

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUKSEN M O N I S T E S A R J A

Nro 573

**RANTAIMEYTYS TEKOPOHJAVEDEN
MUODOSTAMISMENETELMÄNÄ**

Anna-Liisa Kivimäki

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUKSEN MONISTESARJA



Nro 573

**RANTAIMEYTYS TEKOPOHJAVEDEN
MUODOSTAMISMENETELMÄNÄ**

Anna-Liisa Kivimäki

Vesi- ja ympäristöhallitus
Helsinki 1995

Pohjakartat © Maanmittauslaitos
lupanro 7/MML/15

Tekijä on vastuussa julkaisun sisällöstä eikä siihen voida vedota vesi- ja ympäristöhallituksen virallisena kannanottona.

Piirroksat: Pirjo Möttönen
Maanmittauslaitoksen karttalupa nro 59/MAA/95

Julkaisua saa vesi- ja ympäristöhallituksen kuntatoimistosta
Puh. (90) 69511 (1.3.1995 alkaen Suomen ympäristökeskus)

ISBN 951-47-9118-5
ISSN 0783-3288

Painopaikka: Vesi- ja ympäristöhallituksen monistamo, Helsinki 1995

Julkaisija
Vesi- ja ympäristöhallitus

Julkaisun päivämäärä
Helmikuu 1995

Tekijä(t) (toimielimestä: nimi, puheenjohtaja, sihteeri)
Anna-Liisa Kivimäki

Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)
Rantaimeytys tekopohjaveden muodostamismenetelmänä

Julkaisun laji
Esiselvitys

Toimeksiantaja
VYH

Toimielimen asettamispvm

Julkaisun osat

Tiivistelmä

Rantaimeyttäminen on epäsuora menetelmä muodostaa tekopohjavettä ja siten lisätä pohjavesiesiintymän antoisuutta. Menetelmän hyödyntämisestä suomalaisilla pohjavedenottamoilla on aikaisemmin ollut olemassa varsin vähän tietoa. Tämän työn tavoite oli selvittää rantaimeyttämisen hyödyntämisen laajuus Suomessa, rantaimeytyslaitosten yleinen toimivuus ja mahdolliset veden laatuun liittyvät ongelmat.

Rantaimeytyslaitosten inventoinnissa käytettiin aineistona pohjavesialueiden kartoituksessa laadittuja pohjavesialuekarttoja ja -kortteja. Vedenottomäärät poimittiin yhdyskuntien vesiensuojelun ja vesihuollon tietojärjestelmän (YVV) vesi- ja viemärilaitosrekisteristä ja lisäksi ottamokohtaisia tietoja täydennettiin vesi- ja ympäristöpiireissä. Vedenottamot luokiteltiin rantaimeyttämisen laajuuden ja suunnitelmallisuuden perusteella kolmeen luokkaan. Luokittelu perustuu karttatulkintaan, yleisiin maalajitietoihin, pintaveden ja pohjaveden pinnankorkeustietoihin, pohjavesialueiden antoisuusarvioihin sekä vedenottotietoihin.

Suomessa on kaikkiaan 217 pohjavedenottamoita, joiden antoisuutta lisää rantaimeytyminen tai joilla rantaimeytyminen on mahdollista, mikäli vedenottoa tehostetaan. Näistä ottamoista 28 on varsinaisia rantaimeytyslaitoksia, joilla ottamolta pumpattavasta vedestä yli 30 % on rantaimeytynyttä tekopohjavettä. 56 ottamolla rantaimeytymistä on todettu tapahtuvan, mutta vaikutus antoisuuteen on vähäinen. 133 ottamolla rantaimeytyminen on mahdollista, mutta maastotutkimuksin vahvistettua tietoa asiasta ei ole.

Tarkastelluilla ottamoilla yleisimmät jälkikäsitteilyä edellyttävät laatuominaisuudet ovat alhainen pH ja korkea rautapitoisuus. Kaivoveden desinfiointi on katsottu tarpeelliseksi vain muutamalla ottamolla. Nykyisessä laajuudessa rantaimeytyslaitosten kaivoveden jälkikäsitteilytarve ei merkittävästi poikkea pohjavedenottamoista yleensä. Niissä tapauksissa, missä maaperän puhdistuskyky on kuormitettu pitkäaikaisella ja mahdollisimman tehokkaaksi mitoitettulla vedenotolla, voidaan todeta ongelmia kaivoveden rauta- ja humuspitoisuuden kanssa.

Asiasanat (avainsanat)

Tekopohjavesi, rantaimeytys, imeytyminen, vesilaitokset, veden käsittely

Muut tiedot

Sarjan nimi ja numero

Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 573

ISBN

951-47-9118-5

ISSN

0783-3288

Kokonaissivumäärä

51

Kieli

Suomi

Hinta

36,60 mk

Luottamuksellisuus

Julkinen

Jakaja

Vesi- ja ympäristöhallitus
Kuntatoimisto
PL 250 00101 Helsinki
puh. (90) 69511
(1.3.1995 alkaen Suomen ympäristökeskus)

Kustantaja

Vesi- ja ympäristöhallitus
PL 250
00101 Helsinki

Utgivare
Vatten- och miljöstyrelsen

Utgivningsdatum
Februari 1995

Författare (uppgifter om organet: namn, ordförande, sekreterare)
Anna-Liisa Kivimäki

Publikation (även den finska titeln)
Konstgjord grundvattenbildning genom strandinfiltration

Typ av publikation
Förtredningsrapport

Uppdragsgivare
Vatten- och miljöstyrelsen

Datum för tillsättandet av organet

Publikationens delar

Referat

Strandinfiltration (inducerad infiltration) är en indirekt metod att bilda konstgjort grundvatten och därmed öka grundvattentillgångens uttag. Man har haft ganska litet kunskaper om utnyttjandet av denna metod i finländska grundvattentäkter. Denna utrednings målsättning var att utreda omfattningen av strandinfiltrationens nyttjande i Finland, den allmänna funktionsdugligheten för vattenverk som använder sig av strandinfiltration och potentiella problem gällande vattnets kvalitet.

Vattenverk med strandinfiltration inventerades med hjälp av grundvattenområdeskartor och -kort, som gjorts vid kartläggningen av grundvattenområden. Information om mängden uttaget vatten plockades ur vatten- och avloppsanläggningsregister och dessutom kompletterades informationen täktvis i vatten- och miljödistrikten. Vattentäkterna klassificerades på basen av strandinfiltrationens utsträckning och planlighet i tre klasser. Klassificeringen baserar sig på karttolkning, allmänna jordartsuppgifter, ythöjdsinformation över yt- och grundvatten, uppskattat värde på grundvattenområdets vattenuttagskapacitet samt information över uttaget vatten.

I Finland finns allt som allt 217 grundvattentäkter, vilkas vattenuttagskapacitet ökat genom strandinfiltration, eller där strandinfiltration är möjligt, om vattenuttaget effektiveras. Av dessa täkter är 28 egentliga vattenverk som använder sig av inducerad infiltration, d.v.s. där över 30 % av vattnet som pumpas från vattenverket är konstgjort grundvatten som strandinfiltrerats. I 56 vattenverk har strandinfiltration använts, men verkningen på vattenuttagskapaciteten är liten. I 133 vattenverk är strandinfiltrering möjlig, men verifierad information med hjälp av terrängundersökning har inte fåtts.

I de kontrollerade vattenverken har de allmännaste kvalitetsegenskaperna som förutsätter efterbehandling, varit lågt pH-värde och hög järnhalt. Källvattnets desinficering har ansetts nödvändigt endast i några vattenverk. I vattenverk, som använder sig av strandinfiltration, avviker inte nuvarande utsträckningen källvattnets efterbehandlingsbehov märkbart från grundvattenverkens behov i allmänhet. I de fall, där jordmånens reningskapacitet har belastats med långvarig och ytterst effektivt uttag av vatten, kan man observera problem med källvattnets järn- och humushalt.

Sakord (nyckelord)

Konstgjort grundvatten, strandinfiltration, inducerad infiltration, vattenverk, vattenbehandling

Övriga uppgifter

Seriens namn och nummer

Vatten- och miljöstyrelsens publikationsserie nr 573

ISBN

951-47-9118-5

ISSN

0783-3288

Sidantal

51

Språk

Finska

Pris

36,60 mk

Sekretessgrad

Offentlig

Distribution

Vatten- och miljöstyrelsen
Kommunbyrån
PB 250 00101 Helsingfors
tel. (90) 69 511
(sedan 1.3.1995 Finlands miljöcentral)

Förlag

Vatten- och miljöstyrelsen
PB 250
00101 Helsingfors

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	TEKOPOHJAVEDEN MUODOSTAMINEN RANTAIMEYTYKSEN AVULLA	7
	2.1 Rantaimetyys menetelmänä	7
	2.2 Orgaaninen aines rantaimetytyssä tekopohjavedessä	9
	2.3 Rantaimetytykseen liittyviä ongelmia	10
	2.4 Rantaimetytyksen hyödyntäminen ja tutkiminen eräissä muissa maissa ..	12
3	ESISELVITYS RANTAIMEYTYMISEN HYÖDYNTÄMISESTÄ SUOMEN POHJAVEDENOTTAMOILLA	16
	3.1 Selvityksen taustaa	16
	3.2 Käytetty aineisto ja tietolähteet	17
	3.3 Rantaimetytymistä hyödyntävät pohjavedenottamot	
	Suomessa vesi- ja ympäristöpiireittäin	19
	3.3.1 Helsingin vesi- ja ympäristöpiiri	19
	3.3.2 Turun vesi- ja ympäristöpiiri	20
	3.3.3 Tampereen vesi- ja ympäristöpiiri	21
	3.3.4 Kymen vesi- ja ympäristöpiiri	22
	3.3.5 Mikkelin vesi- ja ympäristöpiiri	22
	3.3.6 Kuopion vesi- ja ympäristöpiiri	23
	3.3.7 Pohjois-Karjalan vesi- ja ympäristöpiiri	24
	3.3.8 Vaasan vesi- ja ympäristöpiiri	25
	3.3.9 Keski-Suomen vesi- ja ympäristöpiiri	25
	3.3.10 Kokkolan vesi- ja ympäristöpiiri	26
	3.3.11 Oulun vesi- ja ympäristöpiiri	27
	3.3.12 Kainuun vesi- ja ympäristöpiiri	27
	3.3.13 Lapin vesi- ja ympäristöpiiri	28
	3.4. Yhteenvedo kartoitetuista rantaimetytyslaitoksista	28
4	ESIMERKKEJÄ RANTAIMEYTYMISTÄ ERI MITTAKAASSA HYÖDYNTÄVISTÄ POHJAVEDENOTTAMOISTA	30
	4.1 Kangasalan Riku	30
	4.1.1 Rikun ottamon yleiset tiedot	30
	4.1.2 Rikun pohjavesialueen hydrogeologiset olosuhteet	31
	4.1.3 Vesijärven veden laatu	33

4.1.4	Rikun ottamon veden laatu	33
4.1.5	Yleisvaikutelma Rikun laitoksen toimivuudesta	35
4.2	Parkanon Vuorijärvi	35
4.2.1	Vuorijärven ottamon yleiset tiedot	35
4.2.2	Vuorijärven pohjavesialueen hydrogeologiset olosuhteet	36
4.2.3	Vuorijärven veden laatu	38
4.2.4	Vuorijärven ottamon veden laatu	38
4.2.5	Yleisvaikutelma Vuorijärven laitoksen toimivuudesta	39
4.3	Ruoveden Visuvesi	39
4.3.1	Visuveden ottamon yleiset tiedot	39
4.3.2	Visuveden pohjavesialueen hydrogeologiset olosuhteet	40
4.3.3	Visuveden järven veden laatu	42
4.3.4	Visuveden ottamon veden laatu	43
4.3.5	Yleisvaikutelma Visuveden laitoksen toimivuudesta	43
5	TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET	44
	KIRJALLISUUS	47
	LIITTEET	
	1 Karttamerkkien selitykset	

1 JOHDANTO

Rantaimeyttäminen (engl. bank infiltration, induced recharge) on epäsuora menetelmä muodostaa tekopohjavettä ja siten lisätä pohjavesiesiintymän antoisuutta. Keski-Euroopassa suurien jokien uomista tapahtuvaa rantaimeytymistä on hyödynnetty jo kauan ja laajassa mittakaavassa. Nykyään valtaosa Keski-Euroopan jokivesistä on niin pahoin saastuneita, että rantaimeytymistä hyödynnetään ainoastaan pintavesien ensi vaiheen käsittelyä. Veden saattaminen juomakelpoiseksi edellyttää monivaiheista jälkikäsittelyä.

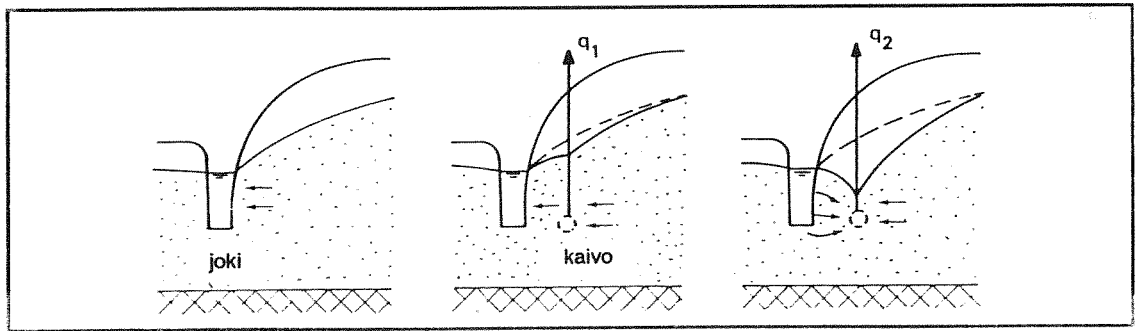
Suomen pintavesissä ei vettä saastuttavia kemikaaleja ole juurikaan todettu esiintyvän. Suoria imeytysmenetelmiä (esim. allasimeytys) käyttävillä tekopohjavesilaitoksilla tekopohjavettä muodostetaan useimmiten ilman esikäsittelyä ja hyvin yksinkertaisen jälkikäsittelyn avulla. Näillä laitoksilla verkostoon lähtevä vesi on yleensä laadultaan hyvää. Rantaimeyttämisen hyödyntämisen laajuudesta suomalaisilla pohjavedenottamoilla on olemassa varsin vähän tietoa. Tekopohjaveden muodostaminen sekä suorilla että epäsuorilla menetelmillä muuttunee kuitenkin tulevaisuudessa entistä yleisemmäksi tavaksi tyydyttää vedenhankinnan tarpeet. Siksi on tarpeen lisätä tietoa myös tekopohjaveden muodostamisesta rantaimetyksen avulla ja selvittää, miten rantaimeyttäminen voidaan toteuttaa hallitusti. Täten voidaan parantaa rantaimetyslaitosten toimivuutta ja turvata lähtevän veden tasalaatuisuus.

Tämän esiselvityksen tavoitteena oli selvittää rantaimeyttämisen laajuus Suomessa ja siihen liittyvät mahdolliset ongelmat. Perusaineistona käytettiin pohjavesialueiden kartoituksen yhteydessä laadittuja kuntakansioita. Tietoja tarkistettiin ja täydennettiin vesi- ja ympäristöpiireissä.

2 TEKOPOHJAVEDEN MUODOSTAMINEN RANTA- IMEYTYKSEN AVULLA

2.1 Rantaimeytys menetelmänä

Kun pohjavesialue rajoittuu järveen tai jokeen ja rantavyöhykkeessä aines on hyvin vettäläpäisevää, voidaan esiintymän antoisuutta lisätä rantaimeyttämällä pintavettä pohjavesiesiintymään. Kaivot on sijoitettu yleensä 50 – 100 m:n päähän rannasta. Kun pohjavedenpinnan korkeus laskee vedenoton seurauksena alle järven pinnan, alkaa pintavettä imeytyä akviferiin ja rantaimeytynyt vesi sekoittuu luonnolliseen pohjaveteen (kuva 1). Pintaveden laatu muuttuu imeytyksen aikana: vesi kirkastuu ja orgaaninen aines hajoaa kuluttaen runsaasti happea (Huisman ja Kop, 1986).



Kuva 1. Rantaimetyksen periaate. A. Pohjavettä purkautuu jokeen. B. Kaivosta pumpataan pieniä määriä pohjavettä, jolloin jokeen purkautuvan pohjaveden määrä vähenee. C. Tehostetun vedenoton seurauksena pohjavedenpinta alenee ja jokivettä alkaa rantaimetyä akviferiin (Huisman ja Olsthoorn, 1983, s.12).

Rantaimetyksen menetelmän etuja verrattuna suoriin tekopohjaveden imeytysmenetelmiin ovat yksinkertaisemmat ja halvemmat imeytysjärjestelyt. Tiheään asutulla alueella ja suurilla vesimääriä tuottaessa etuna on se, että rantaimetyksellä vie huomattavasti vähemmän maapinta-alaa kuin laajat imeytysalueet. Rantaimetyksen heikkoja puolia ovat seuraavat:

1. Pintavedessä sameutta aiheuttavat hiukkaset kerrostuvat järven pohjalle ja voivat tukkia aineksen rantavyöhykkeessä. Tällöin rantaimetyminen estyy. Puhdistus on kallista ja hankalaa.
2. Jos pintavesi sisältää runsaasti maaperässä hajoavaa orgaanista ainesta, kuluu veteen liuennut happi nopeasti loppuun. Tällöin kaivovedessä on runsaasti liukoista rautaa ja mangaania, mikä edellyttää jälkikäsittelyä.
3. Jätevesipäästöt, peltolannoitus, torjunta-aineet, vahinkotapauksissa pintavesiin kulkeutuvat teollisuuspäästöt (esim. orgaaniset liuottimet) ym. heikentävät pintavesien laatua. Äkillisten likaantumistapausten yhteydessä imeytystä ei voida nopeasti keskeyttää. Esikäsittelyä ei voida tehdä, joten ainoa ratkaisu on jälkikäsittely (esim. kemiallinen käsittely, otsonointi ja aktiivihiihiisuodatus).

Jotta rantatörmän nopea tukkeutuminen saadaan estettyä, pitää pintavedestä imeytyvien vesimäärien ja imeytymisnopeuden oltava riittävän alhaisia. Veden puhdistumisen varmistamiseksi pitäisi veden viipymän olla vähintään 30 – 60 d. Viipymään vaikuttavat virtausreitit ja vedenjohtavuuden lisäksi dispersio, diffuusio ja adsorptio-desorptio sekä vesistön pinnankorkeuden vaihteluiden seurauksena pohjavedenpinnan hydraulisen gradientin vaihtelu (Huisman ja Olsthoorn, 1983).

Useissa tutkimuksissa on todettu, että pintaveden puhdistuminen tapahtuu pääasiassa aivan rannan tuntumassa, missä bakteeriaktiiviteetti on suurin (Rönkä ym., 1977;

Miettinen, 1990; Frycklund ym., 1994). Esimerkiksi Porvoon Saksanniemen alueella tehdyissä tutkimuksissa mikrobien aktiivisuuden todettiin laskevan lähes nolnaan alle kymmenen metrin etäisyydellä imeytymisalueesta (Rönkä ym., 1977).

2.2 Orgaaninen aines rantaimetytyssä tekopohjavedessä

Rantaimetytyksessä tapahtuvaa veden laadun muuttumista arvioitaessa tärkeä laatu-parametri on orgaanisen aineksen pitoisuus. Miettisen (1990) mukaan suurin osa orgaanisesta aineksesta poistuu maaperään pidättäytymisen kautta eli maaperään pidättäytyy huomattavasti enemmän orgaanista ainesta kuin mitä mikrobit pystyvät kuluttamaan. Talvella maaperään varastoituu suuret määrät orgaanista ainesta, josta osa lähtee liikkeelle keväisin lämpötilan ja pintaveden korkeuden noustessa. Toisaalta maaperän puskuriominaisuus vedenpinnan ja lämpötilan vaihteluiden suhteen paranee orgaanisen aineksen kertyessä maaperään. Maaperään sitoutuva orgaaninen aines mahdollistaa yhä suuremman mikrobipopulaation kehittymisen. Täten rantaimetytyksen jatkuessa biologinen hapenkulutus kasvaa ja imeytyvän veden happipitoisuus laskee (Miettinen, 1990).

Veden orgaanisen aineksen pitoisuutta tutkittaessa voidaan käyttää useita eri analyysimenetelmiä. KMnO_4 -luvun tai COD_{Mn} :n määrittäminen lienee vesilaitoksilla yleisemmin käytetty analyysi. Kemiallinen hapenkulutus ilmaisee veden sisältämien kemiallisesti hapettuvien orgaanisten aineiden määrää. Kocolosuhteissa hapettuvat kuitenkin myös pelkistyneessä tilassa olevat epäorgaaniset aineet, ellei niitä pelkistetä ennen määrittystä. Kemiallinen hapettuminen on riippuvainen orgaanisen aineen rakenteesta ja osa orgaanisista aineista jää myös hapettumatta. Hapen kulutus kaliumdikromaatilla määritettynä antaa tarkemman tuloksen kuin permanganaattimenetelmällä, koska permanganaatilla hapettuu kocolosuhteissa vain osa orgaanisista aineista. Permanganaattimenetelmän käyttöä puoltaa analyysin helppous, nopeus ja edullisuus sekä se, että kaliumdikromaattimenetelmä ei sovellu hyvin puhtaille vesille eli vesille, joiden kemiallinen hapen kulutus on alle 10 mg l^{-1} (Vesianalyysitoimikunnan mietintö, 1968).

Biologinen hapenkulutus (BOD) kuvaa sitä hapen määrää, mikä kuluu määrääjassa ja vakiolämpötilassa mikrobien aikaansaamaan orgaanisen aineen hajoittamiseen. Biologisen hapen kulutuksen määrittäminen on alkuaan kehitetty asumajätevesien tutkimiseen. Ravinneköyhien vesien humusaineet eivät kelpaa sellaisenaan bakteerien hajoitustoiminnan kohteeksi, mutta hapettuvat kemiallisesti melko helposti (Vesianalyysitoimikunnan mietintö, 1968). TOC kuvaa kokonaisorgaanisen hiilen määrää ja NPOC osoittaa haihtumattoman orgaanisen hiilen pitoisuuden. Kokonaisorgaanisesta hiilestä (TOC) on liukoista orgaanista hiiltä (DOC) 11 – 33 % ja siitä on

helpoimmin assimiloituvaa hiiltä (AOC) 0,1 – 8,5 %. AOC kuvaa mikrobeille käytettävissä olevan orgaanisen hiilen määrää. Suurimolekyyliset ja värilliset humusyhdisteet jaetaan humushappoihin, fulvohappoihin ja humiineihin. Humusyhdisteitä voidaan fraktioida eri humusmolekyylitokoluokkiin geelifiltraatio- eli ekskluusiokromatografiamenetelmällä (Miettinen, 1990 ja Partanen, 1994).

Siitä, mitä orgaanisen aineksen pitoisuutta kuvaavia analyysimenetelmiä pitäisi rantaimetyslaitosten tarkkailussa käyttää, on viime vuosina tehdyissä tutkimuksissa esitetty erilaisia suosituksia. Miettisen (1990) mukaan KMnO_4 -luku korreloi TOC-lukua paremmin mikrobien lukumäärään, biomassaan ja hajotusaktiivisuutta kuvaaviin tekijöihin, joten KMnO_4 -lukua voidaan käyttää kuvaamaan mikrobiologisesti käytettävissä olevan hiilen määrää. Frycklund ym. (1994) suosittelevat käyttämään rinnakkain sekä TOC- että COD_{Mn} -analyysiä, kun halutaan tarkkailla tekopohjaveden laadun kehittymistä ja erityyppisten orgaanisten aineiden käyttäytymistä. Jos lisäksi halutaan arvioida mikrobikasvustojen esiintymistodennäköisyyttä verkostossa, on AOC-määrittäminen käyttökelpoinen menetelmä.

2.3 Rantaimetykseen liittyviä ongelmia

Rantaimetyslaitoksilla on usein ongelmana se, että imeytymisvyöhykettä, josta rantaimetyminen voimakkaimmin tapahtuu, ei ole pystytty määrittelemään. Tällöin ei myöskään pystytä määrittelemään imeytyvän veden virtausreittiä ja viipymää (Frycklund ym., 1994). Imeytymisvyöhykkeitä ja rantaimetyviä vesimääriä arvioitaessa voidaan käyttää apuna numeerisia malleja (Mäkelä ja Reijonen, 1993; Partanen, 1994b). Partanen (1994a) totesi Kuopion Reposaaressa tutkimuksen yhteydessä, että samalla vedenkorkeudella on rantaimetyminen kaivoalueen läheltä kesällä runsaampaa kuin talvella. Talvella rantojen jäätyminen siirtää imeytymisaluetta kauemmaksi rannasta, jossa pohja on yleensä tiiviimpi ja vedenläpäisevyys pienempi.

Porvoon Saksanniemen laitoksella tehtiin 1970-luvulla kokeita, joiden tarkoituksena oli tutkia mahdollisuuksia nostaa rantaimetytyneen jokiveden happipitoisuutta välihapetuksen avulla. Välihapetuksella pyrittiin tehostamaan veden puhdistumista maaperässä ja estämään raudan liukeneminen veteen. Saksanniemen ottamon vedenottomäärä on noin $2\,500\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$, josta luonnollisen pohjaveden määrä on valuma-alueen perusteella noin $800 - 1\,000\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Välihapetuksen avulla kaivoveden laatu saatiin paranemaan. Tärkeimmät muutokset tapahtuivat typpiyhdisteiden ja orgaanisen aineksen pitoisuuksissa. Kaivosta pumpatun veden rautapitoisuus laski hapetuksen aikana, mutta sen päätyttyä rautapitoisuus alkoi jälleen nousta (Rönkä ym., 1977).

Muuramen Suuruskankaan vedenottamolla, jossa vedenotto on noin $800 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, on simuloitujen vesitasetarkastelujen avulla arvioitu, että rantaimetytyneen veden osuus pumpattavasta vedestä on noin 80 %. Vedenottamon toiminnan aikana 1970-luvulta lähtien on kaivoveden happipitoisuus laskenut 10 mg l^{-1} tasosta $4 - 6 \text{ mg l}^{-1}$ tuntu-
maan. Keväällä 1993 tehdyissä tutkimuksissa ottamon veden laatu saatiin paranemaan lisäämällä vedenottoa nykyisen ottamon ja järven rannan välillä sijaitsevasta koekai-
vosta sekä sadettamalla järvivettä ottamon koillispuolella harjun rinteeseen. Ottamon
raakaveden happipitoisuuden nousu johtui pohjaveden virtaussuunnan kääntymisestä:
kaivoalueelle virtasi enemmän luonnollista pohjavettä sekä sadettamalla imeytettyä
tekopohjavettä (Mäkelä ja Reijonen, 1993).

Kuopion Reposaaressa ottamolla vedenotto on noin $3\,800 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, josta pääosa on
Kallavedestä rantaimetytynyttä vettä. Pumpattava raakavesi on ajoittain lähes hapeton-
ta, mistä seuraa korkea rautapitoisuus, $6 - 8 \text{ mg l}^{-1}$. Vaikka järvivesi puhdistuu
tehokkaasti imeytyessään hiekkakerrosten läpi, näkyy järviveden vaikutus ajoittain
korkeana humuspitoisuutena ja alentuneena sähkönjohtokyknä. Reposaaressa
raakaveden laatua on pyritty parantamaan suoja-pumppauksella, missä virtaussuuntia
on pyritty muuttamaan siten, että varsinaiseen vedenottokaivoon ei virtaa alueen
luoteisosasta humuspitoisempaa vettä. Suoja-pumppauskaivosta pumpattiin kokeilun
aikana vettä järveen $700 - 1\,000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Pumppauksen todettiin laskevan ottamon
raakaveden KMnO_4 -lukua ja nostavan sähkönjohtavuutta (Partanen, 1994b).

Keski-Euroopan rantaimetyyslaitokset ovat suurien jokien varsilla, kun taas Suomes-
sa rantaimetyyslaitokset ovat useimmiten sora- ja hiekkamuodostumilla, jotka ovat
hydraulisessa yhteydessä läheiseen järveen. Suomen järvivedet eivät juurikaan sisällä
sellaisia haitallisia yhdisteitä, joita Keski-Euroopan jokivesiin pääsee mm. kemikaa-
leja tuottavilta teollisuuslaitoksilta (esim. BASF, Hoechst, Bayer) ja öljynjalostamoil-
ta. Järvien rehevöityminen voi kuitenkin aiheuttaa ongelmia Suomen rantaimetyyslai-
toksilla, kun erilaisten levien ja bakteerien määrä vedessä kasvaa. Viime vuosien
runsaat sinileväkukinnot Suomen järvissä ovat tuoneet esille kysymyksen sinilevä-
toksiinien käyttäytymisestä tekopohjavesi- ja rantaimetyyslaitoksilla. Laborato-
riotutkimusten perusteella tiedetään, että osa sinilevätoksiineista on suhteellisen
hitaasti hajoavia. Kuormitettaessa maaperän puhdistuskykyä suurilla imeytettävillä
vesimäärillä liukoisten toksiinien kulkeutuminen pohjaveteen on mahdollista, koska
tällöin muutakin orgaanista ainetta kulkeutuu maakerrosten läpi. Hajoavuutta luon-
nonolosuhteissa tekopohjaveden muodostamisen ja rantaimetyttämisen yhteydessä
pitäisi edelleen tutkia (Lahti ym. 1993).

Esimerkkitapauksena bakteerien aiheuttamista ongelmista rantaimetytyksessä voidaan
mainita Rovaniemen Kolpeneen ottamolla esiintynyt Zoogloea filipendula-bakteeri-
kasvusto. Syksyllä 1992 laitoksen jälkikäsitteilyyn kuuluville pikasuodattimille
tulevassa vedessä havaittiin esiintyvän limaisia saostumia. Kasvustot aiheuttivat

veteen tunkkaisen hajun. Mikroskooppisessa tutkimuksessa eloperäinen kasvusto tunnistettiin Zoogloea filipendula-bakteeriksi, joka Duganin ym. (1991) mukaan esiintyy yleensä jätevesissä tai jäteveden käsittelysysteemeissä, joihin sisältyy hapetus. Bakteerit vaativat elääkseen sekä ravinteita että orgaanista ainesta. Limaisia bakteerikasvustoja ilmestyy veden kanssa kosketuksissa oleville pinnoille silloin kun erityyppiset vedet (hapeton ja hapellinen) sekoittuvat (Suunnittelukeskus Oy, 1992). Zoogloea filipendula-bakteeri sinänsä on terveydelle vaaraton eikä aiheuta vedelle käyttörajoituksia. Haitta on lähinnä esteettinen. Lisäksi bakteerin esiintyminen vesilaitoksen vedessä on ongelmallista siksi, että bakteeri saattaa päästä jakeluverko-
toon ja lisääntyä siellä. Tämä lisää veden kokonaispesäkelukua ja kasvattaa pieneliöitä.

2.4 Rantaimetytymisen hyödyntäminen ja tutkiminen eräissä muissa maissa

Saksassa rantaimetytymistä on hyödynnetty vedenhankinnassa jo yli 85 vuotta. Tärkeitä raakavesilähteitä ovat mm. Rein- ja Elbe-joet (Nestler ym., 1991). 1980-luvun puolivälissä Länsi-Saksassa käytetystä juomavedestä 10 % oli suorilla menetelmillä imeytettyä tekopohjavettä ja 5 % rantaimetytettyä tekopohjavettä (Zullei-Seibert ja Schöttler, 1989). Nykyään useat suuret kaupungit käyttävät pääosin Reinistä rantaimetytettyä vettä. 1950-luvulle asti ainoa tarvittava jälkikäsittely rantaimetytylle vedelle oli klooraus. Vuosikymmenen lopulla Rein alkoi kuitenkin pahoin saastua. Haitallisimpia Reinin vedessä esiintyviä saasteita nykyään ovat synteettiset orgaaniset yhdisteet, kelaatti-yhdisteet, öljy ja sen johdannaiset sekä toksiset raskasmetallit. Lisäksi ongelmia aiheuttavat paikoitellen korkea suolapitoisuus ja lämpötila. Nykyään miltei jokaisella Reinin varrella sijaitsevalla rantaimetytyslaitoksella jälkikäsittelyyn sisältyy otsonointi, raudan ja mangaanin poisto, aktiivihiilisuodatus, neutralointi ja desinfiointi (Wilderer ym., 1985).

Sontheimerin (1980) mukaan rantaimetytyksessä Rein-joen vedestä poistuvat mm. useat raskasmetallit. Reduktio vaihtelee eri raskasmetalleilla: Ag ja Be 0 %, Hg 33 %, Cu 51 %, Cd 75 %, Pb 75 %, Zn 82 %, Cr 94 %. Orgaanisen aineksen reduktio on 75 %. Schöttlerin (1983) mukaan maaperään aiemmin pidättyneet raskasmetallit voivat tietyissä olosuhteissa lähteä uudelleen liikkeelle ja kulkeutua pohjaveden mukana ottamolle. Tämä voi tapahtua mm. silloin, kun merkittävästi maaperän sorptio-ominaisuuksiin vaikuttavat rauta- ja mangaanihydroksidit liukenevat hapettomien olosuhteiden vuoksi. Rantaimetytynyt vesi on normaalisti hapetonta, ja jos sen osuus tekopohjavedessä nopeasti kasvaa, saattavat happiolosuhteet muuttua otollisiksi raskasmetallien uudelleenmobiiloitumiselle. Jos maaperän puhdistuskykyä ylikuor-

mitetaan liiallisella imeytyksellä, lisäävät muutokset sade- ja pintavesien laadussa (esim. hapen sade) riskiä raskasmetallien liikkeellelähtöön (Schöttler, 1983).

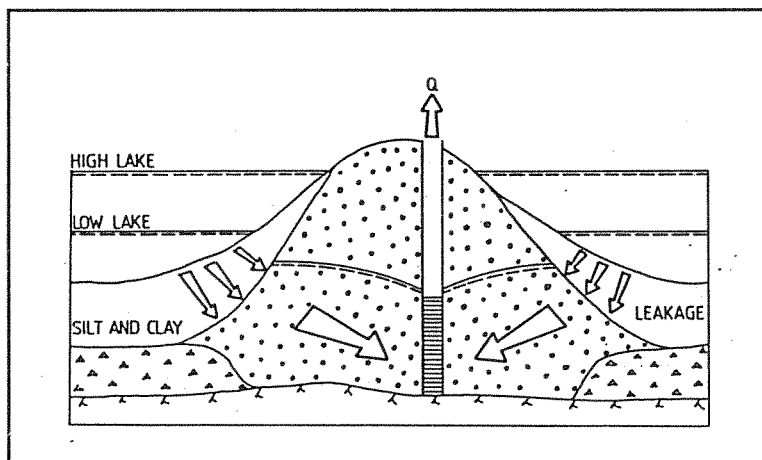
Reinin valuma-alueelle sijoittuneet valtiot (Sveitsi, Itävalta, Ranska, Luxemburg, Saksa ja Alankomaat) ovat solmineet useita kansainvälisiä sopimuksia, joiden tavoitteena on Reinin veden laadun parantaminen. Suojeluohjelmien tuloksena veden laatu onkin jonkin verran parantunut jo 1970- ja 1980-luvulla. Vuonna 1987 vahvistetun ohjelman yhtenä tavoitteena on varmistaa, että jokea voidaan tulevaisuudessaakin käyttää raakavesilähteenä juomaveden tuottamisessa. Elbe-joen veden laatu on selvästi huonompi. Pääasiallinen ongelma ovat raskasmetallit ja hajoamattomat orgaaniset yhdisteet. Vuonna 1989 on perustettu kansainvälisen komissio Elben suojelemiseksi. Toiminnan yhtenä tavoitteena on edistää rantaimeyttämiseen perustuvaa juomaveden tuottoa (Hames, 1993).

Alankomaissa 15 % käytetystä talousvedestä on pintavettä, 63 % luonnollista pohjavettä, 15 % suorilla menetelmillä imeytettyä tekopohjavettä ja 7 % rantaimeytettyä tekopohjavettä (Peters, 1994). Tekopohjavettä muodostettaessa raakavesilähteenä ovat pääasiassa Rein- ja Maas-joet. Hollannissa laajamittainen tekopohjaveden muodostaminen aloitettiin 1940-luvulla. Suorina imeytysmenetelminä käytettiin aikaisemmin lähinnä allas- ja kanavaimeytystä (engl. open recharge). Vähitellen on yleistynyt kaivoimeytys syvemmällä sijaitseviin akvifereihin. Nykyään jokien veden laatu on siinä määrin huono, ettei sitä voida imeyttää ilman monivaiheista esikäsittelyä. Yli 90 % tekopohjavesilaitoksilla imeytettävästä vedestä esikäsitellään siten, että käsittelyyn sisältyy vähintään koagulointi, sedimentaatio/flotaatio ja hiekkapikasuodatus (Peters, 1988). Koska rantaimeyttämisen yhteydessä esikäsittely on mahdotonta ja imeytymisen säätely vaikeaa, on ymmärrettävää, että tekopohjaveden muodostamisessa suositaan suoria imeytysmenetelmiä. Valtaosa tekopohjavesilaitoksista sijaitsee Pohjanmeren rannikon dyynialueilla.

Eräs huomattava ongelma Alankomaiden vesilaitoksilla nykyään on pestisidien suuri määrä raakavesissä, Rein- ja Maas-joissa. Pestisidit eivät hajoa rantaimetyksessä, vaan käsittelyksi tarvitaan esim. aktiivihiilisuodatus, otsonointi tai membraanisuodatus (etenkin nanosuodatus ja käänteisosmoosi) (Kruithof ym., 1993). Normaalisti rantaimeytetyn veden jälkikäsittelyyn sisältyy ilmastus ja hiekkapikasuodatus raudan, mangaanin, ammoniumin ja metaanin poistamiseksi, aktiivihiilisuodatus mm. haihtuvien orgaanisten halogeeniyhdisteiden (organohalogeenit, AOX, esim. trikloroetyleni ja tetrakloroetyleni) tuottaman hajun ja maun poistamiseksi sekä UV-desinfiointi bakteerien tuhoamiseksi. Klooridesinfiointia Alankomaissa ei käytetä enää juuri lainkaan sen yhteydessä syntyvien haitallisten yhdisteiden vuoksi (Kruithof ja van Puffelen, 1993).

Sveitsissä noin 80 % käytetystä juomavedestä on pohjavettä. Merkittävä osa tästä on rantaimetyymällä muodostettua tekopohjavettä (Von Gunten ja Kull, 1986). Sveitsissä on tehty Glatt- ja Aare-jokien varsilla kenttäkokeita (mm. Schwarzenbach ym., 1983, Hoehn ja von Gunten, 1989), joissa on seurattu rantaimetyyneen veden laadun kehittymistä ja sekoittumista luonnolliseen pohjaveteen. Näytteitä on otettu muutamasta havaintoputkesta, jotka on sijoitettu eri etäisyyksille joen rannasta. Joidenkin koejärjestelyjen heikkous on se, että vesinäytteet on otettu vain pohjavesikerroksen pintaosasta, eikä eri syvyyksistä koko vettä johtavasta kerroksesta. Orgaanisten mikropollutanttien, kuten kloorattujen hiilivetyjen ja fenolien sekä alkyloitujen bentseenien, kulkeutumista tutkittaessa (Schwarzenbach ym., 1983) todettiin, että haihtuvat orgaaniset yhdisteet kulkeutuvat nopeasti rantaimetyyneen veden mukana pohjaveteen. Biologisen toiminnan seurauksena osa yhdisteistä "eliminoituu" (esim. alkyloitu bentseeni, naftaleeni ja 1,4-diklorobentseeni) ensimmäisten metrien aikana jopa niinkin alhaisessa lämpötilassa kuin 5 °C. Samassa tutkimuksessa löydettiin kuitenkin joukko haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, joiden määrä vedessä ei vähentynyt imeytymisen aikana (esim. trikloroetyyleeni ja tetrakloroetyyleeni).

Ruotsissa vesilaitosten jakamasta vesimäärästä 25 % on luonnollista pohjavettä ja 25 % tekopohjavettä (Sundlöf ja Kronqvist, 1992). Rantaimetyttämisen toteuttaminen hallitusti on melko uusi menetelmä; pintaveden imeytyminen pohjavesiesiintymään on monissa tapauksissa ollut yllättävä, veden laatua heikentävä seuraus runsaasta vedenotosta (Agerstrand, 1988). Frycklundin (1992) mukaan merkittävä osa ruotsalaisista pohjavedenottoamoista pumpppaa myös rantaimetytynyttä tekopohjavettä, tosin täysin suunnittelemattomasti. Tarkempaa tietoa rantaimetyttämisen hyödyntämisen laajuudesta Ruotsissa ei tällä hetkellä ole olemassa (Gert Knutsson, 24.10.1994, suullinen tiedonanto).



Kuva 2. Rantaimetytminen järvenpinnan eri korkeuksilla (Gustafsson, 1982).

Rantaimetyttämistä on Ruotsissa tutkittu mm. Långholmenissa (Gustafsson, 1982). Tutkimusalueella todettiin, että veden happipitoisuus pienenee järven veden imeytyessä

orgaanista ainesta sisältävän pohjasedimentin läpi. Orgaanisen aineksen hajoaminen saattaa kuluttaa vedestä miltei kaiken hapen. Pelkistävässä olosuhteissa rantaimetyneen veden rautapitoisuutta lisäävät maaperässä hajoavat rauta-humus-kompleksiyhdisteet, joita järvivedessä usein on runsaasti. Samalla kun hajotustoiminta kuluttaa happea, syntyy hiilidioksidia, joka saa aikaan hienoaineksen kalsiumkarbonaatin liukenemisen ja liukoisen mangaanin määrän kasvun. Gustafsson (1982) toteaa, että rantaimetyskaivon kapasiteetti saattaa vaihdella merkittävästi vuodenaikojen ja järvenpinnan korkeuden vaihteluiden mukaan. Järvenpinnan ollessa matalalla rantaimetyymistä heikentävät harjun liepeiden savi- ja silttikerrokset tai rantatörmälle kerrostunut liettynyt aines (kuva 2).

Ruotsissa valmistui kesällä 1994 laaja tekopohjavesitutkimus (Frycklund ym., 1994), jonka yhteydessä pyrittiin saamaan vastauksia mm. seuraaviin rantaimetyylaitoksiin liittyviin kysymyksiin: Miten veden laatu muuttuu rantaimetyymisen aikana? Miten suuri vaikutus veden viipymällä maaperässä on pumpattavan tekopohjaveden laatuun? Miten järven/joen pinnankorkeuden ja veden lämpötilan vaihtelut vaikuttavat rantaimetyymiseen? Lisäksi oli tavoitteena kokeilla ja kehittää tekopohjavesitutkimuksiin parhaiten soveltuvia tutkimusmenetelmiä.

Edellä mainitussa tutkimuksessa rantaimetyymistä tutkittiin kahdella koealueella, Oskarshamnin ja Surahammarin vedenottamoilla. Veden laadun muuttumisesta ja viipymän merkityksestä tekopohjavesilaitoksilla yleensä todettiin, että veden puhdistuminen tapahtuu pääasiassa suodattavan mineraaliaineksen pintaosissa. Tämän jälkeen viipymällä on melko vähäinen vaikutus veden laatuun (esim. TOC, COD_{Mn}, väri, sameus, rauta- ja mangaanipitoisuus). Pintaveden korkeuden vaihteluilla todettiin olevan vaikutus imeytyvän veden määrään. Alhaisen pinnankorkeuden aikana imeytymistä tapahtuu pääasiassa hienorakeisten epäorgaanisten ja orgaanisten pohjasedimenttien läpi. Veden pinnan ollessa korkeimmillaan rantaimetyyminen tehostuu, koska syntyy suora yhteys muodostuman karkearakeisempiin kerroksiin (Frycklund ym., 1994).

Rantaimetyylaitoksen suunnitteluvaiheeseen liittyvistä tutkimuksista Frycklund ym. (1994) toteavat seuraavaa:

1. Hydrogeologiset olosuhteet on selvitettävä tarkoin maastotutkimusten avulla (muodostuman aineksen vaihtelut, kerroksellisuus, hienorakeisten kerrosten sijainti, pohjaveden virtaussuunnat).
2. Järven/joen pohjasedimentit on tutkittava kairausten ja luotausten avulla "imeytymisvyöhykkeiden" löytämiseksi.
3. Koepumppauksen avulla selvitetään mm. onko kaivon vaikutusalueella huonosti vettäläpäiseviä kerroksia, jotka rajoittavat rantaimetyymistä.

4. Tutkimusalueen havaintoputket on asennettava siten, että siiviläosa ulottuu kokovettäjohtavaan kerrokseen. Vesinäytteitä otetaan useasta eri kerroksesta. Laboratorioanalyysien lisäksi tehdään maastossa sähköjohtokyky- ja lämpötilamittauksia.
5. Viipymän ja imeytymismäärien määrittämisessä kannattaa käyttää apuna merkkiaineita (kloridi, fluoridi, ^{18}O , radon).
6. Orgaanisen aineksen käyttäytymisen seuraamiseksi on tehtävä samanaikaisesti useita eri analyysijä (TOC, COD, AOC).

Norjassa ja Tanskassa tekopohjavettä ei ole tähän mennessä juurikaan käytetty. Frycklundin (1992) mukaan Norjassa on toiminnassa vain muutama laitos, jossa tekopohjavettä muodostetaan esim. imeytyskaivojen avulla tai rantaimeyttämällä. Tanskassa vedenhankinta perustuu miltei kokonaan luonnollisen pohjaveden hyödyntämiseen. Yleisesti pohjaveden laatu on ollut hyvä ja sitä on riittävästi. Tanskassa on toiminnassa ainoastaan yksi vedenottamo, jossa hyödynnetään rantaimeytymistä. Kyseisellä laitoksella muodostetaan tekopohjavettä allasimeytyksellä ja imeytettävä vesi pumpataan järven rannalla sijaitsevista kaivoista. Täten rantaimeytystä käytetään eräänlaisena allasimeytyksen esikäsittelynä. Kööpenhaminan alueella runsaan vedenoton seurauksena on pohjavedenpinta laskenut jopa 10 – 15 m. Tämän vuoksi on olemassa riski, että suolaista merivettä imeytyy pohjavesimuodostumaan (Jan Passow ja Gyrite Brandt, 26.10.1994, suullinen tiedonanto). Luonnollisen pohjaveden liiallisen pumppauksen ja pilaantumisen estämiseksi on Kööpenhaminan alueelle suunniteltu mittavaa tekopohjavesilaitosta. Koevaiheessa tekopohjavettä imeytetään käyttämällä allasimeytystä, ojaimeytystä ja sadetusta (Brandt, 1994).

3 ESISELVITYS RANTAIMEYTYMISEN HYÖDYNTÄMISESTÄ SUOMEN POHJAVEDENOTTAMOILLA

3.1 Selvityksen taustaa

Rantaimetysselvitys on jatkoa Suomen tekopohjavesilaitosten toimivuusselvitykselle (Kivimäki, 1992), jossa kartoitettiin suoria imeytysmenetelmiä käyttävät tekopohjavesilaitokset. Rantaimeyttämällä tekopohjavettä muodostavat laitokset jätettiin tällöin käsittelyn ulkopuolelle.

Rantaimeytymisen hyödyntämisen laajuudesta ei ole ollut tarkkaa tietoa. Syynä on se, että useilla laitoksilla rantaimeytys on epävarmaa ja täysin suunnittelematonta. Monilla ottamoilla rantaimeytymistä ei normaalissa käyttötilanteessa tapahdu, mutta poikkeuksellisen runsassateisina jaksoina imeytymistä saattaa tapahtua. Tällöin ottamon veden laatu saattaa äkillisesti huonontua ja syntyy väliaikainen tarve

jälkikäsittelyyn. Kunnallisten ja vesiosuuskuntien lisäksi rantaimetyymistä hyödyntävät yksityiset kesämökkikaivot, joiden määrää on vaikea selvittää.

Tämän esiselvityksen tavoitteena oli inventoida pohjavedenottamot, joilla rantaimetyymisen lisää antoisuutta sekä selvittää:

- kuinka paljon rantaimetyymisen lisää ko. alueilla ottamon antoisuutta,
- hyödynnetäänkö rantaimetyymistä suunnitelmallisesti,
- jälkikäsittelyn tarpeellisuus ja käytetyt jälkikäsittelymenetelmät ja
- rantaimetyymislaitosten yleinen toimivuus ja mahdolliset veden laatuun liittyvät ongelmat.

3.2 Käytetty aineisto ja tietolähteet

Rantaimetyymislaitosten inventoinnissa käytettiin aineistona tärkeiden pohjavesialueiden kartoituksessa (1977 – 1982) laadittuja pohjavesialuekarttoja ja -kortteja, koska kaikista kunnista ei ollut käytettävissä uutta pohjavesialueiden kartoitustietoa. Vedenottamotietoja tarkistettiin yhdyskuntien vesiensuojelun ja vesihuollon tietojärjestelmän (YVV) vesi- ja viemärilaitosrekisteristä. Vedenottomäärät perustuvat vuoden 1993 tilastoihin. Pintavesien laatutietoja poimittiin vedenlaaturekisteristä (VETREK). Koska tärkeiden pohjavesialueiden kartoitustiedot ovat noin kymmenen vuoden takaisia ja vesi- viemärilaitosrekisterin tiedot osittain puutteellisia, lähetettiin laaditut luettelot vesi- ja ympäristöpiireihin kommentoitavaksi tietojen ajan tasalle saattamiseksi.

Luetteloidut rantaimetyymislaitokset luokiteltiin rantaimetyymisen laajuuden ja suunnitelmallisuuden perusteella seuraavasti:

Luokka 1: Varsinaiset rantaimetyymislaitokset

Rantaimetyymis on hallittua, imeytyksen toteuttamista varten on tehty tutkimuksia. Ottamolta pumpattavasta vedestä yli 30 % on rantaimetyymintä tekopohjavettä.

Luokka 2: Pohjavedenottamot, joilla tapahtuu jonkin verran rantaimetyymistä

Rantaimetyymistä on todettu jonkin verran tapahtuvan. Vaikutus antoisuuteen on vähäinen; ottamolta pumpattavasta vedestä alle 30 % on rantaimetyymintä tekopohjavettä.

Luokka 3: Pohjavedenottamot, joilla rantaimetyymisen on mahdollista

Rantaimetyymisen on mahdollista, mutta sitä ei tapahdu nykyisillä vedenottomäärillä tai se pyritään estämään pintaveden huonon laadun vuoksi. Rantaimetyymisen saattaa myös olla epävarmaa, tutkimuksia ei ole tehty riittävästi asian varmistamiseksi.

Luokittelu perustuu karttatulkintaan, yleisiin maalajitietoihin, käytävissä olleisiin pintaveden ja pohjaveden pinnankorkeustietoihin, pohjavesialueiden antoisuusarvioihin sekä vedenottotietoihin. Luotettavampi tarkastelu edellyttäisi, että käytössä olisi kultakin alueelta mm. tarkkoja kairaustuloksia maaperän vedenläpäisevyyden varmistamiseksi, järviveden ja kaivoveden laatutietoja sekä pitkäaikaisia pintaveden ja pohjaveden pinnankorkeuden seurantatietoja. Näin laajan aineiston käsittely ei ollut kuitenkaan tämän selvityksen puitteissa mahdollista.

Aineistoa tarkasteltaessa rajattiin käsitettä "pohjavesiesiintymän antoisuuden lisääminen rantaimetyymistä hyödyntämällä" siten, että luokittelun ulkopuolelle jätettiin seuraavanlaiset tapaukset:

- (a) Pohjavesialueen reunavyöhykkeellä sijaitsee lasku-uomaton lampi;
- (b) Pohjavesialueen reunavyöhykkeellä sijaitsee pieni järvi, josta saattaa kertyä vettä muodostumaan, mutta vesimäärä on häviävän pieni suhteessa muodostumisalueen luonnolliseen antoisuuteen;
- (c) Pohjavesialueella on orsivesilampia tai muodostumisalueella on pohjavesivyöhykkeeseen suoraan yhteydessä oleva ja pohjavedenpinnan vaihteluja noudattava lampi.

Edellä mainituissa tapauksissa järven tai lammen yhteys pohjavesivyöhykkeeseen ei varsinaisesti lisää alueen antoisuutta.

Rantaimetyymisen laajuuden ja suunnitelmallisuuden perusteella luokitellut pohjavedenottamot on esitetty taulukkomuodossa vesi- ja ympäristöpiireittäin. Sijaintikunnan, pohjavesialueen numeron ja nimen sekä ottamon nimen lisäksi on taulukoitu muodostumisalueen pinta-alan ja imeytymiskertoimen perusteella arvioitu koko pohjavesialueen luonnollinen antoisuus tai koepumppauksin ja tutkimuksin todettu antoisuus sekä ottamolta pumpattava vesimäärä. Joidenkin ottamoiden osalta puuttuu vedenottomäärä. Nämä ottamot ovat yleensä alle 200 liittyjän ottamoita, joten niiden tietoja ei ole vesilaitosrekisterissä. Pienituottoisimpien ottamoiden vedenottomäärätietoja ei löydy myöskään vesi- ja ympäristöpiireistä.

Jokaisesta luokasta valittiin yksi tyyppiesimerkkilaitos, joilta koottiin tiedot muodostuman hydrogeologiasta, veden laadusta ja pohjavedenpinnan korkeuksista. Kootut tiedot raportoitiin laitospohjaisesti rantaimetyymislaitosten toimivuuteen liittyvien mahdollisten ongelmien ja jatkotutkimustarpeen selvittämiseksi.

3.3 Rantaimeytymistä hyödyntävät pohjavedenottamot Suomessa vesi- ja ympäristöpiireittäin

3.3.1 Helsingin vesi- ja ympäristöpiiri

VARSINAISET RANTAIMEYTYSLAITOKSET

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Asikkala, 0401623, Laattaanharju	Asikkalanselkä	1 000	*
Forssa, 0406101, Vieremä	Linikkala, Vieremä	6 500 T	7 024
Jokioinen, 0416954, Särkilampi	Särkilampi, Rehtijärvi	3 500 T	2 220
Lahti, 0439801, Lahti	Jalkaranta, Urheilukesk.	30 000 T	18 528
Porvoon mlk, 0161301, Saksanniemi	Saksanniemi	3 500 T	≈ 1 250

* Alueella sijaitsee Päijänne-tunnelin alku pumppaamoineen. Tällä hetkellä vesi otetaan suoraan järvestä, imuputki sijaitsee Asikkalanselällä 230 m päässä rannasta. Kriisiajan vedenhankintaa varten alueella on 10 – 30 m päässä rannasta kolme kaivoa, joista voidaan pumpata rantaimeytettyä tekopohjavettä noin 20 000 m³ d⁻¹.

POHJAVEDENOTTAMOT, JOILLA TAPAHTUU JONKIN VERRAN RANTAIMEYTYMISTÄ

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Hollola, 0409813, Siikaniemi	Kurssikeskus	10	10
Hollola, 0409852, Salpakangas	Tiilijärvi	6 500	853
Kirkkonummi, 0125718, Hvitträsk	Hvitträsk	30	10
Lammi, 0440102, Kaunisniemi	Kaunisniemi	1 100 T	80
Padasjoki, 0457601, Kullasvuori	Kullasvuori	1 200 T	587
Pernaja, 0158503, Koskenkylä	Koskenkylä	800	99
Porvoon mlk, 0161304, Sannainen	Sannainen	5 100 T	4 556
Porvoon mlk, 0161352, Kerkkoo	Kerkkoo	2 500 T	≈ 1 250
Ruotsinpyhtää, 0170151, Tesjoki	Tesjoki	250 T	366
Tammela, 0483403, Syrjänharju	Syrjänharju, Mustiala	2 000 T	701
Tuusula, 0185803, Rusutjärvi	Rusutjärvi	2 000	1 427

POHJAVEDENOTTAMOT, JOILLA RANTAIMEYTYMINEN ON MAHDOLLISTA

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Artjärvi, 0101501, Kirkonmäki	Kirkonkylä	1 000 T	90
Asikkala, 0401601, Aurinkovuori	Kolavainen	5 400	929
Asikkala, 0401602, Anianpelto A	Anianpelto	2 000	108
Hauho, 0408301, Vuorenselänharju	Kirkonkylä	1 200	170
Hauho, 0408351, Ruskeamullanharju	Akkijärvi	5 700	27

Hämeenlinna, 0410901, Hattelmalanharju	Kylmälahti	7 000 T	1 390
Kirkkonummi, 0125702, Veikkola	Veikkola	500	233
Lahti, 0439852, Takkula	Takkula	160	7
Lammi, 0440101, Linnanmäki	Kirkonkylä	2 200	571
Lammi, 0440103, Työlaitoksenharju	Huoltola	500	?
Lammi, 0440129, Rusthollinkangas	Evon metsäopisto	200	?
Lapinjärvi, 0140701, Lapinjärvi	Tallbacka	800 T	193
Mäntsälä, 0150503, Saari	Maatalousoppilaitos	600	37
Nastola, 0453251, Villähde	Villähde	900	253
Nastola, 0453252, Nastonharju-Uusikylä	Levonniemi, Peltola	7 700	3 148
	Mälkönen, Kuivamaito		
Nurmijärvi, 0154352, Kiljava	Kiljava, Röykkä	6 000 T	1 164
Padasjoki, 0457618, Arrakoski	Arrakosken ala-aste	60	4
Renko, 0469254, Renko	Isomäki, Renkola	7 000	218
Tuusula, 0185801, Hyrylä	Koskenmäki	3 000	1 756

3.3.2 Turun vesi- ja ympäristöpiiri

VARSINAISET RANTAIMEYTYSLAITOKSET

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Eura, 0205001, Kauttua	Lohiluoma	5 000 T	2 173

(Antoisuus ilman rantaimeytymistä noin 500 m³ d⁻¹. Tekopohjavettä sadetetaan 1 500 m³ d⁻¹, mikä vähentää rantaimeytymistä).

POHJAVEDENOTTAMOT, JOILLA TAPAHTUU JONKIN VERRAN RANTAIMEYTYMISTÄ

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Pori, 0260903, Karjaranta	Oluttedas, Teurastamo, Osuusmeijeri	3 000	220

POHJAVEDENOTTAMOT, JOILLA RANTAIMEYTYMINEN ON MAHDOLLISTA

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Halikko, 0207301, Jokiranta	Jokiranta	400	365
Köyliö, 0231901, Yttilä	Yttilä	2 000 T	670
Mynämäki, 0250303, Motelli	Laajoki	2 000	698
Pyhäranta, 0263151, Ropa	Rohdainen (Rope)	3 100	242
Rusko, 0270451, Antintalo	Antintalo	700	315
Somero, 0476101, Kohnämäki	Rautelannummi, Kuivamaito Oy	4 000 T	1 173 + ?

Somero, 0276105, Jyrkinharju	Jyrkinharju	3 000	1 098
Somero, 0276106, Pitkäjärvi	Pitkäjärvi	800 T	333

3.3.3 Tampereen vesi- ja ympäristöpiiri

VARSINAISET RANTAIMEYTYSLAITOKSET

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Kangasala, 0421102, Riku	Riku	7 900 T	3 260
Nokia, 0453601, Maatialanharju	Vihnusjärvi	5 500 T	4 496

POHJAVEDENOTTAMOT, JOILLA TAPAHTUU JONKIN VERRAN RANTAIMEYTYMISTÄ

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Parkano, 0258101, Vuorijärvi	Vuorijärvi	2 000 T	1 201
Tampere, 0483702, Villilä-Epilänharju B ja C	Mustalammi		4 213
Äetsä, 0298801, Kinnala	Ruotsila, Kinnala	900 T	348

POHJAVEDENOTTAMOT, JOILLA RANTAIMEYTYMINEN ON MAHDOLLISTA

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Hämeenkyrö, 0210808, Mihari	Mihari	240	237
Ikaalinen, 0214402, Kilvakkalanharju	Heinistö	1 500 T	162
Kangasala, 0421103, Keisarinharju	Kaivannon sairaala	850	?
Kihniö, 0225006, Pyhäniemi	Pyhäniemi	150	19
Kiikoinen, Äetsä, 0298851, Koppalaisenmaa	Sarvanniemi	140	71
Kuorevesi, Jämsä,			
Keuruu, 0429951, Heräkangas-Paloharju	Jämsänjärvi	3 900	?
Lavia, Suodenniemi, 0241351, Heinijärvi	Heinijärvi	1 000 T	?
Lempäälä, 0441801, Lempäälä-Mäyhäjärvi A	Lempoinen	600 T	600
Lempäälä, 0441801, Lempäälä-Mäyhäjärvi B	Sotavalta	1 300 T	1 109
Noormarkku, 0253701, Matalakoski	Matalakoski	700	423
Ruovesi, 0470202, Ruhala	Ruhala	200	45
Ruovesi, 0470204, Visuvesi	Visuvesi	500	136
Suodenniemi, 0277201, Suodenniemi kk	Vesiosuusunkunta	450	163
Viljakkala, 0293252, Vilpeenharju	Vilpee	1 600	124
Vilppula, 0493304, Loilanniemi	Kolho	1 000 T	315
Virrat, 0493651, Piili	Kotala	280	30

3.3.4 Kymen vesi- ja ympäristöpiiri

POHJAVEDENOTTAMOT, JOILLA TAPAHTUU JONKIN VERRAN RANTAIMEYTYMISTÄ

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Lappeenranta, 0540501, Huhtiniemi	Huhtiniemi	6 500	10 137

POHJAVEDENOTTAMOT, JOILLA RANTAIMEYTYMINEN ON MAHDOLLISTA

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Jaala, 056301, Ruhmaanharju	Ruhmaanharju	2 500 T	116
Lemi, 0541601, Vuolteenlampi	Kirkonkylä	600 T	106
Luumäki, 0544103, Kaunisranta	Kaunisranta	200	112
Parikkala, 0558001, Likolampi	Likolampi	1 200 T	?
Parikkala, 0558003, Aatunniemi	Maatalousoppilaitos	500	?
Ruokolahti, 0570001, Lampsiinlampi	Lampsiinlampi	1 000 T	566
Ruokolahti, 0570002, Oritlampi	Oritlampi	350	23
Savitaipale, 0573902, Ojasti	Ojasti	1 500	95
Suomenniemi, 0577501, Suomenniemi	Suomenniemi kk	500 T	41
Taipalsaari, 0583101, Taipalsaari	Kirkonkylä	300	60
Uukuniemi, 0589103, Niukkala	Niukkala	200	?

3.3.5 Mikkelin vesi- ja ympäristöpiiri

VARSINAISET RANTAIMEYTYSLAITOKSET

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Enonkoski, 0604601, Pahkajärvi	Pahkajärvi	350	202
Mikkeli, 0649151, Pursiala	Pursiala	15 000 T	5 982
Mäntyharju, 0650701, Majalampi	Vannekivi	1 000 T	790

POHJAVEDENOTTAMOT, JOILLA TAPAHTUU JONKIN VERRAN RANTAIMEYTYMISTÄ

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Hirvensalmi, 0609701, Rehniönniemi	Rehniönniemi	720	161
Kangaslampi, 0621201, Itkonsaari	Itkonsaari	500 T	66

Kangasniemi, 0621301, Syvälahti	Syvälahti	1 000 T	590
Kerimäki, 0624601, Kokkomäki	Veneenniemi	1 500	426
Mikkeli, 0649101, Hanhikangas	Hanhikangas	3 000 T	2 544
Pieksämäen mlk, 0659401, Naarajärvi	Naarajärvi	2 000 T	622
Punkaharju, 0661802, Kuikonniemi	Kuikonniemi	800 T	92
Punkaharju, 0661803, Punkasalmi	Punkasalmi	600 T	424
Puumala, 0662301, Kitulanniemi	Kitula	500	328
Sulkava, 0676801, Vilkaharju	Vilkahti	600 T	176
Sulkava, 0676802, Rauhanniemi	Rauhanniemi	1 500 T	283
Sysmä, 0678101, Otamo	Kirkonkylä	600 T	485

POHJAVEDENOTTAMOT, JOILLA RANTAIMEYTYMINEN ON MAHDOLLISTA

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Joroinen, 0617101, Kotkatharju	Kotkatharju	5 000	?
Juva, 0617801, Hatsola	Murtonen	1 200 T	798
Jäppilä, 0618401, Hiidenlampi	Kirkonkylä	2 000	76
Kerimäki, 0624601, Kokkomäki	Veneenniemi	1 500 T	426
Mikkelin mlk, 0649201, Porrassalmi	Olkkolanniemi	3 000 T	507
Pieksämäen mlk, 0659403, Partaharju	Partaharju	1 000 T	154
Punkaharju, 0661801, Punkaharju	Punkaharju	200	120
Ristiina, 0669601, Hartikkala	Kirkonkylä	3 000 T	405

3.3.6 Kuopion vesi- ja ympäristöpiiri

VARSINAISET RANTAIMEYTYSLAITOKSET

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Karttula, 0822702, Välisalmi-Aittoniemi	Välisalmi	500 T	200
Keitele, 0823901, Maaherranniemi	Maaherranniemi	600 T	359
Kuopio, 0829803, Reposaaari	Reposaaari	5 000 T	3 768
Kuopio, 0829804, Hietasalo	Itkonniemi	10 000 T	14 455

POHJAVEDENOTTAMOT, JOILLA TAPAHTUU JONKIN VERRAN RANTAIMEYTYMISTÄ

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Juankoski, 0817401, Kirkonkylä	Kirkonkylä	700 T	~ 800
Juankoski, 0817406, Valkeisenkangas	Säyneinen	500 T	191

Rautavaara, 0868703, Rouskun-Valkeinen	Rouskun-Valkeinen	1 000 T	217
Siilinjärvi, 0874903, Jälänniemi	Jälänniemi	3 000	1 202
Sonkajärvi, 0876201, Jalkomäki A	Matilanniemi	400 T	113
Sonkajärvi, 0876201, Jalkomäki B ja C	Kirkonkylä	450 T	110

POHJAVEDENOTTAMOT, JOILLA RANTAIMEYTYMINEN ON MAHDOLLISTA

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Iisalmi, 0814002, Peltosalmi-Ohenmäki	Kyllikinranta	4 500 T	3 090
Juankoski, 0817407, Rajasalmi	Rajasalmi	1 100 T	738
Lapinlahti, 0840201, Honkalampi	Honkaniemi	3 000 T	1 500
Maaninka, 0847601, Keskisaari	Keskisaari	1 000 T	137
Rautalampi, 0868601, Talliniemi	Kirkonkylä	600 T	363
Rautalampi, 0868604, Vaajasalmi	Vaajasalmi	200	18
Tuusniemi, 0885703, Tuusniemi	Kirkonkylä	1 000 T	251
Tuusniemi, 0885706, Kiukoonniemi	Kiukoonniemi	500	?
Vehmersalmi, 0891901, Ritokangas	Kirkonkylä	1 500 T	< 200
Vieremä, 0892501, Kirkonkylä	Myllyjärvi	1 000 T	439

3.3.7 Pohjois-Karjalan vesi- ja ympäristöpiiri

POHJAVEDENOTTAMOT, JOILLA TAPAHTUU JONKIN VERRAN RANTAIMEYTYMISTÄ

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Lieksa, 0742201, Kokkokangas	Kokkokangas	1 000	675

POHJAVEDENOTTAMOT, JOILLA RANTAIMEYTYMINEN ON MAHDOLLISTA

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Ilomantsi, 07146001, Putkela	Putkela	2 000 T	679
Kitee, 0726001, Variskangas	Puhos	700 T	148
Kitee, 0726003, Kiteen kirkonkylä	Kirkonkylä	2 000 T	1 101
Kontiolahti, 0727605, Likolampi	Paiholan sairaala	1 400 T	141
Kontiolahti, 0727655, Lykynlampi	Lykynlampi	6 000	?
Lieksa, 0742209, Merilänranta	Lomakoli	400 T	?
Lieksa, 0742211, Vuonisahti	Vuonisahti	150 T	15
Lieksa, 0742201, Kokkokangas	Kokkokangas	1 000 T	675
Liperi, 0742602, Jyrinkylä	Ylämyllyn varuskunta	1 500 T	790
Liperi, 0742605, Käsämä	Käsämä	2 200 T	120
Nurmes, 0754103, Porokylä-Kötsinmäki A	Kötsinmäki	4 000	1 257

3.3.8 Vaasan vesi- ja ympäristöpiiri

POHJAVEDENOTTAMOT, JOILLA TAPAHTUU JONKIN VERRAN RANTAIMEYTYMISTÄ

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Alavus, 1001003, Pyylampi	Pyylampi	1 300 T	621
Ähtäri, 109802, Nousunlahti	Nousunlahti	850 T	383
Ähtäri, 1098904, Peränne	Peränne	1 000	461

POHJAVEDENOTTAMOT, JOILLA RANTAIMEYTYMINEN ON MAHDOLLISTA

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Alajärvi, 1000507, Menkijärvi	Menkijärvi	2 200	52
Jurva, 1017503, Haapalankangas	Säläsjärvi	3 500 T	305
Nurmo, 1054401, Sikaharju	Sikaharju I ja II	300 T	182
Närpiö, 1054552, Kankaanmäki	Perälä	900 T	?
Töysä, 1086301, Ukkokangas	Ukkokangas	900 T	276
Ähtäri, 1098903, Silcäkangas	Sileäkangas	700 T	327

3.3.9 Keski-Suomen vesi- ja ympäristöpiiri

VARSINAISET RANTAIMEYTYSLAITOKSET

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Jyväskylän mlk, 0918002, Keski-Palokka	Keski-Palokka	700 T	774
Jyväskylän mlk, 0918006, Leppälahti	Leppälahti	400	= 8 500
Keuruu, 0924902, Alalampi	Alalampi	1 000	1 149
Konnevesi, 0927502, Soukionniemi	Soukionniemi	300	160
Muurame, 0950001, Suuruskangas	Suuruskangas	3 500 T	799
Saarijärvi, 0972906, Mannila	Mannila	1 400 T	281
Suolahti, 0977401, Suolahti	Mutapohja	2 400 T	1 522
Säynätsalo, 0978701, Säynätsalo	Säynätsalo	1 000 T	= 700
Viitasaari, 0993106, Kokkolanniemi	Kokkolanniemi	1 400	1 029
Äänekoski, 0999202, Kovalanniemi	Kovalanniemi	2 500 T	2 721

POHJAVEDENOTTAMOT, JOILLA TAPAHTUU JONKIN VERRAN RANTAIMEYTYMISTÄ

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Keuruu, 0924907, Pajulampi	Pajulampi (Hepolampi)	1 500 T	400
Kivijärvi, 0926501, Tervaniemi	Tervaniemi	600	232
Kuhmoinen, 0929101, Mällykäinen	Mällykäinen	400 T	140
Muurame, 0950002, Kinkomaa	Kinkomaa	650 T	135
Petäjavesi, 0959203, Kaivanto	Kaivanto	100	67
Saarijärvi, 0972901, Voudinniemi	Voudinniemi	1 000	385
Sumiainen, 0977007, Kuokansalmi	Kuokanniemi	500 T	80
Toivakka, 0985002, Maunonen	Maunonen	1 200	179
Uurainen, 0989201, Salmi-Kuukka	Salmi-Kuukka	360 T	191

POHJAVEDENOTTAMOT, JOILLA RANTAIMEYTYMINEN ON MAHDOLLISTA

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Joutsa, 0917201, Joutsa kk	Kaislaranta	800	198
Jyväskylä, 0917901, Keljonkangas	Pekonniemi	?	2 147
Jyväskylän mlk, 0918001, Kirri	Kirri	600 T	597
Jyväskylän mlk,			
Uurainen, 0918052, Köntyslampi	Köntyslampi	1 500 T	240
Kannonkoski, 0921601, Nuottaniemi	Nuottaniemi	300	131
Kannonkoski, 0921603, Piispalankangas	Hietaharju	500	?
Keuruu, 0924905, Kaleton	Kaleton	1 750	666
Keuruu, 0924908, Lomahotelli	Lomahotelli	300	?
Keuruu, 0924909, Haapamäki	Haapamäki	1 000	292
Konginkangas, 0927401, Konginkankaan kk	Pohjoishiekka	450 T	?
Multia, 0949501, Kirkkoranta	Kirkkoranta	600 T	265
Sumiainen, 0977008, Jurvonharju	Vihijärvi	500	?

3.3.10 Kokkolan vesi- ja ympäristöpiiri

POHJAVEDENOTTAMOT, JOILLA RANTAIMEYTYMINEN ON MAHDOLLISTA

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Evijärvi, 1005202, Tuuliniemi	Tuuliniemi	300 T	177
Halsua, 1007402, Kanala	Kanala	300	47
Kortesjärvi, 1028102, Hietakangas	Palojärvi	500 T	150
Lestijärvi, 1042102, Parannankangas	Pikku-Kannus	4 000	98
Reisjärvi, 1169101, Kantinkangas	Kantinkangas	900	616
Reisjärvi, 1169103, Köyhänjärvi	Köyhänjärvi	50	?

3.3.11 Oulun vesi- ja ympäristöpiiri

POHJAVEDENOTTAMOT, JOILLA TAPAHTUU JONKIN VERRAN RANTAIMEYTYMISTÄ

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Kuivaniemi, 1129211, Haarakoski	Haarakoski	?	138

POHJAVEDENOTTAMOT, JOILLA RANTAIMEYTYMINEN ON MAHDOLLISTA

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Kuivaniemi, 1129203, Närränharju	Närränharju	450	46
Kuusamo, 1130501, Kirkonkylä	Munakkalampi	7 500	1 525
Kuusamo, 1130503, Viipusjärvi	Viipusjärvi	800	192
Kuusamo, 1130506, Kuusinki	Kuusinki	150 T	73
Kuusamo, 1130507, Mäntyniemi	Mäntyniemi	300	40
Kärsämäki, 1131701, Vitikankoski	Vitikankoski	500 T	78
Liminka, 1168202, Järvitalo	Järvitalo	500	254
Pudasjärvi, 1161502, Törrönkangas	Törrö	1 500 T	772
Taivalkoski, 1183202, Pirinharju	Pirinharju	400	27
Ylikiiminki, 1197304, Kiviharju	Kiviharju	300	327

3.3.12 Kainuun vesi- ja ympäristöpiiri

POHJAVEDENOTTAMOT, JOILLA TAPAHTUU JONKIN VERRAN RANTAIMEYTYMISTÄ

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Kuhmo, 1129002, Tönölä	Tönölänsalmi	2 000 T	284
Suomussalmi, 1177702, Hietasärkkät	Hietasärkkä	300	245

POHJAVEDENOTTAMOT, JOILLA RANTAIMEYTYMINEN ON MAHDOLLISTA

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Hyrnsalmi, 1110502, Multimäki	Multimäki	1 500 T	403
Kuhmo, 1129001, Mammankaivo	Mammankaivo	800	328
Sotkamo, 1176501, Hiukanharju-Pölyvaara	Hiukka I-III	2 000	1 473
Suomussalmi, 1177701 A, Haverissärkkät	Välikangas	2 000 T	390

3.3.13 Lapin vesi- ja ympäristöpiiri

VARSINAISET RANTAIMEYTYSLAITOKSET

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Rovaniemi, 1269801, Kolpene	Kolpene	13 000 T	8 870

POHJAVEDENOTTAMOT, JOILLA TAPAHTUU JONKIN VERRAN RANTAIMEYTYMISTÄ

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Inari, 1214804, Vuopajanniemi	Vuopajanniemi	600 T	~ 200
Ranua, 1268301, Kolonenäke	Kirkonkylä	600 T	355

POHJAVEDENOTTAMOT, JOILLA RANTAIMEYTYMINEN ON MAHDOLLISTA

Kunta, Pv-alueen nro ja nimi	Ottamon nimi	Koko muodostuman luonnollinen antoisuus (m ³ d ⁻¹) T = tutkittu	Vedenoton määrä (m ³ d ⁻¹)
Inari, 1214805, Kortterannanniemi	Kortterannanniemi	800 T	189
Kolari, 1227301, Kolarinsaari	Kolarinsaari	600 T	227
Salla, 1273202, Hangasselkä	Hangasselkä	1 000 T	?
Tervola, 1284501, Honkasenkangas	Honkasenkangas	550 T	223

3.4 Yhteenveto kartoitetuista rantaimetyslaitoksista

Suomessa on kaikkiaan 217 pohjavedenottamoita, joiden antoisuutta lisää rantaimetyminen tai joilla rantaimetyminen on mahdollista mikäli vedenottoa tehostetaan. Näistä ottamoista 28 eli 13 % on varsinaisia rantaimetyslaitoksia, joilla ottamolta pumpattavasta vedestä merkittävä osa on pintavesistä imeytynyttä. 56 ottamalla rantaimetymistä on todettu tapahtuvan, mutta vaikutus antoisuuteen on vähäinen. 133 ottamalla (61 %) pohjavesialue rajoittuu järveen tai jokeen ja aines on vettä hyvin läpäisevää. Näillä ottamoilla rantaimetyminen on teoriassa mahdollista, mutta maastotutkimuksin vahvistettua tietoa asiasta ei ole. Toisaalta saatetaan rantaimety-

mistä pyrkiä estämään pintaveden huonon laadun vuoksi. Näillä ottamoilla hallittu rantameyttäminen edellyttäisi tarkempia pohjavesitutkimuksia.

Taulukossa 1 on esitetty yhteenveto rantameyttämisen hyödyntämisestä suomalaisilla pohjavedenottamoilla. Vesi- ja ympäristöpiireittäin on lueteltu edellä esitetyn luokituksen mukaisesti kartoitettujen pohjavedenottamoiden lukumäärät. Tämän luetteloinnin ulkopuolelle on saattanut jäädä pienituloisia osuuskuntien vedenottoita, joiden tietoja ei ole vesilaitosrekisterissä eikä vesi- ja ympäristöpiireissä. Taulukossa 1 luokitellut ottamot jakoivat vuonna 1993 vettä seuraavanlaisesti:

Varsinaiset rantameytyslaitokset	91 212 m ³ d ⁻¹
Pohjavedenottamot, joilla tapahtuu jonkin verran rantameytymistä	40 059 m ³ d ⁻¹
Pohjavedenottamot, joilla rantameytyminen on mahdollista	47 454 m ³ d ⁻¹ .

Taulukko 1. Vesi- ja ympäristöpiireittäin pohjavedenottamot, joiden antoisuutta on mahdollista lisätä rantameyttämällä.

Vyp	Luokka 1	Luokka 2	Luokka 3	Yhteensä
Helsingin vyp	7	12	24	43
Turun vyp	1	3	9	13
Tampereen vyp	2	4	16	23
Kymen vyp	-	1	11	12
Mikkelin vyp	3	12	8	23
Kuopion vyp	4	6	10	21
Pohjois-Karjalan vyp	-	1	12	13
Vaasan vyp	-	3	6	9
Keski-Suomen vyp	10	9	12	31
Kokkolan vyp	-	-	6	6
Oulun vyp	-	1	10	11
Kainuun vyp	-	2	5	7
Lapin vyp	1	2	4	7
YHTEENSÄ	28	56	133	217

Varsinaisista rantameytyslaitoksista kolmella käytetään myös suoria imeytysmenetelmiä tekopohjaveden muodostamiseen. Nämä laitokset ovat Euran Lohiluoma (vedenottomäärä 2 173 m³ d⁻¹), Nokian Vihnusjärvi (4 496 m³ d⁻¹) ja Mikkelin Pursiala (5 632 m³ d⁻¹). Vastaavasti niistä ottamoista, joilla rantameytymistä tapahtuu jonkin verran, neljällä on imeytetty tekopohjavettä myös suorilla imeytysmenetelmillä:

Porvoon Sannaisissa (4 556 m³ d⁻¹), Lappeenrannan Huhtiniemessä (10 137 m³ d⁻¹), Puumalan Kitulassa (328 m³ d⁻¹) sekä Sysmän Otamossa (noin 500 m³ d⁻¹).

Taulukko 2. Luokitelluilla ottamoilla käytössä olevat jälkikäsittelymenetelmät.

Käsittelymenetelmä	Luokka 1	Luokka 2	Luokka 3	YHT.
Alkalointi	19	39	76	134
Raudanpoisto	8	5	7	20
Desinfiointi	2	1	4	7
Saostus/monivaiheinen kemiallinen käsittely	3	-	-	3

Luokitelluilla 217 pohjavedenottamolla on vesilaitosrekisterin mukaan käytössä seuraavia jälkikäsittelymenetelmiä: alkalointi, raudanpoisto, desinfiointi sekä saostus/monivaiheinen kemiallinen käsittely (taulukko 2). Yleisin jälkikäsittelyä edellyttävä laatuominaisuus on alhainen pH, joka on yleinen piirre suomalaisilla pohjavedenottamoilla. Yllättävää on raudanpoistokäsittelyn vähäisyys: varsinaisista rantaimetyslaitoksista vain noin kolmannes käyttää raudanpoistoa. Vesilaitosrekisterin vedenlaatutietojen perusteella voidaan kuitenkin todeta, että varsinaisista rantaimetyslaitoksista ainakin noin puolet on sellaisia, joilla käsittelemättömän kaivoveden rautapitoisuus ylittää tai on lähellä talousvedelle asetettua enimmäispitoisuutta 0,2 mg l⁻¹. Rautapitoisuutta on pyritty joillakin rantaimetyslaitoksilla alentamaan erilaisilla välihapetus- ja jälleenimeytysjärjestelyillä: esim. johtamalla hapeton rantaimetytynyt vesi ilmastuslaitteen kautta imeytysaltaaseen (Rönkä ym., 1977) tai imeyttämällä hapellista luonnollista pohjavettä kaivoalueelle.

4 ESIMERKKEJÄ RANTAIMEYTYMISTÄ ERI MITTAKAAVAS- SA HYÖDYNTÄVISTÄ POHJAVEDENOTTAMOISTA

4.1 Kangasalan Riku

4.1.1 Rikun ottamon yleiset tiedot

Kangasalan kunnan omistama Rikun ottamo sijaitsee Rikun tärkeällä pohjavesialueella Vesijärven rannalla, noin 2,5 km Kangasalan keskustasta pohjoiseen. Ottamo on

otettu käyttöön vuonna 1971. Vuosina 1979 ja 1988 alueelle on rakennettu lisäkaivoja vedenottokapasiteetin lisäämiseksi. Tällä hetkellä käytössä on neljä siiviläputkikaivoa.

Länsi-Suomen vesioikeuden 19.2.1979 myöntämän luvan mukaan ottamalla on lupa ottaa pohjavettä maksimissaan $7\,900\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Vuonna 1993 vettä pumpattiin keskimäärin $3\,260\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Kesäisin vedenottomäärä on yleensä suurempi, $4\,000 - 5\,000\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$.

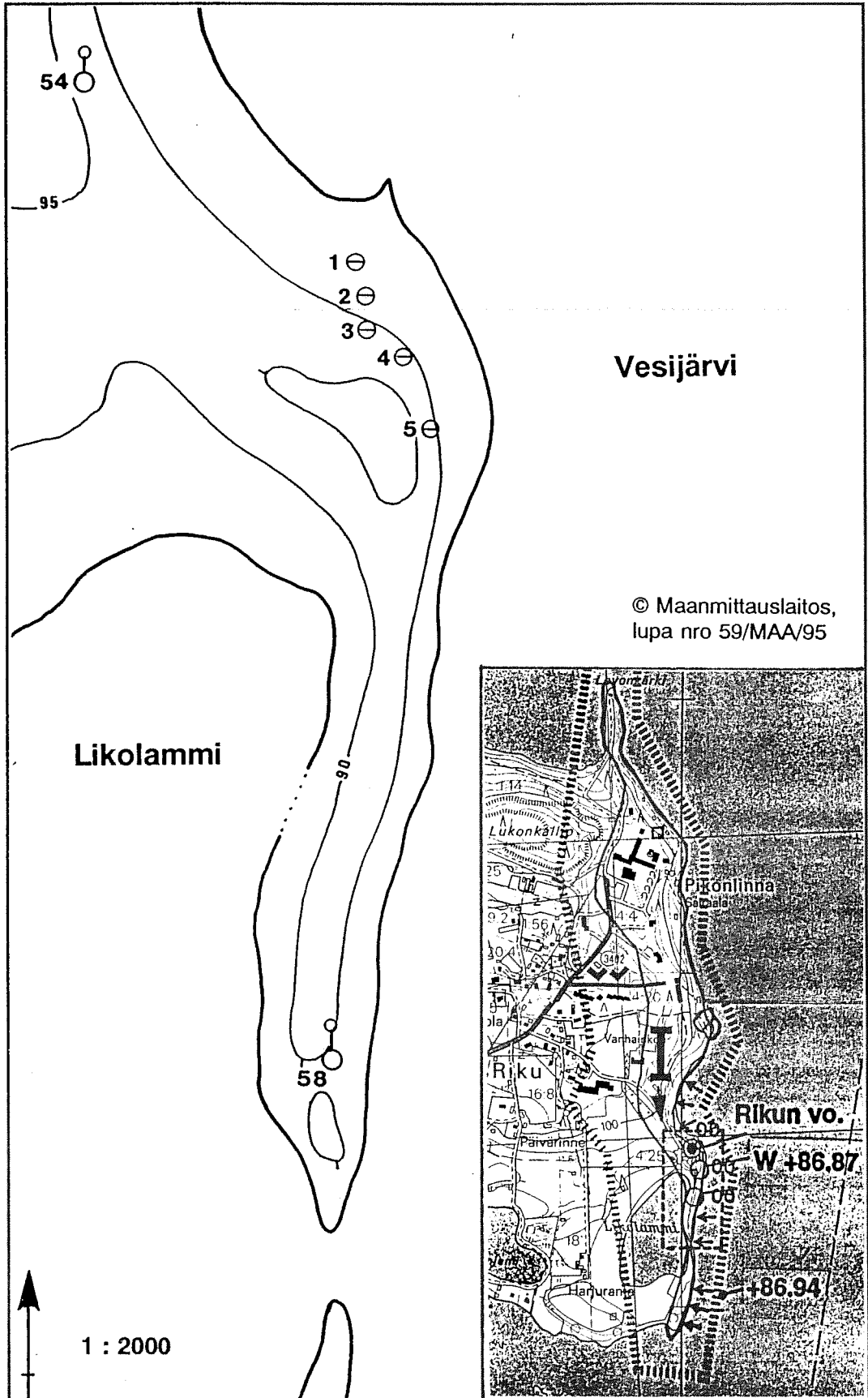
4.1.2 Rikun pohjavesialueen hydrogeologiset olosuhteet

Rikun pohjavesialue on osa katkeilevaa pitkittäisharjua, joka etelässä, Kangasalan keskustassa, liittyy ns. Kangasalan harjujaksoon. Pikonlinnan kohdalla harjun laki on yli 20 m ympäristöä korkeammalla. Harjun ydinosan soravaltaiset kerrostumat ulottuvat ainakin 20 m Vesijärven pinnan alapuolelle. Ilman järviveden suotautumista vedenottamon antoisuus olisi todennäköisesti alle $800\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$ (Herola, 1989).

Pohjavesialueen pituus on 2,1 km. Harjun ydinosan leveys on 60 – 180 m. Pohjaveden muodostumisalueen pinta-ala on $0,26\text{ km}^2$ ja pohjavesialueen kokonaispinta-ala $1,15\text{ km}^2$. Muodostuman pintaosissa aines on hiekkavaltaista, mutta muuttuu syvemällä soravaltaiseksi. Itäreunalla harju rajoittuu Vesijärveen. Länsipuolen pohjoisosaa reunustaa kallio-moreenimaasto ja eteläosaa siltti-savikerrokset sekä Likolammi.

Kaivot nro 1 – 5 ovat rannan suuntaisessa rivistössä ja niiden etäisyys rannasta on noin 20 m (kuva 3). Kaivojen siiviläosat ulottuvat 13 – 17 m syvyyteen, jossa aines muuttuu kiviseksi. Siiviläosan pituus vaihtelee eri kaivoissa 4,45 m:stä 6,3 m:iin. Kaivo nro 2 on jouduttu poistamaan käytöstä, koska rautasaostumat ovat tukkineet siiviläosan.

Alueella tehtiin ensimmäinen pohjavesitutkimus koepumppauksineen vuosien 1967 ja 1968 vaihteessa. Kairauksissa todettiin tällöin, että Likolammin ja Vesijärven välinen kannas koostuu vettä hyvin läpäisevistä hiekka- ja sorakerroksista, jotka paikoin ovat savien peittämiä. Samalla todettiin, että vettä johtavat kerrokset ovat yhteydessä Vesijärveen, mutta hienot (hieta-hiesu) maalajikerrokset estävät yhteyden Likolampeen. Ennen koepumppausta pohjavedenpinta pumppauspaikalla ja sen ympäristössä oli samassa tasossa Vesijärven pinnan kanssa (+87,00 m). Koepumppauksen perusteella todettiin, että alueelta voidaan pumpata pohjavettä jatkuvasti noin $4\,000\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Merkkiainekokeen perusteella arvioitiin, että ko. vedenottomäärillä Vesijärven vesi ei suotaudu suoraan harjun reunoilta ottamolle, vaan ainoastaan harjun pituussuunnassa. Tällöin veden viipymä on suurempi ja puhdistuminen tehokkaampaa (Suunnittelukeskus Oy, 1968)



Kuva 3. Rikun pohjavesialue ja vedenottamoalue.

4.1.3 Vesijärven veden laatu

Vesijärven pinta-ala on 40,18 km² ja suurin syvyys Pikonlinnan edustalla noin 39 m. Keskisyvyudeksi on arvioitu 6,3 m ja veden keskiviipymäksi 4,5 vuotta. Vesijärvi jakaantuu matalampaan, sokkeloiseen pohjoisosaan ja eteläpäässä, Rikun pohjavesi-alueen itäpuolella sijaitsevaan pääaltaaseen. Valuma-alueella ei ole merkittävästi suoalueita, joten järven vesi on varsin väritöntä (väriluku 15 – 20 Pt mg l⁻¹) ja humuskuormitus vähäistä. Maatalouskäytössä olevaa maata on suhteellisesti runsaimmin järven pohjoispäässä, mutta myös eteläosaa reunustavat laajahkot peltoalueet. Hajakuormituksen aiheuttamat typpi- ja fosforipitoisuudet valumavesissä ovat siinä määrin merkittäviä, että ne pitkällä aikavälillä aiheuttavat hidasta rehevöitymistä. Järven tilan muuttumista osoittavat mm. viime vuosina todetut sinilevien massaesiintymät. Kesällä 1989 tehdyn rehevystarkkailun tuloksena Vesijärven Pikonlinnan edustan syväne voidaan luokitella lievästi rehevään luokkaan (Oravainen, 1989).

Pikonlinnan edustalla järveden pH on normaali ja puskurikyky hyvä. Happamoitumista ei ole yleisesti ottaen tapahtunut. Pohjanläheisessä vedessä on happipitoisuus talvisin usein lähellä nollaa. Kesälläkin happipitoisuus on pohjan läheisyydessä alle 5,0 mg l⁻¹. Suuntaus hapen yhä voimakkaammasta kulumisesta on havaittavissa, mikä myös kertoo rehevyyden lisääntymisestä. Rauta ja mangaani ovat tärkeitä indikaattoreita pohjalietteen happitilanteelle. Jos happivaje on suuri, molemmat pelkistyvät ja liukenevat alusveteen. Pikonlinnan edustalla rauta ei vielä merkittävästi pelkisty, mikä kertoo pohjan redox-tason kohtalaisesta kunnosta. Mangaania on ajoittain pohjalla erittäin paljon (Oravainen, 1989).

Yleisesti ottaen Vesijärven veden laatu on Oravaisen (1989) mukaan vielä hyvä, mutta ei enää erinomainen. Hidas rehevöityminen jatkuu, koska järveen valuu ravinteita laskuojia pitkin. Muutokset ovat kuitenkin hitaita, koska järvi on suuri ja viipymä pitkä. Syksyllä 1990 Vesijärvestä otetut kasviplanktonnäytteet (Granberg ym., 1992) ilmensivät selvästi rehevöitymistä. Usealla havaintopaikalla todettiin tällöin sinileviä, joista osa oli potentiaalisesti myrkyllisiä. Sinileviä ei kuitenkaan aina esiinny yhtä runsaasti. Esimerkiksi syksyn 1991 näytteistä niitä analysoitiin varsin vähän.

4.1.4 Rikun ottamon veden laatu

Rikun alueella tehdyn ensimmäisen koepumppauksen aikana (30.11.1967 – 7.2.1968) veden sulfaattipitoisuus oli melko suuri. Sulfaattipitoisuus kasvoi pumppauksen aikana noin 40 mg l⁻¹:sta 100 mg l⁻¹:aan. Sulfaatin oletettiin olevan peräisin mineraaliaineksen kiisupitoisista liuskeista, joiden sulfidit hapettuvat liuetessaan sulfaateiksi. Myös kloridipitoisuus oli kohtalaisen korkea, 10 – 16 mg l⁻¹. Rauta- ja mangaanipi-

toisuudet lisääntyivät jonkin verran yhdellä kaivolla tietyltä syvyydeltä pumpattaessa. Rautapitoisuus oli maksimissaan $0,42 \text{ mg l}^{-1}$ ja mangaanipitoisuus $0,3 \text{ mg l}^{-1}$. Tutkimuksessa todettiin, että "veden laadussa ei tapahtunut sellaisia muutoksia, jotka selvästi osoittaisivat Vesijärven veden suotautuvan maakerrosten lävitse pumppauspaikalle" (Suunnittelukeskus Oy, 1968). KMnO_4 -luvun kasvun tasolta $1,5 \text{ mg l}^{-1}$ tasolle $4 - 6 \text{ mg l}^{-1}$ voidaan katsoa kuitenkin osoittavan pintavettä imeytyneen ja sekoittuneen pohjaveteen.

Vedenoton lisääntyessä Rikun ottamalla on kaivoista saatavan veden rautapitoisuus ylittänyt talousvedessä sallitun pitoisuuden, $0,2 \text{ mg l}^{-1}$. Vuoden 1991 syksyllä tehtiin alueella pohjavesiselvitys veden käsittelytarpeen selvittämiseksi (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy, 1992). Selvityksessä todettiin, että "vedenottamosta pumpattu vesi on osittain luonnollista pohjavettä sekä pääosin Vesijärvestä harjuun imeytynyttä tekopohjavettä." Tutkimuksen yhteydessä kokeiltiin raudan poistamista imeyttämällä pisteestä 54 pumpattua hapellista vettä kaivoon nro 5 (kuva 3). Pisteessä 54 vesi on hyvälaatuista ja happipitoista koko kerroksessa syvyydessä $6 - 15 \text{ m}$. Piste 54 on kaivoalueen pohjoispuolella ja siihen virtaa pohjavettä pohjavesialueen keskiosasta. Imeytyksen seurauksena kaivojen 4 ja 5 veden happipitoisuus lisääntyi huomattavasti. Hapetusvaikutus oli nähtävissä vielä yli kuukausi pumppauksen jälkeenkin kaivoista otetuissa näytteissä.

Syksyllä 1991 tehdyssä tutkimuksessa ja siihen liittyvässä veden laadun seurannassa todettiin, että Vesijärven veden orgaaninen aines pidättyy/hajoaa tehokkaasti rantaimetyksessä. Vesijärven veden KMnO_4 -luku oli seurannan aikana noin 13 mg l^{-1} ja kaivoista pumpattun veden KMnO_4 -luku vaihteli $1 - 4 \text{ mg l}^{-1}$. Kannaksen eteläkärjessä sijaitsevassa havaintopisteessä 58 KMnO_4 -luku pysytteli hieman korkeamana, maksimissaan $6,3 \text{ mg l}^{-1}$. Pisteessä 58 aines on kivistä hiekkaa ja vesi on hapellista 5 m syvyyteen asti. Syvemmillä happipitoisuus pienenee. Vesijärven pinnan nopea nousu näkyy lievänä KMnO_4 -luvun nousuna kaikissa kaivoissa (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy, 1992). Vesijärven pinnan korkeuden vuosittainen vaihtelu vuosina 1983 - 1990 oli $0,28 - 0,66 \text{ m}$. Alimmillaan järven pinta oli ko. ajanjaksona tasolla $+86,41 \text{ m}$ ja ylimmillään $+87,15 \text{ m}$.

Rikun ottamon kaivoista pumpattava raakavesi alkaloidaan soodalla. Putkistossa tapahtuvan bakteerien kasvun ennaltaehkäisemiseksi vesi desinfioidaan natriumhypokloriitilla. Järviveden laadun seuranta ei kuulu vedenottamon omaan tarkkailuohjelmaan. Kaivovedestä seurataan päivittäin pH-arvoa ja kerran kuukaudessa tehdään suppea analyysi (Fe, Mn, KMnO_4 -luku, bakteerit). Laaja fysikaalis-kemiallinen analyysi tehdään kerran vuodessa.

Veden laadun seurantatietoja Rikun ottamolta oli selvitystä laadittaessa käytössä satunnaisesti, joten niiden perusteella voi tehdä vain suuntaa-antavia päätelmiä.

Vuosina 1987 – 1992 Vesijärven veden laatu Pikonlinnan syvähavaintopisteessä (näytteet syvyydestä 20 m, kokonaissyvyys 39 m) vaihteli eräiden laatumuuttujien suhteen seuraavasti: rauta 0,052 – 0,12 mg l⁻¹, mangaani 0,056 – 0,41 mg l⁻¹, kloridi 4,1 – 5,2 mg l⁻¹, sähkönjohtavuus 6,4 – 7,1 mS m⁻¹, pH 6,2 – 6,5, KMnO₄-luku 9,2 – 18 mg l⁻¹. Rikun ottamolta lähtevässä vedessä on tänä ajanjaksona ko. muuttujilla analysoitu seuraavia arvoja: rauta 0,02 – 0,16 mg l⁻¹, mangaani 0,08 – 0,13 mg l⁻¹, kloridi 9 – 10 mg l⁻¹, sähkönjohtavuus 14 – 24 mS m⁻¹, pH 6,2 – 7,6, KMnO₄-luku 1,3 – 5,6 mg l⁻¹. Ennen jälkikäsitteilyä on kaivoista pumpatusta vedestä analysoitu suurimmillaan rautapitoisuus 1,7 mg l⁻¹ (kaivo 2) ja mangaanipitoisuus 0,34 mg l⁻¹ (kaivo 4) sekä pH alhaisimmillaan 5,8 (kaivo 1).

4.1.5 Yleisvaikutelma Rikun laitoksen toimivuudesta

Merkittävä osa Rikun ottamolta pumpattavasta vedestä on Vesijärvestä imeytynyttä tekopohjavettä. Rikun alueen pohjavesi on luontaisesti runsaasti suoloja sisältävää: kloridipitoisuus ja sähkönjohtavuus ovat koko ajan olleet melko korkeita. Koska Vesijärven veden laatu on ollut varsin hyvä, ei ottamon veden laatu ole huonontunut, vaikka rantaimetyminen on runsasta ja veden viipymä maaperässä lyhyt. Ainoa merkittävä ongelma on ollut suuri rauta- ja mangaanipitoisuus. Hapettomat olosuhteet ja raudan ja mangaanin liukeneminen pelkistymisen seurauksena ovat yleisiä ilmiöitä rantaimeyttämisen yhteydessä. Rikun ottamalla rautaongelma on pyritty ratkaisemaan imeyttämällä hapetettua pohjavettä kaivoalucelle. Menetelmä on toiminut kohtalaisen hyvin.

Mikäli Vesijärven rehevöityminen edelleen jatkuu, saattavat korkeat ravinnepitoisuudet jatkossa aiheuttaa ongelmia. Muutamana kesänä on Vesijärvessä ollut runsaasti sinileviä ja järvivedestä on analysoitu myös haitallisia sinilevätoksiineja. Sinileväkintojen aikaan tulisi ottamalla järjestää seuranta toksiinien pidättymisen varmistamiseksi. Lisäksi tulisi tutkimuksin varmistaa, puhdistuuko rantaimeytynyt vesi muiltakin osin riittävästi, mikäli laitoksen vedenottoa lisätään.

4.2 Parkanon Vuorijärvi

4.2.1 Vuorijärven ottamon yleiset tiedot

Parkanon kaupungin omistama Vuorijärven ottamo sijaitsee Vuorijärven pohjavesialueella, noin 7,5 km Parkanon keskustasta luoteeseen. Ottamo aloitti toimintansa 1975. Vuonna 1989 tehdyssä saneerauksessa rakennettiin alueelle kuilukaivon tilalle kaksi siiviläputkikaivoa. Länsi-Suomen Vesioikeuden 4.1.1974 myöntämän luvan

mukaan Vuorijärven ottamo saa pumpata pohjavettä $2\,000\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Nykyisellään käyttöön pumpatun veden määrä on $1\,200 - 1\,300\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$.

4.2.2 Vuorijärven pohjavesialueen hydrogeologiset olosuhteet

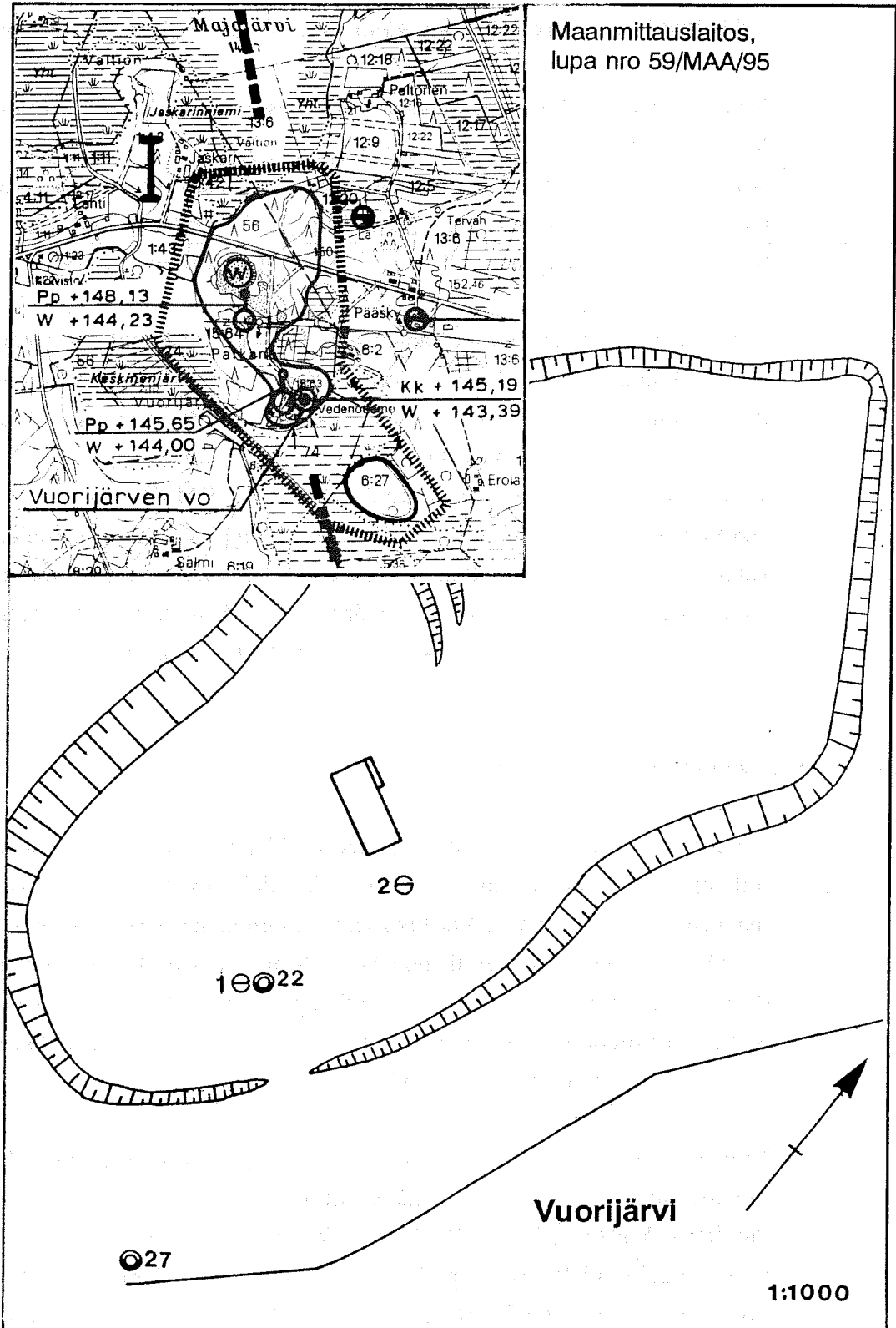
Vuorijärven pohjavesialue on osa Latosuonperän – Vuorijärven pitkittäisharjujaksoa, joka on syntynyt kallioperän ruhjelaaksoon. Pohjaveden muodostumisalueen pinta-ala on $0,21\text{ km}^2$ ja alueen kokonaispinta-ala $0,54\text{ km}^2$. Pohjavesialueen pohjoispuolella on Majajärvi, jonka pohjalla muodostuma on savi- ja liejukerrostojen peittämä, mutta jatkuu yhtenäisenä pohjoiseen aina Ristiharjulle asti. Vedenottamolta etelään harjujakso jatkuu n. $1,2\text{ km}$ Vuorijärven alitse. Vuorijärven altaassa vain harjuselänteen korkeimmat osat yltyvät vedenpinnan yläpuolelle saarina. Länsi- ja itäpuolella Vuorijärven pohjavesialuetta reunustavat hienorakeiset maalajit, hieno hiekka ja siltti, joiden alla on moreenia. Itäpuolella on pieniä soistuneita alueita (Kielosto ja Taka, 1985a).

Muodostuman aines on pintaosissa pääasiassa soraista hiekkaa. Ydinosa on hyvin lajittunutta kivistä sora. Kerrospaksuudet vaihtelevat $5 - 15\text{ m}$. Vedenottamo on rakennettu sorakuopan pohjalle kohtaan, jossa maanpinnan korkeus kairaustulosten mukaan on $+144,09\text{ m}$ (kairauspiste 22 kuvassa 4). Ennen koepumppausta havaittiin, että sorakuopan pohjalla oli pohjavesi useassa kohdin pinnassa. Sora, soraista hiekkaa ja kiviä sisältävät maalajikerrostumat ulottuvat kuopan pohjan tasolta n. $10 - 16\text{ m}$ syvyydelle, jossa on todennäköisesti kallio. Vuorijärven rannassa olevassa kairauspisteessä nro 27, mitattiin maanpinnan korkeus $+144,01\text{ m}$. Ko. pisteessä vaihtelee aines kairaustulosten mukaan seuraavasti (Suunnittelukeskus Oy, 1972):

1,00 m	Sa
2,50 m	HsHt
4,50 m	HHk–Hk
13,20 m	Sr–SrHk (pääosin sora, erittäin vetistä)
15,25 m	Hk, vetistä
15,75 m	SrMr + Ki, vetistä
15,75 m	ei päästy syvemmälle, kiilautui.

Siiviläkaivot 1 ja 2 sijaitsevat noin 45 m Vuorijärven rannasta. Pohjaveden päävirtaussuunta on etelään. Pohjavesitutkimuksessa (Suunnittelukeskus Oy, 1972) todettiin, että pohjaveden muodostumisalueen tarkka rajaaminen ilman laajoja maaperätutkimuksia on vaikeata, koska harju jatkuu Majajärven ja Vuorijärven pohjalla savikerrostojen peittämänä. Lisäksi todettiin, että "on erittäin todennäköistä, että harjumuodostuman maakerroksiin suotautuu vesiä jossain määrin Vuorijärvestä ja Majajärvestä." Koepumppauksen perusteella arvioitiin, että vedenottamolta voidaan pumpata

pohjavettä keskimäärin noin $2\,000\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Pumppauspaikalla olevassa havaintoputkessa laski pohjavedenpinta pumppausjakson 9.11.1971 – 4.1.1972 välisenä aikana tasosta $+144,04\text{ m}$ tasolle $+142,06\text{ m}$. Keskimääräinen pumppausteho tuolloin oli $2\,000 - 2\,300\text{ l min}^{-1}$ eli $2\,880 - 3\,312\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$.



Kuva 4. Vuorijärven pohjavesialue ja vedenottamoalue.

4.2.3 Vuorijärven veden laatu

Vuorijärvi on pohjoisosassaan eli vedenottamon kohdalla hyvin matala, humuspitoinen ja miltei umpeenkasvanut. Järven pinnan korkeuden vuosittainen vaihtelu vuosina 1987 – 1991 oli 0,36 – 0,81 m. Alimmillaan järven pinta ko. ajanjaksona oli tarkkailutulosten mukaan tasolla +143,74 m ja ylimmillään +144,90 m.

Vedenottoaikan koepumppauksen yhteydessä (15.11.1971) otettiin myös sekä Vuorijärvestä että Majajärvestä vesinäytteet. Näytteet olivat mangaanittomia, mutta sisälsivät runsaasti rautaa ja orgaanista ainesta. Vuorijärven veden laadusta saatiin tällöin seuraavat tulokset: väri 300 Pt mg l⁻¹, pH 5,6, rauta 3,0 mg l⁻¹, mangaani < 0,05 mg l⁻¹, KMnO₄-luku 120 mg l⁻¹ (Suunnittelukeskus Oy, 1972).

Järviveden laadun säännöllinen analysointi ei sisälly vesilaitoksen tarkkailuohjelmaan, joten selvityksen yhteydessä ei saatu tuoreita järviveden laadun seurantatuloksia. Analyysitulokset 21.3.1991 eri syvyyksiltä otetuista näytteistä antavat kuitenkin viitteitä järven veden laadusta: väriluku 220 Pt mg l⁻¹, pH 5,7 – 6,0 (näytteet syvyyksiltä 1,0 ja 6,0 m), rauta 1,9 – 18 mg l⁻¹, KMnO₄-luku 80 – 124 mg l⁻¹ ja kokonaistyyppi 0,7 – 1,4 mg l⁻¹. Vuorijärveä ympäröiviltä suoalueilta kulkeutuvien valumavesien ja järven osittaisen umpeenkasvun vuoksi vesi sisältää edelleen hyvin paljon orgaanista ainesta. Järven ympärillä on myös jonkin verran pieniä peltoalueita, joilta valuvat vedet saattavat lisätä typpi- ja fosforipitoisuuksia.

4.2.4 Vuorijärven ottamon veden laatu

Koepumppauksessa sorakuopalta pisteestä 22 pumpattu vesi oli pehmeää, vapaata hiilihappoa, vähän orgaanista ainesta sekä elektrolyyttejä sisältävää raudatonta ja mangaanitonta pohjavettä. Väriluku vaihteli pumppausjakson aikana < 1 – 10 Pt mg l⁻¹, pH 6,3 – 6,9, vapaa hiilihappo 11 – 19 mg l⁻¹, kloridi 3,8 – 9,5 mg l⁻¹, rauta < 0,05 – 0,21 mg l⁻¹, mangaani < 0,05 mg l⁻¹ ja KMnO₄-luku 0,6 – 8,2 mg l⁻¹. Kloridipitoisuudessa ja KMnO₄-luvussa oli havaittavissa pumppauksen aikana lievää nousua (Suunnittelukeskus Oy, 1972).

Vuodesta 1993 lähtien vesilaitoksen vesi on analysoitu valvontatutkimusohjelman mukaan kerran kuukaudessa. Aikaisemmin laaja analyysi tehtiin vain 1 – 2 kertaa vuodessa. Vuosina 1986 – 1992 on raakavedessä esiintynyt seuraavia pitoisuuksia: väriluku 2,5 – 15 Pt mg l⁻¹, pH 6,2 – 6,8, kloridi 5 – 17 mg l⁻¹, rauta < 0,05 – 0,15 mg l⁻¹, mangaani < 0,03 – 0,09 mg l⁻¹ ja KMnO₄-luku 2,1 – 17 mg l⁻¹. Nitraatti on pysytellyt ko. ajanjaksona koko ajan alle arvon 1 mg l⁻¹.

Ottamon veden laatu on ollut humuspitoisuuden suhteen heikoin vuoden 1988 kevättulvan yhteydessä, jolloin ottamoalueen sorakuopan pohja oli miltei kokonaan veden peitossa. 21.6.1988 otetussa vesinäytteessä oli väriluku 15 Pt mg l⁻¹, pH 6,3, kloridi 5 mg l⁻¹, rauta < 0,05 mg l⁻¹, mangaani 0,04 mg l⁻¹ ja KMnO₄-luku 17 mg l⁻¹. KMnO₄-luku ylitti silloisen terveysturvallisuuden asettaman raja-arvon (15 mg l⁻¹) ja värilukukin oli suurin sallittu (15 Pt mg l⁻¹).

Ottamolta pumpattava vesi on metalliputkistoa syövyttävää. Tämän vuoksi veteen syötetään ennen verkostoon pumppausta soodaliuosta (Na₂CO₃) pH:n nostamiseksi.

4.2.5 Yleisvaikutelma Vuorijärven laitoksen toimivuudesta

Vuorijärven ottamolta on lupa pumpata 2 000 m³ d⁻¹, mutta nykyisellään vedenotto-määrä on antoisuutta selvästi pienempi, 1 200 – 1 300 m³ d⁻¹. Hydraulisesti yhtenäisen pohjavesiesiintymä jatkuu ottamolta sekä pohjoiseen että etelään. Päävirtaussuunta on etelään. Harju on syntynyt kallioperän ruhjeeseen, millä on myös vaikutus pohjaveden virtauskuvaan ja esiintymän antoisuuteen.

Koska Majajärven ja ainakin osittain myös Vuorijärven pohjalla on savi- ja liejukerroksia, ei järvivettä todennäköisesti ottamon läheisyydessä imeydy akviferiin. Mikäli imeytymistä tapahtuisi 45 m:n päässä kaivoista olevassa rantavyöhykkeessä, näkyisi se selvemmin ottamon veden laadussa. Järvivedessä on runsaasti orgaanista ainesta, mutta ottamon väriluku ja KMnO₄-luku täyttävät keskimäärin talousveden laatuvaatimukset. On kuitenkin todennäköistä, että etenkin Vuorijärven pinnan ollessa korkeimmillaan järvivettä imeytyy Vuorijärven läpi kulkevaan harjuun. Nykyisellään rantaimetyneen veden osuus käyttöön pumpatussa vedessä on varsin pieni.

Mikäli rantaimetymistä ryhdytään Vuorijärven ottamalla hyödyntämään nykyistä enemmän, on pumppaus suunniteltava siten, että rantaimetyneen veden viipymä kaivoille on mahdollisimman pitkä. Lisäksi on varauduttava orgaanisen aineksen poistoon jälkikäsittelemällä.

4.3 Ruoveden Visuvesi

4.3.1 Visuveden ottamon yleiset tiedot

Ruoveden kunnan omistama Visuveden ottamo sijaitsee Visuveden pohjavesialueella, noin 18 km Ruoveden keskustasta luoteeseen. Ottamo aloitti toimintansa vuonna 1970. Kaivorakenteina on yksi kuilukaivo, jonka syvyys on 8,0 m ja halkaisija 3,5 m.

Kaivo sijaitsee noin 15 m päässä rannasta. Länsi-Suomen Vesioikeuden 31.1.1974 myöntämän luvan mukaan ottamoilta voidaan pumpata $400 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Nykyään Visuveden ottamolta pumpataan keskimäärin $135 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Visuveden ottamolta 500 m kaakkoon sijaitsee Visuveden vesiosuuskunnan ottamo, joka vuodesta 1981 lähtien on ollut varavedenottamana.

4.3.2 Visuveden pohjavesialueen hydrogeologiset olosuhteet

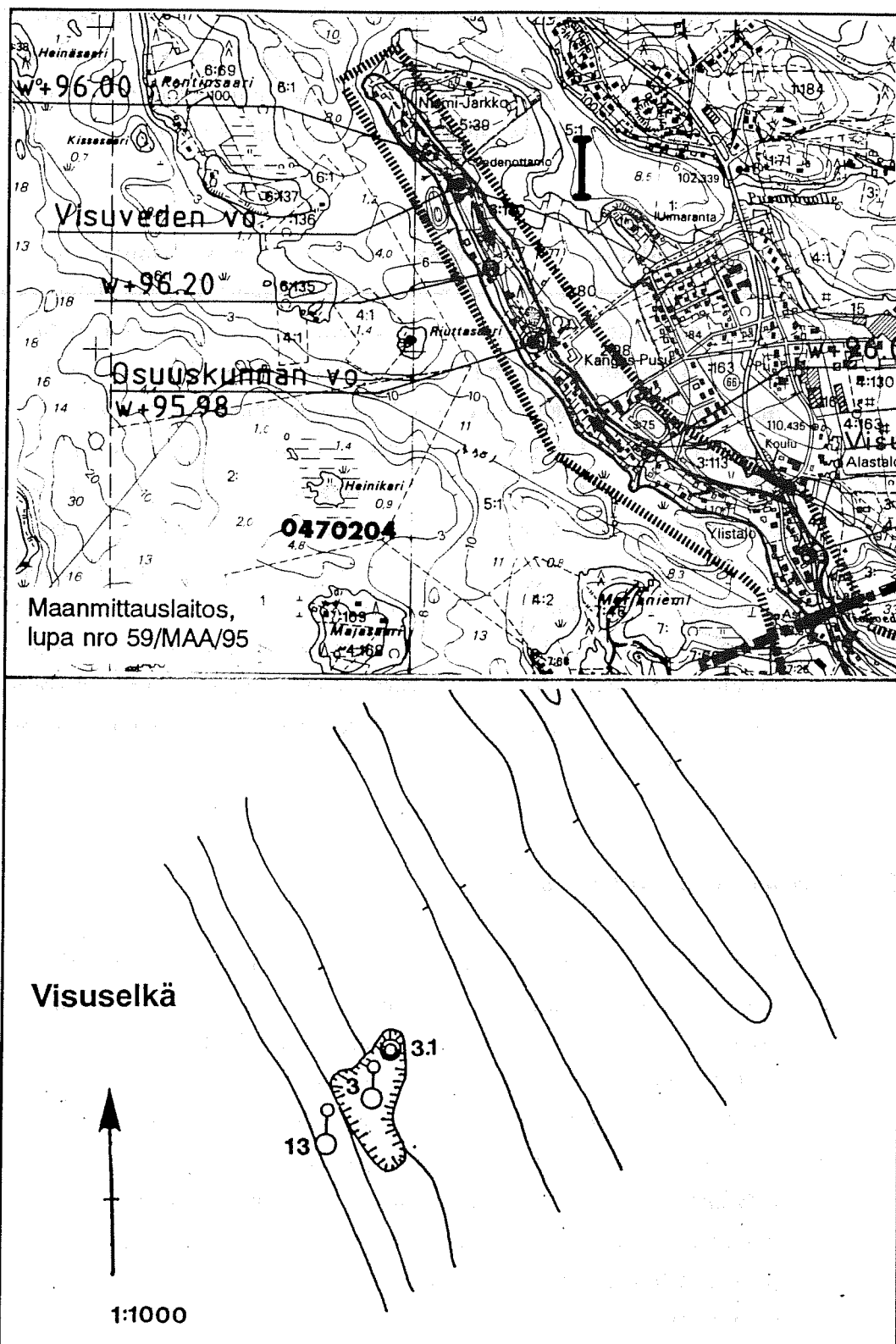
Visuveden pohjavesialue on osa luode-kaakko-suuntaista Jäähdysohjan - Visuveden pitkittäisharjujaksoa. Harjujakso on katkeileva: se peittyy paikoitellen hienoraakeisten silttikerrostumien alle. Harjujakson liepeillä on harjuaineksesta syntyneitä rantakerrostumia, joiden aines on silttiä ja hienoa hiekkaa (Kielosto ja Taka, 1985b). Visuveden kohdalla harju kulkee selvästi selännemäisenä, lounaisreunalta järveen rajautuvana muodostumana.

Visuveden pohjavesialueella harju on varsin kapea ja jyrkkärinteinen. Muodostuman ydinosa on keskimäärin 100 m. Aines on hyvin lajittunutta ja pyöritynyttä. Koillispuolella siltti- ja savikerrokset peittävät harjua. Pohjavesialueen pituus on 2,2 km, ja kaakossa alueen rajana on Visuveden kanava. Pohjaveden muodostumisalueen pinta-ala on $0,25 \text{ km}^2$ ja alueen kokonaispinta-ala $0,65 \text{ km}^2$.

Alueella tehdyn pohjavesitutkimuksen (Maa ja Vesi Oy, 1968) maaperäkairauksissa todettiin, että "hyvin vettä johtavaa karkeaa hiekkaa ja soraa esiintyy varsin rajoitetulla vyöhykkeellä. Kanavan suunnalla maaperä todettiin melko kivikkoiseksi sekä ranta-alueella jonkin verran liian tiiviiksi huomattavien pohjavesivirtaamien muodostumiseen." Kaivon paikalla olevassa tutkimuspisteessä 3.1 (kuva 5) on luonnollinen maanpinnan korkeus +99,1 m (kaikki Visuveden pohjavesitutkimuksen yhteydessä esitetyt korkeusluvut ovat sidotut N43-korkeusjärjestelmään). Maalajikerrokset pisteessä 3.1 vaihtelevat seuraavasti:

3,8 m	Hk
5,5 m	kisrHk
7,0 m	kiHk
9,0 m	kisrHk
11,0 m	kiHk
13,0 m	kisrHk
16,0 m	kihkSr
19,0 m	kisrHk

Visuveden rantaviivalla, 15 m:n päässä kaivonpaikasta, sijaitsevassa tutkimuspisteessä 13 on maanpinnan korkeus +96,2 m. Maalaji on 3,0 m:iin asti hiekkaa, sen jälkeen 6,0 m:iin asti hiekkaa ja kiviä (Maa ja Vesi Oy, 1968).



Kuva 5. Visuveden pohjavesialue ja vedenottamoalue.

Nykyisen ottamon kohdalla on tehty koepumppaus, joka kesti yhteensä 31 vuorokautta (29.7. – 29.8.1968). Pumppauksen tuotto oli keskimäärin $3\,300\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Suurituottoisen koepumppauksen aikana pohjavedenpinta aleni pumppauspaikan lähiympäristössä varsin vähän (suurin alenema $0,57\text{ m}$). Tutkimuspisteessä 3 pohjavedenpinnan korkeus ennen pumppausta oli $+95,98\text{ m}$ ja pumppauksen loppuvaiheessa $+95,41\text{ m}$ (suurin alenema $0,57\text{ m}$). Pisteessä 13 vastaavat korkeudet olivat $+95,97\text{ m}$ ja $+95,44\text{ m}$ (suurin alenema $0,53\text{ m}$). Koepumppaustulosten perusteella arvioitiin, että alueelta on saatavissa luonnollista pohjavettä noin $500\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$ (Maa ja Vesi Oy, 1968).

Pohjavesitutkimuksen yhteydessä selvitettiin lisäksi, missä määrin mahdollinen rantaimetyminen vaikuttaa pohjaveden laatuun. Rannan läheisyydessä olevasta havaintoputkesta 13 otettiin vesinäytteitä, joista seurattiin lämpötilan ja KMnO_4 -luvun vaihteluita. Koepumppauksen aikana sekä lämpötila että KMnO_4 -luku nousivat, mikä osoitti järiveden vaikutusta. Lämpötila nousi arvosta $+9,3\text{ }^\circ\text{C}$ arvoon $+12,9\text{ }^\circ\text{C}$ ja KMnO_4 -luku 3 mg l^{-1} :sta kaksinkertaiseksi eli arvoon 6 mg l^{-1} . Järven vedessä KMnO_4 -luku oli tuolloin 54 mg l^{-1} . Toisaalta todettiin, että "pohjavedenpinta aleni pumppauksen aikana runsaammin kuin järven pinta, mikä puolestaan osoittaa, että pohjavesivarantoon syntyi vajausta, jota järvestä maaperään mahdollisesti imeytyvä vesimäärä ei pystynyt täysin täyttämään." Järven pinnan korkeus vaihteli välillä $+95,69 - +95,86\text{ m}$. Koska rantaimetyymisen ennustettiin vedenottomäärän kasvaessa tehostuvan ja tapahtuvan laajemmalla alueella, arvioitiin luonnollisen pohjaveden ($500\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$) lisäksi alueelta voitavan pumpata tekopohjavettä noin $500\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$ (Maa ja Vesi Oy, 1968).

4.3.3 Visuveden järven veden laatu

Visuveden vesilaitos ei tarkkaile järiveden laatua, joten selvityksen yhteydessä oli käytettävissä vain muutamia satunnaisia analyysituloksia. Ottamon rakentamisen aikoihin järiveden väriluku oli suuruusluokkaa 70 Pt mg l^{-1} ja KMnO_4 -luku 50 mg l^{-1} (Maa ja Vesi Oy, 1968). 1980-luvun lopussa veden laatua kuvaavat seuraavat arvot: väriluku 100 Pt mg l^{-1} , pH 6, sähkönjohtavuus $4,8\text{ mS m}^{-1}$, rauta $0,53\text{ mg l}^{-1}$, kokonaistyyppi $0,67\text{ mg l}^{-1}$, KMnO_4 -luku 60 mg l^{-1} . Järiveden laatu ottamon kohdalta tutkittiin vesilaitoksen toimesta toukokuussa 1988, kun järvenpinta oli poikkeuksellisen korkealla ja ottamon veden laatu huononi. Tällöin analysoitiin järivedestä kolimuotoisia bakteereita $3\text{ kpl}/100\text{ ml}$, väri 150 Pt mg l^{-1} ja KMnO_4 -luku 58 mg l^{-1} .

4.3.4 Visuveden ottamon veden laatu

Visuveden pohjavesialueen koepumpatusta (Maa ja Vesi Oy, 1968) vedestä analysoitiin seuraavia pitoisuuksia: väriluku $< 1 - 5 \text{ Pt mg l}^{-1}$, pH 6,5, kloridi $3,5 - 5,9 \text{ mg l}^{-1}$, rauta $0 - 0,2 \text{ mg l}^{-1}$, mangaani $0 - 0,05 \text{ mg l}^{-1}$, nitraatti $1,1 - 1,4 \text{ mg l}^{-1}$, KMnO_4 -luku $2 - 6 \text{ mg l}^{-1}$. Koepumpauksen aikana pohjaveden laatu pysyi koko ajan lähes samankaltaisena. Lisäksi rantaviivalla sijainneen havaintoputken 13 veden laadun muutokset olivat vähäisiä. Näistä seikoista pääteltiin, ettei mahdollinen järviveden maaperään imeytyminen aiheuta ratkaisevia muutoksia pohjaveden laadussa myöhemminkään (Maa ja Vesi Oy, 1968).

Valvontatutkimusohjelman mukaan laitoksen raakavesi tutkitaan nykyään kaksi kertaa vuodessa. Raakavesinäytteet otetaan joko suoraan noutimella vedenottamon kaivosta tai pumppaamon hanasta ennen alkalointia. Verkostovedestä mikrobiologinen tutkimus tehdään kuusi kertaa vuodessa ja fysikaalis-kemiallinen tutkimus kaksi kertaa vuodessa. Satunnaisten analyysitulosten perusteella ottamon vesi on vuosina 1987 - 1992 yleisesti täyttänyt hyvin talousvedelle asetetut laatuvaatimukset: pH 6,5 - 6,9, sähkönjohtavuus $6 - 11 \text{ mS m}^{-1}$, rauta $< 0,05 \text{ mg l}^{-1}$, nitraatti $2 - 3 \text{ mg l}^{-1}$, KMnO_4 -luku $< 1,0 - 4 \text{ mg l}^{-1}$.

Poikkeuksellisen huono ottamon veden laatu oli touko-kesäkuussa 1988. Järven pinnan ollessa korkeimmillaan pintavettä imeytyi pohjavesiesiintymään järveen rajoittuvan harjun reunan kautta. Tämän seurauksena ottamon veden laatu muuttui. Toukokuussa ja kesäkuussa 1988 tehdyissä analyyseissä raakaveden KMnO_4 -luku oli $14 - 38 \text{ mg l}^{-1}$, väriluku $30 - 59 \text{ Pt mg l}^{-1}$ ja rautapitoisuus $0,12 - 0,23 \text{ mg l}^{-1}$. Lisäksi raakavedestä määritettiin maksimissaan fekaalisia koliformisia bakteereja 4 kpl/100 ml , koliformisia bakteereja 6 kpl/100 ml sekä fekaalisia streptokokkeja 3 kpl/100 ml . Bakteereja on satunnaisesti esiintynyt ottamon raakavedessä myöhemminkin, esimerkiksi elokuussa 1991 ja kesäkuussa 1992.

Jälkikäsittelynä veden pH-arvoa säädellään natriumhydroksidilla (NaOH). Lisäksi laitoksella on valmiudet tarvittaessa desinfiointiin 10-prosenttisella natriumhypokloriittiliuoksella (NaClO).

4.3.5 Yleisvaikutelma Visuveden laitoksen toimivuudesta

Nykyisillä käyttömäärillä ja järven pinnan pysytellessä normaalikorkeudessa rantaimetymistä harjun reunoilta ei pääse tapahtumaan. Muodostuman antoisuus on noin $500 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ ja harjun liepeiden pintaosissa olevat hienorakeiset kerrokset estävät tehokkaasti imeytymisen. Jonkin verran järviveden imeytymistä ja sekoittumista voi päästä tapahtumaan pohjavesialueen kaakkoiskärjestä, Visuveden kanavan kohdalta.

Tältä kohdista on matkaa ottamolle kuitenkin noin 1,8 km, joten imeytyminen ei aiheuta muutoksia ottamon veden laadussa.

Järviveden pinnan noustessa poikkeuksellisen korkealle järvivettä voi imeytyä pohjavesiesiintymään ja kulkeutua nopeasti kaivolle. Vuonna 1988, kun järviveden pinta oli ennätyskorkeudessa, havaittiin rantaimetyymisen vaikutus selvästi ottamon veden laadun huononemisenä.

5 TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Rantaimetyymistä hyödynnetään Suomessa usein varsin sattumanvaraisesti ja suunnitelmattomasti. Pohjavedenottamot, joiden antoisuutta lisää rantaimetyyminen tai joilla rantaimetyyminen on mahdollista, on luokiteltu rantaimetyymisen laajuuden ja suunnitelmallisuuden perusteella kolmeen luokkaan. Varsinaisia rantaimetyymislaitoksia on selvityksen perusteella arvioitu olevan 28 kappaletta. Vedenoton määrä näillä laitoksilla on 150 – 14 500 m³ d⁻¹ ja ne tuottivat vuonna 1993 tekopohjavettä yhteensä 91 212 m³ d⁻¹.

Vuonna 1993 vesilaitokset jakoivat vettä kaikkiaan keskimäärin 1,15 milj. m³ d⁻¹, mistä pohja- ja tekopohjavettä oli 621 000 m³ d⁻¹ eli 54 % (Vesihuoltolaitokset 1993). Suoria tekopohjaveden imeytysmenetelmiä käyttävien laitosten osuus oli 104 300 m³ d⁻¹ eli 9 %. Kun varsinaisten rantaimetyymislaitosten tuottamasta vesimäärästä vähennetään myös suoria imeytysmenetelmiä käyttävien rantaimetyymislaitosten tuottama vesimäärä, jää varsinaisten rantaimetyymislaitosten osuudeksi kaikkien vesilaitosten jakamasta vedestä noin 7 %. Kun lasketaan yhteen vesimäärät varsinaisilla rantaimetyymislaitoksilla ja niillä ottamoilla, joilla tapahtuu jonkin verran rantaimetyymistä (luokat 1 ja 2), saadaan osuudeksi noin 9 %.

Pohjavedenottamot, joilla tapahtuu jonkin verran rantaimetyymistä, tuottivat vuonna 1993 vettä 40 059 m³ d⁻¹. Näitä ottamoita on arvioitu olevan 56 kappaletta ja yksittäisten ottamoiden tuotto on 10 – 10 137 m³ d⁻¹. Tästä määrästä vain pieni osuus voidaan luokitella tekopohjavedeksi. Pohjavedenottamot, joilla rantaimetyyminen on mahdollista, tuottivat vuonna 1993 pohjavettä 47 454 m³ d⁻¹. Viimeksi mainitussa ryhmässä yksittäisten ottamoiden tuotto oli 7 – 3 090 m³ d⁻¹. Valtaosa näistä laitoksista, joita kaikkiaan on 133, on pienituottoisia ottamoita, joissa vedenotto suhteessa alueen antoisuuteen on varsin vähäistä. Mikäli näillä laitoksilla halutaan tehostaa vedenottoa hyödyntämällä rantaimetyymistä, pitää muodostuman maalajikoostumus ja kerrosrakenne, erityisesti muodostuman liepeillä tai välikerroksina esiintyvät savi-silttikerrokset, selvittää maastotutkimuksin. Lisäksi järven pohjasedi-

mentit on tutkittava kairausten ja luotausten avulla "imeytymisvyöhykkeiden" löytämiseksi.

Rantaimetyymistä pitkään hyödyntäneissä maissa käyttökokemukset ovat osoittaneet, että varsinaisilla rantaimetyyslaitoksilla veden laatua heikentävät usein korkea rauta- ja mangaanipitoisuus. Tehdyn selvityksen mukaan kaikilla suomalaisilla rantaimetyyslaitoksilla tämä ei kuitenkaan ole erityinen ongelma. Noin puolet varsinaisista rantaimetyyslaitoksista on sellaisia, joiden käsittelemättömässä kaivovedessä rautapitoisuus on haitallisen korkea ja vain noin kolmannes varsinaisista rantaimetyyslaitoksista käyttää jälkikäsitteilynä raudanpoistoa. Mikäli rantaimetyyminen tapahtuu karkearakeisten kerrosten läpi (ei orgaanista ainesta sisältävien, muodostuman liepeillä olevien hienorakeisten kerrosten läpi) eli hydraulinen yhteys järveen on hyvä ja järvivesi on laadultaan hyvää, näyttää happipitoisuus säilyvän pohjavesivyöhykkeessä riittävän korkeana. Niillä laitoksilla, joilla rautapitoisuus on korkea, on yleensä vedenotto suhteessa esiintymän antoisuuteen selvästi tehokkaampaa kuin laitoksilla, joilla ongelmaa ei esiinny. Muita tekijöitä, jotka saattavat aiheuttaa happitilanteen heikkenemisen ja siten korkean rautapitoisuuden, ovat saviset ja silttiset pinta- ja välikerrokset, pohjavesialuetta ympäröivät suoalueet sekä rehevöitynyt, humuspitoinen pintavesi.

Raudanpoistoa yleisemmin käytössä oleva jälkikäsitteilymenetelmä rantaimetyymistä hyödyntävillä laitoksilla (luokat 1 ja 2) on alkalointi: 70 % ottamoista joutuu käyttämään jälkikäsitteilynä alkalointia ja 20 % vähentää jälkikäsitteilyn avulla rautapitoisuutta. Kaivoveden desinfiointi on katsottu tarpeelliseksi vain muutamalla ottamalla. Käytössä olevien jälkikäsitteilymenetelmien perusteella voidaan arvioida, että nykyisessä laajuudessa rantaimetyyslaitosten kaivoveden jälkikäsitteilytarve ei merkittävästi poikkea pohjavedenottamoista yleensä. Ainoastaan niissä tapauksissa, missä maaperän puhdistuskykyä on kuormitettu pitkäaikaisella ja mahdollisimman tehokkaaksi mitoitettulla vedenotolla, voidaan todeta ongelmia kaivoveden rauta- ja humuspitoisuuden kanssa.

Rantaimetyyslaitoksilla on osoittautunut ongelmalliseksi imeytymisvyöhykkeen määrittäminen. Tällöin ei myöskään pystytä määrittelemään imeytyvän veden virtausreittiä ja viipymää, jotka vaikuttavat veden puhdistumiseen. Merkkiaineita (esim. kloridi, fluoridi) voidaan käyttää, mikäli tutkimuskohteena on sellainen alue, missä on otettu vesinäytteitä alueelle sijoitetuista havaintoputkista jo ennen vedenoton aloittamista. Merkkiaineiden hyödyntäminen toiminnassa olevilla rantaimetyyslaitoksilla, missä pintavettä on jo rantaimetyynyt ja sekoittunut luonnolliseen pohjaveeseen, on vaikeaa. Rantaimetyyn hallittu toteuttaminen edellyttääkin, että kehitetään arviointimenetelmiä imeytymisvyöhykkeen ja veden viipymän määrittämiseen.

Sinileväkukintojen esiintyminen pintavettä raakavetenä käyttävillä vesilaitoksilla on viime vuosina aiheuttanut yhä enemmän huolestuneisuutta. Sinilevät voivat vapauttaa

toksiinit suotautuvaan veteen ja aiheuttaa veteen epämiellyttävää hajua ja makua. Jos raakavetenä käytetään rehevöitynyttä pintavettä, saattaa myös suuri humuspitoisuus aiheuttaa ongelmia. Varsinkin rantaimetyyslaitoksilla, missä raakaveden esikäsittely ei ole mahdollista, voi vedenottokapasiteetin lisääminen edellä mainittujen tekijöiden vuoksi huonontaa veden laatua. Koska tavoitteena on turvata luonnollisen pohjaveden puhtaus ja laitoksilta lähtevän veden tasalaatuisuus kaikissa olosuhteissa, pitäisi sinilevätoksiinien käyttäytymistä ja erityyppisten orgaanisten aineiden pidättymistä ja hajoamista edelleen tutkia.

Vedenhankinnassa pyritään jatkossakin yhä enemmän luopumaan pintavesistä raakavesilähteenä ja lisäämään pohjaveden käyttöä. Tarve tekopohjaveden muodostamiseen kasvaa tulevaisuudessa, koska kaikkien suurien taajama-alueiden läheisyydessä ei ole riittävän suuria pohjavesiesiintymiä. Nykyisillä tutkimusmenetelmillä pystytään hyvin ennustamaan saatavissa olevat vesimäärät ja pohjaveden virtauskuvan muuttuminen erilaisilla imeytysmäärillä. Veden laadun muuttumiseen ja maaperän puhdistuskykyyn liittyy kuitenkin vielä useita selvittämättömiä kysymyksiä. Jatkotutkimuksia tarvittaisiin mm. varmistamaan maaperän puhdistuskapasiteetin ja vedenläpäisevyyden säilyminen imeytyksen jatkuessa.

KIRJALLISUUS

- Agerstrand, T. 1988.** Några reflektioner om grundvatten och grundvattenteknik för vattenförsörjningen i Sverige. *In:* Grundvattenförsörjning. Geohydrologi i praktiken. Symposium 4 maj 1988, Viak AB och Svenska Hydrologiska Rådet, Stockholm. p. 11 – 17.
- Brandt, G. 1994.** Tanker omkring infiltration af vand fra Arresö – Kvalitet og kvantitet. *In:* Kunstig infiltration af overfladevand samt vand fra "utætte kloakker". ATV møde, Schæffergården, 29. September 1994. Akademiet for de tekniske videnskaber. p. 15 – 25.
- Dugan, P.R., Stoner, D.L. & Pickrum, H.M. 1991.** The Genus Zoogloea. *In:* Balows, A., Trüper, H.G., Dworkin, M., Harder, W. & Schleifer, K-H. (eds.). The Prokaryotes. A Handbook on the Biology of Bacteria: Ecophysiology, Isolation, Identification, Applications. p. 3952 – 3964.
- Frycklund, C. 1992.** Artificial Groundwater Recharge – state of the art. VAV, VA-forsk rapport nr 1992-04. 55 p.
- Frycklund, C., Jacks, G., Johansson, P-O. & Lekander, K. 1994.** Konstgjord grundvattenbildning – Processtudier vid inducerad infiltration och bassänginfiltration. VAV, VA-forsk rapport nr 1994-08. 55 p.
- Granberg, K., Bibiceanu, S. & Palomäki, A. 1992.** Kangasalan Vesijärven biologiset tutkimukset vuosina 1990 – 1992. Ympäristöntutkimuskeskus, Jyväskylän yliopisto. Jyväskylä. 11 + 18 s. + liitteet.
- von Gunten, H.R., Kull, T.P. 1986.** Infiltration of inorganic compounds from the Glatt River, Switzerland, into a groundwater aquifer. *Water, Air and Soil Pollution* 29 (1986). p. 333 – 346.
- Gustafsson, G. 1982.** Langholmen – Bank recharge to an esker aquifer in Sweden. *In:* DVWK Bulletin 11, Artificial groundwater recharge. International Symposium on Artificial Groundwater Recharge, Dortmund, 1979, Verlag Paul Parey, Hamburg/Berlin. p. 179 – 192.
- Hames, H. 1993.** National Report, Germany. p. 13 – 16. *In:* 19th International Water Supply Congress and Exhibition: Water and the Environment – a Common Cause. Budapest 2 – 8 October 1993. Technical papers, International Report 2: Co-operation for achieving a better protection of water resources.

- Herola, E. 1989.** Maaperäkartan 214103 selitys; Pohjavesi. Maaperäkartta 1:20 000. Maanmittaushallitus.
- Hoehn, E., von Gunten, H.R. 1989.** Radon in Groundwater: A Tool to Assess Infiltration From Surface Waters to Aquifers. *Water Resources Research*, Vol.25, No.8, p. 1795–1803.
- Huisman, L., Olsthoorn, T.N. 1983.** Artificial Groundwater Recharge. Boston. 320 p.
- Huisman, L., Kop, J.H. 1986.** Artificial recharge of ground-water. *Nature and Resources*. Double issue: Vol.XXII, Nos. 1 & 2, January–June 1986. p. 6 – 12.
- Insinööratoimisto Paavo Ristola Oy. 1992.** Rikun vedenottamon saneerauksen pohjavesiselvitys. 17.2.1992. 8729. Kangasalan kunta. Julkaisematon.
- Kielosto, S., Taka, M. 1985a.** Maaperäkartan 221109 selitys; Kivennäismaalajit, Pohjavesi. Maaperäkartta 1:20 000. Maanmittaushallitus.
- Kielosto, S., Taka, M. 1985b.** Maaperäkartan 221410 selitys; Kivennäismaalajit, Pohjavesi. Maaperäkartta 1:20 000. Maanmittaushallitus.
- Kivimäki, A–L. 1992.** Tekopohjavesilaitokset Suomessa. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja – sarja A 98, 148 s. ISBN 951–47–5717–3, ISSN 0786–9592.
- Kruithof, J.C., Hopman, R., Meijers, R.T. & Hofman, J.A.M.H. 1993.** Presence and removal of pesticides in Dutch drinking water practice. p. 10 – 14. *In*: 19th International Water Supply Congress and Exhibition: Water and the Environment – a Common Cause. Budapest 2 – 8 October 1993. Technical papers, Special Subject 11: Pesticides in water.
- Kruithof, J.C., van Puffelen, J. 1993.** Disinfection and disinfection by-products. Special Contribution. p. 7 – 10. *In*: 19th International Water Supply Congress and Exhibition: Water and the Environment – a Common Cause. Budapest 2 – 8 October 1993. Technical papers, International Report 6.
- Lahti, K., Lepistö, L., Niemi, J. & Färdig, M. 1993.** Eri vesilaitosten tehokkuus levien ja erityisesti syanobakteerien poistossa. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja – A 143. 68 p. Helsinki.
- Maa ja Vesi Oy. 1968.** Visuveden rakennuskaava-alueen pohjavesitutkimus ja pohjavedenotto-suunnitelma. Ruoveden kunta. B 3368. 9 s. + liitteet. Julkaisematon.

- Miettinen, I. 1990.** Tekopohjaveden valmistus humuspitoisesta pintavedestä: kemia, biokemia ja mikrobiologia. Erikoistyötutkielma. Kuopion yliopisto, Biokemian laitos. 160 s.
- Mäkelä, J., Reijonen, R. 1993.** Muuratharjun tekopohjavesitutkimus. Muurame. 62 s. + liitteet. Julkaisematon.
- Nestler, W., Socher, M. & Grischek, T. 1991.** River bank infiltration in the Upper Elbe River Valley – hydrochemical aspects. In: Hydrological Basis of Ecologically Sound Management of Soil and Groundwater. Proceedings of the Vienna Symposium, August 1991. IAHS Publ. no. 202, 1991. p. 347 – 356.
- Oravainen, R. 1989.** Vesijärven tarkkailu v. 1989. Kokemäen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. 10 s. + liitteet. Julkaisematon.
- Partanen, H. 1994a.** Reposaaressa pohjaveden virtausmalli. Vesihuoltotekniikan erikoistyö. Espoo, Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto, Yhdyskuntatekniikan laitos. 29 s. Julkaisematon.
- Partanen, H. 1994b.** Reposaaressa hidassuodatuslaitoksen toiminta ja sen tehostaminen. Diplomityö. Espoo, Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto, Yhdyskuntatekniikan laitos. 109 s. + liitteet.
- Peters, J.H. 1988.** Artificial recharge and water supply in the Netherlands. Contribution to the International Symposium on Artificial Recharge of Ground Water, organised by the American Society of Civil Engineers, Irrigation and Drainage Division, August 23 – 27, 1988, Anaheim, California. 19 p.
- Peters, J.H. 1994.** Artificial recharge and water supply in the Netherlands. State of the art and future trends. In: Kunstig infiltrasjon af overfladevand samt vand fra "utætte kloaker". ATV-komiteen vedrørende grundvandsforurening. Akademiet for de tekniske videnskaber. ISBN 87-90070-18-6. ss.49 – 60.
- Rönkä, E., Hatva, T. & Iihola, H. 1977.** Tekopohjaveden muodostaminen. YVY-tutkimus 34. Helsinki. 215 s.
- Schwarzenbach, R.P., Giger, W., Hoehn, E. & Schneider J.K. 1983.** Behaviour of Organic Compounds during Infiltration of River Water to Groundwater. Field Studies. Environ.Sci.Technol., Vol.17, No.8, 1983.
- Schöttler, U. 1983.** Fate of heavy metals during artificial groundwater recharge. Heavy Metals in the Environment International Conference, Heidelberg, September 1983. Volume 2,

CEP Consultants Ltd, Edinburgh, UK. Berichte aus der Dortmunder Stadtwerke AG nr 268. p. 1128 – 1132.

Sontheimer, H. 1980. Experience With Riverbank Filtration Along the Rhine River. Journal AWWA, July 1980. p. 386 – 390.

Sundlöf, B., Kronqvist, L. 1992. Konstgjord grundvattenbildning. Nulägesbeskrivning av tjugo svenska anläggningar. VAV, VA-forsk rapport nr 1992-13. 54 p.

Suunnittelukeskus Oy. 1968. Pohjavesitutkimus. Likolammen alue. Julkaisematon.

Suunnittelukeskus Oy. 1972. Pohjavesitutkimus Majajärvi – Vuorijärvi harjualueella. Parkano. Julkaisematon. 8 s. + liitteet.

Suunnittelukeskus Oy. 1992. Rovaniemen kaupunki. Lausunto Kolpeneen pohjavesilaitoksen vedenlaatuongelmista. Julkaisematon.

Vesianalysitoimikunnan mietintö. 1968. Komiteamietintö 1968: B 19. Helsinki.

Vesihuoltolaitokset 1993. 1994. Vesi- ja ympäristöhallituksen tiedote. 15 s.

Wilderer, P.A., Förstner, U. & Kuntzschik, O.R. 1985. The Role of Riverbank Filtration along the Rhine River for Municipal and Industrial Water Supply. p. 509 – 527. In: Asano, T. (ed.). 1985. Artificial recharge of groundwater. Boston. p. 509 – 527.

Zullei-Seibert, N., Schöttler, U. 1989. Effects and Behaviour of Pollutants During Artificial Groundwater Recharge. Watershead 89. The Future for Water Quality in Europe. Volume II. Proceedings of the IAWPRC Conference held in Guilford, UK, 17 – 20 April, 1989. p. 475 – 486.

LIITE 1. KARTTAMERKKIEN SELITYKSET

I

Vedenhankintaa varten tärkeä pohjavesialue

04 211 02

Pohjavesialueen numero



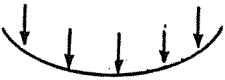
Pohjavesialueen raja



Pohjavesialueen varsinaisen muodostumisalueen raja



Pohjavesialueen välinen raja



Vettä läpäisevä rantaviiva



Pohjaveden virtaussuunta



Pohjavedenottamo



Pohjavesikaivo



Havaintoputki

W +96.00

Pohjavedenpinnan korkeus



Häiriintymätön maanäyte



Vanha maa-ainestenottoaikka



Suojarakenteinen öljy- tai muu säiliö

