Jyväskylä, Vuontee	Sadetus	2000	15000	200 – 400	30 - 100	6,7	1,1	29	-	TEMU 2003
Lappeenranta, Huhtiniemi	Allas	1974	8100 (Otto 6400 – 12500)	250 – 300	~15	KMnO ₄ 3-9 mg/l	-	-	5000	Lappeenranta Vesi Oy 2010
Mikkeli, Pursiala	Allas Sadetus Rantaimytys	- - -	1 600 1 700 - Otto 8700	100 – 1100	-	7,4	2,1	25	-	TEMU 2003
Porvoo, Sannainen	Allas	-	2750 Otto 5890	1 300	60	6,0	1,3 (50 % imeytettyä vettä)	-	3000	-
Tuusula, Jäniksenlinna	Allas	1979	10000	500 - 700	30 - 60	5,8	2,0	104	-	TEMU 2003
Tuusula, Rusutjärvi	Sadetus Siiviläkaivo Allas	1997-2007 2007 2000	6200 2100 4000	600 - 800 n. 500 n. 500	26 - 65 - -	5,7 5,7	1,6 1,6	70	-	TEMU 2003
TSV Oy Yht. 7 imeytysaluetta	Allas (esikäsittely)	2010	4300 – yli 15000 / imeytysalue Yht. 70 000 (mitoitustilanne 105000)	240 - 560	63 - 77	6,8-9,0 (esikäsittely 3,7-5,0)	-	15 – 1600	12000 – 15000 (itäinen laitosalue)	TSV Oy 2010
Tavase Oy	-	-	Yht. 70080 (max 92000)			6,5	-	1-800		Tavase Oy 2011,
Tuotantoalue 1	-	-	22000	750	50				1700	Tampereen Vesi 2009 (TOC)
Tuotantoalue 2			28000	500	50				2600	
Tuotantoalue 3			20000	1500	75				2200	

LIITE 4



Kuva 1. Mangaani- ja happipitoisuuden välinen riippuvuus Hiedanperänlahdella 15 m syvyydellä. Syynä lähinnä syyskierron aikaan (n. 1 kk ajan) esiintyviin korkeisiin Mn-pitoisuuksiin on järven pohjasedimentin hapettomuus.



Kuva 2. Sameuden ja kiintoainepitoisuuden välinen riippuvuus Hiedanperänlahdella 15 m syvyydellä.

LIITE 5 Roineen kiintoainepitoisuus ja sameus.

