

98

ANNA-LIISA KIVIMÄKI

TEKOPOHJAVESILAITOKSET SUOMESSA

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUS
Helsinki 1992

Etukannen kuva: Tekopohjaveden allasimeytystä Kouvolan Haukkajärven laitoksella.
Kuva: Anna-Liisa Kivimäki

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

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLINNON JULKAISUJA koskevat tilaukset:
Valtion painatuskeskus, PL 516, 00101 Helsinki
puh. (90) 56 601/julkaisutilaukset

ISBN 951-47-5717-3
ISSN 0786-9592

HELSINKI 1992

Julkaisija
Vesi- ja ympäristöhallitus

Julkaisun päivämäärä
Huhtikuu 1992

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

Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)
Tekopohjavesilaitokset Suomessa

Julkaisun laji
Tutkimusraportti

Toimeksiantaja

Toimielimen asettamispv

Julkaisun osat

Tiivistelmä

Tutkimuksessa selvitettiin Suomen tekopohjavesilaitosten toimivuus ja veden laatu sekä niiden riippuvuus pohjavesialueen hydrogeologisista olosuhteista. Tutkimuksen kohteena olivat eri puolilla Suomea sijaitsevat 21 tekopohjavesilaitosta. Tarkkailuvuosina 1988 – 1989 tekopohjavettä imeytettiin 19 laitoksella. Kaikista laitoksista koottiin tiedot imeytysjärjestelyistä ja veden laadusta toimivuuskyselyssä syksyllä 1990. Lisäksi viidelle laitokselle suoritettiin maastokäynti laitoksen toiminnan ja alueen geologian selvittämiseksi.

Laitosten toimivuutta heikentävistä ongelmista yleisimpiä ovat humuspitoinen raakavesi (kuudella laitoksella) ja imeytetyn veden liian lyhyt viipymä maaperässä (kahdeksalla laitoksella). Veden analysointia – järviveden, kaivoveden tai jälkikäsitellyn veden – tulisi lisätä 14 laitoksella. Imeytyksessä käytettävälle raakavedelle ei tutkimuksen perusteella pystytä antamaan tarkkoja ohjeita. Suositeltava raakaveden KMnO_4 -luku on 20 – 40 mg l^{-1} .

Yleensä tekopohjavesilaitoksilta lähtevä vesi täyttää hyvin talousveden laatuvaatimukset ja -tavoitteet. Imeytettävä raakavesi on laadultaan hyvää tai tyydyttävää. Niillä laitoksilla, joilla raakavesi ja viipymä ovat suositusten mukaisia, vesi puhdistuu riittävästi ilman esikäsitelyä: KMnO_4 -luku laskee imeytyksen aikana keskimäärin arvosta 20 mg l^{-1} arvoon 5 mg l^{-1} . Tekopohjavesilaitosten toimivuutta voitaisiin parantaa lähinnä lisäämällä laitoksen omaa veden laadun valvontaa. Raakaveden laadun väliaikaisesti tai pysyvästi huonontuessa tulisi laitoksella olla valmiudet tarvittaviin esi- tai jälkikäsitelyihin.

Asiasanat (avainsanat)

tekopohjavesi, tekopohjaveden imeyttäminen, imeytyminen, vesilaitokset, veden laatu, vedenkäsitely

Muut tiedot

Sarjan nimi ja numero

Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja A 98

ISBN

951-47-5717-3

ISSN

0786-9592

Kokonaissivumäärä

148

Kieli

Suomi

Hinta

Luottamuksellisuus

Julkinen

Jakaja

Valtion painatuskeskus
PL 516, 00101 Helsinki

Kustantaja

Vesi- ja ympäristöhallitus
PL 250, 00101 Helsinki

Utgivare
Vatten- och miljöstyrelse

Utgivningsdatum
April, 1992

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

Publikation (även den finska titeln)
Anläggningarna för konstgjort grundvatten i Finland

Typ av publikation
Forskningsrapport

Uppdragsgivare

Datum för tillsättandet av organet

Publikationens delar

Referat

Undersökningen klarlade funktionen och vattnets kvalitet vid de finska anläggningarna för konstgjort grundvatten samt dessa faktorerens beroende av grundvattenområdets hydrogeologi. Som föremål vid undersökningen var 21 anläggningar för konstgjort grundvatten belägna i olika delar av Finland. Konstgjord infiltration utfördes under observationsåren 1988 - 1989 vid 19 anläggningar. Data av infiltrationstekniken och vattnets kvalitet insamlades från alla anläggningar med hjälp av en förfågan under hösten 1990. Fem anläggningar besöktes för att redogöra anläggningens funktion och områdets geologi.

De mest allmänna problemen som försvagar anläggningarnas funktion är höjd humushalt i råvattnet (vid sex anläggningar) och infiltrationvattnets för korta uppehållstid i jordmånen (vid åtta anläggningar). Analysering av råvatten, brunsvatten eller efterbehandlat vatten borde ökas vid 14 anläggningar. På grund av denna undersökning kan inte exakta gränsvärden för råvattnet ges. Rekommendationen för råvattnets permanganatförbrukning är 20 - 40 mg l⁻¹.

I allmänhet fyller konstgjorda grundvattnet bra kvalitetskraven och -målen av hushållsvatten. Infiltrationsvattnets kvalitet är god eller tillfredsställande. Vid sådana anläggningar, där råvattnets kvalitet och uppehållstid är överensstämmande med rekommendationerna, renas vattnet tillräckligt utan förbehandling: permanganatförbrukningen reduceras under infiltrationen i medeltal från 20 mg l⁻¹ till 5 mg l⁻¹. Funktionen av anläggningarna för konstgjort grundvatten kunde förbättras närmast genom att öka anläggningens egna övervakning av vattenkvaliteten. Om råvattnets kvalitet tillfälligt eller varaktigt försämras, borde anläggningarna ha beredskap till för- eller efterbehandlingsanläggningar.

Sakord (nyckelord)

konstgjort grundvatten, konstgjord infiltration, infiltration, vattenverk, vattenkvalitet, vattenbehandling

Övriga uppgifter

Seriens namn och nummer

Vatten- och miljövaltningens publikationer - serie A 98

ISBN

951-47-5717-3

ISSN

0786-9592

Sidantal

148

Språk

Finska

Pris

Sekretessgrad
Offentlig

Distribution

Statens tryckericentral
PB 516, 00101 Helsingfors

Förlag

Vatten- och miljöstyrelsen
PB 250, 00101 Helsingfors

Published by
The National Board of Waters and Environment, Finland

Date of publication
April, 1992

Author(s)
Anna-Liisa Kivimäki

Title of publication
The artificial groundwater plants in Finland

Type of publication
Research report

Commissioned by

Parts of publication

Abstract

In this study the function and water quality of artificial groundwater plants in Finland and their dependence on hydrogeological conditions was researched. The objects of the study were 21 artificial groundwater plants situated in different parts of Finland. During control years 1988 – 1989 artificial groundwater recharge was performed at 14 plants. Artificial recharge and water condition data was collected from all plants by questioning during autumn 1990. Furthermore, field trips to five plants were made in order to research their function and the general geology of the areas.

The problems which usually deteriorate the function of the plants are raw water rich in humus (at six plants) and too short detention period of infiltrated water (at eight plants). At 14 plants water analyses of lake water, well water or post-treated water should be increased. Based on this study, the exact values of raw water used in artificial groundwater recharge can not be given. It is recommended that KMnO_4 -consumption in raw water is about 20 – 40 mg l^{-1} .

Artificial groundwater from the plants usually meet the quality requirements and the objectives imposed to water for household use. The quality of raw water is good or satisfactory. At those plants, where the quality of raw water and the detention period of infiltrated water meet the general recommendations, water is purified enough without pretreatment: KMnO_4 -consumption decreases approximately from 20 mg l^{-1} to 5 mg l^{-1} during infiltration. Function of the artificial groundwater plants could be improved first of all by increasing water quality surveillance at the plants. There should be pre- or post-treatment facilities available at the plants in case the quality of raw water temporarily or permanently deteriorates.

Keywords

artificial groundwater, artificial recharge of groundwater, infiltration, water works, water quality, water treatment

Other information

Series (key title and no.)
Publications of the Water and Environment
Administration – series A 98

ISBN
951-47-5717-3

ISSN
0786-9592

Pages
148

Language
Finnish

Price

Confidentiality
Public

Distributed by
Government Printing Centre
P.O. BOX 516, 00101 Helsinki

Publisher
The National Board of Waters and Environment, Finland
P.O. BOX 250, 00101 Helsinki

SISÄLLYS	Sivu
1	JOHDANTO 10
2	TEKOPOHJAVEDEN MUODOSTAMISEN HISTORIAA 10
3	IMEYTTÄMISMENETELMÄT 13
	3.1 Epäsuorat menetelmät 13
	3.2 Suorat menetelmät 14
	3.2.1 Allasimeytys 15
	3.2.2 Oja- ja uomaimetyt 17
	3.2.3 Sadetus 17
	3.2.4 Kuoppa- ja kuiluimeytys 18
	3.2.5 Kaivoimeytys ja monitoimikaivot 19
4	TEKOPOHJAVEDEN IMEYTYKSEEN KÄYTETTÄVÄ RAAKAVESI 20
	4.1 Raakaveden laatuvaatimukset 20
	4.2 Laadultaan huonon raakaveden aiheuttamia ongelmia imeytyksessä 21
	4.2.1 Suodatinaineksen tukkeutuminen 21
	4.2.2 Sinilevien, homeiden ja sädesienten esiintyminen raakavedessä 23
5	ESI- JA JÄLKIKÄSITTELYN TARPEELLISUUS JA MENETELMÄT 25
	5.1 Esikäsitteilyn tarpeellisuus 25
	5.2 Esikäsitteilymenetelmät 26
	5.3 Jälkikäsitteilyn tarpeellisuus 27
	5.4 Jälkikäsitteilymenetelmät 28
6	PUHDISTUMISPROSESSIT IMEYTYKSESSÄ 29
	6.1 Mekaaninen puhdistuminen 29
	6.2 Sekoittuminen ja haihtuminen 30
	6.3 Ioninvaihto 31
	6.4 Adsorptio 31
	6.5 Saostuminen 32
	6.6 Kelaatin ja kompleksi-ionin muodostus 33
	6.7 Biologinen ja kemiallinen hajoaminen 33
	6.8 Haitallisten hivenaineiden ja orgaanisten yhdisteiden pidättyminen 35
7	MUODOSTUMAN SOVELTUVUUS TEKOPHJAVEDEN IMEYTYKSEEN 36
	7.1 Pohjaveden virtausnopeus muodostumassa 36
	7.2 Muodostuman koostumus ja sisäinen rakenne 38

7.3	Muodostuman laajuus	39
8	KALLIOPERÄN JA MUODOSTUMAN MINERAALIKOOSTUMUKSEN VAIKUTUS POHJAVEDEN LAATUUN	39
9	TEKOPOHJAVEDEN KÄYTTÖMAHDOLLISUUKSIA	41
10	TEKOPOHJAVEDEN MUODOSTAMISEEN LIITTYVÄT YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	43
11	SUOMEN TEKOPOHJAVESILAITOSTEN TOIMIVUUSSELVITYS	44
11.1	Porin Harjakankaan tekopohjavesilaitos	45
11.1.1	Laitoksen yleiset tiedot	45
11.1.2	Pohjavesialueen hydrogeologiset olosuhteet	46
11.1.2.1	Muodostuman kuvaus	47
11.1.2.2	Pohjaveden esiintyminen ja virtaussuunnat	49
11.1.3	Raakavesi ja esikäsittely	50
11.1.4	Imeytysjärjestelyt ja jälkikäsittely	51
11.1.5	Veden laadun muuttuminen	52
11.1.6	Yleisvaikutelma laitoksen toimivuudesta	55
11.2	Tuusulan Jäniksenlinnan tekopohjavesilaitos	56
11.2.1	Laitoksen yleiset tiedot	57
11.2.2	Pohjavesialueen hydrogeologiset olosuhteet	57
11.2.2.1	Muodostuman kuvaus	57
11.2.2.2	Pohjaveden esiintyminen ja virtaussuunnat	60
11.2.3	Raakavesi ja esikäsittely	61
11.2.4	Imeytysjärjestelyt ja jälkikäsittely	61
11.2.5	Veden laadun muuttuminen	62
11.2.6	Yleisvaikutelma laitoksen toimivuudesta	64
11.3	Kouvolan Haukkajärven tekopohjavesilaitos	65
11.3.1	Laitoksen yleiset tiedot	65
11.3.2	Pohjavesialueen hydrogeologiset olosuhteet	66
11.3.2.1	Muodostuman kuvaus	66
11.3.2.2	Pohjaveden esiintyminen ja virtaussuunnat	68
11.3.3	Raakavesi ja esikäsittely	69
11.3.4	Imeytysjärjestelyt ja jälkikäsittely	70
11.3.5	Veden laadun muuttuminen	71
11.3.6	Yleisvaikutelma laitoksen toimivuudesta	72
11.4	Porvoon Sannaisten tekopohjavesilaitos	74
11.4.1	Laitoksen yleiset tiedot	74
11.4.2	Pohjavesialueen hydrogeologiset olosuhteet	74
11.4.2.1	Muodostuman kuvaus	75
11.4.2.2	Pohjaveden esiintyminen ja virtaussuunnat	77
11.4.3	Raakavesi ja esikäsittely	77
11.4.4	Imeytysjärjestelyt ja jälkikäsittely	77
11.4.5	Veden laadun muuttuminen	80
11.4.6	Yleisvaikutelma laitoksen toimivuudesta	82
11.5	Lappeenrannan Hanhikemпин tekopohjavesilaitos	82
11.5.1	Laitoksen yleiset tiedot	82
11.5.2	Pohjavesialueen hydrogeologiset olosuhteet	83
11.5.2.1	Muodostuman kuvaus	83

11.5.2.2	Pohjaveden esiintyminen ja virtaussuunnat	84
11.5.3	Raakavesi ja esikäsittely	85
11.5.4	Imeytysjärjestelyt ja jälkikäsittely	86
11.5.5	Veden laadun muuttuminen	87
11.5.6	Yleisvaikutelma laitoksen toimivuudesta	88
11.6	Lappeenrannan Huhtiniemen tekopohjavesilaitos	89
11.7	Hämeenlinnan Ahveniston tekopohjavesilaitos	92
11.8	Mikkelin Pursialan tekopohjavesilaitos	94
11.9	Nokian Vihnusjärven tekopohjavesilaitos	96
11.10	Iisalmen Kyllikinrannan tekopohjavesilaitos	98
11.11	Euran Lohiluoman tekopohjavesilaitos	101
11.12	Hyvinkään Hikiän tekopohjavesilaitos	104
11.13	Juvan Hatsolan tekopohjavesilaitos	106
11.14	Kittilän Ylivaaran tekopohjavesilaitos	108
11.15	Sysmän Otamon tekopohjavesilaitos	109
11.16	Evijärven Hietakankaan pohjavedenottamo	111
11.17	Kontiolahden kirkonkylän tekopohjavesilaitos	113
11.18	Puumalan Kitulanniemen pohjavedenottamo	115
11.19	Simon Tikkasenkankaan tekopohjavesilaitos	117
11.20	Nastolan Levonniemen ja Peltolan pohjavedenottamot	118
12	SUUNNITTEILLA OLEVAT TEKOPOHJAVESILAITOKSET	120
12.1	Kymenlaakson Vesi Oy:n hanke	120
12.2	Turun Seudun Vesi Oy:n hanke	121
12.3	Muita hankkeita	121
13	TULOSTEN TARKASTELU	122
14	JOHTOPÄÄTÖKSET	128
	KIRJALLISUUS	130
	LIITTEET	
1	Pintavesien raakavesiluokitus	
2	Tekopohjavesilaitosten toimivuuskyselyn kyselylomake	
3	Talousveden laatutavoitteet. Käyttökelpoisuuteen vaikuttavien aineiden ja ominaisuuksien enimmäispitoisuudet ja rajat. Ote lääkintöhallituksen yleiskirjeestä nro 1862 (30.1.1985)	
4	Talousveden terveydelliset laatuvaatimukset ja laatutavoitteet. Ote lääkintöhallituksen yleiskirjeestä nro 1977 (12.12.1990). Voimaantuloajankohta 15.2.1991	
5	Veden syövyttävyyden arviointi	
6	Yleiskartan merkkien selitykset	

1 JOHDANTO

Pohjavesivarojen käyttö vedenhankinnassa on Suomessa lisääntynyt tasaisesti viimeisten 30 vuoden aikana ja käytön arvioidaan edelleen lisääntyvän. Samalla on kasvanut tarve muodostuvan pohjaveden määrän keinotekoiseen lisäämiseen eli tekopohjaveden muodostamiseen. Vuoden 1989 tilastotietojen mukaan vesilaitosten tuottamasta vesimäärästä on 52 % pohjavettä, jossa 8 % on tekopohjavesilaitosten tuottamaa tekopohjavettä. Tekopohjavesilaitoksia on rakennettu Suomeen vuodesta 1970 lähtien ja tälläkin hetkellä on suunnitteilla useita laitoksia.

Tekopohjaveden muodostamisessa tavoitteina ovat pohjaveden määrän lisääminen ja pintaveden puhdistaminen. On todennäköistä, että tulevaisuudessa pintavesien käytöstä vesilaitosten raakavetenä luovutaan yhä useammalla paikkakunnalla ja pyritään löytämään vedenhankintakäyttöön soveltuvia pohjavesiesiintymiä. Kaikilla alueilla riittävän laajoja pohjavesivarastoja ei kuitenkaan löydy ja tällöin voidaan vedenhankinnan ongelmia ratkaista tekopohjaveden imeytyksellä.

Tekopohjavettä voidaan muodostaa joko epäsuorilla tai suorilla menetelmillä eli rantaimetyksellä tai rakennetuilla imeytysjärjestelyillä, esim. allasimeytyksenä. Tässä selvityksessä on keskitytty käsittelemään tekopohjaveden muodostamista suorilla menetelmillä, mutta on pyritty myös selvittämään tekopohjavesilaitoksilla tapahtuvan rantaimeytymisen määrä. Pelkästään rantaimeytymiseen perustuvat vedenottamot eivät sisälly tähän selvitykseen.

Tekopohjaveden muodostamista on Suomessa tutkittu edellisen kerran SITRA:n yhdyskuntien vesi- ja ympäristöprojektin (YVY) yhteydessä 1970-luvun lopussa. Nyt tehdyn selvityksen päätavoitteena oli kartoittaa Suomessa tällä hetkellä toiminnassa olevat tekopohjavesilaitokset (21 kpl) ja selvittää niiden yleinen toimivuus sekä laitosten tuottaman veden laatu. Samalla pyrittiin tarkastelemaan em. seikkojen riippuvuutta sen pohjavesialueen hydrogeologisista olosuhteista, millä laitos sijaitsee. Aineistoa käsiteltäessä kiinnitettiin erityistä huomiota kunkin tekopohjavesilaitoksen käyttämän raakaveden laatuun, mahdolliseen esikäsitelyyn, imeytystapaan, alueen hydrogeologisiin olosuhteisiin sekä maaperässä tapahtuviin puhdistumisprosesseihin.

Selvityksen ensimmäinen osa on kirjallisuusselvitys, johon on koottu tietoa tekopohjaveden imeytyksen menetelmistä sekä tekopohjaveden laatuun vaikuttavista tekijöistä. Toisessa osassa on raportoitu syksyllä 1990 tekopohjavesilaitoksille tehdyn toimivuuskyselyn, laitoskäyntien ja maastotutkimusten tulokset.

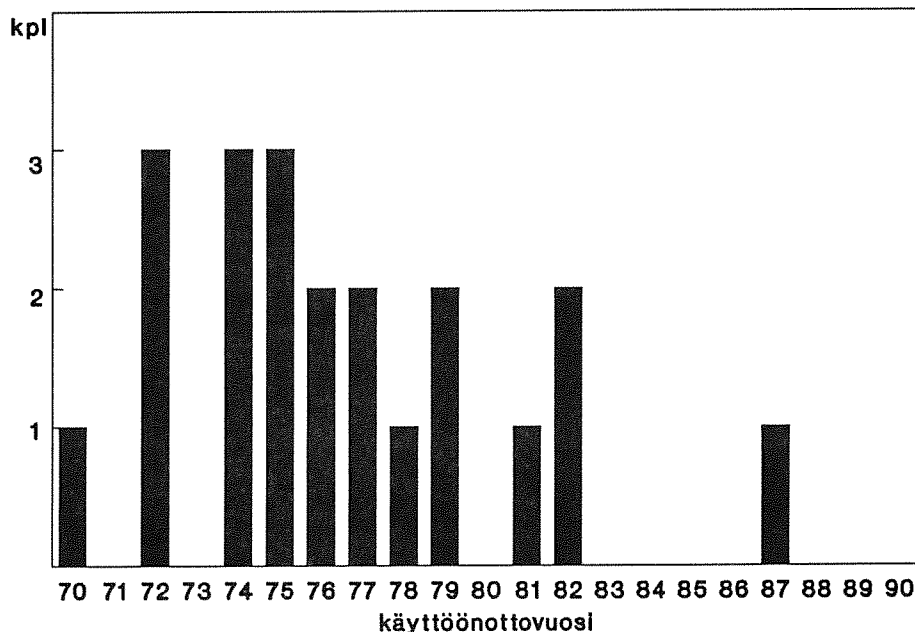
2 TEKOPOHJAVEDEN MUODOSTAMISEN HISTORIAA

Tekopohjaveden muodostamista on Euroopassa harjoitettu 1800-luvun alusta lähtien. Vuonna 1810 Glasgow Waterworks Company Skotlannissa aloitti ensimmäiset rantaimeytyskokeilut. Englannissa Simpson esitteli vuonna 1825 hidassuodatusmenetelmän ja muutamaa vuotta myöhemmin useat Englannin kaupungit olivat ottaneet käyttöön suoran tekopohjaveden imeytysmenetelmän.

Saksassa Thiem oli ensimmäinen rantaimeytyksen teorian kehittäjä. 1890-luvun alussa Thiemin perustama vesilaitos Essenissä perustui rantaimeytymiseen. Thiemin oppilas Richert suunnitteli Göteborgiin vuonna 1898 allasimeytykseen perustuvan tekopohjavesilaitoksen, jossa altaan pinta-ala oli 500 m^2 , hydraulinen pintakuorma $0,05 \text{ m h}^{-1}$, matka imeytysalueelta kaivolle 200 m ja viipymä 2 – 3 kk. Richert julkaisi tuloksensa v. 1900 ja häntä pidetäänkin tekopohjaveden muodostamisen pioneerina.

Vuosien 1892 – 1893 Hampurin koleraepidemian jälkeen pintaveden käyttö juomavedenä väheni. Vuosi 1911 oli Saksassa kuiva vuosi ja Dortmundissa oli tällöin aloitettava Ruhrin jokiveden rantaimeytys. Ensimmäiset varsinaiset tekopohjavesilaitokset rakennettiin Saksaan Richertin menetelmän mukaan. Tekopohjavettä on imeytetty Halternissa vuodesta 1915, Berliinissä vuodesta 1916, Wiesbadenissa ja Frankfurtissa vuodesta 1921 sekä Hampurissa vuodesta 1928 lähtien. Entisen Saksan liittotasavallan alueella on nykyään käytetystä juomavedestä 90 % pohjavettä; 320 vesilaitosta hyödyntää rantaimeytymistä ja 122 laitoksella imeytetään tekopohjavettä. Tekopohjavesilaitosten osuus kaikista vesilaitoksista on vain 0,7 %, mutta niiden tuottaman vesimäärän osuus kaikkien laitosten vesimäärästä on n. 10 % (Frank, 1982).

Hollannissa tekopohjaveden muodostaminen aloitettiin v. 1901, mutta suurempaa merkitystä menetelmä sai vasta myöhemmin. Alueen pohjavesiesiintymille on tyypillistä, että vettä esiintyy useassa eri kerroksessa ja alimpana on suolaista vettä. Tekopohjaveden imeytys on eräs keino estää suolaisemman veden nousu ja sekoittuminen pumpattavaan pohjaveteen. Hollannin länsiosan suurissa keskuksissa imeytystä on käytetty 1950-luvulta lähtien. Nykyään monet kaupungit ovat riippuvaisia tekopohjavedestä, joka muodostetaan joko rantaimeytyksellä tai imeyttämällä jokivettä dyynialueille (Puffelen, 1982).

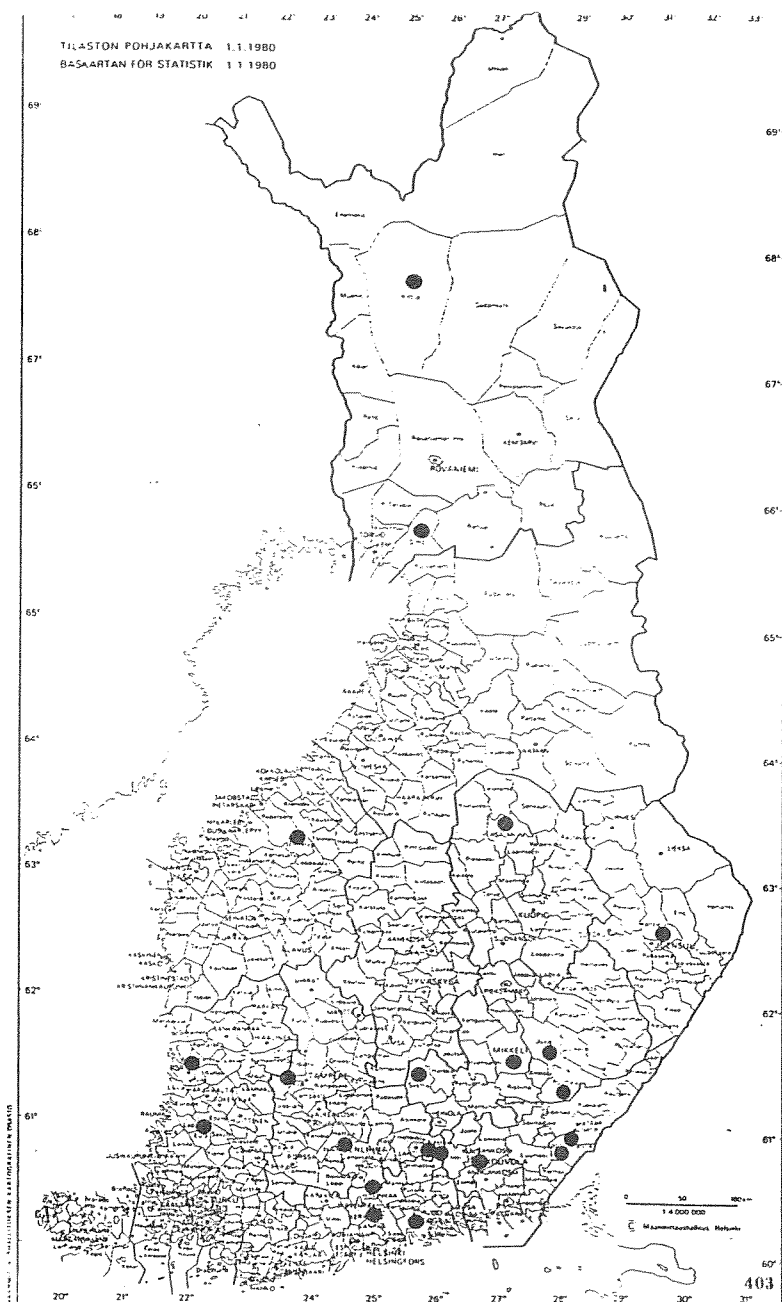


Kuva 1. Suomessa käyttöönotettujen tekopohjavesilaitosten määrä vuosittain

Suomessa ensimmäiset tekopohjaveden imeytyskokeet tehtiin vuosina 1912 – 1914 Tikkurilanharjun alueella. Keravanjoen vettä imeytettiin $1\,000 - 1\,600 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Tällöin

todettiin kuitenkin, että humuksen värjäämä rautapitoinen jokivesi ei puhdistu maaperässä riittävästi, joten menetelmää ei otettu käyttöön (Lillja, 1938). Ensimmäinen varsinainen imeytysaltaita käyttävä tekopohjavesilaitos oli Hanhikempin laitos Lappeenrannassa, joka aloitti toimintansa v. 1970. Vuosina 1970 – 1980 perustettiin Suomeen 16 tekopohjavesilaitosta, joissa miltei kaikissa on käytössä allasimeytys (kuva 1).

Tällä hetkellä Suomessa on kaikkiaan 21 tekopohjavesilaitosta (kuva 2). Tosin kahdessa näistä eli Nastolassa Levonniemen ja Peltolan vedenottamoilla ei ole ollut tarvetta imeytykseen vuoden 1980 jälkeen. Tekopohjavesilaitosten tuottaman vesimäärän osuus vesihuoltolaitosten jakamasta vesimäärästä on vuoden 1989 tilastojen mukaan 8 %. Imeytettävä vesimäärä laitoksilla on 150 – 23 000 m³ d⁻¹ ja vedenottamolta pumpattava vesimäärä 180 – 26 000 m³ d⁻¹.



Kuva 2. Suomen tekopohjavesilaitokset, joihin tehtiin toimivuuskysely syksyllä 1990.

3 IMEYTTÄMISMENETELMÄT

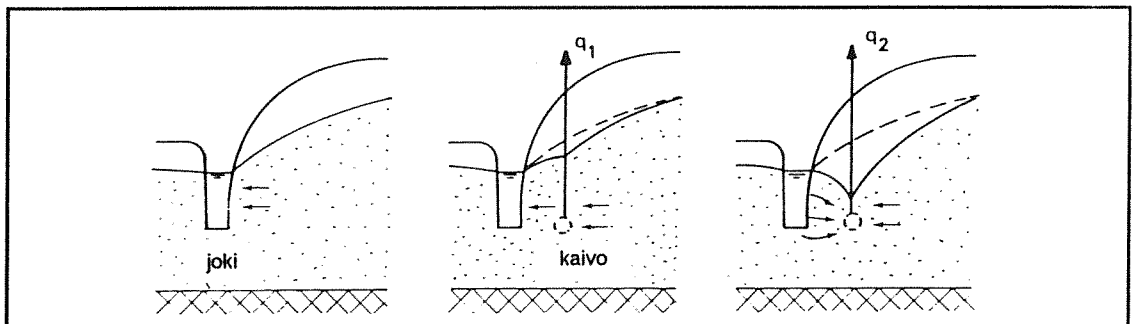
Tekopohjaveden imeyttämismenetelmät voidaan jakaa kahteen pääluokkaan (Huisman ja Olsthoorn, 1983):

1. **Epäsuora menetelmä;** pohjaveden muodostumista lisätään sijoittamalla kaivot muodostumassa lähelle pintavesistöä, jolloin alentamalla keinotekoisesti pohjavedenpinnan korkeutta aiheutetaan pintaveden imeytyminen maaperään.
2. **Suora menetelmä;** pintavettä johdetaan pohjavesialueelle ja imeytetään.

Epäsuorasta menetelmästä käytetään myös nimitystä indusoitu imeytys. Epäsuoraan imeytysmenetelmään perustuva vedenotto on käytössä esim. Kuopiossa. Useiden tutkijoiden mukaan epäsuorilla imeyttämismenetelmillä tapahtuvaa pohjaveden määrän säätelyä eli rantaimetytystä ei lueta tekopohjaveden valmistukseksi (Koskinen, 1975). Tekopohjaveden muodostamisesta puhuttaessa onkin syytä aina täsmentää, onko kysymys pelkästään suorista menetelmistä vai käsitelläänkö myös rantaimetytystä.

3.1 Epäsuorat menetelmät

Rantaimetyksessä sijoitetaan kaivot rannansuuntaiseen rivistöön n. 50 m:n etäisyydelle joen tai järven rannasta. Kun kaivoista pumpataan riittävän suuria määriä luonnollista pohjavettä, alenee pohjavedenpinta alle järven vedenpinnan ja pintavettä alkaa imeytyä maaperään. Kun pumppausta edelleen tehostetaan, on tuloksena se, että ainoastaan pieni osa pumpattavasta vesimäärästä on luonnollista pohjavettä ja valtaosa on rantaimetyksen kautta muodostunutta tekopohjavettä (kuva 3).



Kuva 3. Rantaimetyksessä. A. Pohjavettä purkautuu jokeen. B. Kaivosta pumpataan pieniä määriä pohjavettä, jolloin jokeen purkautuvan pohjaveden määrä pienenee. C. Tehostetun pumppauksen seurauksena pohjavedenpinta alenee ja jokivesi alkaa rantaimetytyä akviferiin. (Huisman ja Olsthoorn, 1983, s.12).

Pohjavesivarojen lisääminen rantaimetyksellä onnistuu, jos rantaviiva koostuu vettä hyvin läpäisevästä karkeasta maalajista. Ongelmia saattaa kuitenkin esiintyä; pintavesi sisältää runsaasti suspendoituneita ainesosia, jotka suotautuvat rantatörmän pinnalle muodostaen läpäisemättömän kerroksen (engl. filter skin). Tämä kerros heikentää imeytymistä. Jos pumppaus kuitenkin jatkuu vakioteholla, on seurauksena pohjaveden-

pinnan lasku. Rantatörmän puhdistaminen on kallista ja hankalaa, joten usein on kannattavampaa siirtyä suoraan imeyttämismenetelmään (Huisman ja Olsthoorn, 1983).

Merkittävimmät syyt rantaimetyksen riskialttiuteen ovat pintavesien saastuneisuus ja mahdolliset äkilliset likaantumistapaukset esim. teollisuuspäästöjen yhteydessä. Tällöin olisi pystyttävä estämään imeytyminen, mutta useinkaan se ei ole mahdollista. Seurauksena on akviferin likaantuminen käyttökelvottomaksi. Maaperän puhdistustoimenpiteet ovat hankalia ja aikaa vaativia (Huisman ja Olsthoorn, 1983).

3.2 Suorat menetelmät

Vaikka rantaimetyks on helppo ja edullinen tapa toteuttaa, Huismanin ja Olsthoornin (1983) mukaan suorissa menetelmissä on kuitenkin monia hyviä puolia, joiden ansiosta suorat menetelmät ovat käytännössä parempia:

1. Raakavesilähde voi sijaita kaukana imeytysalueena olevasta pohjavesialueesta, joten kustannukset huomioon ottaen voidaan etsiä laadullisesti paras raakavesilähde ja tarpeen tullen myös vaihtaa sitä.
2. Ennen imeytystä voidaan suorittaa esikäsitely, jolla poistetaan vedestä altaan tukkeutumista aiheuttava suspendoitunut aines sekä muut veden laatua heikentävät tekijät.
3. Jos altaan tukkeutumista tapahtuu, voidaan aines helposti puhdistaa antamalla altaan pohjan kuivua ja kaapimalla ohut pohjakerros pois.
4. Jos esiintyy lyhyitä ajanjaksoja, jolloin pintaveden laatu heikkenee (esim. sinileväkukinnot), imeytys voidaan keskeyttää vaikka pumppaamista jatketaankin, koska pohjavesiesiintymään on kertynyt pohjavesivarasto.

Suorat imeyttämismenetelmät voidaan jakaa usean tyyppisiin menetelmiin (Koskinen, 1976):

Pintaimeytys

- allasimeytys
- ojaimeytys
- rinneimeytys
- sadetus
- uomaimetyks

Syväimeytys

- kuiluimeytys
- kuoppaimetyks
- kaivoimeytys
- monitoimikaivot

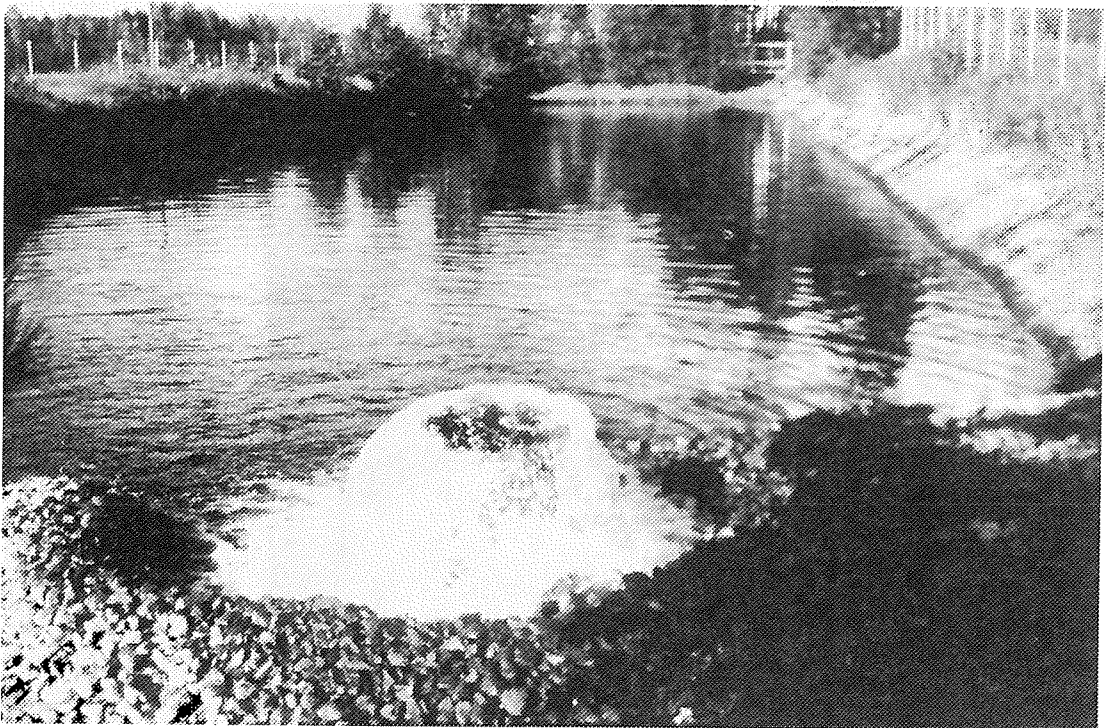
Huisman ja Olsthoorn (1983) jakavat suorat menetelmät kolmeen luokkaan:

- I Jos pohjavesiesiintymän pinta ulottuu lähelle maanpintaa, imeytys voidaan järjestää pintaimeytysmenetelmillä (allas-, oja- ja rinneimeytys sekä sadetus).
- II Jos pohjavesiesiintymän pinta on kohtalaisen syvällä, imeytys voidaan järjestää kuoppa- tai kuiluimeytyksenä.
- III Jos pohjavedenpinnan päällä ovat paksut ja tiiviit maakerrokset, soveltuu menetelmäksi veden injektointi suoraan akviferiin kaivoimeytyksellä.

3.2.1 Allasimeytys

Allasimeytys on Suomessa yleisin tapa toteuttaa tekopohjaveden imeytys; 15 laitoksella imeytys toteutetaan allasimeytyksenä. Muita Suomessa käytössä olevia imeytysmenetelmiä ovat sadetus ja kuoppaimeytys.

Saaren (1967) mukaan altaan pohja peitetään n. 0,5 m paksulla raekooltaan hidasuodatinhiekkaa vastaavalla hiekkakerroksella. Allas tulee sijoittaa mahdollisimman korkealle luonnollisen pohjavedenpinnan yläpuolelle, jotta imeytetty vesi ehtii puhdistua ennen kuin se sekoittuu pohjaveteen. Ruotsin laitoksilla altaan pohjan ja pohjavedenpinnan välillä on yleensä ainesta 5 – 30 m.



Kuva 4. Allasimeytystä Porin Harjakankaalla.

Altaita rakennetaan yleensä useita, jotta mahdollisen tukkeutumisen ja puhdistuksen aikana ei imeytystä tarvitse kokonaan keskeyttää. Altaat tehdään yleensä suorakaiteen muotoisiksi ja niiden koko on 200 – 1 000 m² (kuva 4). Tavallisesti ovat altaiden reunat maa-ainesta, jolloin reunaluiskan kaltevuus saa olla korkeintaan 1 : 1,5 (Wihuri, 1975). Ristolan (1965) suosittelema kaltevuus on 1 : 2. Altaiden reunojen rakentaminen betonista nostaa rakentamiskustannuksia, mutta säästää tilaa imeytysalueella ja helpottaa koneellista puhdistusta. Raakaveden syöttöputki johdetaan yleensä altaan keskelle (Wihuri, 1975). Vesi voidaan johtaa altaisiin myös reunoilla sijaitsevista kolmioaukoista, joista on samalla helppo mitata imeytettävä vesimäärä (Ristola, 1965). Pääasia on, että altaisiin johdettaessa vesi ilmastetaan hyvin riittävän happipitoisuuden saavuttamiseksi. Ilmastus voidaan suorittaa putous- eli kaskadi-ilmastuksena, kuten esim. Kouvolassa (kuva 5) tai pumppaamalla raakavesi altaisiin korkealle sijoitetun putken kautta. Putken ympärille kasataan karkeaa soraa ja kiviä, jotta vesi roiskuessaan vielä ilmastuisi tehokkaasti. Sadetus on myös tehokas tapa ilmastaa vesi.

Tarvittavan allaspinta-alan laskemiseksi on Wihuri (1975) esittänyt kaavan:

$$S = F \cdot k/2 \cdot (h + u)/h , \text{ missä}$$

S = suodatettava vesimäärä ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)

F = allaspinta-ala (m^2)

k = vedenläpäisevyyskerroin (m s^{-1})

h = etäisyys altaan pohjasta pohjavedenpintaan (m)

u = vesipatjan paksuus altaassa (m)



Kuva 5. Kaskadi-ilmastusta Kouvolan Haukkajärven tekopohjavesilaitoksella.

Vesipatjan paksuus altaassa on yleensä 0,6 – 1,0 m. Joillakin laitoksilla pyritään ehkäisemään leväkasvustojen aiheuttama tukkeutuminen antamalla vedenpinnan altaissa välillä laskea niin alas, että altaan pohja on miltei kuiva. Imeytysaltaan suodatusnopeus on yleensä 0,1 – 0,2 m h^{-1} (Ristola, 1965; Wihuri, 1975).

Allasimeytykseen liittyvä suurin ongelma on altaiden tukkeutuminen, jonka seurauksena imeytymisnopeus pienenee. Laitoksen toiminnan varmistamiseksi on altaat puhdis-

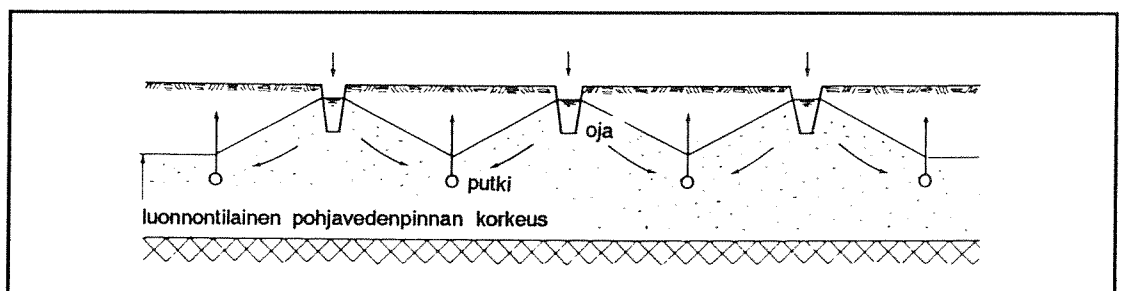
tettava säännöllisin väliajoin. Raakaveden laatu vaikuttaa ratkaisevasti siihen, kuinka usein puhdistus on tarpeellinen. Siten mitään pätevää sääntöä ei puhdistustaajuudelle voida antaa, mutta keskimääräinen arvio on kaksi kertaa vuodessa. Puhdistus voidaan suorittaa joko lapiomalla tai kaapimalla koneellisesti altaan pohjalta ohut kerros ainesta pois. Muutamien puhdistuskertojen jälkeen on syytä levittää altaan pohjalle uusi suodatinhiekkakerros, mikäli muodostuman luonnollinen aines ei ole suodatinhiekkaksi soveltuvaa. Joillakin laitoksilla pohja äestetään ajoittain tukkeutumisen hidastamiseksi.

3.2.2 Oja- ja uomameiyty

Ojaimetyksessä imeyttäminen tapahtuu keinotekoisista ojastoista, jotka voidaan luokitella kolmeen luokkaan (Koskinen, 1976):

1. maaperän pinnanmuotoja myötäilevät ojastot
2. lateraaliojastot, joissa sivuojat haaroittuvat yhdensuuntaisesti pääojasta
3. puumaisesti haaroittuvat ojastot.

Veden virtaamisnopeus tulee säätää ojissa esteillä tai maaperän kaltevuuksien valinnalla siten, että lietteet eivät sedimentoidu eikä virtauserosiota pääse tapahtumaan. Huismanin ja Olsthoornin (1983) mukaan ojaimetystä kannattaa käyttää silloin, kun imeytymisnopeus on suuri ja akviferi on matala eli huokoista maa-ainesta on ohut kerros. Imeytetyn veden keruuseen käytetyt kaivot tai salaojaputket kannattaa sijoittaa ojaston kanssa vuorotellen ja rinnakkain (kuva 6). Suomessa ei ole käyttökokemuksia ojaimetyksestä, mutta esim. Hampurin Curslackin tekopohjavesilaitoksella, jonka kapasiteetti on $100\,000\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$, raakavesi imeytetään maaperään 22 km^2 :n suuruisella imeytysalueella yli 700 km pitkän imeytysojaston avulla. Uomaimetyys (engl. natural canal recharge) tarkoittaa sitä, että imeytys suoritetaan valmiista luonnon muokkaamista uomista. Järjestelmällisessä tekopohjaveden muodostamisessa ei ainakaan Suomessa käytetä uomaimetyystä.



Kuva 6. Ojaimetyys. Imeytysojien ja veden keruuputkiston sijoittelu (Huisman ja Olsthoorn, 1983, s.18).

3.2.3 Sadetus

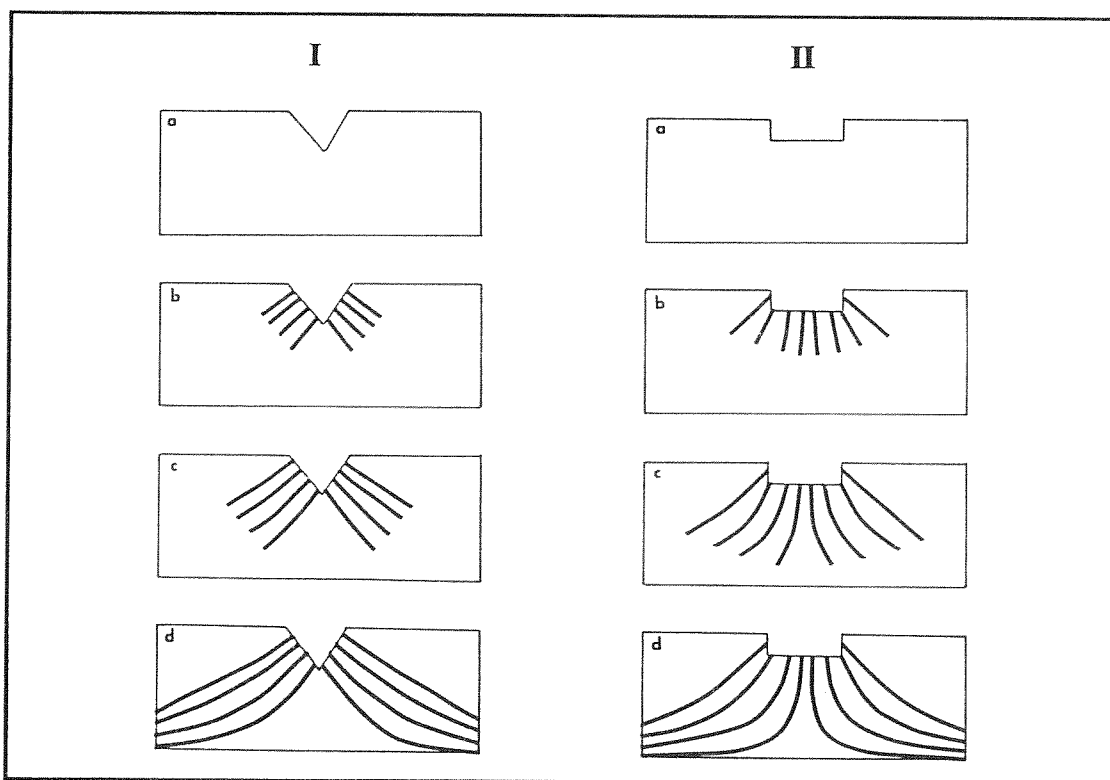
Yksinkertaisimpia menetelmiä imeytyksen toteuttamiseksi on sadetus. Menetelmä on Suomessa käytössä Porvoon, Nokian, Euran sekä Lappeenrannan Hanhikemпин tekopohjavesilaitoksilla. Raakavesi johdetaan miltei luonnontilaisen harjun laelle rei'itettyyn muoviputkeen, josta vesi joko valuu rinteeseen (ns. rinneimeytyys) tai sadettuu

kapeina suihkuina. Nokiolla rei'itetty putki on peitetty sepelillä ja vesi valuu putkesta suoraan maahan.

Sadetus kannattaa sijoittaa luonnontilaiseen harjumaastoon, koska pohjakerroksen kasvillisuus edesauttaa puhdistumista. Kasvillisuuden poistaminen saattaa edistää maanpinnan liettymistä, mikä heikentää vedenläpäisevyyttä. Sadetus on imeytysmenetelmänä halpa eikä vaadi erityisiä huoltotoimenpiteitä, mutta pohjavesivaraston lisäämisessä ei saavuteta samaa tehokkuutta kuin allasimeytyksessä.

3.2.4 Kuoppa- ja kuiluimeytys

Syväimeytysmenetelmillä tekopohjavettä muodostetaan silloin, kun pohjavedenpinnan yläpuoliset maakerrokset ovat huonosti vettäläpäisevää maalajia. Raakavesi johdetaan kaivoilla, kuiluilla sekä maahan kaivetuilla kuopilla lähelle pohjavedenpintaa. Tällöin raakaveden laadulle asetetaan huomattavasti korkeammat vaatimukset kuin pintaimetyksessä (Koskinen, 1975). Kuiluimeytyksessä käytetään kapeaa pystyseinäistä kaivantoa, jonka pohjalla on kerros soraa. Kuilun seinämät on syytä lujittaa sortumien estämiseksi (Huisman ja Olsthoorn, 1983).



Kuva 7. Imeytetyn veden kulkeutuminen maaperässä. I. Kaltevaseinäisestä altaasta imeytyneen veden virtaus a) 0 min, b) 1 min 30 sek, c) 2 min 45 sek ja d) 18 min 45 sek kuluttua imeytymisen alkamisesta. II. Pystyseinäisestä altaasta imeytyneen veden virtaus a) 0 min, b) 1 min 30 sek, c) 3 min ja d) 26 min kuluttua imeytymisen alkamisesta (Lehr, 1964).

Kuopan muodon on todettu vaikuttavan imeytyksen tehokkuuteen. Lehrin (1964) mukaan vesi imeytyy kuopan reunoilta nopeammin kuin pohjalta, joten edullisinta olisi

käyttää kaltevaseinäistä (V-muotoista) kuoppaa tasapohjaisen ja pystyseinäisen sijasta. Ero imeytymisnopeudessa selittyy seuraavalla teorialla: virtauksen etenemisnopeus pohjavedenpinnan tasoon asti riippuu reitin pituudesta L, aineksen vedenläpäisevyyskertoimesta P, poikkileikkauspinta-alasta A sekä hydraulisesta paine-erosta h. Muuttujien riippuvuussuhteen ilmoittaa yhtälö, joka on yhtäpitävä Darcyn lain kanssa.

$$Q = h / (P \cdot L \cdot A)$$

Kuopan kaltevilta reunoilta vesi kulkeutuu pohjavedenpinnan tasoon nopeammin kuin vaakasuoralta pohjalta, koska reunoilta kulkee suorin reitti alhaisimpaan hydraulisen paineen tasoon (kuva 7). Lähtötilanteessa virtaus suuntautuu kohtisuoraan ekvipotentialiivivoja vastaan, joiden suunta puolestaan yhtyy samansuuntaiseksi imeytyspinnan kanssa. Tästä seuraa, että pystyseinäisen kuopan vaakasuoralta pohjalta imeytyneen veden virtaus tapahtuu aluksi pystysuoraan alas. Lyhyen imeytymismatkan jälkeen virtaus kääntyy vähitellen suoraan kohti "pohjavesikummun" reunoja eli alhaisinta hydraulista painetta. Siten virtausreitti on monimutkaisempi pystyseinäisessä altaasta kuin kaltevaseinäisessä eli pohjavesivaraston kasvu on hitaampaa. Tosin Lehr (1964) toteaa, että ero ei ole merkittävän suuri; virtausmatka on pystyseinäisestä altaasta keskimäärin 3 % pidempi. Virtausnopeuteen saattaa vaikuttaa myös muodostuman kerroksellisesta rakenteesta johtuva suurempi horisontaalinen kuin vertikaalinen vedenläpäisevyys, minkä vaikutuksesta kuopan reunoilta imeytyminen on nopeampaa kuin pohjalta. Lisäksi jos kuopan pohjalla on silttinen välikerros, estää se pystyseinäisessä kuopassa imeytymisen laajalta alueelta, kun taas kaltevaseinäisessä kuopassa imeytyminen estyy vain kapeassa kärkiosassa.

Huismanin ja Olsthoornin (1983) mukaan kuoppaimetyksen tehokkuus on heikko ja kustannukset suuret verrattuna tuloksiin, joten sitä käytetään yleensä vain silloin, kun kaivanto on jo valmiina olemassa, esim. sorakuopissa ja kaivoksissa.

3.2.5 Kaivoimeytys ja monitoimikaivot

Raakaveden injektointi on tarpeen toteuttaa kaivoimeytyksenä silloin, kun pohjavedenpinnan yläpuolella on paksusti vettä läpäisemätöntä ainesta. Kaivoimeytyksen huonoin puoli on suuri tukkeutumisen vaara. Vaikka tukkeutumista voidaan ehkäistä esikäsitteilyllä, nostaa se huomattavasti kustannuksia. Sniegocki ja Brown (1970) luettelevat kaivojen tukkeutumista aiheuttavia tekijöitä: raakaveden sisältämät lietteet, maaperään sitoutuvat vapaat kaasut, bakteerikasvustot, pohjaveden ja imeytetyn raakaveden välisten kemiallisten reaktioiden synnyttämät mineraalisaostumat, savikoloidien paisuminen sekä ioninvaihtoreaktioiden aiheuttama savihiukkasten liettyminen, painenvaihteluiden aiheuttamat maaperän mekaaniset häiriöt sekä hapetus-pelkistysreaktioiden aiheuttama raudan ja mangaanin saostuminen.

Vaikka kaivon tukkeutuminen voidaan korjata puhdistamalla kaivo, ei kaikkia vedenläpäisevyyttä heikentäviä tekijöitä saada poistettua. Mitä kauemmin kaivo on ollut käytössä, sitä lyhyemmässä ajassa tapahtuu uusi tukkeutuminen. Tällöin on taloudellisesti kannattavampaa rakentaa uusi kaivo kuin puhdistaa jatkuvasti vanhoja.

4 TEKOPOHJAVEDEN IMEYTYKSEEN KÄYTETTÄVÄ RAAKAVESI

4.1 Raakaveden laatuvaatimukset

Raakavedelle on vaikea asettaa tarkkoja laatuvaatimuksia, koska ne vaihtelevat riippuen siitä, kuuluuko veden käsittelyyn pelkkä imeytys vai liittyykö käsittelyyn myös esi- tai jälkikäsittely. Suomen tekopohjavesilaitoksista ainoastaan kahdessa tehdään raakavedelle esikäsittely, mutta jälkikäsittely tehdään valtaosassa laitoksista. Monilla laitoksilla imeytys ja vedenotto on sijoitettu varsin suppealle alueelle, jolloin imeytetyn veden viipymä maaperässä jää liian lyhyeksi; jopa alle 7 d. Jälkikäsittely on useimmilla laitoksilla melko yksinkertainen; pH:n säätö kalkilla tai natriumhydroksidilla. Näistä syistä johtuen tulisi Suomessa noudattaa melko korkeita laatuvaatimuksia, jotta laitoksilta lähtevä käyttövesi olisi laadultaan hyvää.

Raakavesilähdettä valittaessa on raakaveden laadun ohella otettava huomioon vesistön yleiset ominaisuudet. On tunnettava vesistön valuma-alueen laajuus ja sen maankäyttömuodot, vesistön syvyysuhteet, muut vesistön käyttäjät sekä vesistöä koskevat mahdolliset yleissuunnitelmat. Saatavissa olevan raakaveden määrä lasketaan valuma-alueen pinta-alan, vesistön purkumittausten ja vedenkorkeusmittausten perusteella. Jos pintavesistön antoisuus ei riitä tasaiseen suureen vedenottomäärään, voidaan runsaan veden aikana imeyttää raakavettä "ylimäärin" ja vähäisen veden aikana vähentää imeytystä ja pumpata käyttöön pohjavesiesiintymään varastoituneita vesimääriä. Kun määritetään pumppausaseman sijainti ja tarkka vedenottoaika, tulee ottaa huomioon vesistön terminen kerrostuneisuus. Jos vesistöön syntyy kerrostuneisuutta, on alusvesi yleensä tasalämpöisempää ja muutenkin laadultaan tasaisempaa kuin päällysvesi. Toisaalta jos vesistön ravinnekuormitus on suuri, saattaa alusvesi olla hapettomassa tilassa ja sen vuoksi sisältää liuenneita epäpuhtauksia, kuten rautaa ja mangaania. Tällöin kannattaa vedenotto sijoittaa päällysvesikerrokseen (Iihola, 1975).

Kaupunkiliiton julkaisussa B 192 "Vesilaitosten raakaveden laatuoluokitus" (1984) on pintavedet luokiteltu viiteen raakavesiluokkaan ja kullekin luokalle on määritelty raakaveden käsittelytarve. Esitetyt käsittelymenetelmät on määritelty sellaisiksi, että kuhunkin luokkaan kuuluva raakavesi muuttuu käsittelyssä vähintään lääkintöhallituksen laatuvaatimukset ja -tavoitteet täyttäväksi vesijohtovedeksi. Liitteessä 1 on esitetty pintavesien raakavesiluokitus, luokkien kuvaus, muuttujien raja-arvot sekä raakaveden käsittelytarve. Koska raakaveden puhdistuminen imeytyksessä riippuu laadun lisäksi alueen hydrogeologisista olosuhteista, vuodenaikasta sekä imeytetyn veden ja luonnollisen pohjaveden suhteesta, tulee raakaveden soveltuvuus tekopohjaveden imeytykseen harkita tapauskohtaisesti.

Raakavesilähdettä valittaessa tulee Iiholan mukaan (1975) kiinnittää huomiota seuraaviin laatuominaisuuksiin:

1. fysikaaliset laatuominaisuudet: kiintoainepitoisuus, sameus, väri, epäorgaanisten ja orgaanisten partikkelien määrä, haju, maku ja lämpötila.

2. kemialliset laatuominaisuudet: KMnO_4 -luku, hapen kyllästysaste, hiilidioksidin määrä, rauta- ja mangaanipitoisuus, typpiyhdisteiden määrä, fosfaattien ja sulfaattien määrä, kloridipitoisuus, pH, alkaliteetti, fenoliyhdisteet ja raskasmetallit.

3. biologiset laatuominaisuudet: biomassan määrä, perustuotantokyky ja bakteerien määrä.

Tärkeimpiä ominaisuuksia, jotka vaikuttavat raakaveden kelpoisuuteen, ovat orgaanisen aineksen määrä, väri sekä ravinteiden ja kiintoaineen määrä. Jos raakaveden KMnO_4 -luku on alle 40 mg l^{-1} (luokat I ja II), voidaan vettä käyttää sellaisenaan tekopohjaveden muodostamiseen, mikäli viipymä on 45 – 60 d. Jos raakaveden KMnO_4 -luku jää alle 20 mg l^{-1} , voi viipymä olla vain 30 – 45 d. Toisaalta viipymän kasvaessa yli 45 d:n voidaan käyttää sellaistaakin raakavettä, jonka KMnO_4 -luku on 30 – 50 mg l^{-1} . Kiintoaineen määrä raakavedessä ei saa olla korkea, koska kiintoaineshiukkaset edistävät suodatinaineksen tukkeutumista. Jos happea kuluttavien aineiden määrä raakavedessä on korkea, kuluu veteen liuennut happi nopeasti loppuun ja imeytetty vesi alkaa pelkistyä. Pelkistymisen seurauksena on raudan ja mangaanin liukeneminen veteen. Biologisilta ominaisuuksiltaan raakavesilähteen tulisi olla karu tai enintään lievästi rehevä. Raakavetenä voidaan tarvittaessa käyttää em. ominaisuuksiltaan kehnompakin joki- tai järvivettä, mikäli imeytetyn tekopohjaveden määrä on pieni verrattuna pohjavesiesiintymän luonnollisen pohjaveden määrään (Kau-punkiliiton julkaisu B 192, 1984).

Raakaveden biologisista ominaisuuksista bakteerien määrä analysoidaan vesilaitoksilla melko säännöllisesti. Yleisimmin määritetään fekaalisten koliformisten ja koliformisten bakteerien määrä. Olisi suositeltavaa, että tekopohjaveden imeytykseen käytettävässä raakavedessä ei näitä indikaattoribakteereja esiintyisi ollenkaan, koska veden lyhytaikainen kulkeutuminen karkeassa mineraalaineksessa ei välttämättä riitä bakteerien tuhoutumiseen. Mikäli bakteereja raakavedessä havaitaan, on syytä lisätä veden käsittelyyn desinfiointimahdollisuus ja pyrkiä löytämään likaava tekijä.

4.2 Laadultaan huonon raakaveden aiheuttamia ongelmia imeytyksessä

Vaikka imeytettävälle vedelle on asetettu teoreettiset laatuavoitteet ja raakavetenä pyritään käyttämään mahdollisimman puhdasta pintavettä, on joskus tyydyttävä imeyttämään heikkolaatuisempaa raakavettä. Esimerkiksi Pohjanmaalla, missä on runsaasti suoalueita, ovat pintavedet hyvin humuspitoisia. Pintavesissä saattaa myös tapahtua äkillisiä ja tilapäisiä likaantumishätköjä, joita ei havaita ajoissa tai likaantunutta raakavesilähdettä ei pystytä nopeasti vaihtamaan. Sinileväesiintymät aiheuttavat ongelmia kesäisin tukkimalla imeytysaltaissa maaperän pintaosan huokokset, mutta niistä saattaa aiheutua myös terveydellinen riski.

4.2.1 Suodatinaineksen tukkeutuminen

Suodatinaineksen tukkeutuminen on tekopohjavesilaitoksilla hyvin yleinen ongelma. Tukkeutumista tapahtuu, vaikka raakavesi olisi laadultaan hyvää. Koska Suomen tekopohjavesilaitoksilla käytetään yleisimmin allasimeytystä, ei aineksen tukkeutuminen ole niin suuri ongelma kuin esim. kaivoimeytystä käytettäessä. Tukkeutuminen estetään altaiden pohjien säännöllisellä puhdistuksella. Ongelmallisena tukkeutumista voidaan pitää silloin, kun muodostuman pohjavesivarasto on pieni ja tukkeutuminen tapahtuu hyvin lyhyessä ajassa. Jos käytössä on vain yksi imeytysallas, joudutaan imeytys keskeyttämään puhdistuksen ajaksi ja hyödyntämään syntynyttä pohjavesiva-

rastoa. Lisäksi usein toistuvat puhdistustoimenpiteet nostavat laitoksen huoltokustannuksia.

Altaan pohjalla olevan aineksen tukkeutuminen ja sen seurauksena imeytymisen hidastuminen johtuu useista syistä (Huisman ja Olsthoorn, 1983):

1. Raakavedessä olevat suspendoituneet hiukkaset pidättyvät mineraaliaineksen huokosiin.
2. Runsaravinteisessa imeytysvedessä levät ja erilaiset bakteerit muodostavat laajoja esiintymiä altaisiin.
3. Liuenneena ja sekoittuneena olleet kaasut vapautuvat imeytyneestä vedestä tukkien huokosia.
4. Liuenneena olevia alkuaineita saostuu koostumukseltaan erilaisten tekopohjaveden ja luonnollisen pohjaveden sekoituessa.

Tukkeutumislmiö voidaan jakaa ulkoiseen ja sisäiseen tukkeutumiseen. Ulkoinen tukkeutuminen johtuu hienoaineksen sedimentoitumisesta suodatinaineksen pinnalle ja sen jälkeen tapahtuvista biologisista ja kemiallisista prosesseista. Sisäinen tukkeutuminen tapahtuu, kun imeytyneen veden mukana kulkeutuu materiaalia suodatinaineksen huokostiloihin (Huppmann ja Kohm, 1982). Vedenläpäisevyyteen ratkaisevasti vaikuttava tukkeutuminen tapahtuu yleensä aineksen pintaosassa 5 cm:n syvyyteen asti. Valtaosa hivenaineista pidättyy myös tähän pintaosaan, tosin esim. Zn ja Ni kulkeutuvat syvemmälle (Hrubec, 1982).

Pintaveden laatuomuttujista vaikuttavat tukkeutumiseen mm. sameus ja rautapitoisuus. Sameus indikoi suspendoituneiden hiukkasten määrää. Raakaveden rautapitoisuus vaikuttaa tukkeutumiseen, koska hapetus-pelkistysolosuhteiden muuttuessa ja vesien sekoituessa saattaa syntyä rautasaostumia (Hrubec, 1982). Rauta- ja mangaanibakteerit muodostavat hapettoman ja happipitoisen veden rajalle tiheän kasvuston, johon rautapitoisen pelkistyneen pohjaveden rauta ja mangaani pidättyvät nopeasti. Rautasaostumat yksinään eivät kuitenkaan merkittävästi aiheuta tukkeutumista (Koskinen, 1975).

Imeytysaltaissa levien kasvu lisääntyy jo alhaisissa ravinnepitoisuuksissa. Fosfaattipitoisuus $0,03 \text{ mg l}^{-1}$ riittää aktivoimaan levien lisääntymistä. Toisaalta levien kasvu saattaa alkaa pienilläkin fosfaattipitoisuuksilla, jos imeytetään suuria vesimääriä ja fosfaattikuormitus imeytyspinta-alayksikköä kohti kasvaa suunnilleen arvoon $75 \text{ g PO}_4 \text{ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$. Kun levät kuolevat, ne muodostavat suodattimen pinnalle imeytymistä hidastavan kerroksen. Osa levistä voi kulkeutua syvälle maaperään (Hrubec, 1982).

Maaperässä olevat bakteerit ja muut mikrobit saattavat nopealla lisääntymisellä ja kasvullaan hidastaa veden kulkeutumista. Mikrobit mineralisoivat orgaanista ainesta ja aiheuttavat täten tukkeutumista, ei kuitenkaan yhtä merkittävästi kuin esim. huokosissa oleva ilma tai savimineraalien paisuminen (Frankenberger, 1988). Imeytyksen aikana huokosissa oleva ilma siirtyy alaspäin veden täyttäessä pintaosan huokokset. Kun hydraulinen paine tukkeutumisen edistyessä laskee, pääsee osa huokosissa olevasta ilmasta kulkeutumaan ylöspäin kohti suodattimen pintaosaa. Imeytyksen jatkuessa huokosiin jäljelle jäänyt ilma vähentää imeytetylle vedelle vapaata huokostilavuutta (Constantz ja Herkelrath, 1988). Myös denitrifikaation vapauttama typpi aiheuttaa tukkeutumista (Koskinen, 1975).

Tukkeutumiseen liittyvät imeytymisnopeuden muutokset tapahtuvat kolmessa vaiheessa:

1. Pian imeyttämisen aloittamisen jälkeen imeytymisnopeus pienenee, koska soran ja hiekan seassa oleva saviaines sisältää paisuvahilaisia alumiinisilikaatteja, jotka vesipitoisuuden kasvaessa paisuvat. Ilmiö on erityisesti havaittavissa altaiden oltua pitkiä jaksoja kuivana.
2. Imeytymisnopeus kasvaa maksimiinsa imeyttämisen alkuvaiheessa, jolloin huokosissa ei vielä ole ilmaa aiheuttamassa tukkeutumista. Suodattimen pintahuokosissa ollut ilma on imeytysallasta täytettäessä vapautunut ilmakehään.
3. Imeytymisnopeus laskee tasaisesti ja melko nopeasti, koska suodatinainekseen kerääntyneet orgaaniset ja epäorgaaniset hiukkaset tukkivat ainesta. Usein kohdan 1 imeytymisnopeuden heikkenemistä ei havaita, koska aineksen tukkeutuminen on niin nopeata (Blazejewski, 1982).

Suodatinaineksen tukkeutumista voidaan ehkäistä raakaveden esikäsitteilyn lisäksi auraamalla tai äestämällä imeytysaltaan pohja huokoisuuden lisäämiseksi tai käsittelemällä mineraalainesta kalkkisuoloilla savihiukkasten deflokkulaation estämiseksi. Lisäksi voidaan imeytys toteuttaa jaksottain, esim. kesäisin kolme viikkoa imeytystä ja yksi viikko altaan kuivatusta. Kuivatusjakson loppuvaiheessa tukkeutumista aiheuttavat hiukkaset altaan pohjalla irtoavat toisistaan ja kulkeutuvat tuulen mukana muualle. Kuivatus estää myös leväkasvillisuuden leviämisen altaisiin (Huisman ja Olsthoorn, 1983).

4.2.2 Sinilevien, homeiden ja sädesienten esiintyminen raakavedessä

Pintavesissä esiintyvien sinileväkasvustojen aiheuttamat ongelmat eivät sinänsä ole Suomessa uusi ilmiö. Sinileväpitoista järvivettä juonutta karjaa kerrotaan kuolleen jo 1920-luvun lopulla (Kauppi ym., 1990). Nykyisin syanobakteerit aiheuttavat kuitenkin huomattavasti laaja-alaisempia ongelmia muodostamalla kesäisin massaesiintymiä rehevöityneissä järvissä. Epämiellyttävän ulkonäön lisäksi nämä massaesiintymät tekevät veden terveydelle haitalliseksi. Suomessa vuosina 1985 – 1986 tehdyssä kartoituksessa 44% sinileväkukintanäytteistä osoittautui myrkyllisiksi. Tällöin myrkyllisiä kukintoja löytyi myös kahdeksan paikkakunnan raakavesilähteestä (Keijola ym., 1988).

Sinileväkukinnan syntymisen edellytys on sopiva fysikaalisten, kemiallisten ja biologisten tekijöiden yhdistelmä vesistöissä. Kukinnan syntymistä edesauttaa seuraavien tekijöiden yhteisvaikutus: kerrostunut ja horisontaalisesti liikkumaton vesimassa, lämmin sää, voimakas auringonsäteily, lisääntynyt ravinne- ja orgaaninen kuormitus, hivenmetallien riittävä saatavuus sekä lepovaiheiden säilymiselle sopiva pohjasedimentti. Ratkaiseva tekijä on vesimassan kerrostuneisuus, mikä mahdollistaa sinilevien hakeutumisen kulloinkin optimaaliseen vesikerrokseen. Alkuun päästyään kukinta ylläpitää olosuhteita (korkea pH, varjostus), jotka suosivat sinilevien kasvua muun kasviplanktonin kustannuksella (Kauppi ym., 1990).

Sinilevät voivat tuottaa erilaisia toksisia yhdisteitä. Toksiinit voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: eksotoksiineihin, jotka ovat solujen aineenvaihduntatuotteita ja endotoksiineihin, jotka ovat soluseinän rakenneosia. Sinilevät tuottavat kolmenlaisia myrkyllisiä eksotoksiineja: hepatotoksisia peptidejä, neurotoksisia alkaloideja ja dermatotoksisia fenolisia yhdisteitä. Suomessa on havaittu hepatotoksisia ja neurotoksisia kukintoja; maksatoksiset kukinnat ovat noin kaksi kertaa niin yleisiä kuin neurotoksiset (Sivonen

ja Lahti, 1987). Toksiinien käyttäytymisestä vedenpuhdistusprosesseissa on hyvin vähän tietoa. Tämä johtuu siitä, että ongelma on tiedostettu vasta viime vuosina ja menetelmälliset valmiudet pienten pitoisuuksien havaitsemiseen ovat puuttuneet. Suomessakin on kuitenkin alustavia tutkimuksia tehty ja viitteitä sinilevätoksiinien kulkeutumisesta tavanomaisen vedenpuhdistusprosessin läpi on olemassa.

Vuosina 1986 – 1987 tehtiin lääkintöhallituksen rahoittama tutkimus, jossa pyrittiin selvittämään sinilevätoksiinien käyttäytymistä tavallisissa pintaveden käsittelyprosesseissa sekä löytämään Suomen olosuhteisiin soveltuvat menetelmät. Tällöin tehtiin sekä laboratorio- että koelaitoskokeita, joissa testattiin mm. seuraavanlaisia vedenkäsittelymenetelmiä:

- alumiinisulfaattisaostus + selkeytys + hiekkasuodatus + klooraus
- aktiivihiielijauheliäisyys + alumiinisulfaattisaostus + selkeytys + hiekkasuodatus + klooraus
- alumiinisulfaattisaostus + selkeytys + aktiivihiiლისუოდatus + hiekkasuodatus + klooraus
- otsonointi + alumiinisulfaattisaostus + selkeytys + hiekkasuodatus + klooraus
- hidassuodatus.

Hidassuodatus valittiin yhdeksi tutkittavaksi käsittelymenetelmäksi, koska sen tiedetään poistavan monia hajua ja makua aiheuttavia tekijöitä. Samalla saatiin testattua toksiinien käyttäytymistä tekopohjaveden imeytyksessä, jota voidaan pitää yhtenä hidassuodatusmenetelmän sovellutuksena (Keijola ym., 1988).

Tuloksissa ilmeni, että perinteinen saostus – suodatus – klooraus – käsittely ei poista raakavedestä sinilevien toksiineja. Joissakin koejärjestelyissä toksiinien määrä jopa kasvoi. Tämän katsottiin johtuvan siitä, että osa toksiineista vapautuu leväsoluista alumiinisulfaattikäsittelyssä. Hidassuodatuksen toksiineja vähentävä vaikutus ei myöskään ollut koeolosuhteissa riittävä. Tehokkaimpia menetelmiä toksiinien poistamiseen ovat aktiivihiiლისუოდatus ja otsonointi. Aktiivihiiლისუოდatus on aktiivihiiლისუოდatusen lisäksi parempi menetelmä. On kuitenkin todennäköistä, että pitkäaikaisessa laitokäytössä aktiivihiiლისუოდattimen tehokkuus heikkenee. Tästä johtuen voidaan otsonointia pitää suositeltavimpana menetelmänä toksiinien poistamiseksi (Himberg ym., 1989).

Myrkyllisten sinileväkukintojen esiintymisen ennalta ehkäisyssä tärkeimmällä sijalla ovat vesiensuojelulliset toimenpiteet. Vaikka jätevesikuormitukset Suomen järviin ovat pienentyneet 1970-luvulta lähtien, ovat fosforipitoisuudet monissa järvissä olleet jatkuvasti nousussa. Tämä johtuu suuresta sisäisestä kuormituksesta. Erityisesti tyypeä sitovien sinilevälajien esiintyminen saattaa korkeiden fosforipitoisuuksien myötä lisääntyä (Kauppi ym., 1990). Paras menetelmä välttää syanobakteerien vedenpuhdistukselle aiheuttamat ongelmat on käyttää muita raakavesilähteitä toksisen kukinnan aikana. Jos vedenottoa ei voida keskeyttää, pitää välttää veden ottamista pintaosista, jotta sinilevälautat eivät kulkeudu puhdistusprosessiin. Laitoksilla tulisi myös suorittaa vedelle sopiva lisäkäsittely toksiinien poistamiseksi sinileväkukinnan aikana (Keijola ym., 1988).

Vuonna 1979 lääkintöhallituksen ja vesihallituksen asettama yhteinen työryhmä teki selvityksen homeiden ja sädesienten esiintymisestä pintavesi- ja tekopohjavesilaitosten raakavedessä ja vesijohtoverkossa sekä muiden veden laatutekijöiden yhteyttä näiden mikro-organismien esiintymiseen. Aineistossa oli mukana kolme tekopohjavesilaitosta: Porvoon Linnanmäen laitos (ei ole nykyään käytössä), Porin Harjakankaan laitos sekä Lappeenrannan Hanhikempin laitos. Selvityksen mukaan sädesienten määrä raakavedessä on suurimmillaan pian sinilevämaksimin jälkeen. Hitaassa hiekkasuodatuksessa

sädesienten määrä vedessä laskee vain hieman, mikä viittaa siihen, että sädesienet ovat osa hiekkasuodattimen luonnollista eliöstöä. Ne voivat lisääntyä hiekkasuodattimessa, koska ne kykenevät käyttämään ravintonaan vaikeasti hajoavia orgaanisia yhdisteitä. Tällöin saattaa suodatettuun veteen joutua hiekasta irronneita sädesieniä. Edellä selostettu ilmiö saattaa aiheuttaa ongelmia juuri niillä tekopohjavesilaitoksilla, missä veden käsittely sisältää ainoastaan imeytyksen. Tietyt sädesieni-itiöt kestävät hyvin jopa kloorauksen, joten niiden hävittäminen vaatii erityiskäsittelyn, esim. otsonoinnin.

Vuoden 1979 selvityksen mukaan tekopohjavesilaitosten tuottamassa vedessä ei esiintynyt juuri lainkaan termofiilisiä sädesieniä eikä homeita. Mesofiilisten sädesienten määrä sen sijaan oli korkea, jopa korkeampi kuin raakavedessä. Suurimmat esiintymät havaittiin Hanhikemпин laitoksella, missä vedelle ei suoriteta missään vaiheessa kemiallista käsittelyä. Orgaanisen aineen määrä laski selvityksen mukaan tekopohjaveden imeytyksessä n. 90 %. Maakerrosten läpi kulkeutunut orgaaninen aines saattaa aiheuttaa mikrobien jälkikasvua puhdistuksen aikana tai vesijohtoverkossa. Tämän haitan välttämiseksi vesi tulisi puhdistaa kemiallista saostusta käyttäen silloin, kun raakaveden KMnO_4 -luku on yli 30 mg l^{-1} . Mikro-organismien kasvua putkistossa vähentää myös saostuslaitoksilla prosessiin kuuluva pH:n säätö soodalla tai kalkilla. Tällöin vesi ei syövytä putkia, eikä putkiin muodostu rosoisia pintoja, joihin bakteerikasvusto helposti muodostuu (Vesihallituksen tiedotus 192, 1980).

5 ESI- JA JÄLKIKÄSITTELYN TARPEELLISUUS JA MENETELMÄT

Talousveden laatuvaatimukset ja -tavoitteet täyttävän tekopohjaveden muodostaminen edellyttää usein myös veden käsittelyvaiheita kuin imeytys maaperään. Vaikka Suomen tekopohjavesilaitoksilla ei ainakaan toistaiseksi tehdä juuri lainkaan esikäsitelyä, tehdään miltei kaikilla laitoksilla jonkinasteinen jälkikäsitely. Alankomaissa ja Saksassa raakavetenä imeytyksessä käytetään usein likaantuneiden jokien vesiä, joten esikäsitely on välttämätön. Samoin Yhdysvalloissa käytetään monivaiheista esikäsitelyä, koska tekopohjavettä saatetaan muodostaa jätevettä imeyttämällä (Chung ja Page, 1985; Treweek ja Montgomery, 1985).

5.1 Esikäsitelyn tarpeellisuus

Esikäsitelyn yleisinä tavoitteina on a) poistaa raakavedestä suspendoituneet hiukkaset jotka kerääntyisivät suodatinaineen pinnalle ja tukkisivat sen; b) vähentää raakaveden humuspitoisuutta, koska orgaaninen aines imeytetyssä vedessä kuluttaa runsaasti happea ja saattaa aiheuttaa täten pelkistävien olosuhteiden syntymisen; c) poistaa vedestä aineksia, jotka saattavat saostua maaperässä aiheuttaen jälleen tukkeutumista. Lisäksi on tavoitteena pitää imeytysvesi niin puhtaana, että maaperän luontainen kyky adsorptio- ja ioninvaihtoreaktioihin säilyy. Tällöin vältetään maaperään kertyneiden hajoamattomien ja haitallisten yhdisteiden äkillinen irtoaminen suodatinaineesta imeytyksen jatkuessa. Kun imeytetyt vesimäärät ovat suuria, voivat pienetkin jäännöspitoisuudet liukenematonta ja saostunutta ainesta vaikuttaa suodatinaineen ominaisuuksiin (Haberer, 1982).

Kaupunkiliiton ohjeen (B 192, 1984) mukaan esikäsittely on tekopohjaveden muodostamisessa tarpeellinen, jos imeytettävässä pintavedessä KMnO_4 -luku on yli 40 mg l^{-1} , väriluku yli 70, ammoniumpitoisuus yli $0,1 \text{ mg l}^{-1}$, rautapitoisuus yli $0,5 \text{ mg l}^{-1}$, kokonaisfosfori yli $0,025 \text{ mg l}^{-1}$, koliformisia bakteereja yli 50 kpl/100 ml ja fekaalisia koliformisia bakteereja yli 10 kpl/100 ml.

Allasimeytystä käytettäessä leväkukinnat aiheuttavat ongelmia. Levät muuttavat veden sameaksi, värilliseksi ja pahanhajuiseksi. Leväkasvua edistävät suosiolliset valaistusolosuhteet, seisova vesi sekä veden sisältämät fosfaatit, nitraatit, hiiliyhdisteet ja hivenaineet. Levien nopeaa lisääntymistä voidaan ehkäistä kohottamalla veden pH:tta tai saostamalla fosfaatit rauta- tai alumiinisuoloilla. Kuparisuolojen lisääminen tuhoaa jo muodostuneet levät, mutta kuparia kulkeutuu myös vesijohtoveteen. Kaliumperman-ganaatti ei vaikuta jo olemassa olevaan leväkasvillisuuteen, mutta jos sitä lisätään veteen esikäsittelyssä, se hidastaa leväkasvua (Pätsch ja Schmidt, 1982).

Jos imeytyksessä käytetään likaantunutta pintavettä, haitallisimpia yhdisteitä ovat fenolit (aiheuttavat kloorauksen jälkeen veteen huonon maun), mineraaliöljyt (tekevät hyvin pieninä pitoisuuksina veden käyttökelvottomaksi) sekä vaikeasti hajoavat puhdistusaineet (muodostavat vaahtomassoja). Nämä yhdisteet voidaan poistaa vedestä ennen imeytystä kemiallisella käsittelyllä tai imeytyksen jälkeen otsonoinnilla ja aktiivihiihkäsittelyllä. Haitallisimpia ovat orgaaniset klooriyhdisteet, erityisesti trihalometaaniyhdisteet, joita muodostuu juomaveden kloorauksen yhteydessä. Koska aktiivihiihluodatin ei pidätä luotettavasti trihalometaaneja, tulisi kloorikäsittely korvata otsonoinnilla (Haberer, 1982). Jos imeytyksessä käytetään humuspitoista järvivettä, tulisi orgaaninen aine poistaa ennen kloorausta. Täten ehkäistään haitallisten orgaanisten klooriyhdisteiden, esim. diklorofenolin syntyminen (Kalliokoski ym., 1986).

5.2 Esikäsittelymenetelmät

Pikasuodatus

Pikasuodatuksessa saadaan karkeat partikkelit erotettua raakavedestä yksinkertaisella suodatuksella, jossa suodatinaineksena käytetään esim. sepeliä, jonka raekoko on 30 – 70 mm. Suodatusnopeutena käytetään $10 - 20 \text{ m h}^{-1}$. Kiinteiden partikkeleiden lisäksi osa raakaveden raudasta ja mangaanista saostuu suodattimeen. Saostuminen johtuu sekä hapettumisesta että bakteeritoiminnasta (Saarinen, 1981).

Mikrosiivilöinti

Mikrosiivilöinnillä poistetaan vedestä hiukkaset, joiden koko on $0,04 - 100 \text{ um}$. Jotta menetelmää voidaan käyttää, pitää suspendoituneiden hiukkasten kokonaispitoisuus käsiteltävässä vedessä olla alle 100 ppm. Suodatinväliaine voi olla kuitumaista, vanutettua tai huokoista (Weissman, 1987).

Koagulointi-flokkulointi-selkeytys

Suomessa mikrosiivilöintiä suosituimpi menetelmä erottaa suspendoituneena olevat kolloidiset hiukkaset raakavedestä on kemiallinen käsittely. Koaguloinnissa hiukkaset

kiinnittyvät toisiinsa, koska niiden pintavaraukset on neutraloitu. Flokkuloinnissa hiukkaset kasaantuvat löyhästi kiinni toisiinsa pitkäketjuisen polymeerin ansiosta. Kemikaaleina käytetään yleensä epäorgaanisia happoja ja suoloja, mutta myös synteettisiä polyelektrolyyttejä voidaan käyttää. Yleisiä epäorgaanisia koagulantteja ovat raudan ja alumiinin kloridit ja sulfaatit sekä natriumalumiinaatti (Purchas, 1987).

Otsonointi

Otsonointia käytetään kemialliseen hapetukseen ja desinfiointiin. Otsonimolekyyli, joka muodostuu kolmesta happiatomista, on pysymätön, joten otsonia ei voida säilöä eikä kuljettaa turvallisesti vaan sitä on muodostettava käyttökohteessa. Mikrobin tuhoutumisnopeus otsonin vaikutuksesta riippuu otsonikonsentraatiosta. Esim. virusten tuhoamisessa suositellaan annostukseksi otsonin jäännöskonsentraatio $0,4 \text{ mg l}^{-1}$ ja käsittelyaika vähintään 4 min. Jos otsonointi tehdään jälkikäsittelyinä, jolloin vesi on kohtalaisen puhdasta, annostus $0,05 \text{ mg l}^{-1}$ riittää estämään bakteerikasvun (Stucki, 1987).

Alkalointi

Yleensä alkalointi tehdään jälkikäsittelyinä, mutta se saattaa liittyä myös monivaiheiseen esikäsittelyyn, esim. säädettäessä pH:tta saostusreaktioille sopivaksi (pH n. 6). pH:n kohottamiseen voidaan käyttää sammutettua kalkkia Ca(OH)_2 , poltettua kalkkia CaO , lipeää NaOH , soodaa Na_2CO_3 tai natriumalumiinaattia NaAlO_2 (Kaupunkiliiton julkaisu B 77, 1983).

Ilmastus

Ilmastamalla vesi ennen imeytystä saadaan happipitoisuutta nostettua ja mahdollisesti ehkäistyä pelkistävien olosuhteiden syntyminen imeytyksen aikana. Pelkistävissä olosuhteissa rauta ja mangaani liukenevat veteen ja nitraatti- ja sulfaatti-ionit pelkistyvät ammoniumiksi ja sulfidiksi. Ilmastusmenetelmiä ovat mm. putous- eli kaskadi-ilmastus ja suihkuilmastus. Ilmastusta tehokkaampi keino hapetukseen ovat kemialliset hapettimet, esim. kloori, otsoni ja kaliumpermanganaatti. Niitä käytetään desinfiointiin, hajun, maun ja värin poistoon sekä raudan ja mangaanin poistoon.

5.3 Jälkikäsittelyn tarpeellisuus

Jälkikäsittely on tarpeellinen silloin, kun veden viipymä maaperässä on liian lyhyt eikä riittävää puhdistumista ole tapahtunut. Suomessa jälkikäsittelyn tarpeellisuus johtuu usein siitä, että pelkistävissä olosuhteissa on rautaa ja mangaania liuennut veteen. Luonnollinen pohjavesi Suomessa on yleensä melko hapanta ja pehmeää, minkä vuoksi tekopohjavesi joudutaan usein jälkikäsittelyssä alkaloimaan ja nostamaan veden kovuutta. Raakavedessä esiintyvät sinilevätoksiinit eivät tuhoudu maaperässä. Niiden tehokas poistaminen vedestä edellyttää otsonointia ja aktiivihiilisuodatusta.

5.4 Jälkikäsittelymenetelmät

Aktiivihiihliuodatus

Aktiivihiihliuodatuksella saadaan poistettua vedestä monia yhdisteitä, joihin muu käsittely ei vaikuta, esim. raskasmetalleja, kloorattuja hiilivety-yhdisteitä ja orgaanisia fosforiyhdisteitä. Näiden yhdisteiden reduktio voi olla jopa 90 %. Aktiivihiihliuodatus alentaa myös värilukua ja parantaa makua. Aktiivihiihlien adsorptiokyky perustuu sen huokoiseen rakenteeseen ja esim. pH:n laskiessa aktiivihiihlien adsorptiokyky kasvaa. Vesien käsittelyssä käytetään yleisemmin rakeista aktiivihiihlta, mutta esim. trihalome-taanien poistaminen on tehokkainta aktiivihiihlijauheella (Treweek & Montgomery, 1985). Syy, miksi aktiivihiihliuodatusta ei Suomessa käytetä nykyistä laajemmin, on menetelmän kalleus. Suodattimia joudutaan vaihtamaan säännöllisin väliajoin.

Ilmastus + hidassuodatus

Hidassuodatuksen avulla vähennetään veden rauta- ja mangaanipitoisuutta. Ennen hidassuodatusta vesi ilmastetaan happipitoisuudeltaan sellaiselle tasolle, että happea riittää bakteerien elintoihintoihin koko hidassuodatusprosessin ajaksi. Hidassuodattimessa raudan ja mangaanin poistuminen tapahtuu pääasiassa bakteerien kasvutoimintojen tuloksena, koska spesifioituneet *Leptothrix*- ja *Gallionella*-bakteerit käyttävät ravinnokseen vedessä liuenneena olevaa rautaa ja mangaania. Hidassuodattimen hiekkakerroksen paksuus on n. 50 cm ja aineksen raekoko 0,5 – 2,0 mm. Hiekkakerroksen alle sijoitetulla salaojituskerroksella johdetaan suodatettu vesi pois mahdollisimman tasaisesti koko altaan laajuudelta (Tanttu, 1986).

Desinfiointi

Desinfiointi tehdään vedelle joko siksi, että riittävää puhdistumista ei ole maaperässä tapahtunut tai siksi, että halutaan ennaltaehkäistä bakteerikasvustot vesijohtoputkissa. Juomaveden desinfioinnissa voidaan käyttää klooria, hypokloriitteja, klooridioksidia tai otsonia. Kloorin käyttö on Suomessa yleisintä, mutta jos vedessä on runsaasti orgaanisia yhdisteitä, sen käyttö ei ole suositeltavaa. Vaikutuksiltaan tehokkain on otsoni, mutta sen käyttöä rajoittaa se, että sitä ei voida kuljettaa eikä säilöä.

pH:n ja kovuuden säätö

pH:n nostamisella eli alkaloinnilla ja kovuuden lisäämisellä pyritään ensisijaisesti ehkäisemään veden putkistoja syövyttävä vaikutus. Alkaloinnissa käytetään jo aikaisemmin mainittuja kemikaaleja. Kokonaiskovuutta lisätään sammutetulla kalkilla $\text{Ca}(\text{OH})_2$, poltetulla kalkilla CaO tai kalsiumkloridilla CaCl_2 . Alkaliteettiä eli bikarbonaattikovuutta lisätään soodalla Na_2CO_3 tai lipeällä NaOH (Kaupunkiliiton julkaisu B 77, 1983). Vesijohtovesi on syövyttävää, jos pH on alle 8,3, kokonaiskovuus on alle 3 – 4 °dH ja alkaliteetti on alle 0,6 mmol l⁻¹ (Kaupunkiliiton julkaisu B 192, 1984).

6 PUHDISTUMISPROSESSIT IMEYTYKSESSÄ

Tekopohjaveden imeytyksessä raakaveden puhdistuminen tapahtuu kolmessa eri vaiheessa: imeytysaltaassa, imeytysaltaan ja pohjavedenpinnan välisissä maakerrostumuissa sekä maaperässä pohjavedenpinnan alapuolella (Hatva ym., 1974). Merkittävin osa puhdistumisesta tapahtuu imeytysaltaan alapuolella maaperän pintaosissa. Veden puhdistumiseen vaikuttavat monet tekijät, joten puhdistusprosessien kaikkia etenemisasikeiteitä ei tarkkaan tunneta. Puhdistuminen perustuu fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin prosesseihin, mutta jaottelu pelkästään kolmeen edellä mainittuun luokkaan on harhaanjohtava. Maaperässä tapahtuu paljon prosesseja, jotka ovat mainittujen prosessien välimuotoja eli fysikaalis-kemiallisia ja biokemiallisia prosesseja. Seuraavassa tarkastellaan erityyppisiä puhdistumismekanismia ja niiden vaikutuksia imeytetyn veden koostumukseen.

6.1 Mekaaninen puhdistuminen

Suodattuminen on puhtaasti fysikaalinen puhdistumisprosessi. Suodattumisessa voidaan erottaa neljä eri suodattumismekanismia (kuva 8):

1. Siivilöityminen pinnalla (engl. surface straining); mineraaliaineksen huokosia suuremmat hiukkaset kerrostuvat suodatinaineksen pinnalle.

2. Kasaumien synty ja suodattuminen (engl. cake filtration); pienet hiukkaset kerääntyvät ohueksi kerrokseksi suodattimen pinnalle. Koska hiukkaset ovat usein pienempiä kuin suodatinaineksen huokokset, vajoaa osa hiukkasista alkuvaiheessa syvemmälle ainekseen ja osa muodostaa siltoja pintaosan huokosten peittämiseksi. Kun hiukkasista on muodostunut ohut kerros suodattimen pinnalle, ei enää tapahdu hiukkasten tunkeutumista syvemmälle ja suodattimen tehokkuus paranee.

3. Siivilöityminen syvällä (engl. depth straining); jos huokokset ovat pintaosassa suuria ja pienenevät syvemmällä maakerroksissa, voi siivilöityminen tapahtua vasta syvemmällä suodatinaineksessa.

4. Suodattuminen syvällä (engl. depth filtration); hiukkaset ovat paljon aineksen huokosia pienempiä, mutta niillä on taipumus kiinnittyä suodatinaineksen rakeisiin jouduttuaan kerran kontaktiin niiden kanssa. Hiukkasen ja suodatinrakeen välillä vallitsevat vahvat vetovoimat, joten ilmiön voidaan katsoa liittyvän adsorptioon (Purchas, 1987). On olemassa monia kulkeutumismekanismia, joiden vaikutuksesta hiukkanen kulkeutuu kiinni suodatinrakeeseen:

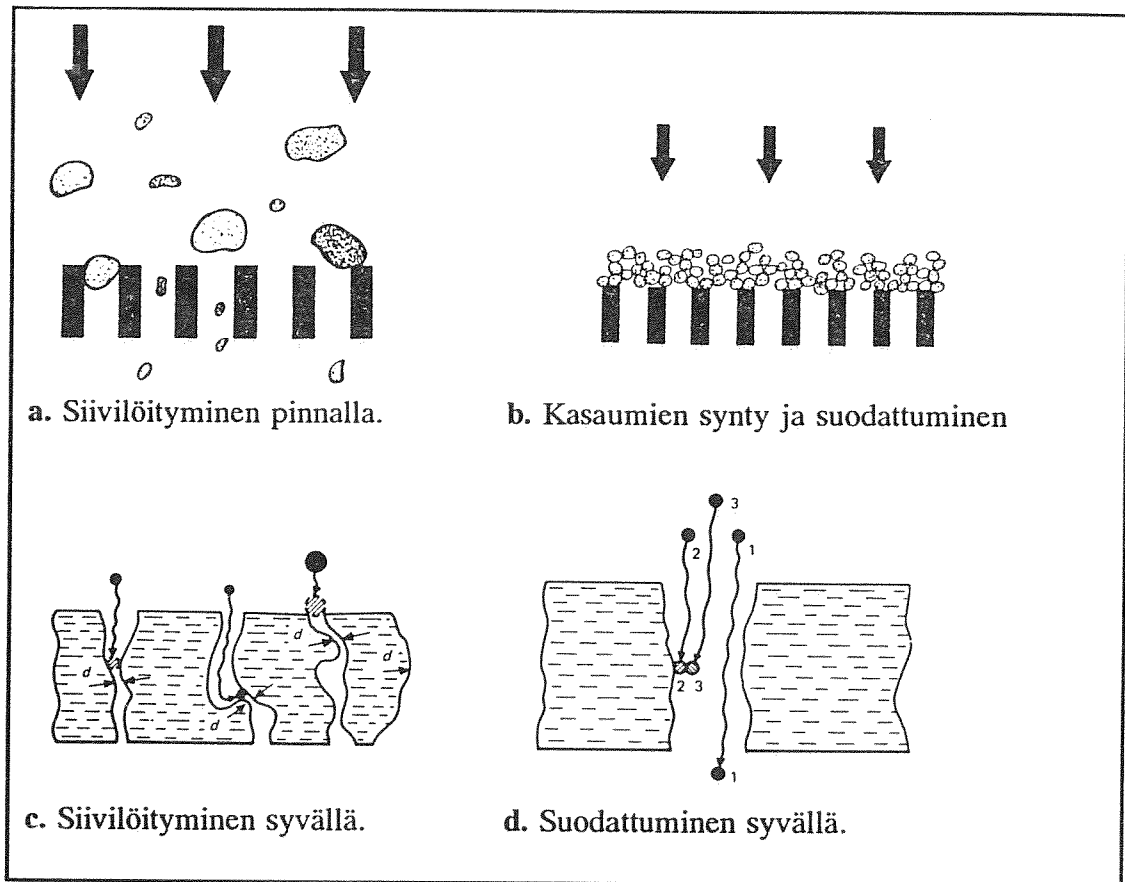
a) Hiukkaset pyrkivät painovoiman vaikutuksesta sedimentoitumaan suodatinrakeiden yläpinnoille.

b) Hiukkaset joutuvat ympäröivien vesimolekyylien lämpöenergian vaikutuksesta tiettyihin satunnaisliikkeisiin. Jos hiukkaset tällöin ajautuvat lähelle suodatinrakeita, tapahtuu kiinnittyminen diffuusion välityksellä.

c) Hiukkaset virtaavat suodattimessa tietyllä nopeudella ja pyrkivät jatkamaan kulkuaan suoraviivaisesti, seurauksena törmäys suodatinrakeeseen.

d) Muodoltaan epäsäännölliset hiukkaset poikkeavat suodattuvan veden virtausuunnista erilaisten rotaatioliikkeiden vaikutuksesta ja saattavat tällöin joutua suodatinrakeiden läheisyyteen.

e) Veden virtaussuuntia myötäilevät hiukkaset kiinnittyvät suodatinrakeeseen adheesio-
on välityksellä. Adheesio-voimakkuuteen vaikuttavat hiukkasen koko, muoto sekä
hiukkasen ja suodatinrakeen ympärille muodostuneen vesikerroksen paksuus (Koski-
nen, 1975).



Kuva 8. Suodattumismekanismit fysikaalisessa puhdistumisprosessissa
(Purchas, 1987, s. 195 – 196).

Bakteerit voivat sitoutua maahan siivilöitymällä lähekkäin olevien hiukkasten väliin, sedimentoitumalla maan huokosiin tai adsorboitumalla hiukkasten pinnalle. Pääasiassa ne pidättyvät kuitenkin siivilöitymällä. Suurin osa bakteereista pidättyy maan pintakerrokseen. Pinnalla olevat rakeet siivilöivät erilleen suurimmat orgaaniset partikkelit, jotka muodostavat uuden pintakerroksen. Tämä orgaanisen aineksen muodostama kerros toimii entistä tehokkaammin bakteereja pidättävänä suodattimena. Bakteerien pidättyminen on voimakkaampaa liuoksista, joissa on runsaasti kationeja kuin esim. tislatus-
vedestä. Myös alhainen pH edistää bakteerien pidättymistä mineraalirakeisiin. Hienoilla hiekkamailla sekä niitä hienorakeisemmassa maaperässä vain harvat bakteerit kulkeutuvat yli 2 m:n syvyyteen. Veden kyllästyvässä hiekkassa bakteerit ja virukset voivat tunkeutua yli 3 m:n syvyyteen (Lahti, 1981).

6.2 Sekoittuminen ja haihtuminen

Imeytysaltaassa ja maaperässä tapahtuvia fysikaalisia ilmiöitä ovat sekoittuminen ja haihtuminen. Altaassa tapahtuva sekoittuminen tasoittaa imeytettävän veden koostu-

musta. Liuenneiden tai suspendoituneiden aineiden liikkumiseen maaperässä vaikuttavat advektio ja dispersio. Advektio on aineiden liikkumista virtaavan vesifaasin viemänä. Dispersiota tapahtuu virtaussuunnassa ja sitä vastaan poikittaisessa suunnassa. Dispersio aiheutuu mekaanisesta sekoittumisesta ja molekyylien liikkeeseen perustuvasta diffuusioliemiöstä (Setälä ja Assmuth, 1990). Maaperässä tapahtuu imeytetyn veden sekoittuminen luonnolliseen pohjaveteen, mistä seuraa laimeneminen ja lämpötilan tasaantuminen (Kowal, 1982).

Osa haitallisista orgaanisista yhdisteistä poistuu vedestä haihtumalla. Haihtumiseen vaikuttavat orgaanisen yhdisteen fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien lisäksi yhdisteen konsentraatio, maaperän sorptio-ominaisuudet, maaperän kosteus, huokosilman liikkuvuus, lämpötila ja diffuusio (Crites, 1985). Haitalliset orgaaniset yhdisteet voidaan Brauchin ja Kühnin (1986) mukaan jakaa haihtuvuutensa mukaan neljään luokkaan:

1. helposti haihtuvat yhdisteet (esim. vinyylidikloridi, freon)
2. haihtuvat yhdisteet (esim. trikloroeteeni, tetrakloroeteeni, diklorobentseeni)
3. heikosti haihtuvat yhdisteet (esim. kloronitrobentseeni, fenolit, PAH-yhdisteet, pestisidit)
4. ei-haihtuvat yhdisteet (esim. aromaattiset ja alifaattiset hapot).

6.3 Ioninvaihto

Ioninvaihto on fysikaalis-kemiallinen prosessi, jossa tapahtuu kationien tai anionien vaihtoa kiinteän faasin (mineraalirakeet) ja nestefaasin välillä (huokosissa virtaava vesi, joka sisältää liuenneita ioneita). Vallitsevana maaperässä ovat kationinvaihtoreaktiot. Kationien korvautumisherkkyys riippuu ionien koosta, valenssista ja massa-vaikutuksesta. Mineraaliaineksen rakeilla on negatiivinen pintavaraus ja siten kyky palautuviin kationinvaihtoreaktioihin. Negatiivinen varaus syntyy silikaattimineraalien korvautumisreaktioissa, protonin irrotessa Fe-, Al-, Mn- tai Si-oksidoista tai protonin irrotessa orgaanisten yhdisteiden funktionaalisisista ryhmistä (Chang ja Page, 1985).

Maaperän mineraalikoostumus ja orgaanisen aineksen pitoisuus vaikuttavat ioninvaihto-ominaisuuksiin. Vaihtuvat kationit ovat yleensä kalsium, magnesium, natrium, vety, rauta ja mangaani. Runsaasti savimineraaleja sisältävässä maaperässä tapahtuu eniten ioninvaihtoreaktioita, koska savihiukkasilla on suuri reaktiopinta-ala ja voimakas ioninvaihtokyky (Hatva ym., 1974). Maaperän orgaaninen aines eli humus sisältää runsaasti sähköisesti negatiivisesti varautuneita ainesosia, mm. humus- ja fulvohappoja, ja humuksen ominaispinta-ala on suuri, joten humusaineet sitovat mm. raskasmetalleja (Setälä ja Assmuth, 1990). Hrubecin ym. (1986) mukaan mineraaliaineksen seassa oleva orgaaninen aines edistää orgaanisten halogeeniyhdisteiden pidättymistä maaperään.

6.4 Adsorptio

Adsorptio erotetaan ioninvaihdosta määrittelemällä seuraavasti: ioninvaihto muuttaa suotautuvan liuottimen ionikoostumusta, kun taas adsorptio vähentää liuenneiden aineiden kokonaismäärää. Adsorptio on riippuvainen mm. pH:sta ja kiinnittymiskohdan pinta-alasta. pH-arvon laskiessa anionien adsorptio lisääntyy. Adsorptio on

reversiibeliä; siten esim. runsas sade saattaa irrottaa jo adsorboituneet yhdisteet (Setälä ja Assmuth, 1990). Adsorptioon vaikuttavat myös kiinnittyvän yhdisteen muoto ja rakenne, varaus, polaarisuus ja liukenevuus veteen sekä maaperän mineraalikoostumus, orgaanisen aineksen määrä sekä kationinvaihtokyky. Adsorptioon liittyviä ilmiöitä ovat ioninvaihdon lisäksi ioni–dipooli–vuorovaikutus, ionisidosten synty, vetysidosten synty sekä van der Waalsin voimat (Crites, 1985).

Puhtaassa kvartsihiekkassa on rakeen pinnalla negatiivinen varaus, joten mineraalirae pystyy adsorboimaan positiivisesti varautuneita ioneja. Kolloidinen orgaaninen aines on useimmiten varaukseltaan negatiivista, joten sitoutumista ei tapahdu. Luonnossa puhdasta kvartsihiekkaa ei juurikaan esiinny ja mineraalirakeisiin on kiinnittyneenä niin paljon positiivisesti varautuneita hiukkasia, että rakeen kokonaisvaraus on muuttunut positiiviseksi. Tällöin voivat puolestaan negatiivisesti varautuneet hiukkaset, esim. NO_3^- ja PO_4^{3-} , kiinnittyä mineraalirakeeseen. Kun rakeeseen on kiinnittynyt riittävästi negatiivisesti varautuneita hiukkasia, muuttuu kokonaisvaraus jälleen negatiiviseksi. Suodatinaineksessa on täten koko ajan sekä positiivisesti että negatiivisesti varautuneita rakeita, jotka adsorboivat epäpuhtauksia (Huisman ja Olsthoorn, 1983).

Virusten tärkein sitoutumistapa on adsorptio. Valtaosa sitoutumisesta tapahtuu suodattimen pintaosissa kuten bakteerienkin kohdalla. Hiekka sekä orgaaniset maa-ainekset sitovat huomattavasti vähemmän viruksia kuin savimaat. Gerban ja Goyalin (1985) mukaan humus- ja fulvohappojen suuri määrä vedessä heikentää virusten adsorptiota ja saattaa jopa aiheuttaa jo kiinnittyneiden virusten desorptiota. Maaperän huokosten vajoveden pH vaikuttaa virusten sitoutumiseen, koska virusten proteiiniukuori on varautunut. Lähellä neutraalia olevissa pH-arvoissa virukset ovat yleensä negatiivisesti varautuneita. Kun pH nousee yli 7, adsorptiotaipumus vähenee. pH:n ollessa alle 5 virukset käyttäytyvät kuten kationit, joten virusten sitoutuminen negatiivisesti varautuneisiin mineraalirakeisiin on voimakasta. Kationeista varsinkin Ca^{2+} -ionin on todettu lisäävän virusten sitoutumista. Muita sitoutumista lisääviä kationeja ovat Al^{3+} ja Mg^{2+} . Virukset, jotka ovat kulkeutuneet syvemmälle maahan, ovat alttiimpia irtoamaan maasta esim. sateiden vaikutuksesta kuin maan pintaosista. Syvemmällä maassa virusten ja mineraalirakeiden väliset vetovoimat ovat heikkoja, koska sinne suodattuneen veden ionivahvuus on laskenut. Virusten säilyvyys maaperässä heikkenee lämpötilan kasvaessa ja kosteuden vähetessä (Lahti, 1981).

6.5 Saostuminen

Liuenneet metalliyhdisteet ja kemikaalit saostuvat, kun niiden konsentraatio ylittää liukoisuuden rajan nesteessä. Liukoisuuteen vaikuttavat ionien tyyppin ja konsentraation lisäksi lämpötila, pH, hapetus–pelkistys–taso sekä muiden liuenneiden aineiden konsentraatio. Saostumisella on huomattava merkitys erityisesti raskasmetallien käyttäytymiseen. Metallisaostumien muodostuminen ja liukoisuus vaikuttavat ionien pitoisuuksiin imeytyvässä vedessä. Yleisiä metallisaostumia ovat oksidit, oksihydroksidit, hydroksidit ja karbonaatit. Sulfidisaostumia syntyy, kun metallit reagoivat anaerobisissa oloissa mikrobien toiminnasta peräisin olevan rikkivedyn kanssa (Setälä ja Assmuth, 1990).

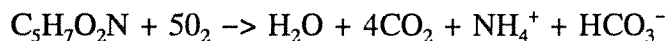
6.6 Kelaatin ja kompleksi-ionin muodostus

Metalli-ionit pystyvät sitoutumaan orgaanisiin tai epäorgaanisiin ligandeihin muodostaen kompleksi-ioneja tai kelaatti-ioneja, esim. raudan kompleksiyhdisteet humuspi-toisissa vesissä. Kompleksi-ioneissa keskusatomien ja ligandien väliset sidokset ovat vahvempia kuin muissa ioniyhdisteissä, joten ne ovat pysyvämpiä. Kun ligandit sitoutuvat kahdesta tai useammasta donoriatomista samaan keskusatomiin, muodostuu rengasrakenteinen kelaatti (Chang ja Page, 1985).

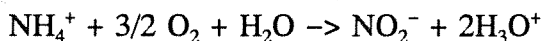
6.7 Biologinen ja kemiallinen hajoaminen

Hajoaminen voi olla biologista tai kemiallista. Kemiallisesta hajoamisprosessista esi-merkkinä voidaan mainita orgaanisten yhdisteiden hydrolyysi. Mikrobiein aikaansaama biologinen hajotustoiminta on merkittävin poistumismekanismi monille maaperään kulkeutuneille yhdisteille. Mikrobiein aktiivisuuteen vaikuttavat maaperän kosteus, pH, lämpötila, kationinvaihtokapasiteetti sekä huokosilman määrä (Crites, 1985).

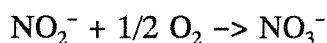
Mikro-organismien toiminnan seurauksena orgaaninen aines hajoaa mineraalien ainesosiksi ja epäorgaaninen aines muuttuu liukenemattomiksi yhdisteiksi muodostaen ohuen kerroksen suodatinrakeen ympärille tai verkkorakenteen huokostiloihin. Imeytyksen alkuvaiheessa happea on riittävästi ja orgaaninen aines hajoaa aerobisissa olosuhteissa. Tätä hajoamista voidaan kuvata reaktioyhtälöllä:



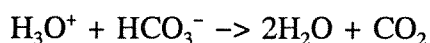
Tällöin 1 g orgaanista ainesta kuluttaa 1,4 g happea ja tuottaa 0,16 g ammoniumia. Syntynyt ammonium hapettuu edelleen Nitrosomonas-bakteerin avulla nitriitiksi:



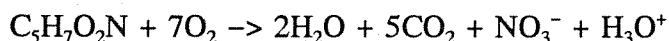
ja Nitrobakteerin avulla nitraatiksi:



Koska bikarbonaatti-ionin ja oksoniumionin välillä tapahtuu reaktio:



saadaan kokonaisreaktioksi:



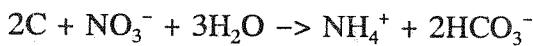
Tällöin 1 g orgaanista ainesta kuluttaa 2,0 g happea ja imeytysvedessä olevan ammoniumin täydellinen hapettuminen (1 g) kuluttaa 3,6 g happea. Denitrifikaatiossa nitraatti pelkistyy molekulaariseksi typeksi N_2 :



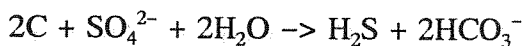
Hyvin vilkkaan denitrifikaatiotoiminnan seurauksena veden typen kyllästysaste saavutetaan nopeasti, jolloin kyllästystilan tyyppi voi jäädä kaasukuplina maaperään tukkien huokosia.

Liukoisen raudan Fe^{2+} hapettuminen ja muuttuminen kiinteäksi rautaoksidiksi $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ kuluttaa 1 g rautaa kohden 0,14 g happea ja mangaanin vastaava reaktio kuluttaa 0,29 g happea. Jos rauta esiintyy pyriittinä FeS_2 , kuluttaa sen hapettuminen 2,15 g happea. Hapettuminen perustuu Fe- ja Mn-bakteerien toimintaan (Huisman ja Olsthoorn, 1983).

Hajotustoimintaan tarvittava happi voi olla vapaana, veteen liuenneena kaasumaisena happena tai yksinkertaisiin epäorgaanisiin yhdisteisiin sitoutuneena, esim. nitraattiin tai sulfaattiin. Veteen liuennut happi toimii vedyn vastaanottajana ensimmäisessä vaiheessa. Jos maaperässä, missä imeytetty vesi virtaa, on runsaasti orgaanista ainesta, jonka hajoamiseen kuluu happea, laskee veden happipitoisuus helposti alle $0,5 \text{ mg l}^{-1}$ (Hatva ym., 1974). Tällöin vedessä olevat nitraatit alkavat toimia hapenluovuttajana:



Täysin hapettomissa oloissa hapenluovuttajana toimivat sulfaatit:



Tällöin syntynyt vetysulfidi aiheuttaa veteen pahan hajun (Huisman ja Olsthoorn, 1983).

Bakteerit käyttävät orgaanisen aineen hapetusta energialähteenään pilkkoen monimutkaisia molekyyliä yksinkertaisiksi epäorgaanisiksi suoloiksi. Tällöin kysymyksessä on **dissimilaatio**. Yhteyttämistoiminta, **assimilaatio**, saa tarvitsemansa energian auringonvalosta ja tällöin orgaanista ainesta käytetään solumateriaalina mikro-organismien kasvussa. Dissimilaatiotuotteet kulkeutuvat veden mukana muiden bakteerien hyödynnettäväksi, joten orgaaninen aines hajoaa vaiheittaisesti (proteiini \rightarrow aminohappo \rightarrow ammoniakki) ja muuttuu lopulta epäorgaanisiksi yhdisteiksi, esim. vedeksi, hiilidioksidiksi, sulfaatiksi, nitraatiksi ja fosfaatiksi. Tällöin on tapahtunut orgaanisen aineksen **mineralisaatio**. Anaerobissa hajoamisessa hajoamistuotteet ovat lähes samat kuin aerobissa, tosin hiili vapautuu metaanina ja rikki rikkivetynä (Hatva ym., 1974).

Bakteeritoiminta on vilkkainta maaperän pintaosissa; biokemialliset prosessit tapahtuvat syvyyteen 1,5 m mennessä. Ylimmissä kerroksissa toimivat polytrofiset eli runsasta ravinnemäärää vaativat bakteerit sekä termofiiliset eli korkeassa lämpötilassa viihtyvät bakteerit. Alemmissä kerroksissa ympäristö muuttuu ravinteiden suhteen karummaksi ja lämpötila liian alhaiseksi vilkkaan bakteeritoiminnan ylläpitämiseen. Suodattimen valoa saavissa osissa levät ovat merkittävä haitallisia yhdisteitä hajottava tekijä (Hatva ym., 1974). Biologisen toiminnan hajoamistuotteet edistävät puhdistamista. Suodatinaineen pinnalle muodostunut anaerobinen liete poistaa esim. viruksia tehokkaammin kuin puhdas pintakerros ilman biomassaa. Biologinen aktiivisuus heikkenee talvella alhaisissa lämpötiloissa, mikä vähentää selvästi esim. orgaanisten halogeeniyhdisteiden hajoamista (Hrubic ym., 1986).

6.8 Haitallisten hivenaineiden ja orgaanisten yhdisteiden pidenttyminen

Keski-Euroopassa ja Yhdysvalloissa tekopohjaveden imeytykseen liittyvissä tutkimuksissa on viime vuosina keskitytty selvittämään haitallisten kemikaalien pidenttymistä ja hajoamista maaperään. Tähän aiheeseen keskittyminen on ymmärrettävää; joet ja järvet ovat monin paikoin mm. kemiallisen teollisuuden ja yhdyskuntajätteiden likaamia. Koska luonnolliset pohjavesivarat eivät riitä, on tekopohjavettä muodostettava likaantuneista pintavesistä.

Alankomaissa tehdyn tutkimuksen (Puffelen, 1982) mukaan alueen jokiin kulkeutuu tuhansia erilaisia orgaanisia yhdisteitä, josta toksisia ovat esim. 50 erilaista polysyklisiä aromaattista hiilivety-yhdistettä. Amsterdamin dyynialueilla esikäsiteltyä Lek-joen vettä imeytettäessä havaittiin, että orgaanisten klooriyhdisteiden, PAH-yhdisteiden, alifaattisten happiyhdisteiden, typpiyhdisteiden sekä orgaanisten fosfaattiyhdisteiden määrä pieneni selvästi imeytyksen aikana.

Hrubecin ym. (1986) tutkimuksissa on havaittu, että esim. trihalometaani poistuu imeytetystä vedestä sorption kautta. Anaerobisissa oloissa ne orgaaniset halogeeniyhdisteet, jotka ovat syntyneet veden käsittelyyn kuuluvan kloorauksen aikana, ovat helpommin muuntuvia kuin pintavedessä valmiina olleet yhdisteet. Tehokas dehalogenoituminen edellyttää selvästi anaerobisia olosuhteita. Toisaalta dehalogenaation ja denitrifikaation tuloksena saattaa syntyä uusia yhdisteitä, jotka ovat vielä haitallisempia kuin hajoamattomat yhdisteet.

Taulukko 1. Vedenkäsittelyn eri vaiheiden tehokkuus haitallisten orgaanisten yhdisteiden poistamisessa (Brauch ja Kühn, 1986).

Yhdiste	Rantaimetyys	Otsonointi + aktiivihiihaisuodatus
kloroformi	0	0
trikloroeteeni	--	+
tetrakloroeteeni	--	++
1,2-diklorobentseeni	+	++
1,4-diklorobentseeni	0	++
nitrobentseeni	+	++
2-nitrotolueeni	+	++
kloronitrobentseeni	+	++
atrasiini	+	+
NTA	+	0
EDTA	-	0

++	poistuu erittäin hyvin	> 90 %
+	poistuu hyvin	> 60 - 90 %
0	poistuu jonkin verran	> 40 - 60 %
-	poistuu huonosti	10 - 40 %
--	ei poistu	< 10 %

Brauchin ja Kühnin (1986) mukaan imeyttäminen maaperään vähentää vedestä jonkin verran haitallisten kemikaalien määrää; mm. bentseenin, tolueenin, xyleenin, naftaliinin, klorobentseenin, klorotolueenin ja diklorobentseenin pitoisuus pienenee. Imeytys ei kuitenkaan yksinään riitä poistamaan vedestä näitä yhdisteitä. Huonosti hajoavat yhdisteet kerääntyvät maaperään, josta ne myöhemmin saattavat irrota. Jälkikäsitelys-

sä otsonoinnilla ei ole merkittävää vaikutusta, mutta aktiivihiilikäsittely poistaa imeytyksen läpäisseet aromaattiset yhdisteet lähes kokonaan (taulukko 1).

Raskasmetallien ja muiden haitallisten alkuaineiden poistumismekanismit imeytetystä vedestä on luetteloitu taulukossa 2. Kuten taulukosta nähdään, kunkin aineen pitoisuuden väheneminen johtuu usean mekanismin yhteisvaikutuksesta eli puhdistumisprosessi on luonnollisissa olosuhteissa hyvin monimutkainen.

Taulukko 2. Alkuaineiden poistumismekanismit vedestä imeytyksen aikana (Crites, 1985).

Alkuaine	Puhdistumisprosessi
Ag (hopea)	saostuminen
As (arseeni)	voimakas kiinnittyminen savihiukkasiin
Ba (barium)	saostuminen, sorptio metallioksidiin ja hydroksideihin
Cd (kadmium)	ioninvaihto, sorptio, saostuminen
Co (koboltti)	sorptio, kompleksin- ja kelaatinmuodostus, ioninvaihto, saostuminen
Cr (kromi)	sorptio, saostuminen, ioninvaihto
Cu (kupari)	sorptio, kompleksin- ja kelaatinmuodostus, ioninvaihto
F (fluori)	sorptio, saostuminen
Fe (rauta)	sorptio, kompleksinmuodostus
Hg (elohopea)	haihtuminen, sorptio, kemiallinen ja biologinen hajoaminen
Mn (mangaani)	sorptio, kompleksin- ja kelaatinmuodostus, ioninvaihto, saostuminen
Ni (nikkeli)	sorptio, ioninvaihto, kelaatinmuodostus
Pb (lyijy)	sorptio, ioninvaihto, kelaatinmuodostus, saostuminen
Se (seleeni)	rautaoksidi-rautaseleniitti kompleksoituminen
Zn (sinkki)	sorptio, kompleksin- ja kelaatinmuodostus, ioninvaihto, saostuminen

7 MUODOSTUMAN SOVELTUVUUS TEKOPOHJAVEDEN IMEYTYKSEEN

7.1 Pohjaveden virtausnopeus muodostumassa

Suunniteltaessa tekopohjaveden imeytystä on oleellista tietää pohjaveden virtausnopeus muodostumassa, koska sen perusteella voidaan arvioida imeytetyn veden viipymä maaperässä sen kulkeutuessa imeytysalueelta vedenottamolle. Pohjaveden virtausnopeus kuvastaa muodostuman vedenläpäisevyyttä ja siten koostumusta sekä sisäistä rakennetta. Pohjaveden virtausnopeutta voidaan mitata pohjavesivyöhykkeessä olevasta siiviläputkesta tai porausreiästä ns. "tracer dilution" – menetelmällä. Mittausmenetelmä perustuu merkkiaineen laimenemiseen pohjaveden virratessa putken läpi. Merkkiaineenä käytetään radioisotooppeja tai elektrolyyttiliuoksia. Mittaustulosten tulkinta perustuu empiiristen tulosten perusteella tehtyihin kalibrointeihin ja siihen, että mittausalueen hydraulinen gradientti on tiedossa (Mälkki, 1979).

Valtaosa Suomen tekopohjavesilaitoksista on sijoitettu pitkittäisharjualueille, koska niillä vallitsevat selkeät ja helposti ennustettavissa olevat pohjaveden virtausolosuhteet. Useimmiten päävirtaussuunta on muodostumaan nähden pitkittäissuuntainen. Harjut ovat yleensä syntyneet laaksoihin ja niiden reuna-alueet ovat vettä huonosti läpäisevien kerrosten peitossa. Lisäksi pohjavedenpinta saattaa harjussa olla alempana kuin

ympäröivillä alueilla, jolloin poikittainen virtaus reunoille on estynyt. Harjun glasifluviaalisesta syntyvästä johtuen pitkittäissuuntainen läpäisevyys saattaa olla kymmenkertainen poikittaiseen verrattuna ja harjujaksot muodostavat hydraulisessa yhteydessä olevia jopa useita kilometrejä pitkiä "kanavia" (Mälkki, 1979).

Pohjaveden virtausnopeus vaihtelee suuresti. Yhtenäisen muodostuman alueella nopeus saattaa vaihdella välillä $0,5 - 100 \text{ m d}^{-1}$. Virtausnopeutta parempi perusta eri muodostumien vertailulle on vedenläpäisevyysluku, joka kuvaa tehollista läpäisevyyttä ja jonka yksikkö on m s^{-1} . Mälkki on (1979) luokitellut vedenläpäisevyysluvut kuuteen eri luokkaan (taulukko 3).

Taulukko 3. Maalajien vedenläpäisevyyslukujen jako kuuteen luokkaan (Mälkki, 1979).

Vedenläpäisevyysluku (m s^{-1})	Määritelmä
$0,1 \cdot 10^{-2} - 0,5 \cdot 10^{-2}$	hyvin alhainen
$> 0,5 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^{-2}$	alhainen
$> 1 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^{-2}$	keskinkertainen
$> 5 \cdot 10^{-2} - 10 \cdot 10^{-2}$	korkea
$> 10 \cdot 10^{-2} - 50 \cdot 10^{-2}$	hyvin korkea
$> 50 \cdot 10^{-2}$	poikkeuksellisen korkea

Vedenläpäisevyyslukua voidaan käyttää arvioitaessa muodostuman soveltuvuutta tekopohjaveden imeytykseen. Normaalessa harjuolosuhteissa taulukon 3 luokituksen mukaiset alhaiset läpäisevyysluvut ovat merkki hyvästä puhdistuskapasiteetista. Suotovirtauskapasiteetti on kuitenkin tällöin myös alhainen, tavallisesti vain muutamia tuhansia kuutiometrejä vuorokaudessa. Keskinkertainen läpäisevyysluku viittaa siihen, että alue on sopiva tekopohjaveden imeytykseen ilman raakaveden esikäsittelyä. Taulukkoja 3 ja 4 vertailemalla nähdään, että keskinkertainen läpäisevyysluku on karkealla hiekalla ja hienolla soralla. Alueella, jossa aineksella on korkea läpäisevyysluku, veden esikäsittely on välttämätöntä, etenkin jos käytetään huonolaatuista raakavettä tai jos imeytettävän veden määrä on suuri verrattuna muodostuman luonnolliseen antoisuuteen.

Taulukko 4. Maalajien raekoot ja vedenläpäisevyysluvut (Mälkki, 1979).

Maalaji	Raekoko (mm)	Vedenläpäisevyysluku (m s^{-1})
hieno hiekka	0,06 - 0,2	$5 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-4}$
keskikarkea hiekka	$> 0,2 - 0,6$	$5 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-3}$
karkea hiekka	$> 0,6 - 2,0$	$5 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-2}$
hieno sora	$> 2,0 - 6,0$	$5 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-1}$
keskikarkea sora	$> 6,0 - 20$	$5 \cdot 10^{-2} - 1$
karkea sora	$> 20 - 60$	> 1

7.2 Muodostuman koostumus ja sisäinen rakenne

Imeytysjärjestelyjen onnistuminen edellyttää aineksen tietynlaista koostumusta. Mälkin (1972) mukaan maalajin vedenläpäisevyysluvun on oltava vähintään $1 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$, koska tätä huonommin läpäisevien kerrosten kautta voidaan johtaa pinta-alayksikköä kohden vain pieniä vesimääriä. Myös Rönkä ym. (1977) mainitsee säännöksi, että vedenläpäisevyysluvun on oltava vähintään 1 m d^{-1} eli noin $1 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$, ennen kuin kannattaa alkaa tutkia tekopohjaveden muodostamismahdollisuuksia. Hatvan ym. (1978) mukaan vedenläpäisevyysluvun on oltava vähintään $1 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$. Tekopohjavettä voidaan muodostaa eräissä olosuhteissa myös alueilla, missä muodostuman aineksen vedenläpäisevyysluku on mainittuja arvoja pienempi, mutta tällöin on teknisten vaikeuksien ohella seurauksena myös kustannusten kohoaminen.

Kun verrataan em. vedenläpäisevyyslukuja taulukkoon 4, voidaan todeta, että tekopohjaveden imeytykseen vaadittavan vedenläpäisevyysluvun minivaatimuksen täyttää keskikarkea hiekka. Käytännössä tulevat tekopohjaveden muodostamisessa kysymykseen harjut tai syntyvaltaan vastaavat mannerjäätikön sulamisvesien kasaamat hiekka – soramuodostumat, eli ns. jäätikköjoki- ja reunamuodostumat. Niiden vedenläpäisevyys on riittävä, samoin niiden pinta-ala on useimmiten riittävän suuri tarvittavan virtausmatkan aikaansaamiseen. Lisäksi maakerrosten paksuudet ovat sitä luokkaa, että veden varastoitumis-edellytykset ovat riittävät (Mälkki, 1972).

Aineksen koostumuksen lisäksi vedenläpäisevyyteen vaikuttavat aineksen lajittuneisuus, maakerrosten tiiviys sekä huokoisuus. Harjujen sorassa – hiekassa rakeet ovat yleensä vähintään melko hyvin pyöristyneitä, joten veden kulkeutumista edistävää huokostilaa jää ainekseen. Maakerrosten tiiviys vaihtelee, mutta yleensä rakenne on melko löyhä. Harjujen rakenne on kerroksellinen: kerrosrakenne voi olla suurkerroksellisuutta (kerrospaksuus 1 – 5 m) tai mikrokerroksellisuutta (kerrospaksuus < 1 m). Vedenläpäisevyysluvultaan alle $1 \cdot 10^{-2} \text{ m s}^{-1}$ olevissa horisonteissa esiintyy eniten suurkerroksellisuutta (Mälkki, 1979). Harjujen pitkittäisrakennetta luonnehtivat useita kilometrejä pitkät harjujaksot, jotka ovat hydraulisesti yhtenäisiä. Hydraulista yhteyttä katkovat paikoitellen kalliokohoumien muodostamat kalliokynnykset, jotka ovat pohjavedenpintaa ylempänä ja estävät täten virtauksia.

Reunamuodostumien yhteyteen perustettuja tekopohjavesilaitoksia on Suomessa lähinnä I Salpausselän alueella: Hyvinkään, Nastolan, Kouvolan ja Lappeenrannan laitokset. I Salpausselän vaihteleva mineraalimateriaali ja monimutkainen rakenne aiheuttavat vaikeuksia veden imeyttämisen ja virtauksen hallitsemisen. Pohjaveden virtaus-suuntien tunteminen tekopohjavettä imeytettäessä on erittäin tärkeää, jotta imeytetty vesi saadaan tehokkaasti pumpattua hyötykäyttöön. Imeytyksen onnistuminen saattaa edellyttää laajoja ja pitkäaikaisia imeytyskokeita. Vaikka I Salpausselällä valtaosa aineksesta on hyvin lajittunutta, on muodostuman proksimaaliosassa aines usein hyvin sekalaista. Soran ja hiekan seassa esiintyy moreenipatjoja, joiden aines on hyvin siltistä. Silttiä saattaa esiintyä myös pienialaisina välikerroksina tai linsseinä. Tekopohjaveden imeytyksessä nämä hienoainespitoiset välikerrokset ohjaavat pohjaveden virtauksia oletetuista reiteistä poikkeaviksi.

7.3 Muodostuman laajuus

Muodostuman laajuus asettaa rajoituksia tekopohjaveden imeytykselle sikäli, että puhdistumisprosessin kannalta on imeytetyn veden virtausmatkan oltava riittävän suuri. Etäisyyden muodostuman pinnalta pohjavedenpintaan on oltava riittävä, kuten myös horisontaalisen etäisyyden imeytysalueelta vedenottamoalueelle.

Muodostumassa, johon tekopohjavettä imeytetään, on oltava paksut maakerrokset, jotta maaperään muodostuu riittävän laaja pohjavesivarasto. Tekopohjavesilaitoksilla hyötysuhteen, jolla tarkoitetaan maahan imeytettävän ja maasta käyttöön saatavan veden suhdetta, tavoitearvo on yksi (Mälkki, 1972). Harjualueiden pohjavesiesiintymissä varastovesikerroksessa on yleensä pohjavettä noin $100\,000\text{ m}^3$ – muutama miljoona m^3 . Imeytetyn veden ja luonnollisen pohjaveden sekoittumiseen vaikuttaa maakerrosten rakenteen lisäksi imeytetyn veden lämpötila. Lämpimämpi vesi pyrkii ominaispainoltaan kevyempänä jäämään pinnalle ja kylmempi vesi painumaan pohjalle. Täten luonnollisen pohjaveden ja imeytetyn veden sekoittumisvyöhyke on pienempi kuin mitä pohjavesiesiintymään varastoituneiden vesien määrä osoittaa (Iihola, 1975).

Veden viipymälle maaperässä on annettu seuraavanlaisia suositusarvoja ja perusteluja: Rönkä ym. (1977) arvioi, että riittävän hyvään tulokseen päästään, kun viipymä on 60 – 90 d. Jos viipymä tästä kasvaa, veden laatu paranee, mutta parannus on kuitenkin vähäistä tarvittavaan aikaan nähden. Myös Hatvan ym. (1978) arvion mukaan 60 – 90 d:n viipymä imeytysalueelta vedenottamolle riittää. Puhdistumisprosessin kannalta on edullista, jos imeytysaltaiden pohjan ja pohjavedenpinnan välinen etäisyys on vähintään 5 m. Iiholan (1975) mukaan veden lämpötilan puolesta viipymän tulisi olla mahdollisimman suuri, kuitenkin vähintään 6 kuukautta. Tällöin saataisiin kesällä jakeluun talvella imeytettyä kylmää vettä ja päinvastoin. Bakteerologiselta kannalta veden viipymän tulisi olla vähintään 60 d. Mälkin (1972) mukaan viipymän tulisi olla puolesta vuodesta vuoteen. On myös otettava huomioon, että imeytetyn tekopohjaveden virtausnopeus on suurempi kuin pohjaveden luonnonolosuhteissa.

Ristolan (1965) mukaan imeytysaltaiden ja kaivojen välinen etäisyys on Ruotsissa yleensä 200 – 500 m ja veden viipymä 30 – 45 d. Vanhala (1967) esittää, että riittävän viipymän saavuttamiseksi harjumaastossa riittää todennäköisesti virtausmatka 200 – 500 m. Rönkä (1975) on koennut muiden maiden tekopohjavesilaitoksista seuraavanlaisia arvoja: Amsterdamissa huonolaatuisen Reinin veden imeytysmatka on keskimäärin 100 m ja viipymä 80 d. Haagissa imeytetään esikäsiteltyä Reinin vettä ja imeytysmatka on 60 – 120 m ja keskimääräinen viipymä 60 d. Eskilstunassa viipymä on keskimäärin 45 d.

8 KALLIOPERÄN JA MUODOSTUMAN MINERAALI-KOOSTUMUKSEN VAIKUTUS POHJAVEDEN LAATUUN

Pohjaveden laatuun vaikuttavista tekijöistä muodostuman geokemiallinen koostumus ei ole merkittävimpiä. Esimerkiksi ilmastollisten ja antropogeenisten tekijöiden vaikutus ilmenee selvästi ja melko suorasti pohjaveden laadussa. Maan pintaosan kautta kulkee sadevedestä lähtöisin olevia aineksia vajoveden mukana pohjaveteen huomattavasti enemmän kuin mineraaliaineksesta rapautumalla vapautuu. Toisaalta sadeveden tietyillä komponenteilla, erityisesti sulfaateilla, on merkitystä rapautumista

edistävinä tekijöinä (Lahermo, 1975). Geologisista tekijöistä akviferin rakenne, aineksen raekokojakauma, pohjaveden virtausolosuhteet, veden esiintymissyvyys sekä savitai silttipeitteisyys vaikuttavat nekin enemmän veden laatuun kuin litologiset tekijät. Mineraalikoostumus on kuitenkin yksi tekijä näistä moninaisista veden laatuun vaikuttavista tekijöistä. Kivien mineraaleista joutuu rapautumisprosessin kautta pohjaveteen mm. Ca, Mg, K, SiO₂, F ja U. Myös HCO₃, SO₄ ja Na ovat osaksi minerageenisia (Lahermo ym., 1990).

Hiekasta ja sorasta muodostuneissa akvifereissa on pohjavedessä vähemmän liuenneita mineraaleja kuin moreenialueiden pohjavesissä. Tämä johtuu siitä, että hienorakeisessa aineksessa mineraaliaineksen ja veden välinen reaktiopinta-ala on suurempi ja veden viipymä pidempi kuin karkeammassa aineksessa. Silttipitoisessa moreenissa on Fe-, Mg- ja Mn-pitoisia mineraaleja enemmän kuin karkearakeisessa hiekassa ja vajoveteen joutuu runsaammin liuenneita aineita (Lahermo, 1975).

Helposti rapautuvista, korkeissa lämpötiloissa kiteytyneistä mineraaleista ja niistä koostuvista kivilajeista liukenee aineksia enemmän pohjaveteen kuin matalissa lämpötiloissa kiteytyneistä mineraaleista. Pysymättömämpiä mineraaleja ovat tummat mineraalit; esim. amfibolit ja pyrokseenit. Maasälvistä on plagioklaasi helpoiten rapautuva. Em. mineraaleja runsaasti sisältäviä kivilajeja ovat mm. gabrot, amfiboliitit ja dioriitit. Myös kiilteet ovat helposti rapautuvia. Vaaleat mineraalit kestävät paremmin rapautumista. Yleisimpiä niistä ovat kvartsi ja kalimaasälpä, jotka ovat graniittien, gneissien ja kvartsiittien yleisimpiä mineraaleja. Kalsiumkarbonaatti liukenee helposti happamien hiilidioksidipitoisten vesien vaikutuksesta (Lahermo, 1975).

Pedologiset tekijät saattavat edistää mineraaliaineksen rapautumista. Juurien hengittämisen myötä vajoveteen liukenee runsaasti hiilidioksidia, joka rapauttaa mineraaliainesta. Biomassan hajoamisen tuloksena veteen joutuu hiilidioksidin lisäksi runsaasti humusta. Humushapot- ja kelaatit rapauttavat tehokkaasti muodostaessaan kompleksisteitä mineraaliaineksen kationien kanssa (Lahermo, 1975).

Kivilajin koostumuksella on todettu olevan vaikutuksia mm. pohjaveden happamuuteen ja sähkönjohtavuuteen. Länsirannikolla on alueita, joihin liittyy pH-arvoltaan alhaisia pohjavesiesiintymiä. Syynä siihen ovat pääasiassa korkeat sulfaattipitoisuudet, jotka aiheutuvat maaperässä olevista merellisperäisistä sulfideista ja sulfaateista sekä korkeasta liuenneen CO₂:n ja humuksen määrästä vedessä. Arkeisen pohjakompleksin alueella Itä-Suomessa kuin myös laajojen graniittisten syväkivien alueella Keski-Suomessa ja Keski-Lapissa pohjaveden pH viittaa lievään happamuuteen. Myös sulfidimineraaleja sisältävä Pori-Vammala-Tampere -vyöhyke on pohjaveden alhaisen pH:n aluetta (Lahermo ym., 1990).

Sähkönjohtavuus indikoi liuenneiden elektrolyyttien määrää vedessä. Sähkönjohtavuus on kohonnut lounaisessa ja läntisessä rannikkovyöhykkeessä sekä saaristossa. Osaksi syynä ovat reliktiset merivedet savi- ja silttikerrosten rajoittamissa akvifereissa ja kallioperän rakosysteemeissä. Sähkönjohtavuusarvot ovat kohonneet myös Peräpohjan liuskealueella, joka on koostunut pääasiassa kiilleliuskeista, kvartsiiteista ja vulkaniiteista. Kittilästä Sodankylän ja Sallan kautta Kuusamoon kulkeva liuskeyvyöhyke koostuu pääosin mafisista ja ultramafisista vulkaniiteista sekä syväkivistä. Mineraalikoostumuksen vaikutuksesta ovat sähkönjohtavuusarvot kohonneet ko. liuskeyvyöhykkeen alueella. Myös Raahe-Laatokka -vyöhykkeen suuri sulfidimineraalipitoisuus kohottaa pohjaveden sähkönjohtavuutta. Sensijaan pohjaveden alhainen sähkönjohtavuus

luonnehtii Itä-Suomen graniittista gneissialuetta sekä Keski-Suomen ja Keski-Lapin granitoidialueita (Lahermo ym., 1990).

Pohjaveden alkaliteettia eli bikarbonaattipitoisuutta kasvattavat ilmeisesti samat geologiset tekijät kuin sähkönjohtavuutta. Esimerkiksi Kuusamon liuskejakson alueella, jossa on runsaasti mafisia amfiboliitteja ja metabasaltteja, HCO_3^- -pitoisuudet ovat korkeat. Samoin HCO_3^- -pitoisuudet pohjavedessä ovat kohonneet Viipurin rapakivibatoliitin länsiosassa sekä lounaisrannikolla ja saaristossa. Rapakiven mineraalikoostumuksella on selvä vaikutus pohjaveden fluoridipitoisuuksiin; F-pitoisuudet ovat 10–15 kertaiset rapakivialueilla ja vastaavilla anorogeenisilla karkearakeisilla ja kaliumrikkaille graniittialueilla kuin muiden kivilajien alueilla. Suurimmat fluoridipitoisuudet on havaittu Viipurin rapakivibatoliitin länsiosassa, hieman alhaisempia arvoja esiintyy Laitilan ja Vehmaan rapakivialueilla. Muita pohjaveden kohonneen fluoridipitoisuuden alueita ovat Vaasan seudun granodioriittialue ja Isojoen suppea graniittialue (Lahermo ym., 1990).

Uraanipitoisuudet lähteiden ja rengaskaivojen vesissä ovat yleensä pienempiä, mitä nykyisillä mittausten menetelmillä pystytään jäljittämään. Porakaivojen vesissä on kuitenkin löytynyt anomaalisia pitoisuuksia Etelä-Suomen graniittisen kallioperän alueella sekä migmatiittisten gneissien ja niihin liittyvien graniittijuonien alueella (Lahermo ym., 1990).

Kokonaiskovuuteen vaikuttavat Ca- ja Mg-pitoisuudet. Kivilajin CaO- ja MgO-pitoisuuksien sekä siihen kontaktissa olleen pohjaveden kokonaiskovuuden välillä voidaan havaita heikko korrelaatio. Emäksisten kivilajien korkeampi maa-alkalimetallipitoisuus verrattuna happamiin kivilajeihin näkyy kalsiumin ja magnesiumin suurempina konsentraatioina emäksisessä kivilajissa esiintyvässä kalliopohjavedessä (Ca 33,5 mg l⁻¹, Mg 7,5 mg l⁻¹) kuin happaman kivilajin kalliopohjavedessä (Ca 14,6 mg l⁻¹, Mg 5,3 mg l⁻¹). Kalsium on alkuaine, joka usein herkimmin poistuu rapautuvasta kivistä (Rönkä ym., 1980).

Kallioperän mineraalikoostumus on luonnollisesti näkyvissä siitä rapautumalla syntyneissä maalajeissa ja siten vaikutus välittyy aineksessa virtaavaan pohjaveteen. Paikallisen moreenin mineraalikoostumus on melko yhteneväinen sen alapuolella esiintyvän kivilajin koostumuksen kanssa, koska moreeniaines ei yleensä ole kulkeutunut jäätikön mukana kovinkaan kauas emäkalliostaan. Glasifluviaalisen aineksen koostumus voi kuitenkin poiketa paikallisesta kallioperästä, koska jäätikön sulamisvesivirrat ovat kuljettaneet ainesta joskus pitkiäkin matkoja ja samalla aines on sekoittunut. Kuitenkin usein esim. soran seassa olevat pyörityneet kivet voidaan tunnistaa samaksi kivilajiksi, joka lähiympäristön tai muodostuman luoteispuolisen alueen kallioperässä on vallitseva.

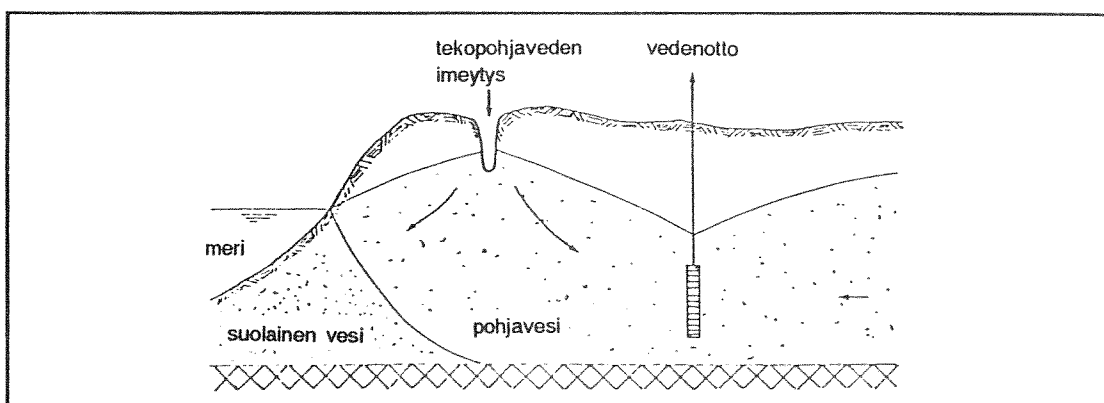
9 TEKOPOHJAVEDEN KÄYTTÖMAHDOLLISUUKSIA

Vaikka tekopohjaveden imeytyksen pääasiallinen tarkoitus on lisätä pohjaveden määrää ja puhdistaa pintavettä, voidaan muitakin käyttömuotoja tekopohjavedelle esittää. Tosin käytännön merkitystä ei kaikilla seuraavassa esitetyillä käyttömahdollisuuksilla ole.

Kun akviferissa pohjavedenpinta on syvällä maan pinnasta, voidaan imeytyksellä nostaa pohjavedenpintaa ja siten kasvattaa pohjavesivarastoa aiheuttamatta vettymistä alavilla painanteilla. Monitoimikaivot toimivat sekä veden imeytyskanavina märkinä kausina että pumppaamoina kuivina aikoina, jolloin imeytettävää vettä ei ole riittävästi käytettävissä. Pohjavesiesiintymän käyttäminen vesivarastona on usein käytännöllisempää kuin rakentaa maan pinnalle vesivarastoja. Evaporaation kautta ei tapahdu hävikkiä eikä veden laatua heikentäviä leväkasvustoja esiinny. (Huisman ja Olsthoorn, 1983).

Eräänlainen tekopohjaveden käyttösovellutus on lämpöenergian varastointi pohjavesiesiintymään. Haitallisten ympäristövaikutusten vuoksi tämä on kuitenkin hyvin arveluttavaa ja saattaa joissakin tapauksissa olla jopa pohjaveden pilaamiskiellon (VL 1:22) vastaista. Aurinkoenergiaa tai teollisen toiminnan yhteydessä syntyvää, jaksoittain saatavissa olevaa ylijäämäenergiaa voidaan hyödyntää imeyttämällä halutun lämpöistä vettä maaperään. Energian varastointi perustuu pohjavesiesiintymän lämmön varastointikykyyn; pohjavedenpinnan alapuolisen hiekka – sorakuution ominaislämpökapasiteetti on $2\,000 - 3\,000 \text{ kJ m}^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}$. Pohjavedenpinnan yläpuoliset maakerrokset, joissa on runsaasti ilman täyttämiä huokostiloja, toimivat hyvänä lämpöeristeenä. Pohjavesiesiintymässä lämpö siirtyy pääasiassa konvektiona eli liikkuvassa nesteessä molekyylien mukana. Lämmön liikkumisnopeus vettä hyvin johtavassa pohjavesiesiintymässä on $2,5 - 5 \text{ m d}^{-1}$. Varastoitu lämpö voidaan hyödyntää esim. kohottamalla vesilaitosten kautta jaettavan veden lämpötilaa, jolloin veden jatkolämmitystarve kulutuspisteissä jää pienemmäksi tai jakamalla energiaa lämmitykseen kaukolämpölaiteiden kautta (Iihola, 1980).

Akviferia voidaan käyttää vesihuollossa puhtaasti kuljetuskanavana. Jos esim. liian tehokkaan pumppauksen seurauksena pohjavesikaivot taajamassa ovat kuivuneet, voidaan laajamuotoisen imeytyksen kautta käyttää akviferia "vesijohtoputkena" kuljettamaan pintavettä imeytysalueelta kaivoihin, mikäli pohjaveden virtaussuunta on selkeä ja yhdensuuntainen. Muita edellytyksiä ovat akviferin riittävä laaja-alaisuus ja aineksen suuri vedenläpäisevyys (Huisman ja Olsthoorn, 1983).



Kuva 9. Imeytyksen avulla nostetaan pohjavedenpintaa ja estetään suolaisen meriveden tunkeutuminen akviferiin (Huisman ja Olsthoorn, 1983. s.25).

Muista erityiskäyttömuodoista mainittakoon pohjaveden luonnollisten virtausolosuhteiden aiheuttamien haittavaikutusten ehkäiseminen (kuva 9) ja pohjavedenpinnan nostaminen rakennusten perustuspaalujen lahoamisen estämiseksi. Jätevesien imeyttä-

minen maaperään sekä lauhde- ja muiden jäähdytysvesien jäähdytys eivät haitallisten ympäristövaikutusten vuoksi ole kovinkaan suositeltavia käyttömuotoja.

10 TEKOPOHJAVEDEN MUODOSTAMISEEN LIITTYVÄT YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Tekopohjaveden muodostamiseen kuten pohjavesivarojen hyödyntämiseen yleensä voi liittyä myös haitallisia ympäristövaikutuksia, jotka voidaan jakaa pohjavesialueen sisäisiin ja sen ulkopuolisiin vaikutuksiin. Vaikutukset ovat seurausta pohjavedenpinnan korkeusvaihteluista, joiden suuruudet riippuvat mm. imeytetyn veden määrästä, muodostuman vedenläpäisevyydestä ja rakenteesta sekä sääolosuhteista.

Vedenottoon liittyvä pohjavedenpinnan lasku voi aiheuttaa pehmeiden maakerrosten painumia sekä muutoksia kuivatusolosuhteissa, maaperän kantavuudessa ja pohjavahvistuksessa. Pohjavedenpinnan alentumisesta voi olla myös seurauksena, että pohjavesialueeseen rajoittuvasta pintavesistöstä alkaa rantaimetyä vettä maaperään. Jos vedenotto on vesistön virtaamaan nähden pientä, ei ympäristövaikutuksia aiheudu. Jos kuitenkin rantaimetyys on suunnittelematonta eikä tarvittavia laskelmia ole tehty, voi seurauksena olla muutoksia vesistön laadussa tai veden määrän väheneminen purkuvesistössä. Em. seikat vaikuttavat edelleen vesistön virkistyskäyttöön, kalatalouteen sekä vesivoiman hyödyntämiseen. Erityisesti pienet vesistöt saattavat kokea haitallisia muutoksia (Hatva, 1985).

Tekopohjaveden imeyttämisen yhteydessä pohjavedenpinnan suuresta vaihtelusta voi aiheutua veden laadun muutoksia pohjavesialueen kaivoissa. Imeytetty vesi sekoittuu luonnolliseen pohjaveteen ja muuttaa hivenainepitoisuuksia. Jos imeytetyn veden raakavesilähde on saastunut, nousevat mm. muodostetun veden nitraatti- ja fosfaattipitoisuudet. Tämä taas aiheuttaa kasvillisuuden rehevöitymistä purkautumisalueilla (Huisman ja Olsthoorn, 1983). Haitallisia purkaumia ja kosteikkoja saattaa muodostua pohjavesialueen reunoille, jos imeytetyt vesimäärät ovat liian suuria aineksen vedenläpäisevyyteen ja muodostuman varastoimiskykyyn verrattuna. Myös imeytysalueen kasvuolosuhteet muuttuvat ja häiriintyvät; esim. kuiva mäntymetsä muuttuu reheväm-pää kosteikkokasvillisuutta ylläpitäväksi, pohjakerrokseltaan liettyneeksi maastoksi.

Lämpimän pintaveden imeyttäminen maaperään muuttaa olennaisesti pohjaveden lämpötilaa. Luonnollisen pohjaveden lämpötila on yleensä Etelä-Suomessa +5 – +7 °C ja Lapissa +1 – +3 °C (Lahermo, 1975). Tekopohjaveden imeytyksen aiheuttaman lämpötilan nousun suuruus riippuu pintaveden lämpötilavaihteluista, mutta esim. Lappeenrannan Huhtiniemessä tekopohjaveden lämpötila on ollut +2 – +17 °C. Jos vettä imeytetään lämmön varastoinnin vuoksi, kohoaa tekopohjaveden lämpötila vielä korkeammaksi. Pohjaveden lämpötilan kohoaminen edistää maaperän rapautumista, mikä saattaa lisätä haitallisten liuenneiden aineiden pitoisuuksia pohjavedessä. Lisäksi lämpötilan nousu lisää mikrobiologista toimintaa ja nopeuttaa siten hapenkulutusta, mikä myös huonontaa tekopohjaveden laatua, etenkin jos imeytettävä vesi sisältää niukasti happea ja runsaasti orgaanista ainesta. Jos lämmenneen tekopohjaveden pinta on lähellä maanpintaa, saattaa maanpinnalle siirtyvä lämpö jatkaa kasvukautta ja vaikuttaa alueen kasvilajistoon (Iihola, 1980).

Vedenkorkeudessa voi esiintyä muutoksia myös pohjavesialueen ulkopuolella sellaisilla alueilla, jotka luonnontilassa eivät ole yhteydessä pohjavesialueeseen. Tällöin voi syntyä kuivatusongelmia ympäröivillä peltoalueilla. Tekopohjaveden imeytykseen liittyvät merkittävän haitalliset ympäristövaikutukset ovat kuitenkin harvinaisia. Niitä voidaan myös ehkäistä oikein mitoitettulla imeytyksellä ja vedenotolla (Hatva, 1985).

11 SUOMEN TEKOPOHJAVESILAITOSTEN TOIMIVUUSSELVITYS

Suomen tekopohjavesilaitosten toimivuusselvityksessä kartoitettiin pohjavedenottamot, joiden vesivarat perustuvat tekopohjaveden imeytykseen. Pelkästään rantaimemytykseen perustuvia laitoksia ei otettu mukaan selvityksen aineistoon. Tekopohjavesilaitoksiksi luokiteltiin laitokset, joiden alueella on erityiset rakenteet veden imeytystä varten (altaat, sadetus, rei'itetty putkisto jne.). Jos vedenottamolta saatavan pohjaveden määrää lisätään sekä suorilla imeytysmenetelmillä että epäsuorilla eli rantaimemytyksellä, pyrittiin selvittämään kummankin tuottama osuus tekopohjaveden kokonaisuudesta. Tekopohjavesilaitoksiksi ei luokiteltu vedenottamoja, joissa imeytettävä vesi on pohjavettä. Tällöin on kysymys jälleenimeytyksestä.

Tekopohjavesilaitoksia saatiin kartoitettua kaikkiaan 21 kappaletta. Viidessä imeytys on kausittaista ja kahdessa vettä ei ole imeytetty vuoden 1980 jälkeen, koska luonnolliset pohjavesivarat ovat riittäneet. Kartoitettuihin laitoksiin lähetettiin 19.9.1990 liitteenä 2 oleva kyselylomake. Kyselyn yhteydessä pyydettiin laitoksilta alueen yleiskartta, johon on merkitty raakavesilähde, imeytysalue, kaivot, veden käsittelylaitos ja pohjavesialueen rajat. Lisäksi pyydettiin luettelo alueella tehdyistä pohjavesitutkimuksista sekä raakaveden, kaivoveden ja ottamolta lähtevän veden laatutiedot vuosilta 1988 - 1989.

Kyselyn yhteydessä kävi ilmi seikka, joka vaikeutti laitosten toimivuuden arviointia. Veden laatua ei analysoida kaikilla laitoksilla riittävästi. Suurimmilla laitoksilla tarkkailu on riittävää, mutta pienillä laitoksilla ei tarkkailu aina ole suositusten mukaista. Lääkintöhallituksen yleiskirjeessä nro 1862 on annettu yleisohje veden vähimmäistutkimustiheyksistä seuraavasti: vähintään 200 mutta alle 4 000 kuluttajan vesihuoltolaitoksessa tulisi pohjavedelle tehdä mikrobiologinen ja fysikaalis-kemiallinen tutkimus vähintään neljä kertaa vuodessa. Mikäli vettä käsitellään, tulee tutkimukset tehdä myös siitä vedestä, josta vesijohtovesi valmistetaan. Kaupunkiliiton julkaisussa B 194 "Vesijohtoveden laadun valvonta" korostetaan, että tarkkailu tulee kohdistaa raakaveteen, vedenkäsittelyn eri vaiheisiin sekä vedenjakeluun.

Tekopohjavettä muodostettaessa tulee tarkkailla veden laatua ennen ja jälkeen imeytyksen. Uusimman ohjeen eli lääkintöhallituksen yleiskirjeen nro 1977 mukaan alle 1 000 kuluttajan vesihuoltolaitoksessa tulisi raakavesi eli imeytettävä pintavesi tutkia neljä kertaa vuodessa. Vesijohtovedellä tulisi näytteenotokertoja olla mikrobiologisia tutkimuksia varten kahdeksan kertaa vuodessa ja fysikaalis-kemiallisia tutkimuksia varten neljä kertaa vuodessa. Monilla tekopohjavesilaitoksilla imeytettävää raakavettä ei tutkita juuri ollenkaan toiminnan aloittamisen jälkeen tai tutkitaan hyvin satunnaisesti. Lisäksi kaivovettä ei tutkita läheskään kaikilla laitoksilla, vaan pidetään riittävänä säännöllistä vesijohtoveden mikrobiologista tutkimista.

Koska vedenlaatutietoja ei laitoksilta saatu riittävästi, pyrittiin laatutietoja hankkimaan mm. vesi- ja ympäristöpiireiltä ja kuntien ympäristönsuojelusihteereiltä. Lisäksi laatutietoja ja etenkin pohjavesitutkimuksia saatiin konsulttitoimistoilta: Maa ja Vesi Oy:ltä, Paavo Ristola Oy:ltä, Suomen Pohjavesitekniikka Oy:ltä, Suunnittelukeskus Oy:ltä sekä Vesi-Hydro Oy:ltä. Koska entisen lääkintöhallituksen, nykyisen sosiaali- ja terveyshallituksen asettamat talousveden laatuvaatimukset ja -tavoitteet muuttuivat 15.02.1991 (yleiskirje nro 1977), on vedenlaatutietoja tarkasteltaessa otettu huomioon sekä vanhat että uudet pitoisuusrajat. Tarkkailuvuosina 1988 – 1989 olivat voimassa vanhat ja löyhemmät laatuvaatimukset.

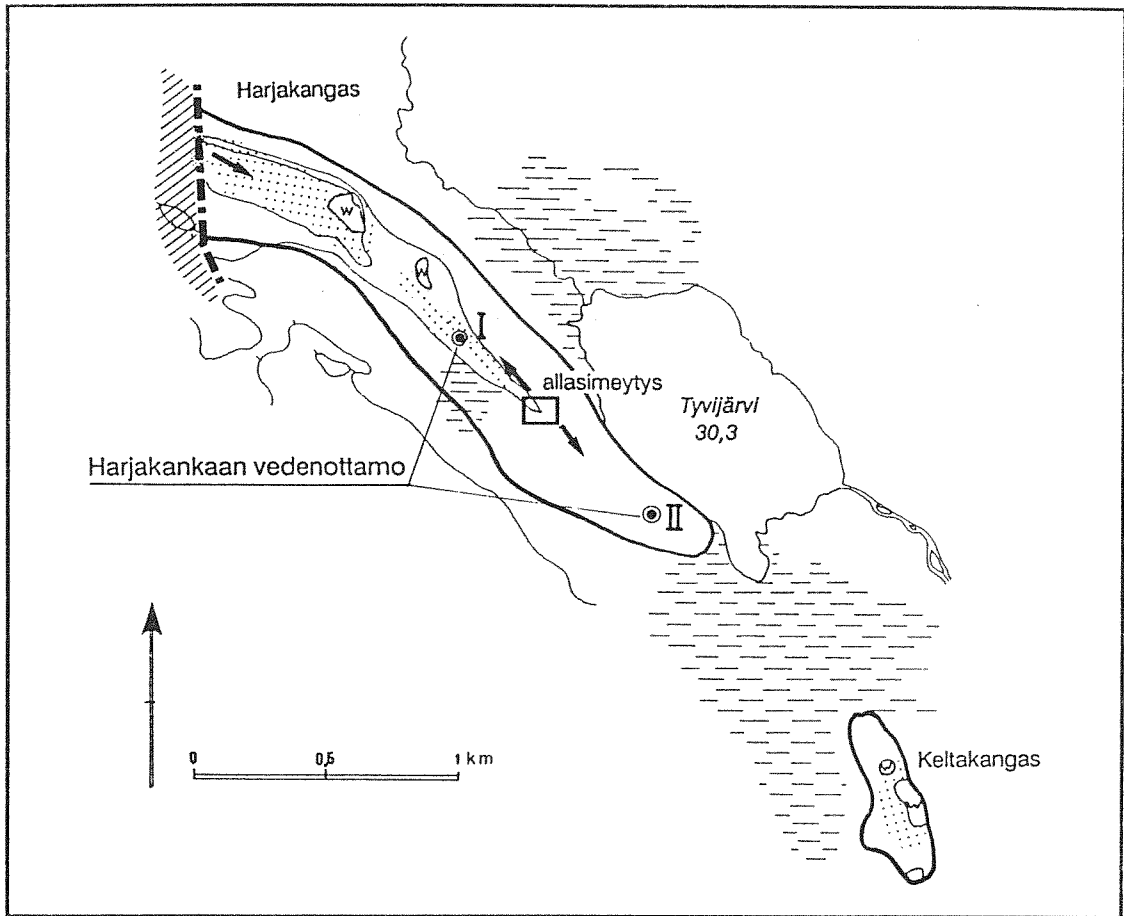
Tarkempaan käsittelyyn 21 laitoksesta valittiin viisi laitosta. Nämä laitokset pyrittiin valitsemaan siten, että eroavaisuuksia on mm. muodostumatyypissä, raakaveden laadussa, imeytystavassa ja veden kemiallisessa käsittelyssä. Valituilla laitoksilla käytiin vierailulla syys- ja lokakuun 1990 aikana, jolloin tutustuttiin veden esi- ja jälkikäsitelyprosesseihin ja imeytysjärjestelyihin. Samalla suoritettiin pohjavesialueen maastokartoitus noudattaen pohjavesialueiden kartoitus- ja luokitusohjeita (Britschgi ym., 1991). Maastotutkimuksissa selvitettiin pohjaveden muodostumisalueen rajat, pohjaveden virtaussuunnat, muodostuman aines ja rakenne. Aineksen koostumus määritettiin silmämääräisesti hiekkakuopista ja samalla tarkasteltiin kerrosrakenteita. Alueen yleisimmät kivilajit tunnistettiin kalliopaljastumien perusteella.

Seuraavassa on raportoitu aikaisemmin tehtyjen pohjavesitutkimusten sekä tehdyn kyselyn ja maastotutkimusten pohjalta tiedot tekopohjaveden muodostamisesta Suomen tekopohjavesilaitoksilla. Laitokset on käsitelty suuruusjärjestyksessä (imeytetyn ja pumpatun vesimäärän perusteella) siten, että ensimmäisinä ovat tarkimmin tutkitut laitokset eli Porin Harjakankaan laitos, Tuusulan Jäniksenlinnan laitos, Kouvolan Haukkajärven laitos, Porvoon Sannaisten laitos sekä Lappeenrannan Hanhikemпин laitos ja sen jälkeen pelkästään kyselyyn vastanneet laitokset. Jokaisen laitoksen käsittelyn yhteydessä on esitetty yksinkertaistettu kartta, johon on merkitty pohjaveden muodostumisalueen raja, pohjaveden päävirtaussuunnat, imeytysalue ja kaivoalue. Lähteenä on käytetty vuosina 1977 – 1982 vesi- ja ympäristöpiireissä tehdyn tärkeiden pohjavesialueiden kartoitustyön tuloksena laadittuja kuntakansioita. Karttamerkkien selitykset ovat liitteessä 6.

11.1 Porin Harjakankaan tekopohjavesilaitos

11.1.1 Laitoksen yleiset tiedot

Porin kaupungin vedenhankinta perustuu Harjakankaan tekopohjavesilaitoksen toimintaan. Harjakankaan pohjavesialue sijaitsee Noormarkun kunnan alueella, 12 km Porista koilliseen. Tekopohjavesilaitos on otettu käyttöön v. 1977. Länsi-Suomen vesioikeuden 20.3.1978 myöntämän luvan mukaan laitoksella on lupa pumpata tekopohjavettä $40\,000\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Vedenottamolle on määrätty 400 ha:n lähisuojavyöhyke ja 850 ha:n suoja-alue. Vedenottamalla on kaksi erillistä kaivoaluetta, joilla on yhteensä neljä kuilukaivoa ja kahdeksan putkikaivoa.



Kuva 10. Porin Harjakankaan pohjavesialueen yleiskartta.

11.1.2 Pohjavesialueen hydrogeologiset olosuhteet

Harjakankaan pohjavesialue on osa n. 70 km pitkää Huittisista Ahlasiin kulkevaa harjujaksoa. Harjakangas ja Keltakangas muodostavat hydraulisesti yhtenäisen 4 km pitkän pitkittäisharjun. Tyvijärven eteläpuolella harjua peittävät turvekerrokset, mutta Keltakangas erottuu suoalueista matalana, suppea-alaisena hiekkakumpareena ja on selvä jatke Harjakankaan harjulle. Tekopohjavesilaitoksen toiminnassa Keltakangas on eräänlainen vararatkaisu mahdollisena uutena imeytysalueena. Alue on leveydeltään 150 – 190 m ja on nykyään maa-aineksen oton seurauksena suurelta osin pohjavesilammikoiden peitossa. Aineista pohjavedenpinnan yläpuolella on luonnontilassa ollut n. 6 m. Aines on melko tasalaatuista karkeaa hiekkaa, jonka rakeet ovat vain kohtalaisesti pyörityneitä. Länsireunalla aineksen seassa on jonkin verran silttiä. Keltakankaalta pumpattavan veden laatua tulisivat heikentämään ympäröivältä suolta kulkeutuvat rautapitoiset humusvedet.

Vesihallituksen v. 1980 tekemän pohjavesialuekartoituksen mukaan Harjakankaalla pohjaveden muodostumisalueen pinta-ala on 1,49 km² ja luonnollinen antoisuus 3 500 m³ d⁻¹. Harju muodostaa synkliinisen akviferin. Luoteispäässä kalliokynnys erottaa Harjakankaan alueen Finpyyn pohjavesialueesta. Kaakossa alue päättyy Palusjokeen. Harjua reunustavat siltti – savikerrostumat. Harjua ympäröivillä alueilla esiintyy runsaasti pohjamoreenia, joka peittää kalliota 2 – 5 m:n paksuisena kerroksena sekä jonkin verran kumpumoreeneja.

11.1.2.1 Muodostuman kuvaus

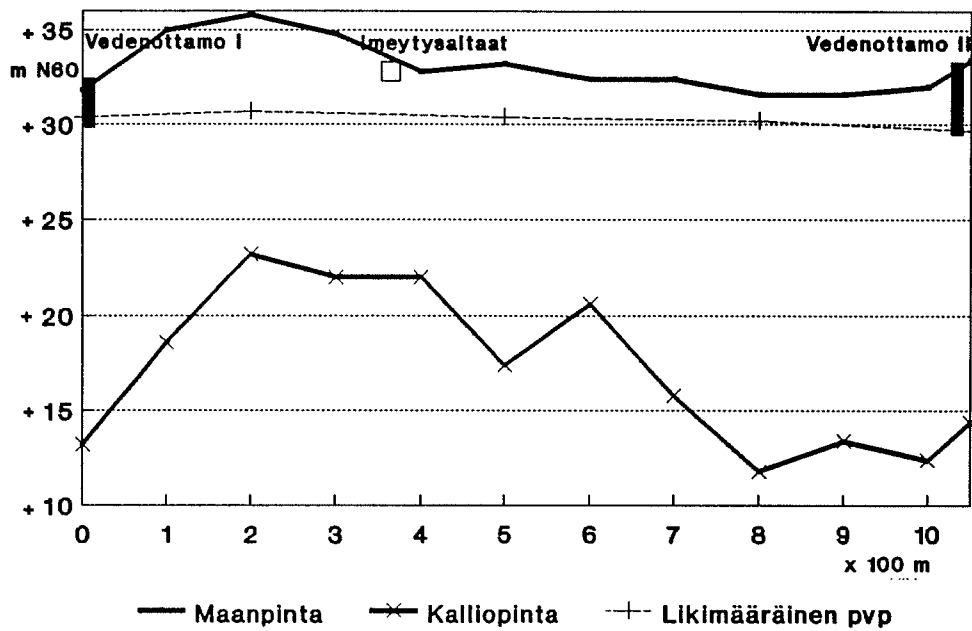
Finpyyn ja Paluksen välisellä alueella kallioperä on pääasiassa grano- ja kvartsi-dioriittia. Harjakankaan ympärillä on myös suonigneissia ja migmatiittia. Porin koillispuolisella alueella ovat nämä graniittisuonien lävistämät kiillegneissit vahvasti liuskeisia. Alueen poikki kulkee luode – kaakko-suunnassa leveä ruhjevöhyke, jota harjujakso seurailee.

Jäätikkö suli Porin – Noormarkun alueelta noin 9500 vuotta sitten, minkä seurauksena alue peittyi silloisen Itämeren alle. Itämeri oli tällöin muuttumassa Yoldiameri-vaiheesta Ancyclusjärvi-vaiheeseen. Maankohoaminen alkoi heti jäätikön sulamisen jälkeen ja lopullisesti alue kohosi merestä 1200 – 1400 vuotta sitten. Muinaiset rantavoimat ovat tasoittaneet harjun topografialtaan melko matalaksi ja huomaamattomaksi selännteeksi. Harjun on päätelty syntyneen jäätikössä olleessa tunnelissa, koska sen pinnalla esiintyy paikoitellen moreenia (Kejonen, 1987).

Sauramon (1924) mukaan Huittisten – Kullaan – Noormarkun harjujakso on jatkoa Hämeestä Lopen, Tammelan ja Humppilan kautta kulkevalle katkonaiselle ja kapealle pitkittäisharjulle. Alkuperäisen harjun liepeillä on ollut kerrallista savea, mutta sen päälle on harjusta kulkeutunut rantavoimien vaikutuksesta vaihtelevan paksuinen hiekkakerros. Harjun alkuperäinen muoto on täten tasoittunut ja aines on levittänyt leveälle alueelle. Harjakankaan alueella harjuaines on levittäytynyt ohuena kerroksena n. 100 m päähän harjun ytimestä. Lindroos ym. (1983) tarkastelevat samaan harjujaksoon kuuluvaa Risteen harjua ja toteavat, että harjun muoto ja rakenne riippuvat ratkaisevasti siitä, miten harju sijaitsee kallioperän topografiaan nähden. Sekä Risteen että Harjakankaan kohdalla harju esiintyy kallioperän murroslaaksoon liittyvän painanteen täytteenä, joten sillä ei ole selvää omaa muotoa. Liskin (1988) mukaan Harjakankaan kohdalla kallioperän murroslinja ei kulje aivan harjun kohdalla, mutta tämä heikkousvyöhyke on silti vaikuttanut harjun syntymiseen kyseiseen kohtaan ja aiheuttanut mm. harjun kääntymisen enemmän länteen.

Harjakankaan tekopohjavesitutkimuksen (Vesi-Hydro Oy, 1970) yhteydessä tehtiin seismisiä luotauksia, joiden avulla määritettiin maakerrosten paksuus ja kalliopinnan asema (kuva 11). Maakerrosten paksuus on 10 – 22 m ja eniten ainesta on harjun kapeassa keskiosassa. Imeytysalueen kohdalla ainesta on n. 11 m ja kalliopinnan korkeus on +20,00 m (N 60). Imeytysalueen kaakkoispuolella kerrospaksuudet kasvavat siten, että kaivoalueella II maa-ainesta on n. 22 m ja kalliopinnan korkeus on +10,00 m. Kaivoalueella I, imeytysalueen luoteispuolella, laskee kalliopinta korkeuteen +14,00 m ja maa-ainesta on n. 19 m (Geotek Oy, 1969).

Harjakankaalla harjun leveys on 125 – 350 m. Leveimmillään harju on kaivoalueen I luoteispuolella ja kapeimmillaan imeytysalueen kohdalla. Harjun liepeitä peittävät siltit ja savet estävät tehokkaasti pohjaveden purkautumisen harjun reunoilla. Harjun kapean ydinosan muodostavat soran ja hiekan sekaiset kerrokset, jotka jatkuvat yhtenäisinä läpi koko muodostuman. Maalajien vedenläpäisevyys on koko alueella hyvä. Harjun ydinosassa vedenläpäisevyysluku on $5 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 10^{-2} \text{ m s}^{-1}$ (sora) ja pienimmillään vedenläpäisevyysluku on $7,4 \cdot 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$ (keskikarkea hiekka) (Vesi-Hydro Oy, 1970).



Kuva 11. Maakerrosten paksuus Harjakankaan imeytysalueella.



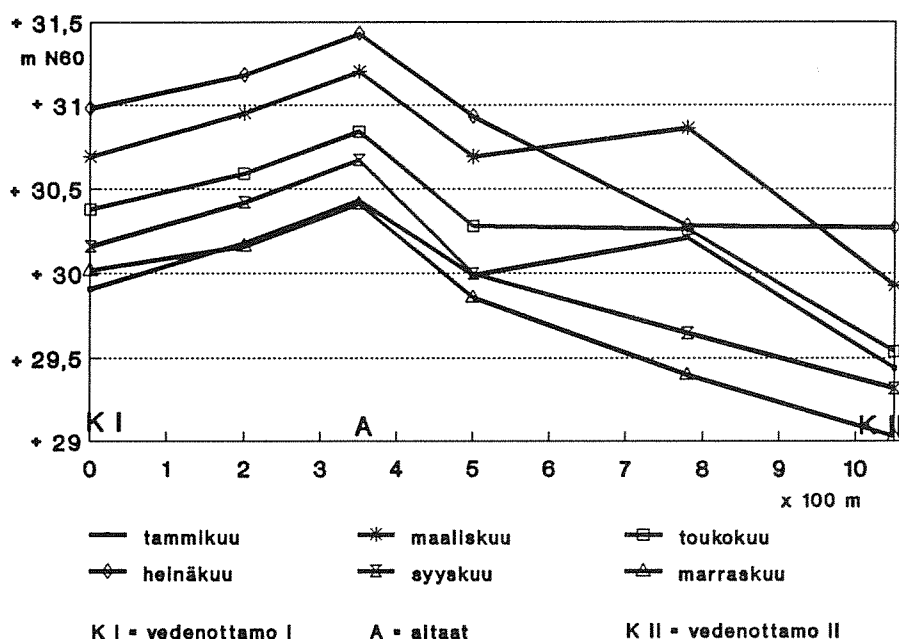
Kuva 12. Porin Harjakankaan harjun ydinosan ainesta. (Mittakaavana linssisuojus, halkaisija 5,6 cm).

Maastohavaintojen perusteella voidaan todeta, että harjun ydinosaassa aines on huonosti lajittunutta kivistä ja lohkareista soraa – karkeaa hiekkaa (kuva 12). Rakeet ja kivet ovat kohtalaisen hyvin pyörityneitä. Kivet ovat pääasiassa suonigneissisiä. Harjuaineksesta erottuu selvästi kerros, jossa on runsaasti rautasaostumia. Lievealueita peittävässä lustosavessa erottuvat selvästi vaaleammat ja tummemmat kerrokset. Saven alla on hienoa hiekkaa – silttiä. Savi ja siltti saattavat myös vaihdella epäsäännöllisinä linssimäisinä esiintyminä. Saven päälle kerrostuneet rantakerrostumat ovat melko ohuita.

Pohjavesialueen länsiosassa varsinaisen Harjakankaan alueella harjun alkuperäinen muoto ja rakenne on lähes kokonaan tuhoutunut runsaan maa-aineksen oton seurauksena. Sorakuoppien pohjat ovat monin paikoin pohjavesilammikoiden peitossa. Lammikot ovat syvyydeltään 1 – 7 m. Liskin (1988) mukaan lammikkovesien vaikutusta pohjaveden laatuun ei Harjakankaalla pystytä tarkkaan määrittämään imeytyksen ja sen seurauksena vaihtelevan pohjaveden virtaussuunnan vuoksi. Selvästi voidaan havaita pohjaveden kohonnut elektrolyyttipitoisuus ja sähkönjohtavuus.

11.1.2.2 Pohjaveden esiintyminen ja virtaussuunnat

Rönkä ym. (1977) tutkivat 1970-luvulla YVY-projektin yhteydessä tekopohjaveden muodostamista Harjakankaalla. Raportin mukaan Keltakankaan ja Harjakankaan väliselle alueelle varastoituneen pohjaveden määrä on suuruusluokkaa 2 milj. m³ ja huokoisuusprosentti 25 – 30 %. Vedenottamoiden I ja II välisellä alueella on varastoituneena pohjavettä n. 700 000 m³. Pohjaveden virtaussuunta on luonnontilassa Harjakankaalta Keltakankaalle ja edelleen Palusjokeen.



Kuva 13. Pohjavedenpinnan korkeus Harjakankaan imiäysalueella.

Luonnollisissa olosuhteissa, ennen imeytyksen aloittamista, pohjavedenpinta pysytteli koko alueella hyvin lähellä maanpintaa. Pohjavedenpinta asettui melko tasaisesti tasolle +30,00 m. Maakerrosten paksuus pohjavedenpinnan yläpuolella oli 1 – 9 m. Ennen varsinaista imeytystä oli pohjavedenpintaa kaivoalueilla laskettava. Koepump-

pauksen avulla saatiin pohjavedenpinnan luonnontilainen kaltevuus 0,15 o/oo kaakkoon muuttumaan kaivoalueiden välissä sijaitsevalta imeytysalueelta molempiin kaivoihin suuntautuvaksi kaltevuudeksi 0,8 o/oo. Samassa yhteydessä koepumppauksella alennettiin pohjavedenpintaa siten, että vedenottamon ja Palusjoen välille saatiin vedenjakaja (Rönkä ja Koskinen, 1979).

Harjakankaan tekopohjavesilaitoksella on kaksi kaivoaluetta (kuva 10). Pohjavedenpinnan korkeuskäyristä v. 1990 (kuva 13) nähdään, että pohjavesi virtaa altailta kohti molempia kaivoalueita. Kun luonnollinen pohjavedenpinta on tammikuussa alimmillaan, voidaan havaita, että tekopohjavedenpinta ei tasaisesti laske mentäessä kaakkoon kohti II vedenottamoaa. Virtaussuunnat kuitenkin selvenevät lumen sulettua ja imeytysmäärien kasvaessa. (Koska tarkkailuraportissa ei ole pohjavedenpinnan korkeustietoja altaiden kohdalta, on korkeus arvioitu lisäämällä altaita lähimpänä olevan havaintoputken arvoon 0,25 m).

11.1.3 Raakavesi ja esikäsittely

Raakavesi imeytykseen otettiin aikaisemmin Kullaanjoen vesistöön kuuluvasta Tyvijärvestä, jonka valuma-alueen pinta-ala on 34,6 km². Raakavesilähdettä jouduttiin kuitenkin vaihtamaan veden laadun huononemisen vuoksi. Tyvijärven valuma-alueella on runsaasti soita. Järvi on hyvin matala, syvyydeltään n. 80 cm ja pohjalla on paksult lijua. Järven vesi on hyvin humuspitoista ja sameaa. KMnO₄-luku on suurimmillaan ollut jopa 250 mg l⁻¹. Myös mm. väriluku, sähkönjohtokyky sekä rauta- ja mangaanipitoisuus ovat Tyvijärven vedessä korkeat. Veden laatu heikkeni niin kehnoksi, että tehokkaan esikäsittelynkkin jälkeen imeytyksessä ilmeni ongelmia.

Marraskuusta 1989 lähtien raakavesi on otettu Tuurujärvestä, joka on kapean salmen kautta yhteydessä Joutsijärveen. Joutsijärven valuma-alueen pinta-ala on 68,1 km² ja Tuurujärven 4,6 km². Tuurujärven valuma-alueen kasvillisuus on karua metsäkasvillisuutta. Järven etäisyys imeytysalueesta on 9,6 km ja korkeusero on 14 m. Raakavettä johdetaan laitokselle 300 l s⁻¹. Tyvijärven raakavesijohto on edelleen toimintakunnossa ja sitä pidetään eräänlaisena varalähteenä.

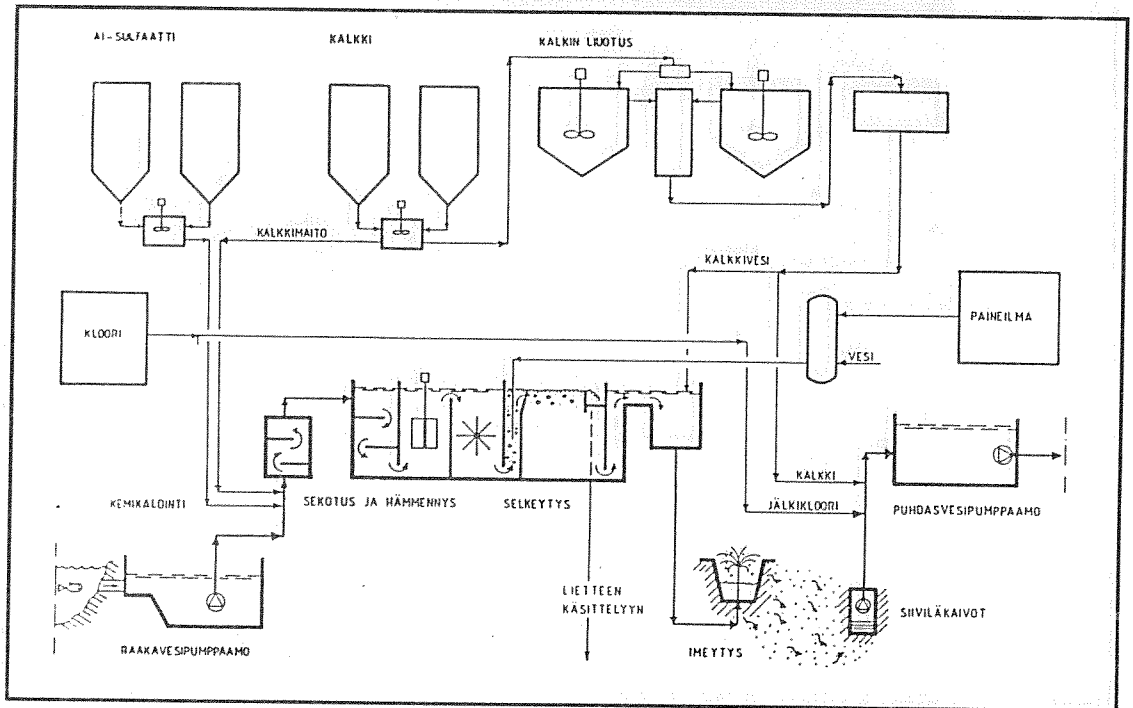
Taulukko 5. Esi- ja jälkikäsittelyssä käytettävien kemikaalien kulutus vuosina 1988 - 1989.

Kemikaali	1988	1989
Alumiinisulfaatti (t a ⁻¹)	587,5	500,5
Sammutettu kalkki (t a ⁻¹)	358,1	334,3
Kloori (t a ⁻¹)	7,58	1,21 *
Natriumhypokloriitti (t a ⁻¹)	-	43,8
Polymeeri (kg a ⁻¹)	900	1100

*) Vuonna 1989 klooria käytettiin ainoastaan 1.1 - 29.3 välisenä aikana.

Harjakankaan vedenkäsittelylaitoksella järvivedelle tehdään kemiallinen esikäsittely ennen maaperään imeytystä (kuva 14 ja taulukko 5). Aluksi veden pH säädetään kalkilla sopivaksi (pH 6). Seuraavaksi syötetään alumiinisulfaattia saostuskemikaaliksi. Pikasekoituksen ja polymeerin lisäyksen jälkeen tapahtuu hiutalointi ja flotaatiosel-

keytys. Hiutaloinnissa alumiinisulfaattia lisäämällä ja vettä hämmentämällä epäpuhtaudet saatetaan hiutaleiksi. Flotaatiossa hiutaleet nostetaan ilmakuplilla veden pintaan lietteeksi, joka ajoittain poistetaan kaapimalla. Selkeytyksen jälkeen vesi johdetaan imeytysaltaalle.



Kuva 14. Kaavio vedenpuhdistusprosessista.

11.1.4 Imeytysjärjestelyt ja jälkikäsittely

Imeytysalueella on neljä allasta, joiden yhteenlaskettu pinta-ala on 10 700 m². Yleensä vain kaksi allasta on toiminnassa, tosin ylivuotoputkien kautta ovat mahdollisesti myös muut altaat samanaikaisesti toiminnassa (kuva 15). Talvikuukausina imeytys tapahtuu vain yhden altaan kautta. Altaiden pohjat puhdistetaan kaksi kertaa vuodessa. Pohjalta kaavitaan ohut kerros ainesta pois ja poistettu aines korvataan tarpeen tullen uudella suodatinhiekkalla. Tukkeutumisongelmia on etenkin sähkökatkosten aikana, jolloin flokkautunutta lietettä pääsee altaiisiin. Lisäksi nelosaltaan toimivuudessa on ollut ongelmia. Allas on rakennettu harjun reuna-alueelle, missä aines on niin hienoainespitoista, että imeytyminen ei tapahdu riittävän nopeasti.

Ennen imeytyksen aloittamista oli pohjavedenpinta alueella suunnilleen korkeudella +30,00 m. Altaiden pohjien korkeusasema on +32,50 m eli etäisyys pohjavedenpintaan oli tällöin 2,5 m. Pohjavedenpinta on imeytyksen seurauksena noussut imeytysalueella välille +30,00 – +31,00 m, ylimmillään se on ollut tasolla +31,43 m. Tällöin altaan pohjan ja pohjavedenpinnan välinen etäisyys on 1,07 m. Vuonna 1990 pohjavedenpinta vaihteli kaivoalueella I välillä +29,79 – +30,98 m ja kaivoalueella II +29,32 – +30,27 m. Ennen imeytyksen aloittamista pohjavedenpinnan korkeus kaivoilla oli +30,70 – +30,80 m. Imeytys ja pumppaus on siis tasapainotettu siten, että kaivoilla pohjavedenpinta pysyttelee koko ajan suunnilleen samalla tasolla.



Kuva 15. Imeytysaltaat Harjakankaan imeytysalueella.

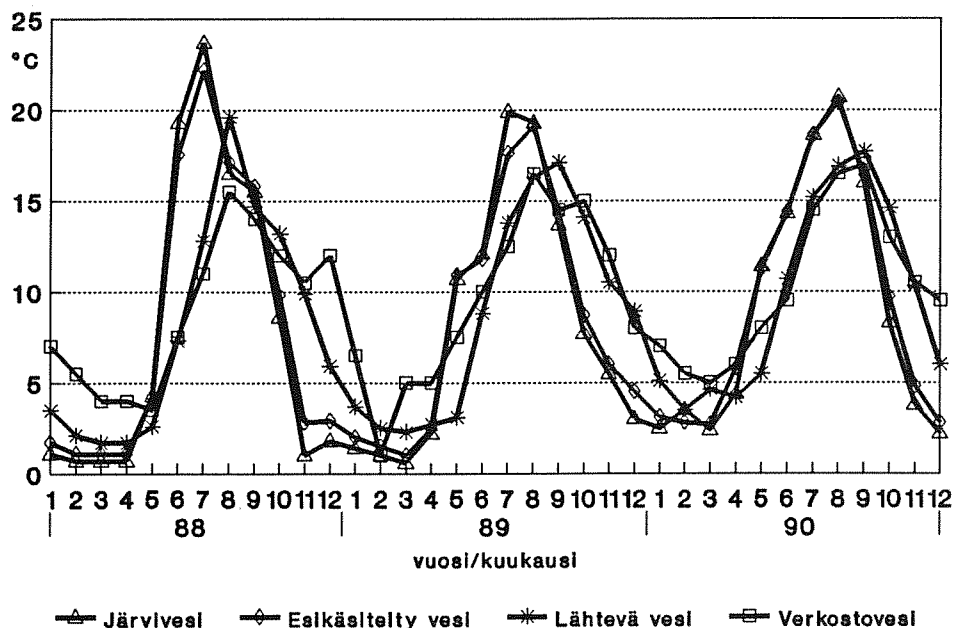
Hydraulinen pintakuorma altaissa on $0,1 \text{ m h}^{-1}$. Imeytetyn veden viipymä maaperässä on noin 20 d, mikä on selvästi lyhyempi kuin Rönkän ym. (1977) arvioima keskimääräinen viipymä 45 d. Syy poikkeavuuteen on siinä, että 45 d:n viipymä on laskettu imeytyskapasiteetille $14\,000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ ja pumppauskapasiteetille $15\,000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Nykyään laitoksella imeytetään keskimäärin $23\,000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ ja pumpataan $26\,000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Verkostoon pumpatussa vedessä on n. 90 % tekopohjavettä ja n. 10 % luonnollista pohjavettä. Laitokselta saadun tiedon mukaan luonnollinen pohjavesi on laadultaan heikompaa kuin tekopohjavesi, joten sen osuus verkostovedessä pyritään minimoimaan.

Vedelle suoritetaan imeytyksen jälkeen jälkikemikalointi. Kalkkivedellä säädetään veden pH sopivaksi jakelua varten (pH 8–9). Natriumhypokloriitilla desinfioidaan vesi mikrobien kasvun ennaltaehkäisemiseksi, koska vesi kulkee verkostossa pitkiä matkoja (putkisto Poriin 11 km). Kesällä lämpötila putkistoissa saattaa kohota lukemaan $18 \text{ }^\circ\text{C}$.

11.1.5 Veden laadun muuttuminen

Harjakankaan luonnollisen pohjaveden laatua huonontavat suuret rauta- ja mangaanipitoisuudet, jotka johtuvat ympäröivien soiden humuspitoisista valumavesistä sekä akviferin pelkistävästä olosuhteista. Veden rautapitoisuutta osoittavat myös sorassa havaitut kerrokset, joissa esiintyy runsaasti rautasaostumia.

Koska Harjakankaalla luonnollinen pohjavesi on laadultaan heikkoa, raakavesi humuspitoista ja imeytys/pumppaus suurimmitaista muodostuman kokoon verrattuna, on imeytystä pidettävä vain osana veden käsittelyä. Kemiallinen esikäsittely on välttämättömän hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi. Kuvissa 16 – 18 on esitetty veden laatu käsittelyn eri vaiheissa. Tarkkailuvuosina 1988 – 1989 raakavesi otettiin vielä Tyvijärvestä ja vuodesta 1990 lähtien Tuurujärvestä.



Kuva 16. Veden lämpötila käsittelyn eri vaiheissa.

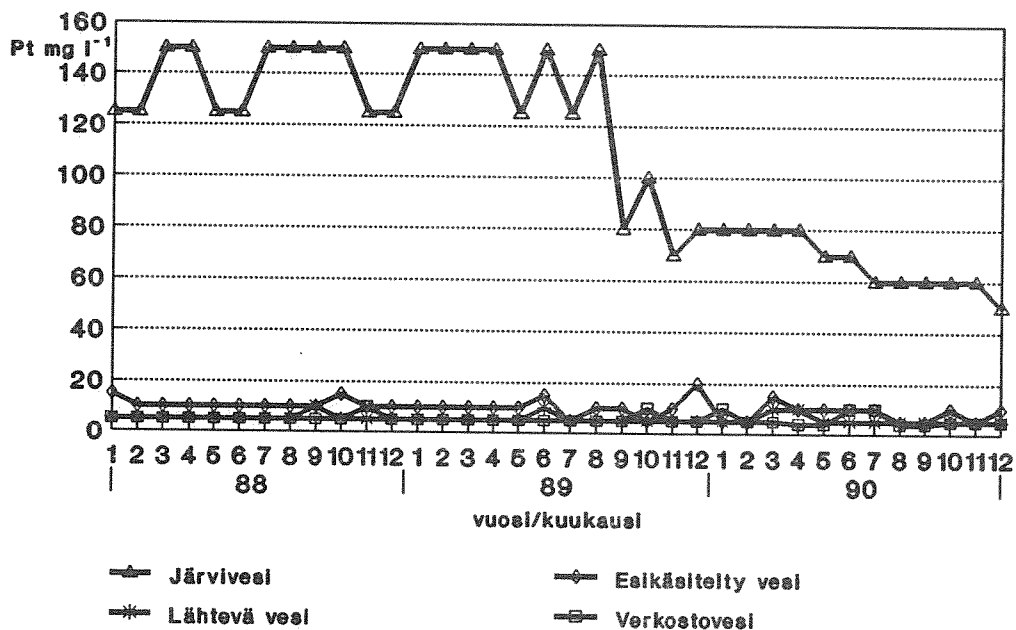
Porin laitos on yksi niistä harvoista tekopohjavesilaitoksista, joissa veden lämpötilaa tarkkaillaan jatkuvasti. Lämpötilakäyrät (kuva 16) ovat järvivedessä, esikäsitellyssä, lähtevässä ja verkostovedessä samanmuotoisia, mutta tiettyjä eroavaisuuksia esiintyy. Raakavedessä ja esikäsitellyssä vedessä lämpötilamaksimi on heinä–elokuussa ja laitokselta lähtevässä vedessä lämpötilamaksimi on kuukautta myöhemmin eli elokuussa. Vuosina 1988 – 1990 raakaveden lämpötila oli 0,3 – 24,8 °C ja laitokselta lähtevän veden lämpötila 1,2 – 19,6 °C.

KMnO₄-lukuja vertailtaessa havaitaan, että raakaveden laatu on parantunut vuoden 1989 lopun jälkeen. Kun raakavesi otettiin Tyvijärvestä, oli KMnO₄-luku suuruusluokkaa 60 – 90 mg l⁻¹, ajoittain jopa 250 mg l⁻¹. Marraskuussa 1989 aloitettiin raakaveden otto Tuurujärvestä, jossa KMnO₄-luku on ollut n. 40 mg l⁻¹. Imeytetyn veden KMnO₄-luvussa ei ole vuosina 1988 – 1990 tapahtunut suuria vaihteluja. KMnO₄-luku on ollut 3,5 – 12 mg l⁻¹ eli lääkintöhallituksen asettamien raja-arvojen alapuolella. Raakaveden humuspitoisuudessa tapahtuvat vaihtelut eivät näy lähtevässä vedessä, koska valtaosa orgaanisesta aineksesta saostetaan pois vedestä ennen imeytystä.

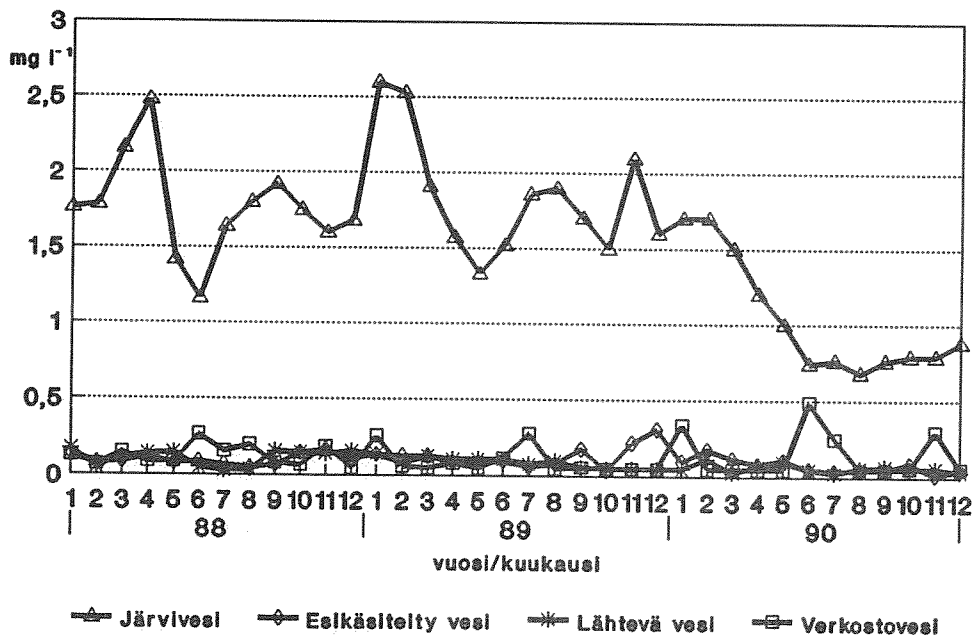
Selvimmän raakavesilähteen vaihtaminen näkyy väriluvun pienenemisenä (kuva 17). Tyvijärven vedessä väriluku on 120 – 150 Pt mg l⁻¹, ja Tuurujärven vedessä väriluku on 60 – 80 Pt mg l⁻¹. Esikäsitelyn jälkeen veden väriluku on 5 – 15 Pt mg l⁻¹ ja imeytetyssä vedessä keskimäärin 5 Pt mg l⁻¹. Verkostovedessä väriluku on pienempi kuin 5 Pt mg l⁻¹, joten myös väriluvultaan laitoksen vesi täyttää lääkintöhallituksen asettamat laatuvaatimet (vanha raja-arvo 15, uusi raja-arvo 5).

Vuosina 1988 – 1990 raakaveden pH oli 5,9 – 9,9. Veteen syötetään kalkkia pH:n säätämiseksi sekä ennen että jälkeen imeytyksen ja automatisoitu veden pH:n tarkkailu on jatkuvaa. Täten laitokselta lähtevän veden pH on helppo säätää suositusten mukaiseksi (vesijohtovesi on syövyttävää, jos pH < 8,3). Raakaveden ja esikäsitellyn veden alkaliteetti on yleisesti melko alhainen, mutta lähtevässä vedessä alkaliteetti

ainakin ajoittain ylittää arvon $0,6 \text{ mmol l}^{-1}$, joka on eräänlainen minimiraja vesijohtoveden syövyttävyyttä arvioitaessa (Kaupunkiliiton julkaisu B 192).



Kuva 17. Veden väriluku käsittelyn eri vaiheissa.



Kuva 18. Veden rautapitoisuus käsittelyn eri vaiheissa. (Esitetty kunkin kuukauden ensimmäiset analyysitulokset).

Harjakankaan tekopohjavesilaitoksen ensimmäisenä käyttövuotena 1977 – 1978 raakaveden rautapitoisuus oli $0,5 - 2,1 \text{ mg l}^{-1}$. Esikäsitelyssä raudan reduktio oli tällöin jopa 88 %, mutta toisaalta maaperässä tapahtui imeyttämisen aikana raudan liukenemista veteen. Tekopohjaveden rautapitoisuus oli ensimmäisenä käyttövuotena keskimäärin $0,24 \text{ mg l}^{-1}$ (Rönkä ja Koskinen, 1979). Vuosina 1988 – 1990 raakaveden rautapitoisuus oli $0,59 - 6,47 \text{ mg l}^{-1}$ (kuva 18. Koska kuvaaja on piirretty käyttämällä

jokaisen kuukauden ensimmäistä analyysitulosta, eivät ääriarvot välttämättä näy kuvaajassa). Esikäsittelyn jälkeen veden rautapitoisuus oli 0,01 – 0,9 mg l⁻¹ eli reduktio oli useimmiten vähintään 90 %. Lähtevän veden rautapitoisuus oli 0,01 – 0,61 mg l⁻¹. Vaikka ääriarvot satunnaisesti ylittävätkin lääkintöhallituksen raja-arvot (vanha raja-arvo 0,3 mg l⁻¹, uusi raja-arvo 0,2 mg l⁻¹), on laitokselta lähtevä vesi kuitenkin yleisesti myös rautapitoisuudeltaan moitteetonta.

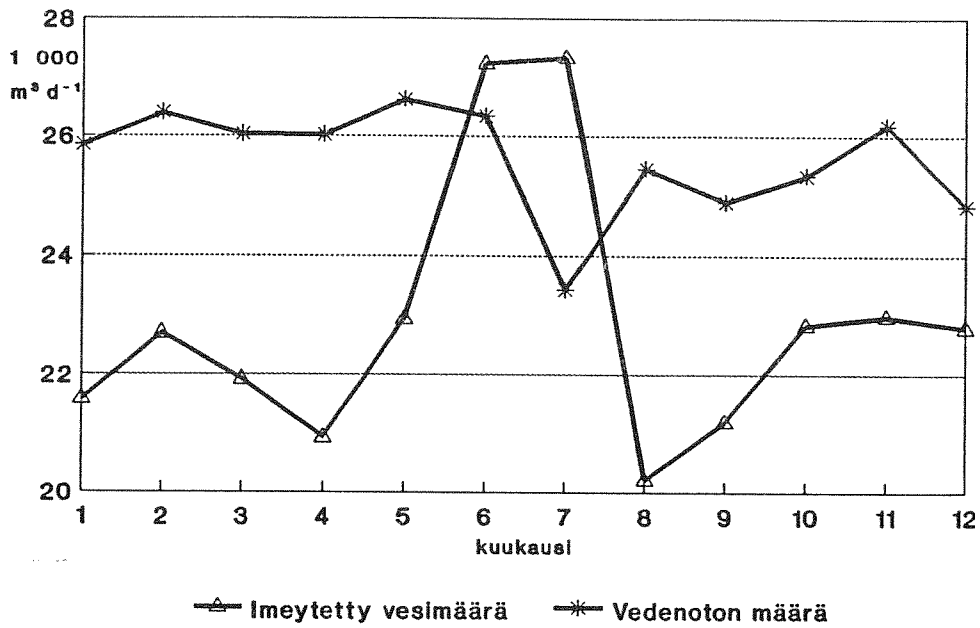
Sähkönjohtavuusarvojen vaihtelut järivedessä, esikäsitellyssä vedessä ja lähtevässä vedessä ovat samansuuntaisia. Sähkönjohtavuus kasvaa käsittelyn aikana siten, että järivedessä se on suuruusluokkaa 5 – 10 mS m⁻¹, esikäsitellyssä vedessä 10 – 20 mS m⁻¹ ja lähtevässä vedessä 10 – 25 mS m⁻¹. Pohjavesien raakavesiluokituksen (Kaupunkiliiton julkaisu B 192) mukaan laatu on tyydyttävä, jos sähkönjohtavuus on alle 30 mS m⁻¹. Liskin (1988) mukaan pohjaveden sähkönjohtavuusarvoja on nostanut runsas soranotto pohjavesialueen luoteisosassa.

11.1.6 Yleisvaikutelma laitoksen toimivuudesta

Ensimmäisessä imeytyskokeessa 28.5. – 5.10.1970 vesi johdettiin käsittelemättömänä imeytysaltaisiin. Imeytysnopeus oli keskimäärin 4 m d⁻¹ ja altaiden pohjia puhdistettiin jatkuvasti. Tällöin havaittiin veden laadussa seuraavanlaisia muutoksia: KMnO₄-luku laski arvoista 30 – 44 mg l⁻¹ arvoihin 12 – 19 mg l⁻¹ ja väriluku arvoista 40 – 70 Pt mg l⁻¹ arvoihin 5 – 10 mg l⁻¹. Rautapitoisuus oli alle 0,1 mg l⁻¹. Suuremmilla imeytysmäärillä maaperän puhdistuskyky ei kuitenkaan riitä, joten jo toiminnan alkuvaiheessa käyttöön otettiin kemiallinen esikäsittely. Laitoksen ensimmäisenä toimintavuonna 1977 imeytyskapasiteetti oli 10 000 – 15 000 m³ d⁻¹ ja keskimääräinen imeytymisnopeus 1,3 – 1,9 m d⁻¹ (Rönkä ja Koskinen, 1979).

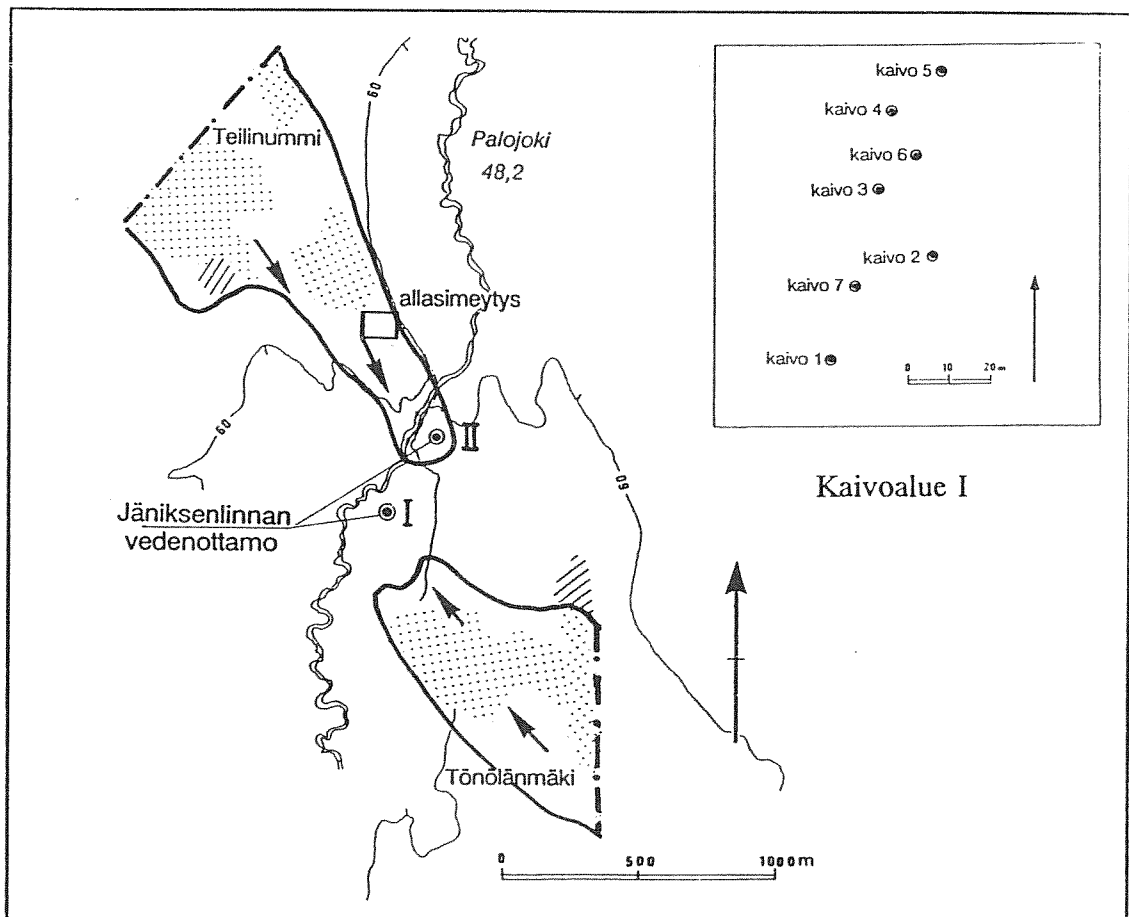
Imeytetty vesimäärä on nykyisellään 20 000 – 28 000 m³ d⁻¹ (kuva 19). Vuonna 1990 vettä imeytettiin yleensä 20 000 – 23 000 m³ d⁻¹, mutta kesä–heinäkuussa selvästi enemmän, yli 27 000 m³ d⁻¹. Vedenottamolta pumpattu vesimäärä pysytteli yleisesti melko vakiona, ainoastaan heinäkuussa vesimäärä laski alle 24 000 m³ d⁻¹. Näiden imeytys/pumppaustehokkuuksien vaihteluiden seurauksena pohjavedenpinta oli korkeimmillaan kaivoalueilla juuri heinäkuussa. Täten saatettiin imeytystä vähentää elokuussa.

Harjakankaan tekopohjavesilaitokselta lähtevä vesi on pääsääntöisesti laadultaan moitteetonta ja täyttää talousveden laatuvaatimukset ja -tavoitteet. Veden laatu turvataan jatkuvalla tarkkailulla. Vesinäyte käsittelyn eri vaiheissa analysoidaan päivittäin. Imeytyksen avulla veden laatu viimeistellään. Muodostuma toimii samalla turvallisena vesivarastona, jossa vesi pysyy tasalaatuisena ja on suojattu äkillisiltä saastumisilta. Jonkinasteisia ongelmia laitoksen toiminnassa ovat olleet seuraavat seikat: raakaveden humuspitoisuus, maaperän hienoainespitoisuudesta johtuvat imeytymisongelmat altaalla nro 4 sekä flokkautuneen lietteen pääsy altaisiin ja sen seurauksena nopea tukkeutuminen. Sorakuopat alueen luoteispäässä aiheuttavat likaantumiseriskin.



Kuva 19. Vuoden 1990 käyttötarkkailuraportin tietojen perusteella laadittu kuvaaja imeytetyistä ja pumpatuista vesimääristä Harjakankaan tekopohjavesilaitoksella.

11.2 Tuusulan Jäniksenlinnan tekopohjavesilaitos



Kuva 20. Tuusulan Jäniksenlinnan pohjavesialueen yleiskartta.

11.2.1 Laitoksen yleiset tiedot

Jäniksenlinnan tekopohjavesilaitoksen omistaja on Tuusulan Seudun Vesilaitos kl. Jäsenkuntia ovat Järvenpää, Kerava, Sipoo ja Tuusula. Väestön määrä jäsenkunnissa oli 1.1.1989 yhteensä 98 262 henkilöä ja keskimääräinen vedenkulutus vuonna 1989 oli $17\,440\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Jäniksenlinnasta pumpattiin vuonna 1988 vettä verkostoon $6\,450\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$ ja seuraavana vuonna $6\,790\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$.

Jäniksenlinnan pohjavesialue sijaitsee n. 10 km Tuusulan kirkonkylästä pohjoisluoteeseen. Tekopohjavesilaitoksen käyttöönottovuosi on 1979. Ottamalla on Länsi-Suomen vesioikeuden 21.11.1977 myöntämä lupa vedenottoon $17\,000\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Kaivoalueella I on seitsemän siiviläputkikaivoa. Kaivoalue II sijaitsee Palojoen rannassa (kuva 20). Imeytyksen laajentamisesta Tönölänmäkeen on olemassa valmiit suunnitelmat, mutta ainakin toistaiseksi laitoksen kapasiteetti on riittänyt ilman laajennusta. Tehoa on kasvatettu lisäämällä Teilinummelle imeytettävän veden määrää.

11.2.2 Pohjavesialueen hydrogeologiset olosuhteet

Jäniksenlinnan pohjavesialue on osa luode – kaakko-suuntaista katkonaista harjujaksoa, joka Hyvinkään eteläpuolella yhtyy I Salpausselkään. Pohjavesialueen pituus on 2,8 km ja maksimissaan harjun leveys on n. 800 m. Alueen muodostaa pitkittäisharju, jonka katkaisee pohjois – etelä-suunnassa kulkeva kallioperän ruhjeeseen syntynyt Palojoki. Alueen itäreuna rajoittuu Tönölänmäen kalliokynnykseen, jonka pinta on selvästi havaittavissa hiekkakuopan pohjalla. Kalliokynnyksellä toimii täten pohjavedenjakajana. Kivilaji on suonigneissä, missä poimuttuneet suonet ovat kalimaasälpä- ja plagioklaasipitoisia.

Pohjavesialueen luoteisreuna rajoittuu pohjavedenjakajaan, joka on aikaisemmissa kartoituksissa sijoitettu Teilinummen korkeimmalle kohdalle. Harjun alkuperäinen muoto on kuitenkin maa-aineksen oton yhteydessä tuhottu täydellisesti, mikä on vaikuttanut pohjaveden luonnollisiin virtauksiin. Maastotutkimusten mukaan oletetun pohjavedenjakajan luoteispuolelta virtaakin pohjavettä kaakkoon. Koska ainoastaan muodostuman keskellä kalliopinta on pohjavedenpintaa ylempänä, pääsee pohjavesi virtaamaan kaakkoon kalliokumpareen molemmilta puolilta. Arvioitu pohjavedenjakaja kulkee itä – länsi-suuntaisena hieman aikaisemmin oletetusta jakajasta pohjoiseen, suunnilleen Solbackan tilalta harjun länsipuolella olevalle huoltoasemalle (suullinen tiedonanto, Risto Reijonen, 28.1.1991).

11.2.2.1 Muodostuman kuvaus

Teilinummen – Tönölänmäen alueella yleisimmät kivilajit ovat kvartsi-maasälpägneissi, jossa esiintyy paikoitellen graniittijuonia, granaatti-kiillegneissi, mikrokliini-graniitti sekä pyrokseenigneissi, jossa myös esiintyy graniittisia juonia. Harjujakson itäpuolella kivilaji on granodioriittia.

Härmen (1978) mukaan alueen kvartsi-maasälpägneisseissä päämineraaleina ovat kvartsi, maasälpä ja biotiitti. Maasälpä on pääasiassa plagioklaasia ja vähemmässä määrin mikrokliinia. Maasälpää saattaa olla kivessä jopa 50 % ja biotiittia alle 10 %. Aksessoreina esiintyvät grafiitti, titaniitti, zirkoni ja magnetiitti. Kiillegneissit sisältävät kvartsia, plagioklaasia, biotiittia ja kloriittia. Aksessorisina mineraaleina esiintyy

yleisesti almandiinia, kordieriittia ja/tai sillimaniittia. Suonigneissirakenne on yleistä.

Alueen yleisin pintamaalaji on savi. Harjua ympäröivät laajat savikot. Kalliopaljastumia ja moreenia esiintyy niukasti. Virkkalan ym. (1959) mukaan alueen savikerrostumien keskimääräinen vahvuus on n. 10 m, mutta paikoitellen savikerrokset ovat 20 – 30 m paksuja. Harjujakso, johon Jäniksenlinnan pohjavesialue kuuluu, jatkuu Keski-Uudenmaan halki Hyvinkäälle ja on pituudeltaan n. 60 km. Virkkalan (1959) mukaan Jäniksenlinnan alueelta löytyvät ainoat lähialueilta tavatut harjukuopat eli supat. Harjun aineksen kivilajikoostumuksessa vallitsevana ovat paikalliset kivilajit. Ero moreeniaineksen koostumukseen ei ole suuri, joskin jonkin verran ainesta on kulkeutunut kauempaakin.

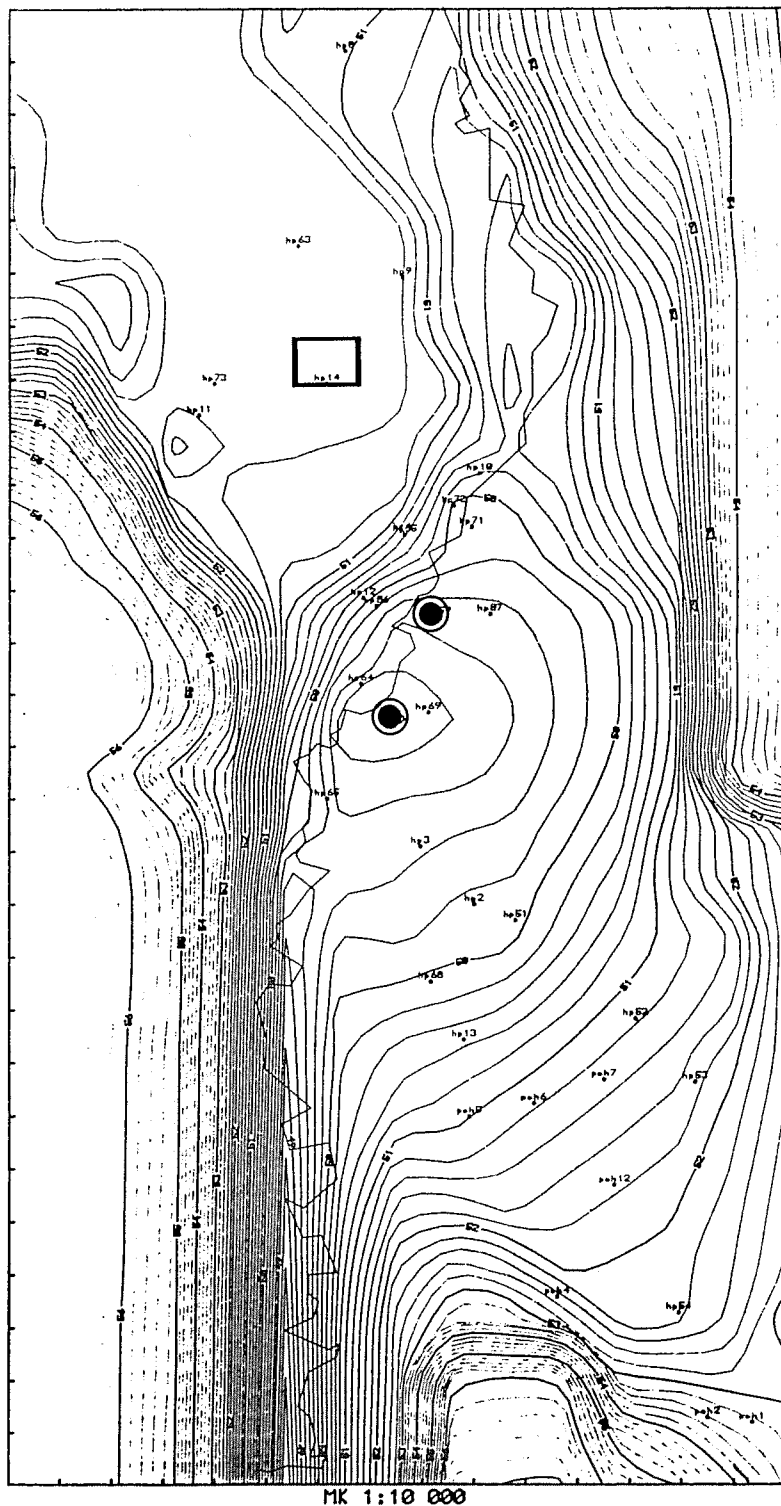
Jäniksenlinnan alueella on tehty eri yhteyksissä runsaasti pohjavesitutkimuksia, joiden perusteella on helppo selvittää maakerrosten paksuus alueen eri osissa. Teilinummen alueella harjun laki on luonnontilaisena kohonnut n. 20 m ympäristöönsä korkeammalle eli korkeimmillaan tasolle +106 m (N60). Tönölänmäki kohoaa ympäristöstään 10 – 15 m korkeammalle, tasolle +65 m. Vettäjohtavien maakerrosten paksuus on 20 – 40 m ja pohjaveden virtausvyöhykkeen paksuus on 5 – 30 m. Aines on seismisten luotausten perusteella pääasiassa kivistä soraa, paikoitellen hieman huonosti lajittunutta ja moreeniainesta (kuva 21)(Maa ja Vesi Oy, 1977).



Kuva 21. Tuusulan Jäniksenlinnan harjuainesta.

Kun Teilinummen imeytysaluetta rakennettiin, havaittiin alueen eteläpäässä kaksi vinoasentoista savikerrosta. Kerrokset olivat päällekkäisiä, vahvuudeltaan 20 – 50 cm ja viettivät etelään n. 30° kulmassa. Lisätutkimuksissa todettiin, että savikerrokset kuuluvat eteläpuolisen supan kerrostumiin ja ne ulottuvat vain imeytysalueen lounaiskulmaan. Vaikeudet imeytyksessä vältettiin siirtämällä lounaiskulmassa olevan altaan sijaintia (Maa ja Vesi Oy, 1978).

Kalliopinta myötäilee maanpinnan tasoa laskien tasolta +70 m tasolle +25 m. Kalliopinta viettää kummaltakin suunnalta loivasti kumpuillen kohti Palojoen uomaa, jonka kohdalla kalliopinnan korkeus on n. +20,00 m. Palojoen kohdalla on kallioperässä syvälle kulunut ruhjevyöhyke. Harjun pituussuunnassa Teilinummen ja Tönölämäen välisellä alueella ei esiinny pohjaveden virtausta estäviä kalliokynnyksiä (Maa ja Vesi Oy, 1972).



Kuva 22. Jänkänselän tekopohjavesilaitoksen laajennussuunnitelmiin liittyvät simuloidut pohjaveden korkeuskäyrät, käyttötilanne $6\,000 + 6\,000\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$ pumppausta, imeytys $10\,000\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$ (Suomen Pohjavesiteknikka Oy, 23.4.1991).

Molemmat kaivoalueet sijaitsevat Palojoen rannassa, n. 800 m:n päässä imeytysalueesta. Imeytysaltaat on rakennettu Teilinummmelle, missä maanpinnan korkeus on +67,98 m ja ainesta on yli 30 m. Aines on pääasiassa soraa. Kaivoalueella I maanpinnan korkeus on +51,57 m. Aimesta on kalliopinnan päällä 24,4 m ja sen koostumus on seuraava: pinnalla 7,0 m savea, sen jälkeen 6,3 m silttiä, 4,2 m hiekkaa, 6,3 m kivistä hiekkaa ja 0,6 m moreenia (Suunnittelukeskus Oy, 1990).

Kaivoalueella II maanpinnan korkeus on +50,59 m ja sorakerrokset ulottuvat 23 m:n syvyyteen. Koepumppauksessa kaivoalueen II tuotto oli 280 – 300 l min⁻¹ (Suunnittelukeskus Oy, 1990). Kaivoalue II rakennettiin v. 1991. Tällöin imeytyksen ja vedenoton suunnittelussa käytettiin pohjaveden numeerisia malleja (kuva 22). Kun kaivoaluetta II rakennettiin Palojoen rantaan, todettiin olemassa oleva riski, että tehostetun pumppauksen seurauksena vettä imeytyy Palojoesta akviferiin. Siksi imeytys/pumppaus-suhde on tarkkaan pidettävä tasapainossa (Risto Reijonen, suullinen tiedonanto, 28.1.1991).

Maastotutkimuksissa muodostuman aineksen ja etenkin rakenteen tarkastelua vaikeuttaa huomattavasti laaja maa-aineksen otto ja maisemoidut rinteet, joihin on tasauksen jälkeen istutettu männyntaimia. Imeytysalueen luoteispuolella muodostuman keskiosassa aines on huonosti lajittunutta kivistä ja soraista karkeaa hiekkaa. Kivet ja rakeet ovat kohtalaisen hyvin pyöristyneitä. Aineksessa on myös jonkin verran lohkkareita. Aimesta on otettu 15 – 20 m. Lounaisreunassa kohoaa näkyviin kallio, joka on kvartsi-maasälpägneisiä. Siinä on juonina laajoja kalimaasälpäpitoisia, lievästi poimuttuneita kerroksia.

Muodostuman reunoilla melko leveällä vyöhykkeellä aines on hyvin tasalaatuista hienoa hiekkaa – silttiä. Havaittavissa on tasaiseen virtaukseen viittaavaa virtakerroksellisuutta. Lounaisreunalla on hienon hiekan päällä pintakerroksena 0,4 – 1 m kivinen rantakerrostuma. Vedenottamon kaakkoispuolella aines on pääasiassa huonosti lajittunutta kivistä ja soraista hiekkaa. Kiviä on runsaasti ja ne ovat hyvin pyöristyneitä. Aimesta on enimmillään otettu n. 20 m. Lievealueilla aines on hyvin tasalaatuista hienoa hiekkaa – silttiä.

11.2.2.2 Pohjaveden esiintyminen ja virtaussuunnat

Tekopohjavesitutkimuksen (Maa ja Vesi Oy, 1973) mukaan Jäniksenlinnan pohjavesialueen luonnollinen antoisuus on 4 000 – 5 000 m³ d⁻¹. Alueen tehokas käyttö tekopohjaveden imeytyksessä edellyttäisi veden imeytystä sekä Teilinummmella että Tönölänmäellä. Tönölänmäellä aines on kuitenkin heikommin vettä läpäisevää kuin Teilinummmella, joten imeytys on tällä hetkellä järjestetty vain yhdellä alueella, Teilinummen eteläkärjessä. Arvioiden mukaan Teilinummmella voidaan imeyttää vettä n. 10 000 m³ d⁻¹ ja Tönölänmäellä n. 5 000 m³ d⁻¹.

Pohjavedenpinnan etäisyys maanpinnasta vaihtelee seuraavasti: imeytysaltaiden pohjoispuolella olevalla sorakuopalla n. 2 m; imeytysalueella 13 – 15 m; n. 300 m imeytysalueelta kaakkoon olevalla pisteellä n. 7 m; kaivoalueella I n. 1,7 m; hidas-suodatusalueella n. 13 m; Tönölänmäen sorakuopilla, 200 – 300 m pohjavedenjakajasta länteen n. 4 m (Suunnittelukeskus Oy, 1990). Niillä alueilla, missä soranottoa ei ole harjoitettu, on maakerrosten paksuus pohjavedenpinnan yläpuolella veden puhdistumisen kannalta riittävä. Suurimman likaantumisriskin aiheuttavat sorakuopat. Alueen

pohjaveden suojelussa korostuu täten soranottajien vastuu määrätyn kaivutason noudattamisesta, työmenetelmien varovaisuudesta sekä kaivoalueen jälkihoidosta.

Tekopohjaveden virtausnopeus on noin kolminkertainen luonnollisen pohjaveden virtausnopeuteen verrattuna. Täten teoreettinen laskelma Teilinummen imeytysmäärälle $10\,000\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$ on, että tehollisen virtauspoikkipinta-*alan* ollessa $1\,000 - 1\,300\text{ m}^2$ on virtausnopeus $8 - 10\text{ m d}^{-1}$. Etäisyys imeytysalueelta kaivoalueelle I on n. 800 m , joten teoreettinen veden viipymä maaperässä on $80 - 100\text{ d}$. Kaivoalueen II etäisyys imeytysalueesta on n. 450 m , joten teoreettiseksi viipymäksi tulee $45 - 56\text{ d}$.

Harjun reuna-alueilla on aines moreenimaista ja hyvin silttipitoista. Tämän vuoksi esiintyy harjun liepeillä, esim. Tönölänmäen lounaisreunalla, paikoitellen varsinaisen pohjavesivyöhykkeen yläpuolella olevia orsivesiesiintymiä.

11.2.3 Raakavesi ja esikäsitteleminen

Imeytettävä vesi otetaan Päijännetunnelista Korpimäen pumppaamon kautta. Päijänteen Asikkalanselän veden laatu on hyvä ja sen laatua tarkkaillaan jatkuvasti. Esikäsitteleminen imeytettävälle vedelle ei tehdä. Korpimäen pumppaamon ohjaus ja hälytykset on yhdistetty Tuusulan Seudun Vesilaitoksen keskusvalvomoon. Vettä Korpimäen pumppaamosta otettiin v. 1988 keskimäärin $4\,770\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$ ja v. 1989 keskimäärin $5\,420\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$.

11.2.4 Imeytysjärjestelyt ja jälkikäsitteleminen

Imeytysalue sijaitsee Teilinummen kaakkoiskärjessä, Palojoen koillispuolella. Teilinummen alueella on pitkään ollut maa-aineksen oton kohteena, joten alkuperäinen topografia on täysin kadonnut. Imeytysalueella on kolme allasta, joiden yhteenlaskettu pinta-ala on $4\,500\text{ m}^2$. Vedenpinnan altaissa annetaan välillä laskea niin alhaiseksi, että altaan pohja kuivuu. Tämä estää leväkasvuston leviämisen. Altaiden pohjat puhdistetaan noin kerran kolmessa vuodessa lapioimalla. Suodatinhiekkakerroksen paksuus on $0,9\text{ m}$. Altaiden pohjan ja pohjavedenpinnan välinen etäisyys on $13 - 15\text{ m}$. Hydraulinen pintakuorma on $0,12\text{ m h}^{-1}$. Pohjavedenpinta on noussut imeytysalueella imeytyksen seurauksena $1 - 2\text{ m}$.

Myllyvirran ja Tantun (1991) mukaan laitoksella imeytetään vettä keskimäärin $6\,500\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$, josta saadaan pumpattua talteen n. 70% . Osa imeytetystä vedestä purkautuu hävikkinä Palojokeen. Rantaimeytymistä ei tapahdu. Ottamolta pumpataan vettä $6\,900\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$ eli verkostoon pumpatusta vedestä on n. 60% imeytyksen tuottamaa tekopohjavettä ja n. 40% luonnollista pohjavettä. Imeytetyn veden viipymä maaperässä on laitoksen esittämän arvion mukaan 40 d eli ainoastaan puolet teoreettisesta laskelmasta. Koska raakaveden laatu on hyvä, on viipymä kuitenkin riittävä.

Kaivoalueella I eri kaivoista pumpattavan veden laatu vaihtelee. Huonoin veden laatu on kaivossa nro 4, joka on lähimpänä joen rantaan. Savipeitteisen harjukatkoksen vuoksi pumpattavassa vedessä esiintyy jossain määrin rautaa ja mangaania. Tämän vuoksi vedelle tehdään jälkikäsittelemisenä hidassuodatus sekä alkalointi kalkilla.



Kuva 23. Rakenteilla oleva hidassuodatusallas Tuusulan Jäniksenlinnassa.

Tuusulan hidassuodatuslaitoksen kapasiteetti on Tantun (1986) mukaan $6\,700\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Syksyllä 1990 hidassuodatusaluetta laajennettiin rakentamalla uusia hidassuodatusaltaita (kuva 23). Laajennuksen jälkeen maksimikapasiteetiksi on $19\,200\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$ (Myllyvirta ja Tanttu, 1991). Suuren rautapitoisuuden vuoksi Jäniksenlinnan ottamolta pumpattava vesi ilmastetaan ja sepelisuodatetaan ennen hidassuodatusta. Sepelisuodatus tapahtuu ns. märkäsuodattimen läpi eli suodatinväliaine on kokonaisuudessaan veden ympäröimä. Murskatun ja lajitellun sepelin raekoko on 50 – 100 mm. Sepelisuodatin on mitoitettu siten, että veden viipymä on 2,8 h. Tällöin raudan vähenemä on 50 % ja mangaanin vähenemä alle 10 %.

Varsinaisessa hidassuodatusaltaassa rautabakteerit kerääntyvät suodatinhiekan pintakerrokseen, josta ne tarpeen tullen poistetaan tätä varten kehitetyllä imurilla. Mangaanibakteerit pidättyvät hieman syvemmälle. Suodatinkerroksen paksuus on 70 – 80 cm ja aineksen raekoko 0,1 – 4,0 mm. Hydraulinen pintakuorma on $0,05 - 0,3\text{ m h}^{-1}$. Hidassuodatettu vesi kerätään salaojituserroksella kokoajaputkeen (Tanttu, 1986). Alkaloinnin tavoitteena on kulutukseen pumpattavan veden bikarbonaattikovuuden nostaminen tavoitearvoon $2,8\text{ }^{\circ}\text{dH}$. Nykyisin hidassuodatukselta lähtevässä vedessä bikarbonaattikovuus on $1,8\text{ }^{\circ}\text{dH}$. Kalkkiannostuksen enimmäismääräksi on mitoitettu $13,5\text{ g Ca(OH)}_2\text{ m}^{-3}$ (Myllyvirta ja Tanttu, 1991).

11.2.5 Veden laadun muuttuminen

Tekopohjavesitutkimukseen (Maa ja Vesi Oy, 1973) liittyen analysoitiin Jäniksenlinnan vedenottamon veden laatua tehostetun koepumppauksen aikana 8.5. – 14.6. 1973. Taulukossa 6 on vertailtu luonnollisen pohjaveden laatua ko. aikana ja tekopohjaveden laatua v. 1989. Kaivoalueen I seitsemässä kaivossa veden laatu vaihtelee merkittävästi,

joten taulukossa on käytetty kaikkien kaivojen keskiarvoa. Kaivosta nro 4 pumpatun veden happipitoisuuden keskiarvo on $0,7 \text{ mg l}^{-1}$ ja prosenttiosuus kyllästymisarvosta on 4 %. Vastaavat arvot kaivossa nro 2 ovat $5,7 \text{ mg l}^{-1}$ ja 48 %. Rautapitoisuus kaivossa nro 4 on $1,3 \text{ mg l}^{-1}$ ja kaivossa nro 2 pitoisuus on $0,03 \text{ mg l}^{-1}$.

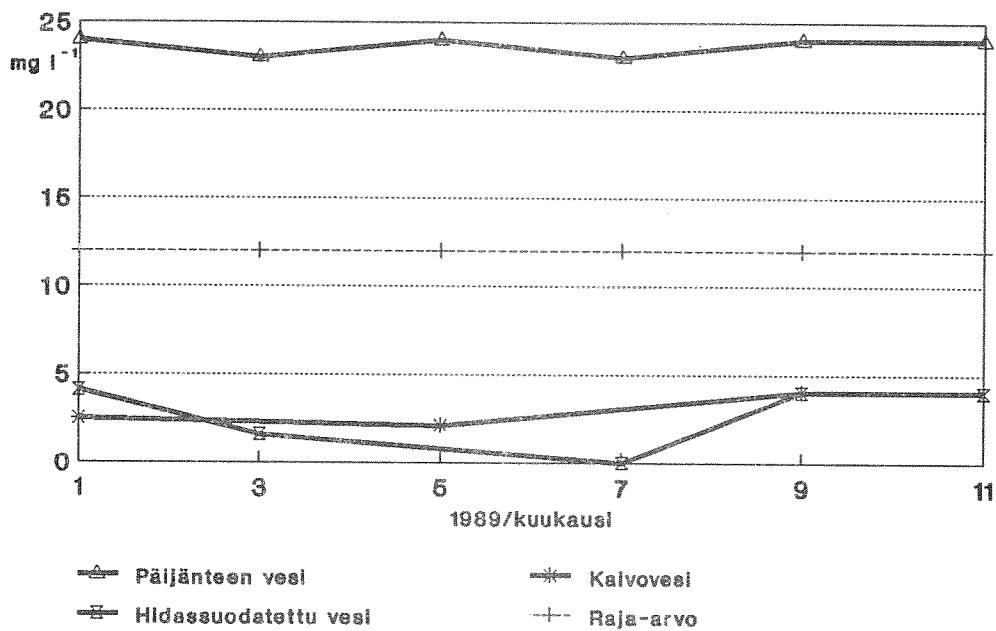
Imeytystoiminta ei ole merkittävästi vaikuttanut ottamolta pumpattavan veden lämpötilaan. Vaikka imeytettävän veden lämpötila on $3 - 13 \text{ }^\circ\text{C}$, pysyttelee kaivoveden lämpötila suunnilleen $6 \text{ }^\circ\text{C}$:ssa. Taulukosta 6 nähdään, että selvää kasvua on tapahtunut imeytyksen aloittamisen jälkeen kaivoveden nitraatti- ja hiilidioksidipitoisuudessa, sähkönjohtavuudessa sekä kovuudessa. pH-arvo on laskenut. Suuremmat väri- ja KMnO_4 -luvut vuoden 1973 arvoissa saattavat johtua siitä, että analyysit on tehty tehostetun pumppauksen aikana. Tällöin Palojoen rannassa sijaitsevan kaivon nro 4 veden laatua on mahdollisesti heikentänyt Palojoesta akviferiin imeytynyt vesi.

Taulukko 6. Jäniksenlinnan pohjavedenottamon veden laatu 8.5. - 14.6.1973 (keskiarvo) ja vuonna 1989 (keskiarvo).

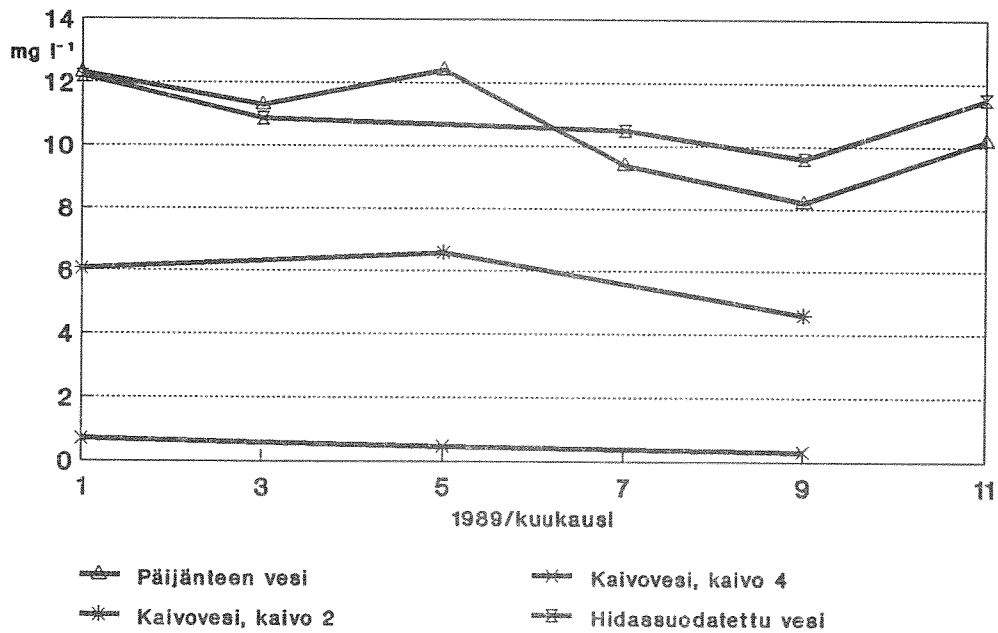
Veden laatumuuttuja	1973	1989
Lämpötila ($^\circ\text{C}$)	6,0	6,0
Nitraatti (mg l^{-1})	0,85	1,77
Nitriitti (mg l^{-1})	0	0
Kloridi (mg l^{-1})	15,4	11,5
Mangaani (mg l^{-1})	0,33	0,08
Rauta (mg l^{-1})	0,18	0,21
Hiilidioksidi (mg l^{-1})	17,65	21,81
KMnO_4 -luku (mg l^{-1})	4,1	2,9
pH	6,8	6,6
Sähkönjohtavuus (mS m^{-1})	11,4	16,9
Väri (Pt mg l^{-1})	< 5,0	3,1
HCO_3 -kovuus ($^\circ\text{dH}$)	1,9	2,2
Kokonaiskovuus ($^\circ\text{dH}$)	2,7	3,3

Vuoden 1989 vedenlaatutietoja (Päijänteen vesi, kaivovesi, hidassuodatettu vesi ja verkostovesi) tarkastelemalla voidaan seurata veden laadun kehitystä imeytyksen aikana. KMnO_4 -luku Päijännetunnelin vedessä on $20 - 25 \text{ mg l}^{-1}$ ja kaivovedessä alle 5 mg l^{-1} (kuva 24). Hidassuodatuksessa veden humuspitoisuudessa ei tapahdu merkittäviä muutoksia. Päijänteen vedessä pH vaihtelee neutraalin molemmiin puolin ja kaivovedessä pH on noin 6,5. Koska vedelle tehdään jälkialkalointi, ei alhaisella pH:lla ole haittavaikutuksia.

Kaivoalue on savipeitteisellä alueella, joten imeytetty vesi virtaa osan matkasta syvällä maaperässä pelkistävässä olosuhteissa. Tällöin veden happipitoisuus pienenee ja hiilidioksidipitoisuus kasvaa, samoin liukoisen raudan määrä kasvaa (kuva 25). Kaivossa nro 4 rautapitoisuus on ajoittain lähes 2 mg l^{-1} . Imeytettävässä vedessä sähkönjohtavuus on $7 - 9 \text{ mS m}^{-1}$ ja kokonaiskovuus $1,0 - 1,5 \text{ }^\circ\text{dH}$. Kaivovedessä sähkönjohtavuus on yli 15 mS m^{-1} ja kokonaiskovuus yli $3 \text{ }^\circ\text{dH}$. Nämä kohonneet arvot johtuvat osittain veden mineraaliainesta liuottavasta vaikutuksesta.



Kuva 24. Veden KMnO₄-luku käsittelyn eri vaiheissa.



Kuva 25. Veden happipitoisuus käsittelyn eri vaiheissa.

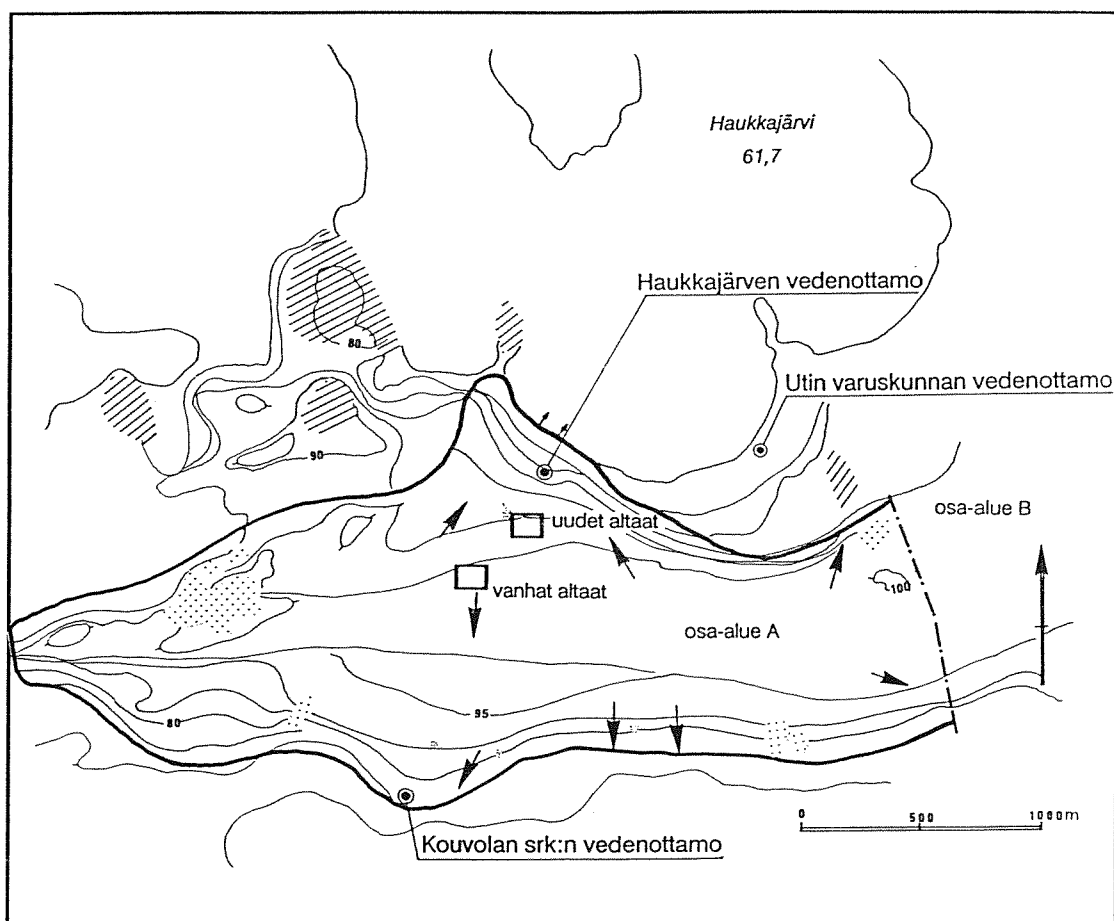
11.2.6 Yleisvaikutelma laitoksen toimivuudesta

Jäniksenlinnan tekopohjavesilaitoksella on huolellisella imeytyksen suunnittelulla ja riittävällä tarkkailulla saatu lisättyä alueen antoisuutta heikentämättä luonnollisen pohjaveden laatua. Merkittävin ongelma on veden rautapitoisuus. Laajamittaisella hidassuodatuksella saadaan veden rautapitoisuus laskemaan riittävästi.

Imeytystä ja vedenottoa toteutettaessa on alueella noudatettava tarkkaan laskettua mitoitus, jotta alueen halki virtaavasta Paljoesta ei imeydy laadultaan huonoa pintavettä pohjavesiesiintymään. Rantaimetyminen estetään "ylimitoitetulla" imeytyksellä, jonka seurauksena osa tekopohjavedestä purkautuu Paljojokeen. Koska Päijänteen vesi on melko tasalaatuista ja sitä analysoidaan jatkuvasti Helsingin kaupungin vesi- ja viemärlaitoksella, on ottamon veden moitteettomuus melko turvattu.

Muodostuman aines on tekopohjaveden imeytykseen hyvin soveltuvaa eli melko karkeata soraa ja hiekkaa, mutta paikoitellen huonosti lajittunutta. Pohjavesi virtaa harjun vettä hyvinjohtavassa ydinosassa ja lievealueiden hienoainekerrostumat estävät pohjaveden purkautumisen reunoille. Imeytetyn veden viipymä maaperässä on n. 40 d, mikä on alle teoreettisten ohjearvojen, mutta tässä tapauksessa riittävä.

11.3 Kouvolan Haukkajärven tekopohjavesilaitos



Kuva 26. Kouvolan Utin pohjavesialueen osa-alueen A yleiskartta.

11.3.1 Laitoksen yleiset tiedot

Kouvolan kaupungin omistama Haukkajärven tekopohjavesilaitos sijaitsee Valkealan kunnan alueella Utin kylässä. Tekopohjavesilaitos aloitti toimintansa v. 1972 ja laitoksen laajennustyöt saatiin valmiiksi v. 1988. Nykyisellään laitoksella on vesioikeuden lupa vedenottoon $10\,000\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Laajentamissuunnitelman (Vesi-Hydro Oy,

1985a) mukaan tästä määrästä on luonnollista pohjavettä enintään $2\,500\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$ ja Haukkajärven vettä imeytettynä enintään $8\,000\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Kaivorakenteina laitoksella on kymmenen siiviläputkikaivoa. Utin pohjoispuolelle on rakenteilla toinen tekopohjavesilaitos. Tämä Kymenlaakson Vesi Oy:n rakentama Kuivalan tekopohjavesilaitos tulee myös käyttämään raakavetenä Haukkajärven vettä. Sen on tarkoitus valmistua vuoden 1992 aikana. Laitokset sijaitsevat pohjavesialueen eri osa-alueilla eikä niiden imeyttämällä ja pumppaamalla vesimäärillä ole keskinäistä vaikutusta toisiinsa.

Utin pohjavesialueen osa-alueella A on toiminnassa Haukkajärven vedenottamon lisäksi kaksi muuta pohjavedenottamo. Haukkajärven ottamolta 900 m itään on Utin varuskunnan ottamo, jonka kapasiteetti on $100 - 160\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Muodostuman eteläreunalla, Lepolan hautausmaan eteläpuolella on Kouvolan seurakunnan vedenottamo.

11.3.2 Pohjavesialueen hydrogeologiset olosuhteet

Valkealan Utin pohjavesialue on osa I Salpausselkää. Kouvolan itäpuolella I Salpausselkä kulkee itä – länsi-suuntaisena, leveimmillään n. 3 km leveänä muodostumana. Utin pohjavesialue on pinta-alaltaan $14,8\text{ km}^2$ ja se on jaettu v. 1981 tehdyssä pohjavesialuekartoituksessa kolmeen osa-alueeseen. Haukkajärven tekopohjavesilaitos sijaitsee läntisellä osa-alueella A, aivan Haukkajärven eteläpuolella (kuva 26). Osa-alueen A pinta-ala on n. $3,5\text{ km}^2$. Alueen länsipuolella Salpausselkä jatkuu lyhyen ja kapean katkoksen jälkeen jälleen laajempaa reunamuodostumana. Osa-alueiden A ja B rajana on Haukkasuon – Haukkajärven kohdalla kulkeva luode – kaakko-suuntainen kallioperän ruhjevyöhyke. Osa-alue C muodostaa pohjavesialueen itäisimmän osan ja sen länsiraja on 5,8 km:n päässä Haukkajärven ottamosta.

11.3.2.1 Muodostuman kuvaus

Muodostuman aines on hyvin vaihtelevaa ja kerrosrakenteet sekalaisia. Myöhäisjääkauden tapahtumat olivat I Salpausselän pohjoispuolella mutkikkaammat kuin eteläpuolella. Mannerjäätikkö sulii alueelta ns. Heinolan deglasiaation aikana ja eteni uudelleen I Salpausselkään asti vähän ennen lopullista häviämistään. Kaikki sulamisvaiheen aikana syntyneet kerrostumat eivät ennättäneet kulua etenemisvaiheen aikana, vaan jäivät uusien kerrostumien alle. Vanhemmissa kerrostumissa on usein suuria etenevän jäätikön aiheuttamia häiriö rakenteita. Mannerjäätikkö hävisi lopullisesti Kouvolan alueelta vajaat 11 000 vuotta sitten (Rainio, 1987).

Muodostuma koostuu pääasiassa jäätikköjokikerrostumista: sorasta ja hiekasta. Pohjoisosassa on moreenikerrostumia, jotka koostuvat useasta päällekkäisestä moreenilaa-tasta. Moreenin seassa on runsaasti silttiä. Salpausselän pohjoispuolella moreeniselänteet ja jäätikköjokikerrostumat muodostavat useita rinnakkaisia reunamuodostumajaksosia. Salpausselän eteläpuolella ovat laajat ja paksut savikot, jotka ovat aikoinaan kerrostuneet muinaiseen Itämereen. Niiden paksuus on jopa 15 – 20 m. Savikoiden päälle on paikoitellen kehittynyt muutaman metrin paksuisia turvekerrostumia. Näille suoalueille purkautuu osa pohjavesistä.

Osa-alueella A aines on melko vaihtelevaa. Luoteisosassa (Kotosuon kaakkoispuolella) on laaja maa-aineksen ottoalue, jonka pohjoisreuna on silttistä moreenia. Moreenissa on runsaasti kookkaita rapakivilojkareita, joiden läpimitta on 1 – 2 m. Välillä lajittunut aines – keskikarkea hiekka – vuorottelee silttisen aineksen kanssa. Kerros-

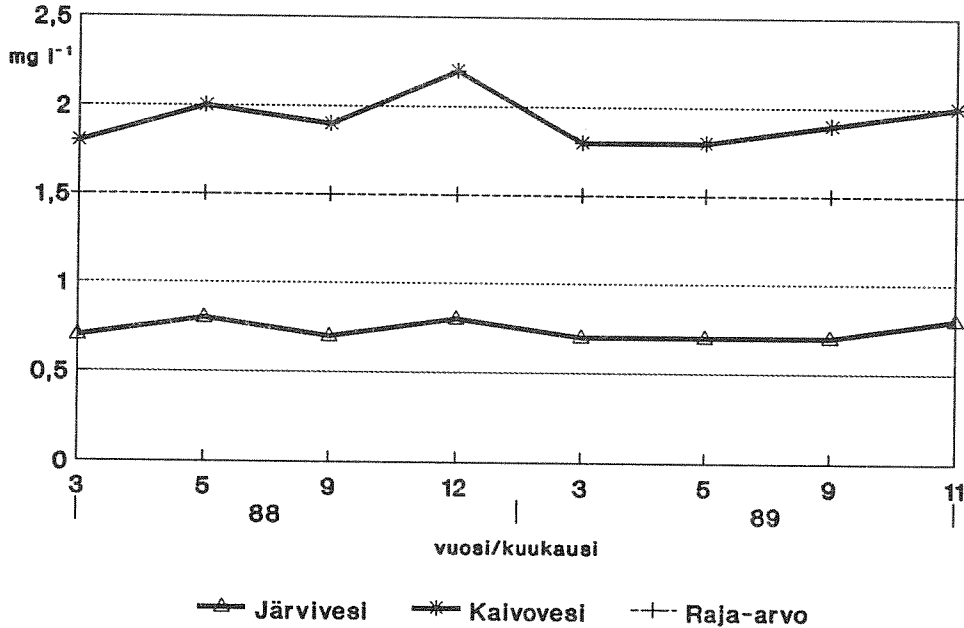
rakenteissa on runsaasti deformaatioita, esim. jäätikön oskilloinnin aiheuttamia puskurakenteita (kuva 27). Eteläosassa aines muuttuu selvästi lajittuneemmaksi kalimaasälpäpitoiseksi, keskikarkeaksi hiekaksi. Paikoitellen esiintyy kuitenkin edelleen ohuita kerroksia, jotka ovat koostumukseltaan silttiä – savea. Nämä kerrokset heikentävät merkittävästi vedenläpäisevyyttä, ja linssimäiset silttikerrokset saattavat ohjailla pohjaveden virtausta yllättäviä reittejä pitkin.



Kuva 27. Kerrosrakenteiden deformaatioita I Salpausselän proksimaaliosassa Utissa. Mittakaavana muistikirja, korkeus 17,5 cm.

Maakerrosten paksuuksia on alueella selvitetty seismisillä luotauksilla. Muodostuman keskiosassa maa-ainesta on 11 – 45 m. Kaivoalueella on hiekkaa ja soraista hiekkaa 26 – 28 m:n syvyyteen. Tämän alapuolella aines muuttuu moreeniksi. Pohjavedenpinta on n. 9 m syvyydessä. Maaperä on selvästi kerroksellista, koska esim. paineilmahuuhtelun avulla voidaan erottaa vettä paremmin johtavia kerroksia. Vanhojen imeytysaltaiden itäpuolella on hiekkaa ja hiekkaista soraä 44,5 m:n syvyyteen asti, jonka jälkeen maalaji vaihtuu moreeniksi. Pohjavedenpinta on n. 27 m:n syvyydessä (Vesi-Hydro Oy, 1985a).

Aivan muodostuman eteläreunalla aines hienonee siltiksi, jonka pinnalla on 1 – 2 m:n rantakerrostuma. Utin pohjavesialueen keski- ja itäosassa aines on yleisesti ottaen hyvin lajittunutta keskikarkeaa hiekkaa – keskikarkeaa soraa. Rakeet ovat melko hyvin pyöristyneitä. Aines on voimakkaasti punertavaa, mikä viittaa suureen kalimaasälpäpitoisuuteen. Koska aines on alueella hyvin lajittunutta ja maasto tasaista kangasmaastoa, on vedenläpäisevyys hyvä. Imeytymiskerroin on 0,5 – 0,6.



Kuva 28. Veden fluoridipitoisuus käsittelyn eri vaiheissa.

Utti sijaitsee Viipurin rapakivibatoliitin alueella. Kallioperäkartan mukaan Utin alueella yleisin kivilaji on viborgiitti-tyyppinen rapakivi. Maastossa tehtyjen havaintojen mukaan kalimaasälpävoidien ympärillä ei ole selvää plagioklaasimantteliä. Tämä viittaa siihen, että kivilaji on pyterliitti-tyyppistä rapakiveä. Simosen (1987) mukaan pyterliitti vaihettuu asteittain viborgiitiksi ja pyterliittisessä kivessä saattaa esiintyä jonkin verran viborgiittisia plagioklaasimanttelin ympäröimiä ovoideja. Viborgiitti on kemialliselta koostumukseltaan piihappo- ja kaliumrikas graniitti, jonka magnesium- ja kalsiumpitoisuudet ovat alhaiset. Hivenalkuaineista erityisesti fluoria on enemmän kuin graniittisissa kivissä yleensä. Kallioperän ja rapautuneen mineraaliaineksen koostumus vaikuttaa alueen pohjaveden laatuun. Haukkajärven tekopohjavesilaitokselta pumpattavassa vedessä fluoridipitoisuus ylittää jatkuvasti lääkintöhallituksen asettaman raja-arvon 1,5 mg l⁻¹ (kuva 28).

11.3.2.2 Pohjaveden esiintyminen ja virtaussuunnat

Utin pohjavesialueella muodostuman paksuus on useita kymmeniä metrejä. Lisäksi vedenläpäisevyys on melko hyvä. Tämän vuoksi muodostuman pohjavesivarasto on mittava. Pohjavesitutkimuksen (Vesi-Hydro Oy, 1985a) mukaan kaivoalueella maanpinta on tasolla +70 – +71 m (N60) ja pohjavedenpinnan korkeus on vuosina 1972 – 1984 ollut +54 – +62 m eli 8 – 17 m:n syvyydessä maanpinnasta. Muodostuman lakitasanteella, vanhojen imeytysaltaiden kohdalla, maanpinta on tasolla +95 – +98 m ja pohjavedenpinnan korkeus on ollut em. ajanjaksona +68 – +84 m eli 11 – 30 m:n syvyydessä. Lakitasanteella pohjavedenpinta on pysytellyt koko ajan kaivoalu-

een pohjavedenpintaa 14 – 24 m korkeammalla, mikä viittaa alueiden väliseen huonoon hydrauliseen yhteyteen.

Pohjaveden virtaussuunta maaperässä vaihtelee. Osa-alueella A ei varsinaista päävirtaussuuntaa pysty määrittelemään. Pohjavesi virtaa kohti reuna-alueita sekä etelään että pohjoiseen. Pohjaveden luonnolliset purkautumisalueet ovat muodostumaa ympäröivät suoalueet sekä Haukkajärven rantavyöhyke, missä pohjavesi purkautuu suotautumalla. Rantavyöhykkeessä aines on huonosti vettä läpäisevää silttistä ja savista hiekkaa, minkä vuoksi Haukkajärvestä ei tapahdu merkittävästi rantaimetytmistä.

Reunamuodostumalle tyypillinen sekalainen aines on aiheuttanut laitoksen toiminnassa ongelmia. Pohjavesitutkimusten ja koepumppausten (Maa ja Vesi Oy, 1968) perusteella kaivot sijoitettiin kahdessa ryhmässä Haukkajärven etelärannalle, alle 100 m päähän järven rannasta. Imeytysaltaat sijoitettiin n. 550 m vedenottamolta lounaaseen. Imeytetyn veden oletettiin virtaavan vedenottamoalueen suuntaan. Vuosina 1972 – 1974 imeytetyn veden havaittiin nostavan pohjavedenpintaa altaiden lähimaastossa, mutta vaikutuksia kaivoalueella ei havaittu. Kaivoista pumpattavan veden lämpötila pysyi myös melko vakiona, +5 – +7 °C, eikä täten voitu havaita imeytetyn veden lämpötilavaihteluiden aiheuttamaa muutosta kaivoveden lämpötilassa (Vesi-Hydro Oy, 1985a). Tästä voitiin päätellä, että vanhojen imeytysaltaiden pohjoispuolella maaperässä on silttinen, erittäin heikosti vettä läpäisevä kerros, joka estää imeytetyn veden virtaamisen vedenottamoalueelle miltei kokonaan. Imeytetty vesi kulkeutuu pääasiassa etelään – kaakkoon Lepolan hautausmaan alitse ja purkautuu lähteiden synnyttämällä soistuneella alueella.

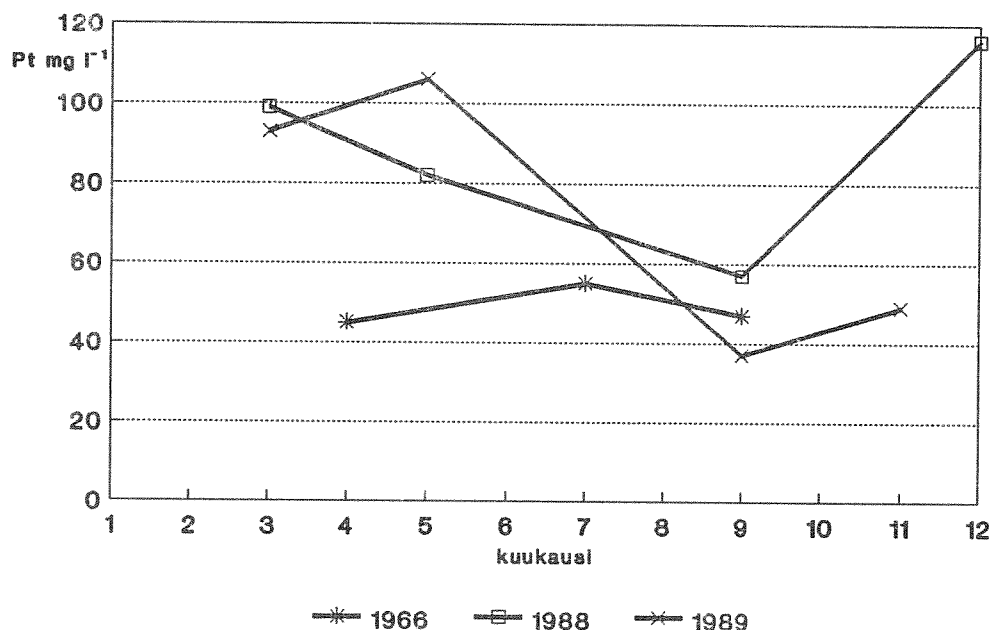
Haukkajärven laitoksen vanhoista altaista imeytetyn veden talteensaaminen edellyttäisi kaivojen rakentamista muodostuman eteläreunalle, Lepolan hautausmaan kaakkoispuoliselle lähdealueelle. Kaivojen rakentaminen muodostuman laelle ei ole kannattavaa, koska kustannukset ovat suuret. Tällöin ei myöskään voida yksittäisen kaivon antoisuutta parantaa imeytyksellä, koska tiiviit välikerrokset hidastavat veden kulkeutumista alempiin kerroksiin ja vesi leviää vettä hyvin johtavia kerroksia pitkin muodostuman eteläreunalle. Kun todettiin, että vanhoilla altailla laitoksen kapasiteettia ei saatu nostettua suunnitelmien mukaisesti, aloitettiin alueella ns. pintaimetytys v. 1973. Imeytyskokeilla etsittiin pintaimetytykseen parhaiten soveltuva alue, kaivoilta 250 m lounaaseen, mihin rakennettiin uudet imeytysaltaat.

11.3.3 Raakavesi ja esikäsitteily

Kouvolan Utin tekopohjavesilaitos ottaa raakavetensä Kymijoen vesistön Valkealan reittiin kuuluvasta Haukkajärvestä, joka sijaitsee aivan pohjavesialueen pohjoispuolella. Järven etäisyys alkuperäisestä imeytysalueesta on 650 m ja uudesta imeytysalueesta 350 m. Haukkajärven veden laatu ei ole aivan moitteeton. Järvi on rehevöitymässä ja on olemassa vaara sinileväongelman syntyyn vuoden lämpiminä kuukausina. Esimerkiksi väriluku vuonna 1988 oli 57 – 116 Pt mg l⁻¹ kun se vuonna 1966 (Maa ja Vesi Oy, 1968) oli 40 – 75 Pt mg l⁻¹ (kuva 29). Raakaveden laatumuuttujien vuosikeskiarvot vuosina 1988 – 1989 käyvät ilmi taulukosta 7.

Tällä hetkellä raakaveden laatua ei paranneta kemiallisella esikäsitteilyllä. Imeytyksen lisäksi vesi ainoastaan ilmastetaan ennen imeytystä rautaongelman ehkäisemiseksi. Vanhoilla altailla ilmastus tapahtuu puurakenteisten ilmastusportaiden avulla. Muissa

altaissa imeytysvesi johdetaan vesisuihkua hajoittavan suuttimen kautta putkea ympäröivään sepelikerrokseen.



Kuva 29. Haukkajärven veden väriluku vuosina 1966, 1988 ja 1989.

Taulukko 7. Haukkajärven veden laatu (vuosikeskiarvo) vuosina 1988 ja 1989.

Veden laatumuuttuja	1988	1989
Koliform.bakt. (kpl/100ml)	8	5
Fluoridi (mg l ⁻¹)	0,75	0,7
Nitraatti (mg l ⁻¹)	1	1
Nitriitti (mg l ⁻¹)	< 0,01	< 0,01
Ammonium (mg l ⁻¹)	< 0,02	< 0,02
Kloridi (mg l ⁻¹)	7,9	6,1
Mangaani (mg l ⁻¹)	< 0,05	< 0,05
Rauta (mg l ⁻¹)	0,21	0,06
Kovuus (°dH)	1,6	1,3
KMnO ₄ -luku (mg l ⁻¹)	37	33
pH	6,7	7,05
Sähkönjohtavuus (mS m ⁻¹)	4,5	5,75
Sameus (FTU)	1,2	0,7
Väri (Pt mg l ⁻¹)	88	71

11.3.4 Imeytysjärjestelyt ja jälkikäsittely

Imeytysjärjestelyjä laajennettiin v. 1988. Tällöin rakennettiin kaksi uutta imeytysallasta n. 250 m kaivoilta lounaaseen. Uusien altaiden avulla saatiin nostettua laitoksen maksimikapasiteetti määrään 10 000 m³ d⁻¹. Nykyään laitosalueella on yhteensä neljä imeytysallasta kahdella eri imeytysalueella. Vanhat altaat ovat edelleen käytössä ympäri vuoden. Imeyttämällä varmistetaan, että virtaus likaantumisriskin aiheuttavalta Kouvola-Lappeenranta -tien suunnalta estyy. Vanhojen altaiden yhteenlaskettu pinta-ala on 3 300 m² ja etäisyys pohjavedenpintaan on 11 - 27 m. Altailta kulkeutuu

kaivoille vain murto-osa imeytetystä vedestä. Veden viipymä maaperässä on 4 – 6 viikkoa. Altaiden pohjat puhdistetaan tarpeen vaatiessa. Puhdistus tehdään lapiotyönä siten, että pohjalta kuoritaan pois 1 – 2 cm kerros. Poiskuurittu aines levitetään altaan reunoille.



Kuva 30. Imeytysaltaat Haukkajärven laitoksella.

Vuodesta 1988 asti jatkuvasti käytössä olleet uudet imeytysaltaat sijaitsevat 300 m vanhoilta altailta koilliseen (kuva 30). Altaiden yhteispinta-ala on 3 500 m² ja hydraulinen pintakuorma 0,04 – 0,05 m h⁻¹. Vuonna 1988 imeytettiin keskimäärin 7 210 m³ d⁻¹ ja pumpattiin 6 640 m³ d⁻¹. Vuonna 1989 vastaavat luvut olivat 6 610 m³ d⁻¹ ja 6 470 m³ d⁻¹. Verkostoon pumpatussa vedessä on luonnollista pohjavettä enimmillään 2 500 m³ d⁻¹ eli tekopohjaveden osuudeksi jää 60 – 65 %.

Uusien altaiden pohjalla ei ole muualta tuotua suodatinhiekkakerrosta, vaan aines on luonnontilaista. Altaat puhdistetaan joka toinen vuosi. Etäisyys altaiden pohjalta pohjavedenpintaan on n. 25 m. Imeytyksen seurauksena pohjavedenpinta on noussut imeytysalueella n. 4 m ja kaivoalueella 7,7 – 9,4 m. Etäisyys kaivoalueelle on 250 m ja laitoksen esittämä arvio veden viipymästä maaperässä on 15 – 20 d. Suunnitteilla on alkalointi jälkikäsitteilynä, koska pH on hieman liian alhainen.

11.3.5 Veden laadun muuttuminen

Haukkajärven vedenottamon koepumppauksen yhteydessä analysoitiin alueen luonnollisen pohjaveden laatu (Maa ja Vesi Oy, 1968). Tällöin todettiin, että vesi on pehmeää, ulkonäöltään kirkasta eikä siinä ole havaittavissa hajua tai makua. Vedessä ei ollut liikaa typpiyhdisteitä ja KMnO₄-luku oli harvinaisen pieni. Koliryhmän bakteereita

vedessä ei myöskään esiintynyt. Rauta- ja mangaanipitoisuus olivat alhaiset. Vaikka pH-arvot olivat melko neutraaleja, suositeltiin vedelle alkalointia.

Taulukossa 8 on pohjaveden laatu tiedot vuosilta 1968 (luonnollinen pohjavesi), 1988 ja 1989 (tekopohjavesi). Imeytyksen vaikutus pohjaveden laatuun näkyy lähinnä KMnO_4 -luvun kasvuna. Kloridipitoisuus ja sähkönjohtavuus ovat myös selvästi nousseet. Tämä saattaa johtua esim. tiesuolauksesta Kouvola – Lappeenranta -tiellä. Kovuus on hieman kasvanut, mutta edelleen vesi on pehmeää. Typpiyhdisteiden, etenkin ammoniumin määrä on pienentynyt. Mangaani- ja rautapitoisuus ovat pysyneet pieninä, samoin pH on edelleen neutraali. Fluoridipitoisuus on aikaisemmin ollut talousveden laatuvaatimusten enimmäispitoisuusrajalla, mutta on sittemmin noussut yli raja-arvon $1,5 \text{ mg l}^{-1}$. Kuvista 31 ja 32 nähdään, että vesi puhdistuu Haukkajärven laitoksella imeytyksen aikana hyvin. Vaikka järveden väriluku on 37 – 116 Pt mg l^{-1} ja KMnO_4 -luku 25 – 44 mg l^{-1} , täyttää kaivoista pumpattava vesi lääkintöhalituksen asettamat talousveden laatuvaatimukset ja -vaatimukset (väriluvun vanha raja-arvo 15, uusi 5 Pt mg l^{-1} ; KMnO_4 -luvun vanha raja-arvo 15 mg l^{-1} , uusi raja-arvo 12 mg l^{-1}).

Taulukko 8. Haukkajärven vedenottamon veden laatu (vuosikeskiarvoina) vuosina 1968, 1988 ja 1989.

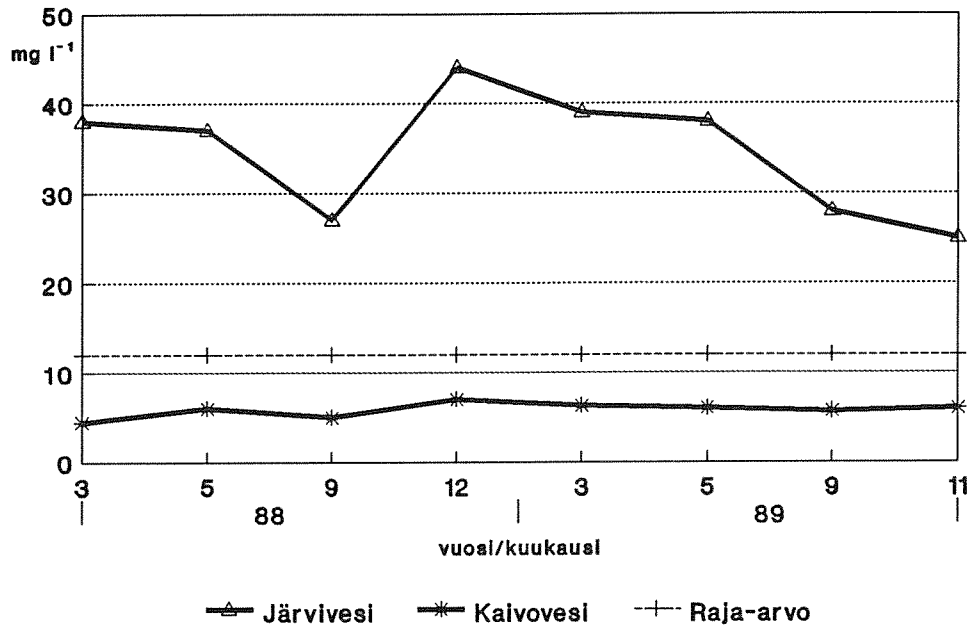
Veden laatu muuttuja	1968	1988	1989
Koliform.bakt. (kpl/100 ml)	0	0	0
Fluoridi (mg l^{-1})	1,5	2,0	1,9
Nitraatti (mg l^{-1})	1,3	1,0	1,0
Nitriitti (mg l^{-1})	0	< 0,02	< 0,01
Ammonium (mg l^{-1})	0,2	< 0,02	< 0,02
Kloridi (mg l^{-1})	2,5	6,5	6,5
Mangaani (mg l^{-1})	0,03	< 0,05	< 0,05
Rauta (mg l^{-1})	0,07	< 0,05	< 0,05
Kovuus ($^{\circ}\text{dH}$)	1,35	2,3	1,95
KMnO_4 -luku (mg l^{-1})	3,3	5,4	6,0
pH	7,1	7,0	7,0
Sähkönjohtavuus (mS m^{-1})	5,3	6,6	8,25
Väri (Pt mg l^{-1})	5	1,5	4,25

11.3.6 Yleisvaikutelma laitoksen toimivuudesta

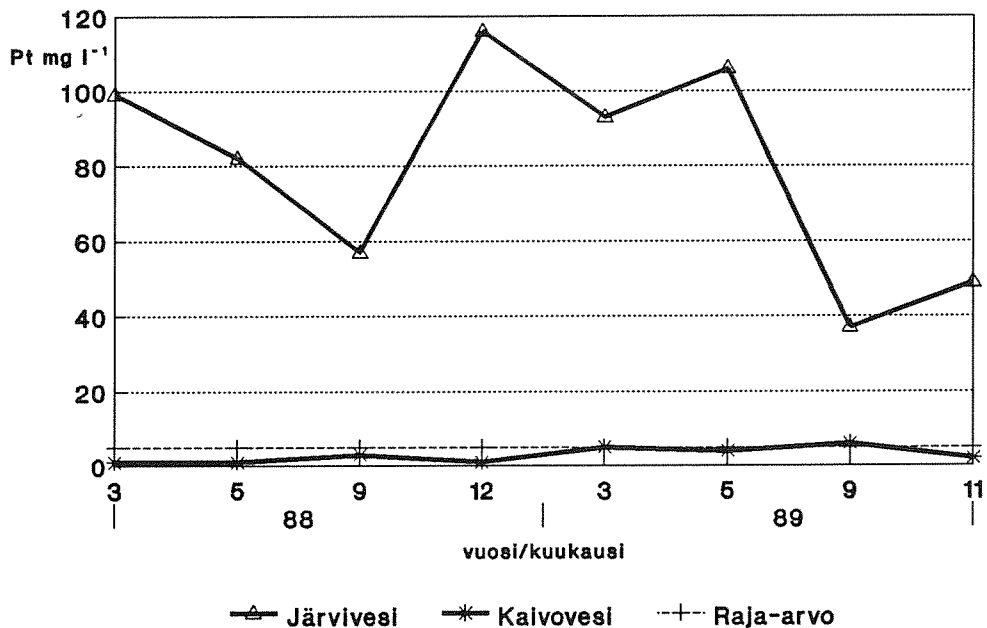
Haukkajärven imeytysalue ja vedenottamo ovat Kouvolan varuskunnan alueella. Alue on melko luonnontilaista ja asutusta on vähän. Merkittävin likaantumiseriskin aiheuttaja on vilkkaasti liikennöity Kouvola – Lappeenranta -tie, valtatie 6, joka kulkee muodostuman keskellä pitkin I Salpausselkää. Imeytysalueen laajennuksen jälkeen ottamon antoisuus on saatu nostettua halutulle tasolle. Altailla ei ole ollut usein toistuvia tukkeutumisoongelmia. Säännöllinen puhdistus korkeintaan kerran vuodessa on riittänyt. Imeytyksen onnistumista edesauttaa muodostuman laaja-alaisuus ja paksuus. Vaikka imeytetyn veden viipymä maaperässä (15 – 20 d) ei ole suositusten mukainen eli vähintään 30 d, puhdistuu vesi riittävästi.

Vedenottamon vedessä fluoridipitoisuus ylittää selvästi laatuvaatimusrajan. Fluoridien poisto jälkikäsitteilynä on kuitenkin teknisesti vaikeaa. Käytännössä ainoa keino

vähentää fluoridipitoisuutta on laimentaa vesi vähän fluorideja sisältävällä vedellä. Kouvolan alueen pohjavedet ovat kaikki fluoridipitoisia kallioperän koostumuksen vuoksi. Laimentaminen edellyttäisi laimennusveden kuljettamista rapakivialueen ulkopuolelta. Pohjaveden luontainen pehmeys (kokonaiskovuus alle 3 °dH) ja ottamolta lähtevän veden kohtalaisen alhainen pH (6,8 – 7,1) aiheuttavat veden syövyttävyyden. Laitoksella on suunniteltu jälkikäsitteilyksi alkalointia. Muut veden laatuominaisuudet täyttävät lääkintöhallituksen asettamat talousveden laatuvaatimukset ja -tavoitteet.

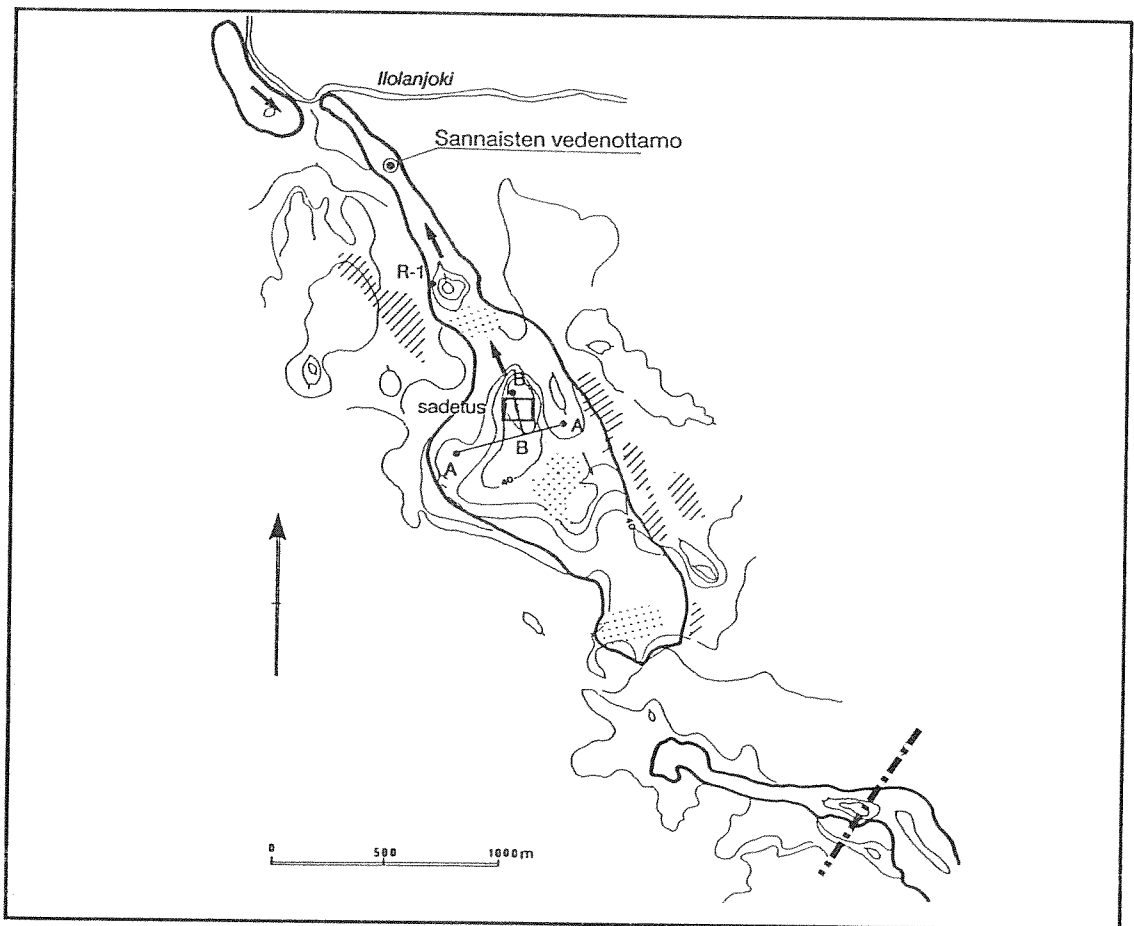


Kuva 31. Veden KMnO₄-luku käsittelyn eri vaiheissa.



Kuva 32. Veden väriluku käsittelyn eri vaiheissa.

11.4 Porvoon Sannaisten tekopohjavesilaitos



Kuva 33. Porvoon Sannaisten pohjavesialueen yleiskartta.

11.4.1 Laitoksen yleiset tiedot

Sannaisten pohjavesialue sijaitsee 8 km Porvoon keskustasta itään. Tekopohjavesilaitos alueella aloitti toimintansa v. 1982. Vedenottamalla on Länsi-Suomen vesioikeuden 13.10.1980 myöntämä lupa vedenottoon $7\,000\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Vedenottamoalueella on seitsemän siiviläputkikaivoa. Sannaisten vedenottamolta pumpataan $5\,100\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$ eli 96 % Porvoon kaupungin tarvitsemasta vedestä.

11.4.2 Pohjavesialueen hydrogeologiset olosuhteet

Sannaisten alueella pohjaveden muodostumisalueen pinta-ala on $1,44\text{ km}^2$ ja alueen luonnollinen antoisuus on $5\,100\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Luonnollisesti muodostuvan pohjaveden osuus on n. $3\,400\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$ ja rantaimetyneen tekopohjaveden osuus n. $1\,700\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Alue on yhteydessä pohjoispuolella sijaitsevaan Björkbackan pohjavesialueeseen sekä eteläpuolella olevaan Yliken pohjavesialueeseen. Sannaisten pohjavesialue on pituudeltaan n. 6 km. Osa alueesta koostuu pienistä hiekkakumpareista. Yhtenäinen pitkittäisharju on pituudeltaan 2,8 km ja leveys maksimissaan 0,7 km.

11.4.2.1 Muodostuman kuvaus

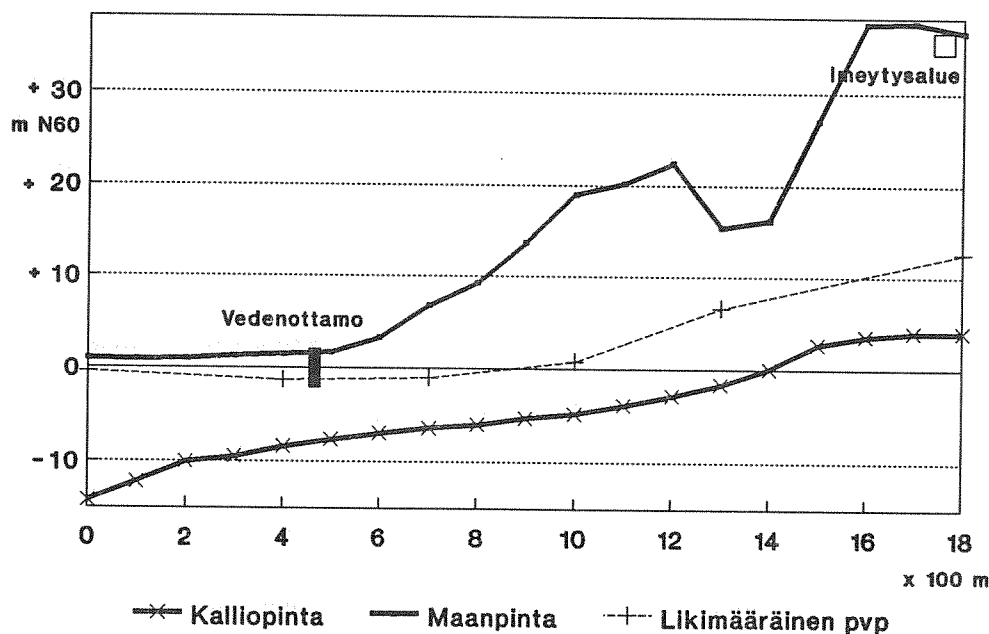
Sannaisten alueen läheisyydessä kallioperä koostuu graniittisten kivien lisäksi luoteispuolella laajoina esiintyminä olevista kvartsi- ja granodioriiteista sekä pieninä vyöhykkeinä esiintyvistä amfiboliiteista ja sarvivälkegneisseistä. Amfiboliitin päämineraalit ovat plagioklaasi, sarvivälke ja kvartsi. Sarvivälkegneisseissä saattaa olla edellä mainittujen lisäksi myös kalimaasälpää (Laitala, 1984).

Porvoon alueen rannikolla kalliopaljastumien osuus maapinta-alasta on n. 20 %, moreenin 35 % ja saven 29 % eli yhteensä 84 %. Sora- ja hiekkakerrostumien osuus jää vähäiseksi. Sannaisten pitkittäisharju on osa luode - kaakko-suuntaista harjujaksoa, joka alkaa saaristosta Hasselön itäpuolelta ja jakautuu Sarvisalon saarella kahdeksi samansuuntaiseksi harjuksi. Harjut yhtyvät jälleen Yliken kylän luona ja siitä harju jatkuu melko katkonaisena Ilolaan asti (Punakivi ym., 1977).



Kuva 34. Porvoon Sannaisten harjun ainesta. Mittakaavana muistikirja, korkeus 17,5 cm.

Harjujakson alueella muodostuu erillisiä pohjavesiesiintymiä Iolassa, Sannaissä, Ylikessä, Epoossa ja Pirlahdessa. Sannaissä harjua ympäröivät kalliopaljastumien ja niitä reunustavien moreenikerrosten lisäksi laajat savikot. Savikerrosten paksuus on keskimäärin 10 m. Harju on syntynyt kallioperän ruhjeeseen ja muodostaa siten synkliinisen akviferin, jossa imeytynyt vesi virtaa ruhjeen pohjalle muodostuneessa harjuytimessä. Ympäröivästä moreenista ja kalliopaljastumilta kulkeutuvat vedet saattavat lisätä akviferin antoisuutta.



Kuva 35. Maakerrosten paksuus Sannaisten harjussa

Sannaisten harju on pohjoisosassa hyvin kapea selvä selänne, mutta leviää eteläpäässä tasaisemmaksi muodostumaksi. Etelässä harjua reunustavat rantavoimien huuhtomat rantakerrostumat. Yhtenäisen harjun luoteispuolella on erillisiä pieniä kumpareita, jotka ovat kerrostuneet kallioharjanteiden väliin. Aines on hienoa hiekkaa – silttiä. Harjun on kapeimmillaan vedenottamon luoteispuolella, jossa kivisen hiekan päällä on 2 – 3 m paksu kerros savista ja silttistä hiekkaa. Vedenottamoalueen kohdalla aines on kivistä hiekkaa. Keskiosassa, missä harju kulkee hyvin kapeana selvänä selänteenä, aines on huonosti lajittunutta kivistä soraa – karkeaa hiekkaa, jossa on seassa myös lohkarkeitä. Kivet ovat melko hyvin pyöristyneitä. Seassa on runsaasti hienoaainesta, silttiä, mikä näkyy "likaisuutena" sekä paikoitellen silttisinä välikerroksina (kuva 34). Aineksessa on jonkin verran rautasaostumia. Aines hienonee lievealueita kohti nopeasti saveksi. Lohkareet ovat pääasiassa granitoideja, mutta myös kiillegneissejä esiintyy.

Maakerrosten paksuuksia on selvitelty luotauksilla harjun eteläosassa, imeytysalueen kohdalla (Paavo Ristola oy, 1979). Luotauslinjat on merkitty yleiskarttaan kuvassa 33. Itä – länsi-suuntainen A-linja on 500 m pitkä. Sitä kohtisuoraan vastaan kulkevan B-linjan pituus on 170 m. Kalliopinta on alimmillaan tasossa -0,5 m (N60) n. 100 m Sannaisten – Ylike -tieltä länteen. Maakerrosten paksuus on tällöin lähes 40 m. Maantien kohdalla kalliopinta nousee yli tason +30 m, jolloin maa-ainesta on 8 – 9 m. B-linjalla kalliopinta on aluksi tasossa +5 – +6 m ja laskee pohjoiseen päin tasoon -0,6 m. Maa-ainesta on 40 – 54 m (kuva 35). Aines on luotausten mukaan runsaasti kiviä sisältävää moreenimaista hiekkaa ja soraa.

11.4.2.2 Pohjaveden esiintyminen ja virtaussuunnat

Pohjavesitutkimuksen (Paavo Ristola Oy, 1979) koepumppaustiedoista saadaan selville pohjaveden luonnontilainen korkeusasema muodostumassa. Vedenottamon kohdalla maanpinnan korkeus on +1,67 m ja pohjavedenpinnan korkeus -1,20 m eli etäisyys on 2,87 m. Imeytysalueella maanpinnan korkeus on +36,55 m ja pohjavedenpinnan +13,50 m eli etäisyys on 23,05 m (kuva 35).

Luonnollinen pohjaveden virtaus alueella suuntautuu sekä pohjoisesta että etelästä kohti Sannaista. Ilolanjoen ja kapean harjun leikkauskohdassa purkautuu luonnontilassa pohjavettä jokeen. Pohjavedenpinnan ollessa normaalia alempana esim. vedenoton seurauksena rantaimettyy Ilolanjoesta ajoittain vettä maaperään. Pohjavesitutkimuksen (Paavo Ristola Oy, 1979) mukaan rantaimettyvän pohjaveden määrä on Björbackan ja Sannaisten alueella yhteensä n. 1 700 m³ d⁻¹. Pohjoisesta eli Ilolasta Sannaisiin siirryttäessä ovat pohjaveden luonnolliset korkeuserot erittäin pieniä ja pohjavedenpinta on lähellä 0-tasoa.

Pohjaveden päävirtaussuunta Sannaisten alueella on kaakosta luoteeseen. Kallioisella mäkialueella, missä imeytysalue sijaitsee, ei ole kalliokynnystä esteenä etelästä tapahtuvalle pohjaveden virtaukselle. Luonnollisissa olosuhteissa Solkullan alueelta onkin virrannut pohjavettä Sannaisiin. Jatkuva imeytys on vaikuttanut pohjavedenpinnan korkeuksiin siten, että pohjavedenjakaja on nykyään välittömästi imeytysalueen kaakkoispuolella. Siten Solkullan alueelta ei nykyisin virtaa pohjavettä Sannaisten suuntaan. Sensijaan imeytetystä vedestä pieni osa saattaa virrata kaakkoon.

11.4.3 Raakavesi ja esikäsitteleminen

Sannaisten tekopohjavesilaitoksen raakavesi otetaan Myllykylän järvestä Ilolanjokeen johtavasta purkuojasta. Järven vesi on melko hyvälaatuista. Yleisinä laatutietoina voidaan luetella seuraavat arvot: väriluku 10 - 40 Pt mg l⁻¹, KMnO₄-luku 15 - 30 mg l⁻¹, sameus 2 - 5 FTU sekä rautapitoisuus 0,1 - 2,0 mg l⁻¹. Järven pinta-ala on 1,03 km² ja keskivirtaama 0,07 m³ s⁻¹. Valuma-alueella on pääasiassa metsää ja vähän peltomaita ja sen pinta-ala on 8,7 km². Vesi johdetaan väljän kautta raakavesipumppaamon alavesisäiliöön, josta se johdetaan edelleen 7,5 km:n päähän imeytysalueelle. Raakavettä pumpattiin Myllykylän pumppaamolta v. 1988 keskimäärin 2 780 m³ d⁻¹ ja v. 1989 keskimäärin 2 450 m³ d⁻¹.

Raakavetenä käytettävän järviveden laatua ei vedenottamalla tarkkailla, tosin suunnitelmia seurannan parantamiseksi on tehty. Raakaveden laatutietoja saatiin Porvoon mlk:n ympäristönsuojeluviranomaisilta, mutta tiedot olivat hyvin puutteellisia. Myllykylänjärven vesitutkimustulokset vuosilta 1985 ja 1989 osoittavat kuitenkin, että pidemmällä aikavälillä veden laadussa ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia. Veden hygieeninen laatu on hyvä. Klorofyllipitoisuus ilmentää kohtuullista levätuotantoa. Veden laatu on tyypillinen vähäravinteiselle mutta ravinnesuhteiltaan tuottoisalle järvelle.

11.4.4 Imeytysjärjestelyt ja jälkikäsitteleminen

Esikäsittelemätön järvivesi sadetetaan imeytysalueelle, joka sijaitsee 1,4 km vedenottamolta kaakkoon, leveän harjukumpareen pohjoisrinteellä. Rei'itetyistä putkista

suihkuava vesi hapettuu ennen imeytymistä rehevöityneeseen harjumaastoon (kuvat 36 ja 37). Imeytyksessä on ongelmana se, että jyrkimmällä rinteenosalla osa sadetetusta vedestä kulkeutuu pintavaluntana pois.

Osa imeytysalueesta on raivattu pintakasvillisuudesta syksyllä 1986. Tämän toimenpiteen seuraukset ovat olleet osittain haitallisia. Imeytyksen jatkuttua tauotta kymmenen vuotta on pohjakerros liettynyt ja rehevöitynyt. Pohjalla on normaalista kuivasta harjumaastosta poikkeava humuskerros. Humuskerros taas heikentää veden imeytymistä maaperään. Liettyminen on nopeampaa raivatuilla alueilla kuin luonnontilaisessa harjumaastossa (kuva 38). Ideaalitilanne olisi, jos sadetettavaa aluetta voitaisiin välillä vaihtaa. Nykyisellään imeytysalueen pinta-ala on n. 9 000 m².

Hydraulisesta pintakuormasta sekä pohjavedenpinnan noususta imeytyksen vaikutuksesta ei vesilaitoksella ole esittää arviota. Pohjavedenpinnan tarkkailuraportista voidaan kuitenkin seurata pohjavedenpinnan vaihteluja. Kun vedenottamolta pumpattu vesimäärä pysyy jokseenkin vakiona 5 000 – 5 500 m³ d⁻¹, vaikuttavat imeytysmäärien rajut vaihtelut nopeasti tarkkailupisteessä R-1, joka sijaitsee n. 800 m imeytysalueelta kaivoille päin. Tarkkailupisteessä pohjavedenpinnan korkeus on +1,0 – +3,0 m. Kun imeytettävä vesimäärä pidettiin heinäkuussa 1988 pienenä, 200 m³ d⁻¹, saavutti pohjavedenpinta tarkkailupisteessä minimitason heinäkuun lopussa. Imeytetyn veden määrä vuosikeskiarvona on n. 3 000 m³ d⁻¹ ja verkostoon pumpatun veden määrä n. 5 400 m³ d⁻¹. Vesilaitoksen esittämän arvion mukaan 50 % verkostovedestä on luonnollista pohjavettä ja 50 % imeytysalueella imeytettyä tekopohjavettä. Imeytetyn veden viipymä maaperässä on n. 30 d.



Kuva 36. Yleisnäkymä sadetusalueelle, jossa kasvillisuus poikkeaa normaalista harjumaastosta. Sannainen, Porvoo.



Kuva 37. Luonnontilaista harjumaastoa sadetusalueen läheisyydessä. Sannainen, Porvoo.



Kuva 38. Liettyminen hidastaa veden imeytymistä. Sannainen, Porvoo.

Pumpatulle vedelle tehdään jälkikäsitteilynä alkalointi natriumhydroksidilla (NaOH) ja tarvittaessa desinfiointi natriumhypokloriitilla (NaClO). Desinfiointia on jouduttu suorittamaan vuosina 1988 – 1989 syys–joulukuun välisenä aikana, koska vedessä todettiin kolibakteereja. Tilannetta on parannettu siten, että vedenottamon länsipuolella sijaitseva vettä hyvinläpäisevään maaperään perattu ojaosuus putkitetiin. Ennen putkitusta osa valumavesistä imeytyi harjuun, jolloin pohjaveden laatua heikensivät bakteerit ja lannoitteet. Ottamalla tarkkaillaan jatkuvasti veden pH:ta ja jäännösklooria.

11.4.5 Veden laadun muuttuminen

Sannaisten pohjaveden todettiin ennen tekopohjavesikokeita olevan laadultaan hyvää. Imeytyskokeiden jatkuessa todettiin veden laadun pysyvän hyvänä ja raakaveden puhdistuvan hyvin maaperässä. Ilolanjoesta rantaimetyvä vesi ei heikennä veden laatua, koska merenpinnan korkeuksien vaihteluista huolimatta kloridipitoisuuden kasvua ei tapahdu tässä osassa jokea.

Sannaisten pohjoispuolella sijaitsevan Björkbackan alueen ja Sannaisten välisellä alueella on pohjavedessä paikoitellen esiintynyt korkeita rautapitoisuuksia. Tämä johtuu siitä, että pohjavesi virtaa monissa paikoissa paksujen savikerrosten alla, jolloin vesi on hapettomassa tilassa. Sannaisten harjun alueella rautaongelmaa ei kuitenkaan ole havaittu.

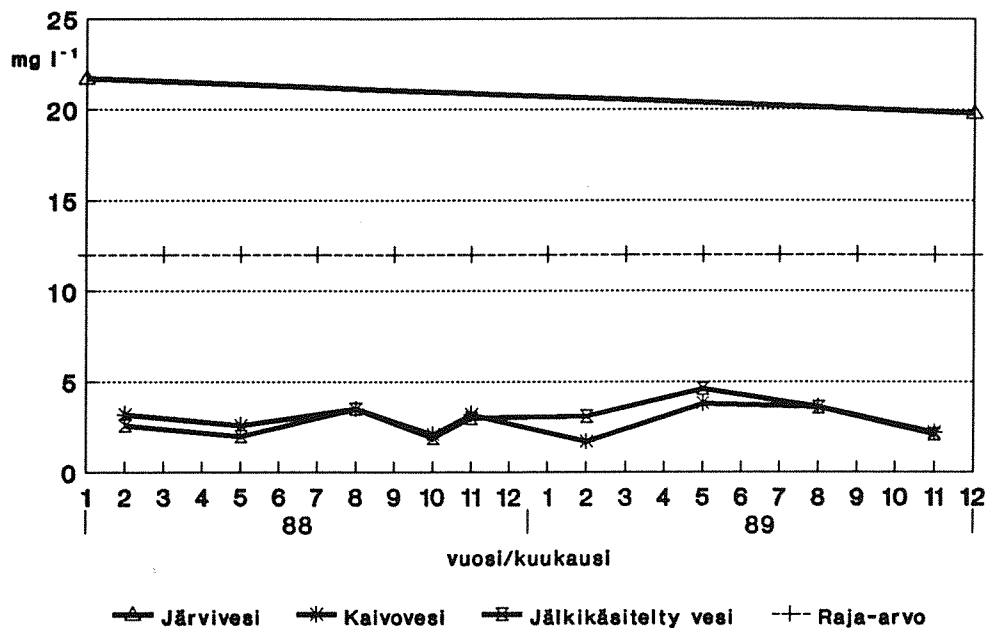
Taulukosta 9 nähdään, että jatkuva tekopohjaveden imeytys ei ole heikentänyt veden laatua. Tyypiyhdisteiden määrä on jopa selvästi pienentynyt. Kovuusarvon perusteella vesi on edelleen pehmeää. Rauta- ja mangaanipitoisuus sekä KMnO_4 -luku ovat hieman nousseet, mutta ovat silti edelleen selvästi alle lääkintöhallituksen asettamien raja-arvojen.

Taulukko 9. Sannaisten vedenottamon veden laatu 23.5.1979 (luonnollinen pohjavesi) ja 23.5.1989 (tekopohjavesi).

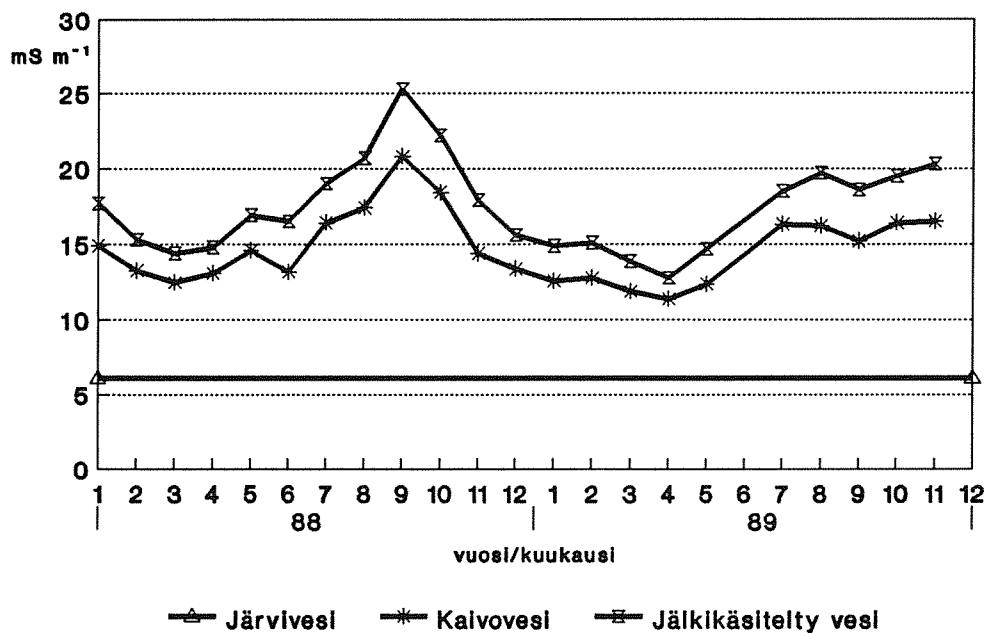
Veden laatumuuttuja	23.5.1979	23.5.1989
Fluoridi (mg l^{-1})	0,2	< 0,10
Nitraatti (mg l^{-1})	7,4	2,8
Nitriitti (mg l^{-1})	< 0,003	< 0,002
Ammonium (mg l^{-1})	0,031	0,004
Kloridi (mg l^{-1})	11,0	10,0
Mangaani (mg l^{-1})	< 0,005	< 0,008
Rauta (mg l^{-1})	0,020	0,068
Kovuus ($^{\circ}\text{dH}$)	2,8	2,0
KMnO_4 -luku (mg l^{-1})	1,9	3,8
pH	6,7	6,9
Sähkönjohtavuus (mS m^{-1})	15,0	12,4
Sameus (FTU)	kirkas, väritön	0,73
Väri (Pt mg l^{-1})	5	5

Järviveden ja kaivoveden laatutietoja verrattaessa havaitaan, että maaperän puhdistuskyky on riittävä käytettävän raakaveden puhdistamiseen. Imeytyksen aikana KMnO_4 -luku laskee arvosta 20 mg l^{-1} arvoon alle 5 mg l^{-1} (kuva 39). Rauta- ja mangaanipi-

toisuudet pysyttelevät alhaisina. Sähkönjohtavuus on kaivovedessä hieman korkeampi kuin raakavedessä (kuva 40).



Kuva 39. Veden KMnO_4 -luku käsittelyn eri vaiheissa. (Järviveden kuvaaja on kahden analyysin perusteella esitetty arvio).



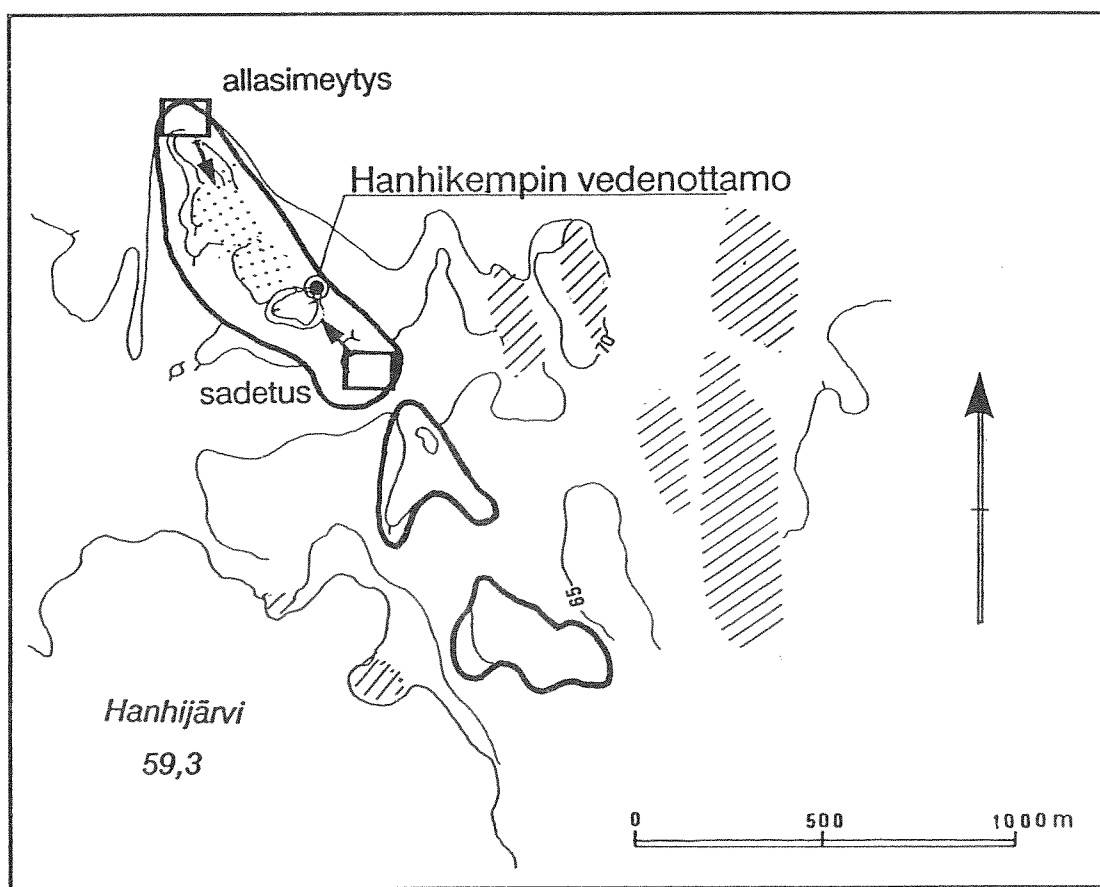
Kuva 40. Veden sähkönjohtavuus käsittelyn eri vaiheissa. (Järviveden kuvaaja on kahden analyysin perusteella esitetty arvio).

11.4.6 Yleisvaikutelma laitoksen toimivuudesta

Porvoon Sannaisten vedenottamalla tekopohjaveden imeytys on ilmeisen toimiva ratkaisu. Veden hyvään laatuun vaikuttavat melko hyväkuntoinen raakavesilähde ja veden kohtalaisen pitkä viipymä maaperässä. Vedenottamalla suoritettulla jatkuvalla tarkkailulla ja ennaltaehkäisevillä toimenpiteillä on pystytty pienentämään likaantumiseriskit.

Erityisongelma Sannaisten tekopohjavesilaitoksella on imeytysveden riittämättömyys kuivana vuodenaikana. Kun imeytystä joudutaan ajoittain rajusti vähentämään, ottamon antoisuus pienenee ja vedessä on laatuhäiriöitä.

11.5 Lappeenrannan Hanhikempin tekopohjavesilaitos



Kuva 41. Hanhikempin pohjavesialueen yleiskartta.

11.5.1 Laitoksen yleiset tiedot

Lappeenrannan Hanhikempin tekopohjavesilaitos on Oy Partek Ab:n omistuksessa. Laitos sijaitsee Hanhijärven ja Partek Oy:n teollisuusalueen välisellä lyhyellä pitkitäisharjulla. Vettä pumpataan ottamolta sekä talousvedeksi että tehtaiden käyttövedeksi. Itä-Suomen vesioikeuden 24.6.1971 myöntämän luvan mukaan laitoksella on lupa vedenottoon $3\,500\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Laitos aloitti toimintansa 1969 – 1970 ja se oli tällöin ensimmäinen Suomessa toimiva tekopohjavesilaitos. Hanhijärvi sijaitsee n. 5 km

Lappeenrannan keskustasta etelään. Kaivorakenteina vedenottamolla on yksi valettu teräsbetoninen kuilukaivo, jonka läpimitta on 5 m ja syvyys 8 m.

11.5.2 Pohjavesialueen hydrogeologiset olosuhteet

Hanhikempin harju on luode – kaakko–suuntainen, muodoltaan epäselvä ja katkonainen pitkittäisharju. Se liittyy I Salpausselkään, josta se haarautuu kapeana harjuna ulottuen miltei Hanhijärven rantaan. Yhteys Salpausselkään on melko syvällä olevien, vettä huonosti johtavien hieno hiekka – silttikerrosten kautta. Harjun pituus on kaikkiaan 2,3 km, mutta yhtenäinen harjuosuus alueella on vain n. 1 km pitkä. Leveimmillään muodostuma on n. 300 m. Kaakossa harjulle ei ole havaittavissa selvää jatketta, ainoastaan pieniä hiekkakumpareita esiintyy. Harjua ympäröivät pääasiassa silttikerrokset.

Vesihallituksen v. 1982 tekemän pohjavesialuekartoituksen mukaan Hanhikempin alueella pohjaveden muodostumisalueen pinta-ala on yhteensä 0,56 km². Muodostumaan kerääntyy jonkin verran ympäristössä muodostuneita pohjavesiä eli akviferi on synkliininen. Pohjavesitutkimuksen (Maa ja Vesi Oy, 1967) mukaan muodostuman luonnollinen antoisuus on 1 000 – 1 300 m³ d⁻¹.

11.5.2.1 Muodostuman kuvaus

Lappeenranta sijoittuu Viipurin rapakivibatoliitin alueelle. Hanhikempin kohdalla yleisin kivilaji on tasarakeinen rapakivigraniitti. Pohjois- ja itäpuolella esiintyy porfyryristä rapakivigraniittia ja pohjoisessa lisäksi tummaa rapakivigraniittia. Hanhikempin pohjoispuolella on Ihalaisten kalkkikiviesiintymä, jota Partek louhii teolliseen käyttöön. Kalkkikiviesiintymän pohjoispuolella kivilaji vaihtuu kiillegneissiksi ja suonigneissiksi.

Viipurin rapakivibatoliitissa on Simosen (1987) mukaan runsaasti vaihtelevan kokoisia sulkeumia, etenkin rapakivialueen itäosassa eli Lappeenrannan ja Ylämaan alueilla. Massiivin reunaosissa sijaitsevat sulkeumat ovat irronneet sivukivistä. Vorman (1965) mukaan Ihalaisten kalkkikivisulkeuma muodostaa pohjois – etelä–suuntaisen pitkulaisen alueen, jonka pituus on n. 3 km ja leveys n. 1 km. Kalkkikiven kanssa vuorottelevat kvartsi–maasälpagneissikerrokset ja lisäksi kalkkikiveä lävistävät emäksiset juonet (amfiboliitti ja diabaasi) sekä rapakivigraniitin pegmatiittijuonet. Kalkkikiviesiintymän keskivaiheilla on ohuita juovia wollastoniittia.

Kaikkien rapakivimuunnosten vaaleina päämineraaleina ovat kalimaasälpä, plagioklaasi ja kvartsi, joiden keskinäiset paljousuhteet eivät merkittävästi vaihtelee eri muunnosten kesken. Sen sijaan tummien Fe–Mg–silikaattien määrät vaihtelevat selvästi. Tasarakeiset rapakivigraniitit ovat väriltään punaisia tai harmaita ja niiden tummana mineraalina on useimmiten biotiitti. Tummanvihreät tasarakeiset rapakivigraniitit sisältävät tummina mineraaleina myös oliviinia ja pyrokseenia. Tumman rapakiven eli tiriliitin tummina mineraaleina on sarvivälkettä, biotiittia ja oliviinia (Simonen, 1987).

Hanhikempin glasifluviaalisen muodostuman kaakkoisosa koostuu hajanaisista ja epämääräisen muotoisista hiekkakumpareista. Niiden aines on pääasiassa huonosti vettä läpäisevää hienoa hiekkaa – silttiä. Aines on huonosti lajittunutta. Muodostuman luoteisosa on pohjaveden saannin kannalta merkittävämpi, koska muodostuma on

laajempi ja aines paikoitellen karkeampaa. Tosin harjun alkuperäinen muoto on kadonnut laajan maa-aineksen oton seurauksena. Harjun luoteispäässä, imeytysaltaiden kohdalla, on muodostuman maakerrosten paksuus 19 m. Aines on pinnalla hienoa hiekkaa – silttiä, sen alla 6 – 8 m:n syvyyteen hiekkaa ja loput kivistä soraa. Rakeet ovat hieman kulmikkaita. Altaiden pohjan korkeus on +79,00 m (N 43). Pohjavedenpinnan korkeus altaiden kohdalla on +60,00 – +63,00 m (Aura, 1968).

Muodostuman keskivaiheilla on valtaosa aineksesta kaivettu pois. Nykyisellään ainesta on n. 10 m ja se on kivistä ja soraista hiekkaa. Maanpinnan korkeus on +64,00 – +65,00 m ja pohjavedenpinnan korkeus +57,00 – +62,00 m. Aikaisemmin oli imeytöksessä käytössä kaksi allasaluetta, joista toinen sijaitsee nykyisten altaiden kaakkoispuolella hiekkakuopassa. Altaan pohjan korkeus oli +66,00 m ja sen katsottiin olevan liian lähellä kaivoa ja pohjavedenpintaa, joten se poistettiin käytöstä.

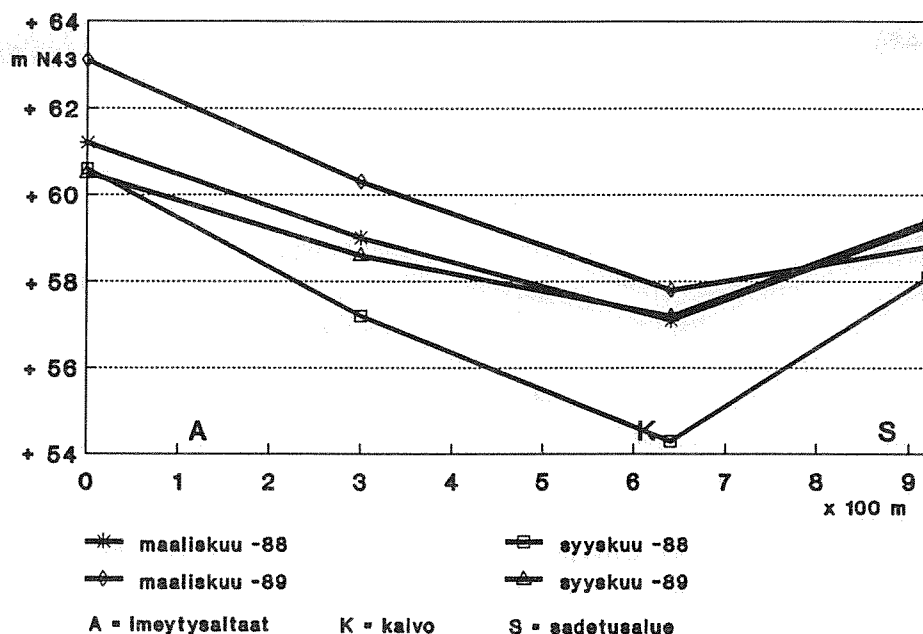
Kaivoalue on sijoitettu suppaan, josta on lisäksi kaivettu ainesta pois. Kuopan pohjalla on kivistä hiekkaa – kivistä soraa 8 – 10 m. Kaivoalueella pohjavedenpinnan korkeus on +54,00 – +59,00 m. Vedenottamon luoteispuolella kohoavat esiin kalliopaljastumat. Kivilaji on porfyyristä rapakiveä, jossa on selvästi näkyvissä jäätikön liikkeen aikaansaamat luode – kaakko-suuntaiset uurteet. Muodostuman kaakkoiskärjessä aines on hyvin hienoa ja tasalaatuista, pääasiassa silttiä ja välillä hienoa hiekkaa. Maakerrosten paksuus on n. 17 m ja vasta 6 – 7 m:n syvyydessä aines muuttuu karkeammaksi hiekaksi. Kaakkoiskärjessä on maanpinnan korkeus +68,00 – +69,00 m ja pohjavedenpinnan luonnollinen korkeus +61,00 – +62,00 m (Maa ja Vesi Oy, 1967).

11.5.2.2 Pohjaveden esiintyminen ja virtaussuunnat

Hanhikemпин harjun tehollisen pohjavesialtaan tilavuus on Auran (1968) mukaan 2 200 000 m³. Maaperän huokoisuuden ollessa 30 % on pohjaveden määrä vähintään 600 000 m³. Pohjavedenpinnan yläpuolella olevien maakerrosten paksuus on 2 – 18 m. Vähiten ainesta on hiekkakuopilla harjun keskiosassa ja eniten imeytysalueella. Pohjavedenpinta on noussut pitkäaikaisen ja jatkuvan imeytyksen seurauksena n. 3 m.

Koska aineksen koostumus vaihtelee muodostuman eri kerroksissa, vaihtelee myös pohjaveden virtausnopeus huomattavasti. Luonnollisen pohjaveden teoreettinen virtausnopeus on n. 10 m d⁻¹, mutta jälleen on huomioitava, että tekopohjaveden virtausnopeus maaperässä on suurempi kuin luonnollisen pohjaveden. Muodostuman ympärillä olevat tiiviit silttikerrostumat ja kallioperän topografia ohjaavat pohjaveden virtausta siten, että imeytetty vesi kertyy suppaan ikäänkuin suppiloon. Päävirtaus-suunta on luoteesta kaakkoon. Kaakkoiskärjessä olevalta sadetusalueelta, tiiviiden maakerrosten ympäröimältä kumpareelta, imeytysvedet virtaavat luoteeseen kohti vedenottamo (kuva 42).

Vedenottamo sijaitsee kahden imeytysalueen välissä. Luoteessa 500 m:n päässä on allasimeytysalue ja kaakossa n. 150 m:n päässä on sadetusalue. Pohjavesitutkimukseen (Maa ja Vesi Oy, 1967) liittyvässä koepumppauksessa kaivon antoisuus oli 900 l min⁻¹ eli 1 300 m³ d⁻¹. Suurin tuotto saa olla keskimäärin 2 400 l min⁻¹ eli 3 456 m³ d⁻¹. Pohjavedenpinnan korkeuden säännöstelyrajat vedenottamalla ovat +57,00 – +60,00 m.



Kuva 42. Pohjavedenpinnan korkeus Hanhikempin harjussa 1988 - 1989.

11.5.3 Raakavesi ja esikäsittely

Laitos ottaa raakavetensä Hanhijärvestä, joka sijaitsee 1,2 km:n päässä imeytysalueesta. Järvi on pinta-alaltaan 2,7 km². Se on melko matala, keskisyvyys 1,75 m. Järveen on johdettu aikoinaan runsaasti asutuksen ja teollisuuden jätevesiä, mistä on seurannut rehevöityminen. Rehevöitymistä lisää järven valuma-alueella käytettävä peltolannoitus.

Kesäkuukausien runsas leväkukinta sekä järven hapettomuus talvisin oli Hanhijärvestä havaittavissa jo 1960-luvun alussa. Tekopohjavesilaitoksen perustamisen yhteydessä todettiin, että raakaveden laatu on tyydyttävä muulloin paitsi heinä-elokuussa, jolloin imeytys on keskeytettävä (Aura, 1968). Järviveden laatumuuttujat vuosina 1962 - 1963 vaihtelivat seuraavasti: väriluku 35 - 100 Pt mg l⁻¹, KMnO₄-luku 37 - 89 mg l⁻¹ ja sähkönjohtavuus 11 - 23 mS m⁻¹. Vuosina 1983 - 1986 vastaavat arvot olivat väriluku 70 - 120 Pt mg l⁻¹, KMnO₄-luku 40 - 64 mg l⁻¹ ja sähkönjohtavuus 8 - 11 mS m⁻¹. Vuoden 1990 lopussa tehdyssä Hanhijärven vesianalyysissä oli KMnO₄-luku 166 mg l⁻¹ ja sähkönjohtavuus 16 mS m⁻¹.

Kesäkuukausina sinileväesiintymät ovat olleet erittäin runsaita, etenkin lähellä rantaa. Vettä on kuitenkin ilman taukoja pumpattu Hanhijärvestä. Pumppausputken pää on sijoitettu 50 - 80 m:n päähän rannasta. Sinilevän kukinnan aikaan imeytysaltaiden tukkeutuminen on ollut hyvin nopeaa. Altaan pohjalle muodostuu 3 - 5 mm paksu tukkiva leväkerros jopa parissa viikossa. Veden huonosta laadusta huolimatta sille ei tehdä kemiallista esi- eikä jälkikäsittelyä.

Hanhijärvestä elokuussa 1990 otettu levänäyte todettiin lievästi maksatoksiseksi. Syys- ja lokakuun sinilevätoksiinimäärityksissä ei enää todettu maksa- eikä hermomyrkyä. Koska toksiineja kuitenkin ajoittain esiintyy Hanhijärven vedessä, on kesällä 1991 aloitettu raakaveden ja tekopohjaveden toksisuusseuranta, jossa tehdään säännöllisesti

vesien plankton- ja klorofyllimääritykset sekä seurataan sinileväsolujen esiintymistä ja mahdollista toksisuutta. Laitoksella selvitetään myös raakaveden esikäsittelymahdollisuuksia, mm. mikrosiivilöintiä ja aktiivihiilisuodatusta.

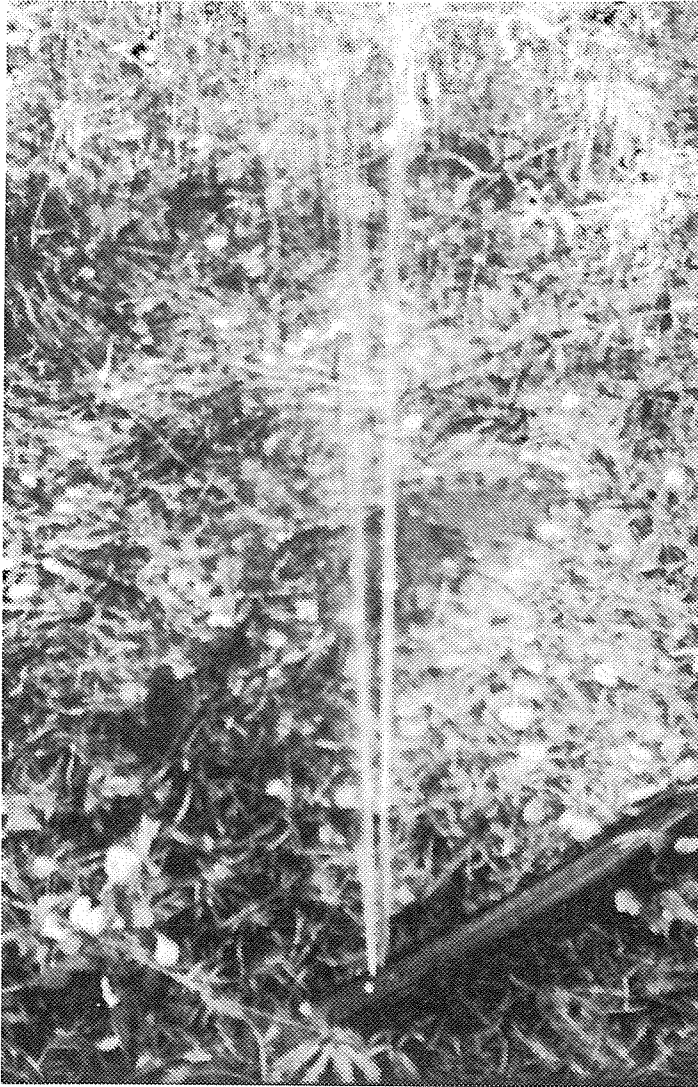
11.5.4 Imeytysjärjestelyt ja jälkikäsittely

Harjun luoteispäässä ovat imeytysaltaat, kaakkoispäässä sadetusalue ja lähellä sadetusaluetta luonnon supan ja kaivetun hiekkakuopan muodostamassa kuopassa on vedenottamo. Nykyisellä imeytysalueella on kaksi allasta, joiden yhteenlaskettu pinta-ala on 2 825 m² ja altaiden pohjan korkeus on +79,00 m (N 43) (kuva 43). Vaikka altaiden pohjan luonnollinen aines täyttää suodatinhiekkalle asetettavat vaatimukset (tehokas raekoko $d_{10} = 0,15 - 0,30$ mm ja tasaisuusluku $d_{60} : d_{10} = 2 - 3$), on altaiden pohjalla muualta tuotu 0,5 - 1,0 m paksu suodatinhiekkakerros. Imeytys altaisiin tapahtuu vuorotellen. Altaat puhdistetaan kuorimalla pintakerros kesäkaudella kerran kuukaudessa ja talvella kerran 2 - 3 kuukaudessa. Silloin tällöin altaiden pohjat äestetään.



Kuva 43. Imeytysaltaat Hanhikempin laitoksella.

Kasvillisuus sadetusalueella on selvästi rehevöitynyt ja alueella kasvaa normaalia kuivasta harjumaastosta poikkeavaa kasvillisuutta, esim. kortetta. Sadetusalueen pinta-ala on n. 1 ha ja vettä sadetetaan 700 - 800 l min⁻¹. Sadetus on ympärivuotista eikä erityistoimenpiteitä vaativia ongelmia ole imeytyksessä esiintynyt. Rehevöityminen ja liettyminen eivät ole olleet niin voimakkaita, että raakaveden imeytyminen olisi ratkaisevasti estynyt. Vaikka maasto on suppaista, on se aineksen hienojakoisuuden vuoksi niin huonosti vettä läpäisevää, että osa sadetusvedestä valuu pintavaluntana koilliseen maantielle (kuva 44).



Kuva 44. Sadetusta vettä huonosti läpäisevässä harjumaastossa. Hanhikemppi, Lappeenranta.

Imeytetyn veden määrä vuosikeskiarvona on $1\,500\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$ ja vedenottamolta pumpatun veden määrä $2\,160\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Kaikkea imeytettyä vettä ei saada pumpattua käyttöön. Ottamon vedestä on n. 50 % luonnollista pohjavettä ja 50 % imeytettyä tekopohjavettä. Hydraulinen pintakuorma oli laitoksen toiminnan alkuaikoina $0,05 - 0,14\text{ m h}^{-1}$, mutta nykyään se on laskenut arvoon $0,042\text{ m h}^{-1}$. Laitoksen koekäytössä 1967 – 1968 pääteltiin pohjaveden virtausnopeudeksi 10 m d^{-1} ja viipymäksi 45 – 60 d. On kuitenkin todennäköistä, että 500 m imeytysmatkalla altailta kaivolle viipymä jää edellä mainittua arvoa pienemmäksi.

11.5.5 Veden laadun muuttuminen

Auran (1968) mukaan Hanhikemppin alueen luonnollisen pohjaveden laatua heikentää suuri rautapitoisuus, mutta laitokselta saatujen tietojen mukaan rautapitoisuus ei ole kuitenkaan huonontanut ottamolta pumpattavan talousveden laatua. Pohjavesitutki-

muksen (Maa ja Vesi Oy, 1967) mukaan koepumppausten aikana otetuissa vesinäytteissä rautapitoisuus oli 0,1 – 38,4 mg l⁻¹. Mangaanipitoisuus oli vastaavasti alle 1,1 mg l⁻¹ ja KMnO₄-luku 2 – 41 mg l⁻¹. Luonnollinen pohjavesi oli emäksistä ja keskikovaa. Taulukossa 10 on vertailtu luonnollisen pohjaveden laatua koepumppauksen aikana 1966 – 1967 ja tekopohjavesilaitoksen tuottaman veden laatua vuosina 1988 ja 1989. Vuosien 1988 ja 1989 vesinäytteet eivät ole kaivonäytteitä vaan Oy Partek Ab:n keskusruokalan vesijohtonäytteitä. Arvot ovat vuosikeskiarvoja.

Taulukko 10. Hanhikemпин vedenottamon veden laatu koepumppausten aikana 1967 – 1968 (luonnollinen pohjavesi) sekä vuosina 1988 ja 1989 (tekopohjavesi).

Veden laatuominaisuudet	1967 – 1968	1988	1989
Koliryhmän bakt.(kpl/100ml)	1	< 1	< 1
Nitraatti (mg l ⁻¹)	4,4	2,1	2,6
Ammonium (mg l ⁻¹)	< 0,1	0,01	< 0,01
Kloridi (mg l ⁻¹)	3,9	10,8	12,0
Rauta (mg l ⁻¹)	0,16	0,01	< 0,01
Kovuus (°dH)	5,25	10,08	9,52
KMnO ₄ -luku (mg l ⁻¹)	2,5	15,0	17,6
pH	7,95	7,8	7,9
Sähkönjohtavuus (mS m ⁻¹)	17,7	33,5	32,6

Vesi täyttää talousveden laatutavoitteet lukuunottamatta KMnO₄-lukua, joka ylittää raja-arvon 12 mg l⁻¹ (myös vanhan raja-arvon 15 mg l⁻¹). Sähkönjohtavuus ja kloridipitoisuus ovat kohonneet melko suuriksi, mihin saattaa vaikuttaa laajamittainen soranotto pohjavesialueella. Kokonaiskovuus on selvästi suurempi kuin yleensä Suomen vesissä, mikä johtuu alueen kalkkikiviesiintymästä ja suoritetusta louhinnasta. Veden pH on kuitenkin säilynyt ennallaan. Vuoden 1967 – 1968 koepumppauksissa ei analysoitu lainkaan pohjaveden fluoridipitoisuutta. Vuonna 1988 Hanhikemпин ottamon vesijohtovedessä fluoridipitoisuus oli 0,67 – 0,90 mg l⁻¹ ja seuraavana vuonna 0,69 – 1,01 mg l⁻¹. Vaikka alueen kallioperä on pääasiassa rapakiveä, ei pohjaveden fluoridipitoisuus silti ylitä talousveden laatuvaatimusten ylärajaa 1,5 mg l⁻¹.

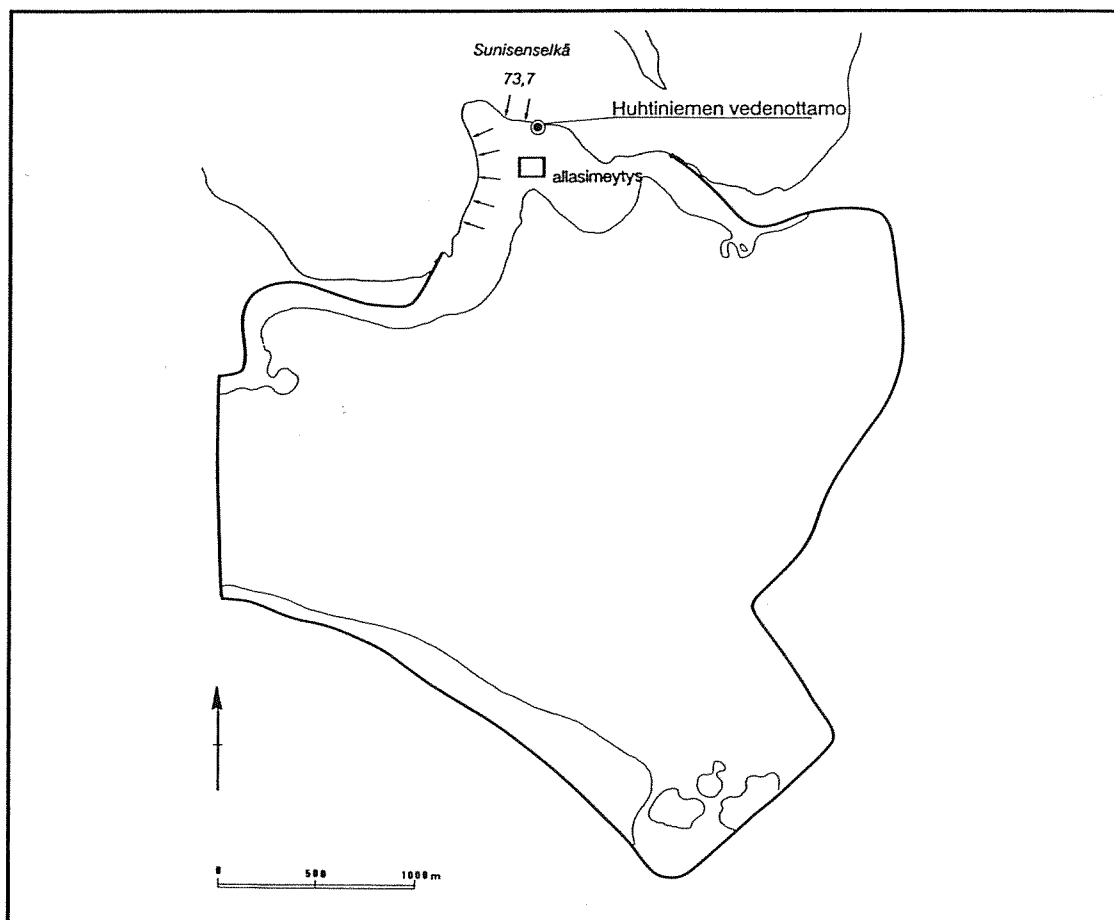
11.5.6 Yleisvaikutelma laitoksen toimivuudesta

Suurin ongelma laitoksen toiminnassa on laadultaan huono raakavesi. Järvi on pitkälle rehevöitynyt ja imeytettävässä vedessä on runsaasti orgaanista ainesta, joka ei riittävästi poistu vedestä imeytyksen aikana. Kesäisin järven pinnalla laajoina kukintoina esiintyvät sinilevät saattavat muodostaa hermo- tai maksatoksisia orgaanisia aineita, kuten elokuussa 1990 todettu maksatoksinen levänäyte osoitti. Nämä toksiinit eivät välttämättä poistu vedestä imeytyksessä, vaan niiden tuhoaminen edellyttäisi erityistä käsittelyä. Raakaveden soveltumattomuutta imeytykseen osoittaa myös se, että vuonna 1979 lääkintöhallituksen ja vesihallituksen yhteisessä selvityksessä havaittiin Hanhikemпин tuottamassa vedessä runsaasti mesofiilisiä sädesieniä. Sädesienet pystyvät lisääntymään maaperässä, koska ne käyttävät ravintonaan Hanhijärven huonolaatuisen ja rehevöityneen raakaveden orgaanisia yhdisteitä.

Viipymä on imeytysalueella kohtalainen eli useita viikkoja, mutta raakaveden huonon laadun vuoksi ei kuitenkaan riittävä. Sinilevien tukkimien altaiden usein toistuva

puhdistus laskee imeytyksen tehoa ja aiheuttaa lisäkustannuksia. Näistä syistä johtuen olisi veden laadun turvaamiseksi liitettävä imeytykseen esikäsittely, esim. flotaatio ja mahdollisesti sinilevätoksiineja tuhoava käsittely, esim. otsonointi tai aktiivihilikkäsittely.

11.6 Lappeenrannan Huhtiniemen tekopohjavesilaitos



Kuva 45. Huhtiniemen pohjavesialueen yleiskartta.

Huhtiniemen tekopohjavesilaitoksen toiminnasta on tehty selvitys 1970-luvulla YVY-projektin yhteydessä (Rönkä ym., 1977). Tekopohjavesilaitoksen suunnitteluun liittyen suoritettiin tällöin pitkäaikainen imeytyskoe väliaikaisten rakenteiden avulla kesäkuusta 1972 huhtikuuhun 1974. Varsinainen tekopohjavesilaitos valmistui keväällä 1974.

Huhtiniemen pohjavesialue on aivan Lappeenrannan kaupungin keskustan länsipuolella. Alue on osa I Salpausselkää, joka Lappeenrannan kohdalla kulkee koillinen-lounas-suuntaisena. Tällä kohdin reunamuodostuma on leveydeltään n. 3,5 km. Pohjavesialue päättyy länsireunalla maakerrosten yläpuolelle kohoaviin kalliopaljastumiin. Alueen pohjoispuolella on Pien-Saimaaseen kuuluva Sunisenselkä, joka on hydraulisessa yhteydessä muodostumaan. Eteläreunalla on siltti- ja savikerroksia sekä pohjaveden purkautumispaikoissa pieniä soistuneita alueita.

Muodostuman aines on reunamuodostumalle tyypillistä sekalaista ainesta. Proksimaaliosassa lajittuneeseen hiekkaan on sekoittunut tiiviitä moreenikerroksia, jotka aiheuttavat ennalta arvaamattomia vaihteluja pohjaveden virtaussuunnille. Distaaliosassa aines on hyvin lajittunutta hiekkaa – silttiä. Lajittunut aines on levittänyt tasaiseksi kankaaksi. Huhtiniemen länsireunalla esiintyy karkeampien aineiden peittämiä savikerrostumia, jotka ovat syntyneet myöhäisglasiaaliajalla Baltian jääjärvivaiheessa. Päällä oleva karkeampi aines on rantavoimien kerrostamaa. Irtomaakerrosten paksuus on suuruusluokkaa 40 m.

Huhtiniemen pohjavesialueella ei pystytä määrittelemään selvää pohjaveden päävirtaussuuntaa. Pohjavesi virtaa muodostuman reunoille purkautuen eteläreunalla soistuneilla alueilla lähteinä ja pohjoisreunalla Sunisenselän rantavyöhykkeeseen. Koska Huhtiniemen vedenottamon kaivoalue on aivan järven rannassa, on vedenoton seurauksena vettäläpäisevässä rantavyöhykkeessä virtaus muuttunut päinvastaiseksi. Sunisenselältä suotautuu rantaimetytymisen kautta vettä akviferiin.

Huhtiniemen pohjavesialueen pinta-ala on v. 1982 tehdyn pohjavesialuekartoituksen mukaan $8,15 \text{ km}^2$ ja antoisuus $6\,500 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Rönkä ym. (1977) sen sijaan ilmoittaa sade- ja sulamisvesistä muodostuvan pohjaveden määräksi n. $500 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, mutta koska Sunisenselältä tapahtuu rantaimetytymistä, voidaan vedenottamolta ottaa pohjavettä n. $3\,500 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Tämän laskelman mukaan Huhtiniemen pohjavesialueelta pumpattavasta vedestä 80 – 85 % on järvestä rantaimetytynyttä vettä.

Imeytys laitoksella on ollut jatkuvaa vuodesta 1974 lähtien. Kaksi ensimmäistä allasta valmistuivat v. 1974 ja loput kaksi v. 1975. Neljän altaan yhteenlaskettu pinta-ala on $5\,680 \text{ m}^2$. Kahdesta altaasta kuoritaan pohjalta pyöräkuormaajalla kerros pois kaksi kertaa vuodessa. Toiset altaat kuoritaan kerran vuodessa ja harataan kynsikauhalla kerran vuodessa. Altaiden pohjalla aines on luonnontilaista. Etäisyys altaiden pohjasta pohjavedenpintaan on 12 – 13 m. Kun imeytys laitoksella aloitettiin 1972, nousi pohjavedenpinta 4 – 5 m (Rönkä ym., 1977). Suurimmillaan pohjavedenpinnan korkeuden vaihtelu on ollut 5 – 6 m. Nykyisellään pohjavedenpinnan nousu luonnollisesta tasosta on laitoksen antaman tiedon mukaan 1,2 m imeytysalueella ja 2,2 m kaivoalueella. Tavoitteena on suhteuttaa imeytys ja vedenotto siten, että nousu kaivoalueella on 0,9 m.

Hydraulinen pintakuorma altaissa on $0,079 \text{ m h}^{-1}$. Vedenottamon etäisyys imeytysalueesta on 200 m. Koeimeytyksissä (Rönkä ym., 1977) altaiden alapuolella veden pystyvirtausnopeus oli n. 18 m d^{-1} ja virtausnopeus altaiden ja kaivojen välillä 8 – 9 m d^{-1} . Siten saatiin viipymäksi 24 d. Laitoksen esittämän arvion mukaan viipymä on kuitenkin vain 7 d.

Huhtiniemen alueella imeytettiin vuonna 1989 tekopohjavettä $10\,910 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ ja vedenottamolta pumpattava kokonaisvesimäärä oli $9\,700 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Laitoksen esittämän arvion mukaan verkostoon pumpattavassa vedessä on 20 % rantaimetytynyttä tekopohjavettä, 55 % imeytettyä tekopohjavettä sekä 25 % luonnollista pohjavettä. Tämä arvio poikkeaa jonkin verran luvuista, jotka saadaan laskemalla käyttäen aikaisemmin mainittuja arvioita Huhtiniemen alueen pohjavesivarjoista (Rönkä ym., 1977): 30 % rantaimetytynyttä tekopohjavettä, 65 % imeytettyä tekopohjavettä sekä 5 % luonnollista pohjavettä. Mahdollisuuksia laitoksen kokonaiskapasiteetin nostamiseen on tutkittu (Vesi-Hydro Oy, 1985b) ja on todettu, että nostaminen määrään $15\,000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ on täysin mahdollista. Tällöin on tosin varauduttava tietyn asteiseen yli-imeytykseen,

koska vedenoton vaikutus kaivoalueella on 1,25-kertainen verrattuna vastaavan suuruisen imeytyksen vaikutukseen kaivoalueella.

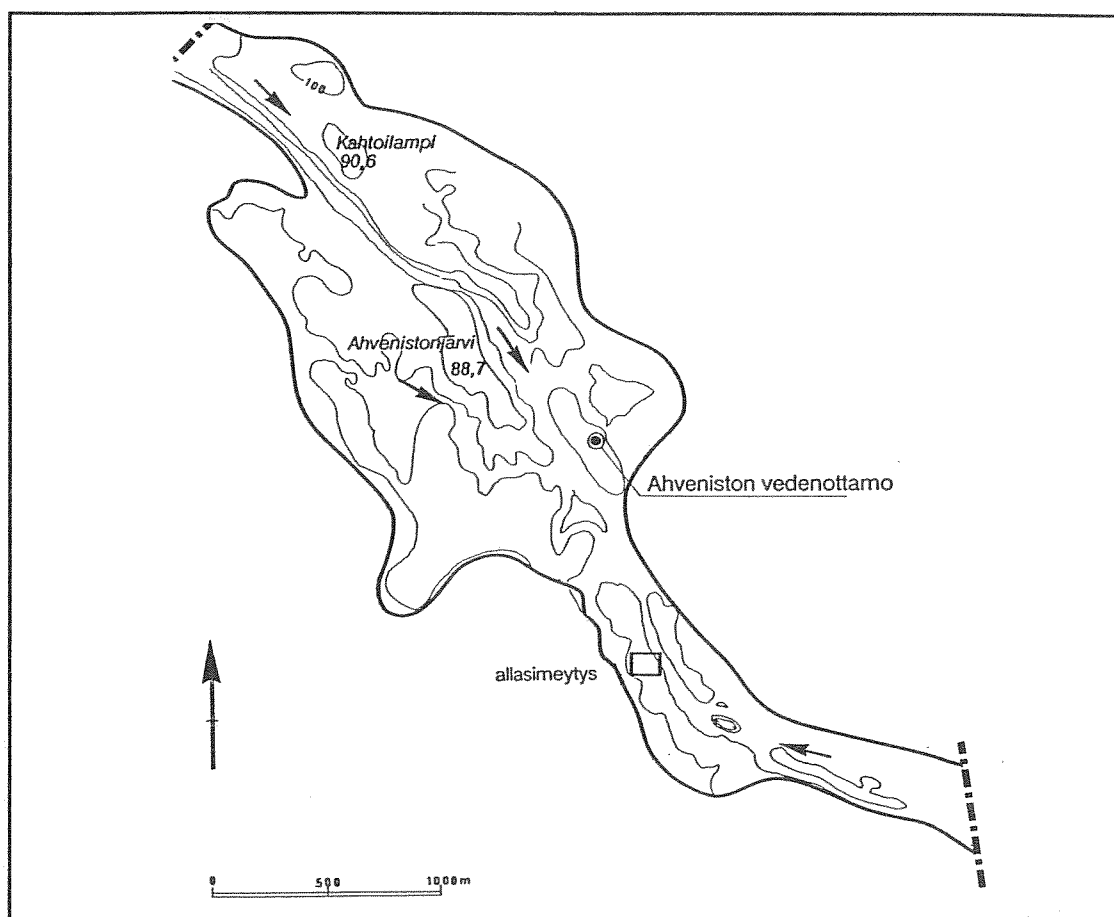
Raakavesi imeytykseen otetaan Pien-Saimaan Sunisenselältä, joka on 200 m:n päässä imeytysaltailta. Järven valuma-alueen pinta-ala on n. 575 km². Pinta- ja pohjavesiä yhteensä virtaa järveen vuosikeskiarvona 4,5 m³ s⁻¹. Vehkakaipaleen pumppuaseman kautta pumpataan Suur-Saimaan vettä järveen 30 – 35 m³ s⁻¹. Soiden osuus Pien-Saimaan ympäristön maapinta-alasta on alle 10 % ja peltojen 10 – 20 % (Rönkä ym., 1977). Taulukossa 11 on esitetty raakavetenä käytettävän järviveden laatu vuosina 1988 ja 1989 (luvut vuosikeskiarvoja). Arvot osoittavat, että Sunisenselän veden laatu on hyvä, esim. väri, sameus ja KMnO₄-luku ovat pintaveden arvoiksi melko alhaisia. Koska raakavesi on hyvälaatuista, ei sille jouduta suorittamaan esikäsittelyä ennen imeytystä. Sen sijaan imeytyksen jälkeen vesi alkaloidaan vesilaitoskalkilla ja bakteerien hävittämiseksi desinfioidaan natriumhypokloriitilla.

Taulukko 11. Huhtiniemen tekopohjavesilaitoksella imeytettävän järviveden laatu 1988 – 1989 (vuosikeskiarvoina).

Veden laatumuuttuja	1988	1989
Fekaaliset koliform. bakteerit (kpl/100 ml)	1	2,6
Koliformiset bakteerit (kpl/100 ml)	38	89
Fluoridi (mg l ⁻¹)	0,23	0,20
Nitraatti (mg l ⁻¹)	< 1	< 1
Nitriitti (mg l ⁻¹)	0,02	< 0,01
Ammonium (mg l ⁻¹)	< 0,01	< 0,02
Kloridi (mg l ⁻¹)	5,0	5,2
Mangaani (mg l ⁻¹)	< 0,03	< 0,02
Rauta (mg l ⁻¹)	0,05	0,11
Alkaliteetti (mmol l ⁻¹)	0,3	0,24
Hiilidioksidi (mg l ⁻¹)	3	2
KMnO ₄ -luku (mg l ⁻¹)	19	20
pH	7,1	7,3
Sähkönjohtavuus (mS m ⁻¹)	5,7	5,8
Sameus (FTU)	1,0	1,1
Väri (Pt mg l ⁻¹)	6	10

Laitoksella ei seurata säännöllisesti kaivoveden laatua. Siksi ei pystytä seuraamaan luotettavasti imeytyksen aikana tapahtuvia veden laadun muutoksia. Voidaan kuitenkin verrata raakaveden ja jälkikäsitellyn veden laatutietoja keskiarvoina vuosilta 1988 – 1989. Tällöin havaitaan, että vedenkäsittelyn aikana rauta- ja mangaanipitoisuus, ammoniumpitoisuus, permanganaattiluku ja sameus pienenevät selvästi. Rautapitoisuus laskee arvosta 0,11 mg l⁻¹ arvoon 0,01 mg l⁻¹, mangaani vastaavasti 0,03 mg l⁻¹:sta 0,01 mg l⁻¹:aan, ammonium 0,02 mg l⁻¹:sta 0,01 mg l⁻¹:aan, KMnO₄-luku 20 mg l⁻¹:sta 3 mg l⁻¹:aan sekä sameus 1,1:stä 0,16:een. Kalkin lisäyksen johdosta alkaliteetti kaksinkertaistuu ja pH nousee 7:stä 8:aan. Lopputuloksena vedenottamolta saadaan laadultaan täysin moitteetonta talousvettä. Vaikka imeytetyn veden viipymä maaperässä on suunniteltua lyhyempi, se ei heikennä pumpattavan veden laatua. Selitys löytynee siitä, että alueen pohjavesivarasto on kohtalaisen suuri (n. 3,5 milj. m³) ja vettä pumpataan vajaalla teholla. Imeytetty vesi sekoittuu varastoituneeseen pohjaveteen, jolloin pitoisuudet laimenevat.

11.7 Hämeenlinnan Ahveniston tekopohjavesilaitos



Kuva 46. Ahveniston pohjavesialueen yleiskartta.

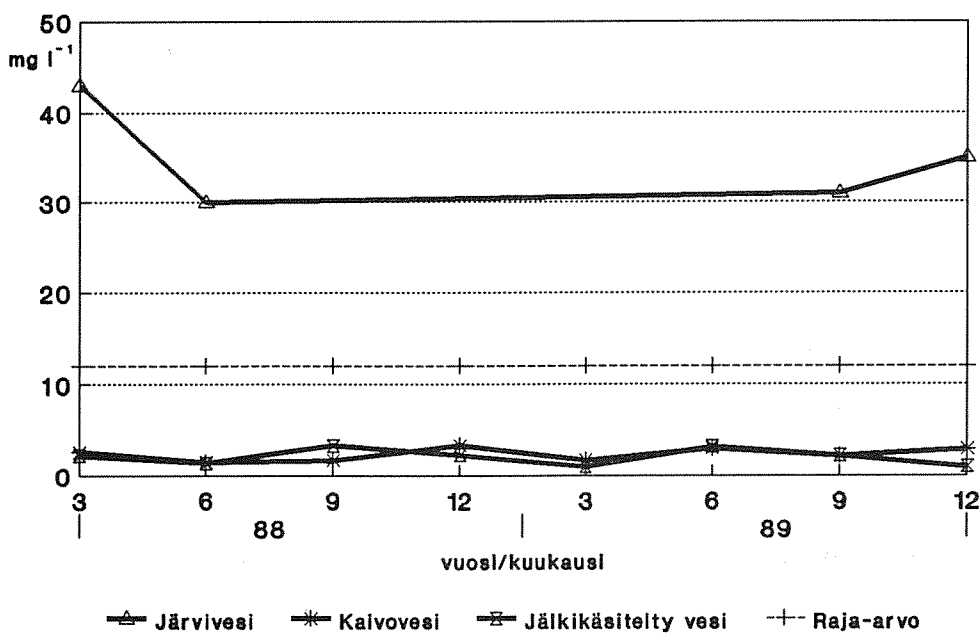
Ahveniston pohjavesialue muodostuu luode – kaakko-suuntaisesta pitkittäisharjusta, joka on osa Turengista Hämeenlinnan kautta Hattulaan kulkevaa katkonaista harjujaksoa. Ahveniston pohjavesialueen rajaavat omaksi alueekseen sekä luoteessa että kaakossa kalliokynnykset, joiden vaikutuksesta pohjavesi virtaa harjun pituussuunnassa alueen molemmista kärjistä kohti Ahveniston urheilukeskusta. Tähän alueen keskiosaan – Ahvenistonjärven kaakkoispuolelle – on sijoitettu Ahveniston vedenottamo.

Kaakkoisosa Ahveniston pohjavesialueesta on selvästi selänmäinen harju, jonka reunaosissa on paksuja hieno hiekka – silttikerroksia. Tälle harjuselänteelle, 1 100 m ottamolta eteläkaakkoon, on sijoitettu imeytysaltaat (kuva 46). Alueen luoteisosa koostuu muodoltaan epämääräisemmästä deltamaisesta muodostumasta. Pintaosassa aines on soravaltaista ja syvemmällä pääasiassa hiekkaa. Maa-ainesta on paikoitellen useita kymmeniä metrejä.

Ahveniston alueella pohjaveden muodostumisalueen pinta-ala on 3,7 km². Vesihallituksen v. 1981 tekemän pohjavesialuekartoituksen mukaan alueen luonnollinen antoisuus on 8 600 m³ d⁻¹, mistä määrästä osa on Ahvenistonjärvestä rantaimetyntynyt. Ilman rantaimetyntä alueen luonnollinen antoisuus on Kajosaaren ja Rantalan (1973) mukaan 3 500 – 4 000 m³ d⁻¹.

Ahveniston vedenottamalla aloitettiin tekopohjaveden imeytys v. 1976. Kajosaaren ja Rantalalan (1973) mukaan tarve tekopohjaveden muodostamiseen syntyi, kun jatkuvasti lisääntyvän pohjavedenoton seurauksena Ahveniston järven pinta aleni useita metrejä. Imeytystoiminta on jatkuvaa ja se tapahtuu allasimeytyksenä. Altaita on kolme ja niiden yhteenlaskettu pinta-ala on 11 000 m². Altaiden tukkeutumisongelmia ei ole ollut. II- ja III-allasta ei ole puhdistettu koko toiminnan aikana. I-allasta ei ole puhdistettu vuoden 1985 jälkeen. Siihen asti allas puhdistettiin noin kerran vuodessa.

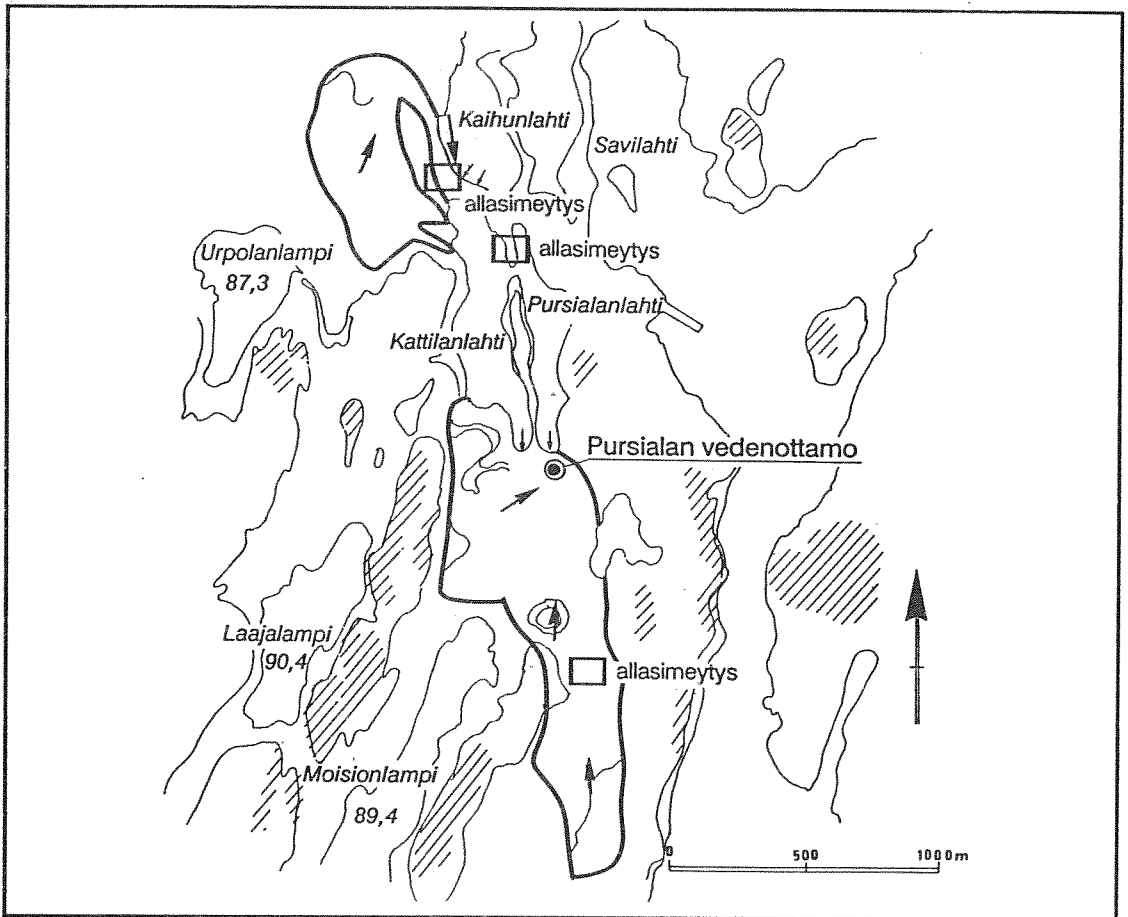
Ainoastaan yhdessä altaassa käytetään muualta tuotua suodatinhiekkää. Sitä levitetään altaan pohjalle 0,4 m paksu kerros. Hydraulinen pintakuorma on 0,03 m h⁻¹. Altaiden pohjan ja pohjavedenpinnan välisestä etäisyydestä ei ole olemassa tuoreita mittaustuloksia. Kajosaaren ja Rantalalan (1973) esittämä arvio on 15 m. Imeytetyn veden määrä vuosikeskiarvona on 7 730 m³ d⁻¹ ja vedenottamolta pumpatun veden määrä 9 620 m³ d⁻¹. Verkostoon pumpatussa vedessä on laitoksen esittämän arvion mukaan 80 % tekopohjavettä ja 20 % luonnollista pohjavettä. Pohjavedenpinta on noussut imeytyksen vaikutuksesta imeytysalueella n. 1,0 m ja vedenottamoalueella 2,0 m.



Kuva 47. Veden KMnO₄-luku käsittelyn eri vaiheissa. (Järviveden kuvaaja on neljän analyysin perusteella esitetty arvio).

Raakavesi imeytysaltaisiin pumpataan n. 3,2 km:n päässä olevasta Alajärvestä. Järven valuma-alueen pääasialliset maankäyttömuodot ovat maatalous ja loma-asutus. Järviveden KMnO₄-luku on 30 – 45 mg l⁻¹ ja väriluku 15 – 70 Pt mg l⁻¹. Imeytyksen jälkeen veden KMnO₄-luku on 2 – 5 mg l⁻¹ ja väriluku korkeintaan 5 Pt mg l⁻¹ (kuva 47). Nämä arvot täyttävät lääkintöhallituksen asettamat laatutavoitteet, joten veden puhdistuminen imeytyksessä on riittävää. Kaivoveden pH on 6,5 – 7,0 ja alkaloinnin jälkeen 8 – 8,5. Sähkönjohtavuus kohoaa imeytyksen aikana 7 mS m⁻¹:stä 13 – 17 mS m⁻¹:iin. Järvivedessä alkaliteetti on alle 0,4 mmol l⁻¹ ja kaivovedessä se on yli 0,6 mmol l⁻¹. Yleisesti ottaen kaivovesi on muilta osin moitteetonta paitsi rautapitoisuudeltaan. Rautapitoisuus ylittää usein vanhan raja-arvon 0,3 mg l⁻¹ (ja miltei jatkuvasti uuden raja-arvon 0,2 mg l⁻¹), minkä vuoksi vesi on jälkikäsiteltävä. Jälkikäsitelyyn sisältyy ilmastus ja alkalointi kalkilla. Rauta- ja mangaanipitoisuuksia on pyritty pienentämään hapetuksen ja jälleenimeytyksen avulla.

11.8 Mikkelin Pursialan tekopohjavesilaitos



Kuva 48. Pursialan pohjavesialueen yleiskartta.

Pursialan tekopohjavesilaitos ja vedenkäsittelylaitos sijaitsevat Mikkelin kaupungin taajaman eteläpuolella. Muodostuma on pohjois – etelä–suuntainen kapea pitkittäis–harju, joka pohjoiskärjessä päättyy leveään deltamaiseen alueeseen. Aines on soraa – hiekkaa. Harjua halkovat pohjoiskoillinen – etelälounas–suunnassa kallioperän ruhjeet, mikä vähentää akviferista hyödyksi saatavaa vesimäärää. Pohjavesialueen pohjoisosassa harju kulkee hyvin kapeana selänteenä vesistön ympäröimänä. Harjuselänten länsipuolella olevan Kattilanlahden pohjalla esiintyy vaihtelevanpaksuisen, liejuisen savi– ja silttikerroksen alla hiekka– ja sorakerroksia, paikoin yli 35 m:n syvyyteen vedenpinnasta. Vesisyvyys on 9 – 14 m.

Yleisesti tarkastellen Kaihunharjun – Kaidanniemen harjumuodostumassa hiekka– ja sorakerrokset ovat varsin paksuja ja ne ulottuvat järven alle melko leveälle alueelle (Maa ja Vesi Oy, 1960a). Harjun ja vesistön välillä vallitsee selvästi hydraulinen yhteys, joten rantaimetytymisen määrä on merkittävä. Maakerrosten paksuus on 10 – 30 m. Vedenottamo sijaitsee keskellä pohjavesialuetta (kuva 48). Pumppauksella on saatu pohjavesi virtaamaan sekä pohjoisesta että etelästä kohti ottamaa.

Vuonna 1981 vesihallituksen tekemässä pohjavesialuekartoituksessa arvioitiin Pursialan pohjavesialueen antoisuudeksi $15\,000\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Tässä määrässä on otettu huomioon runsas rantaimetytyminen. Täydentävässä pohjavesitutkimuksessa (Maa ja Vesi Oy,

1960a) todettiin, että vaikka pohjaveden virtaus Kaihunharjussa, alueen pohjoisosassa katkaistaisiin, voitaisiin vedenottamolta pumpata silti jatkuvasti $5\,000\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$.

Pursialan pohjavesialueen luonnollista antoisuutta ryhdyttiin lisäämään imeytysaltaista tapahtuvalla imeytyksellä v. 1974. Imeytys on jatkuvaa. Allasimeytys tapahtuu kolmesta eri altaasta, joiden yhteenlaskettu pinta-ala on $2\,800\text{ m}^2$. Yksi allas sijaitsee 800 m ottamosta etelään ja kaksi muuta ottamon pohjoispuolella (kuva 48).

Altaiden pohjalla on n. 0,4 m paksu suodatinhiekkakerros, joka puhdistetaan haravoi-
malla 2 – 3 kertaa vuodessa. Altaiden pohjan ja pohjavedenpinnan välinen etäisyys on n. 2 m. Imeytetyn veden määrä vuosikeskiarvona on $1\,100\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$, joka laitoksen arvion mukaan saadaan pumpattua käyttöön kokonaan. Vedenottamon tuottama vesimäärä on $6\,400\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Laitoksen tuottamasta vesimäärästä n. 15 % on imeytyksen tuottamaa vettä ja loput suurelta osin rantaimetyntä. Rakennetun imeytyksen johdosta pohjavedenpinta on noussut imeytysalueella n. 2 m ja ottamoalueella n. 1 m.

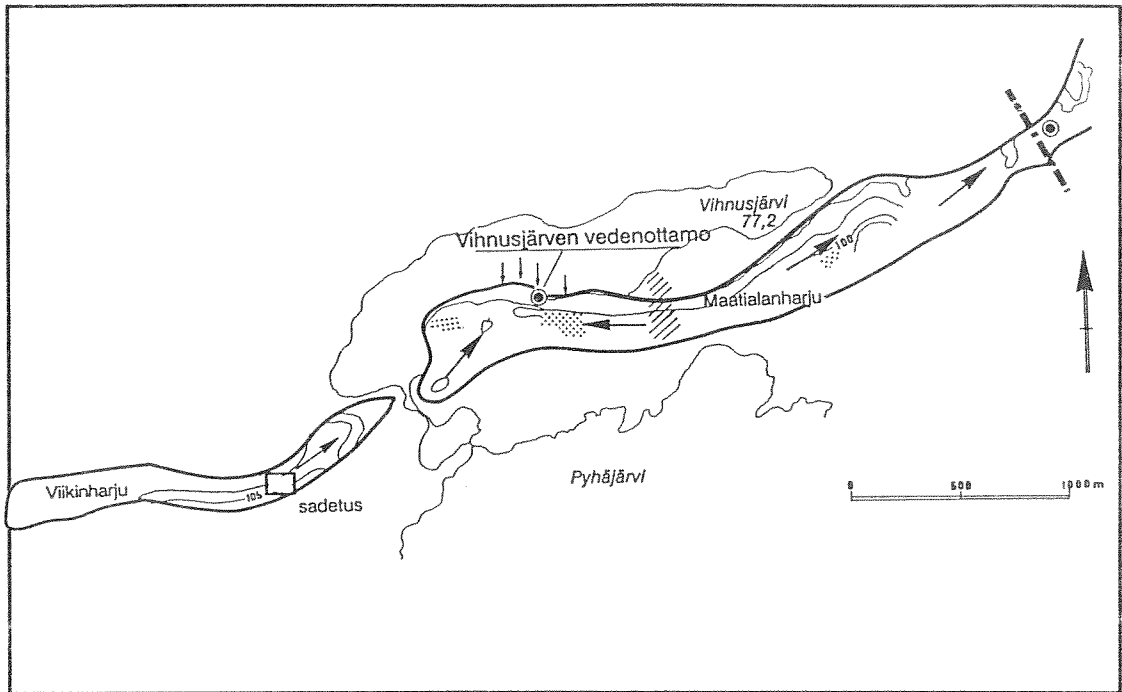
Imeytettävä pintavesi on Saimaan vettä ja se pumpataan altaisiin Kattilanlahdesta. Pohjavesialuetta ympäröivät miltei joka puolella erikokoiset lammet ja lahdemat. Likaavia tekijöitä alueella ovat liikenne, asutus, huoltoasemat sekä pohjoisosassa VR:n pölkkykyllästämö, joka aiheuttikin laitoksen toiminnan alkuvaiheessa 1960-luvun alussa fenolisaastumisongelman. Esikäsitelyä vedelle ei tehdä, mutta imeytyksen jälkeen vesi johdetaan Pursialan vedenkäsittelylaitokselle.

Vedenlaatutietoja vuosilta 1988 – 89 laitokselta on saatavissa varsin puutteellisesti. Taulukosta 12 nähdään kuitenkin, että sellaisenaan kaivovesi ei sovellu talousvedeksi. Rauta- ja mangaanipitoisuudet ovat selvästi liian suuria, samoin väriluku. Hiilidioksidipitoisuus on keskimäärin 45 mg l^{-1} . pH sensijaan on kaivovedessä raja-arvojen alarajalla. Jälkikäsitelyyn – joka sisältää ilmastuksen, kalkinsyötön, hämmennyksen, selkeytyksen ja suodatuksen – jälkeen vesi täyttää talousveden laatuvaatimukset, tosin sähkönjohtavuus on vesijohtovedessäkin melko korkea. Veden laatua valvotaan Mikkelin kaupungin vesilaitoksen omissa laboratorioissa.

Taulukko 12. Pursialan tekopohjavesilaitoksen vedenlaatutietoja vuodelta 1989 (luvut 10 analyysin keskiarvoja). A = järvivesi, B = kaivovesi, C = jälkikäsitelty vesi, D = vesijohtovesi.

Veden laatumuuttuja	A	B	C	D
Nitraatti (mg l^{-1})	0,08	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Ammonium (mg l^{-1})	0,1	0,12	< 0,02	< 0,02
Kloridi (mg l^{-1})	8,5	15,3	16,5	16,7
Mangaani (mg l^{-1})	–	0,49	< 0,02	< 0,02
Rauta (mg l^{-1})	–	8,76	0,14	0,08
Alkaliteetti (mmol l^{-1})	0,28	0,60	0,84	0,83
KMnO_4 -luku (mg l^{-1})	22,1	11,4	4,3	5,4
pH	7,3	6,5	8,2	8,2
Sähkönjohtavuus (mS m^{-1})	9,1	22,3	25,7	25,1
Väri (Pt mg l^{-1})	35	10	5	5

11.9 Nokian Vihnusjärven tekopohjavesilaitos



Kuva 49. Maatialanharjun pohjavesialueen yleiskartta.

Viikinharju–Maatialanharju liittyy laajaan yhtenäiseen harjujaksoon, joka ulottuu Pälkäneeltä Ylöjärvelle asti. Tämän muodoltaan selkeän pitkittäisharjun katsotaan syntyneen jäätikköloobien väliseen saumaan ns. saumamuodostumaksi. Tampereen länsipuolella, Epilässä, harju jakaantuu kahdeksi haarakkeeksi, joista toinen jatkaa luoteeseen ja toinen länsilounaaseen. Nokian läpi kulkee viimeksi mainittu, leveydeltään vaatimattomampi haarake. Viikinharju–Maatialanharju on osa tätä haaraketta.

Harjun ydinosaan leveys on keskimäärin 200 m. Aines harjussa on soraa – hiekkaa, seassa on jonkin verran kiviä ja monin paikoin esiintyy heikosti lajittuneita kerroksia. Vettä johtavat maakerrokset vedenottamon ympäristössä ovat kohtalaisen syvällä. Vihnusjärven ranta-alueilla pinnalla on vaihtelevan paksuinen savi – silttikerros, minkä johdosta pohjaveden rauta- ja mangaanipitoisuudet ovat kohonneet liian suuriksi. Maakerrosten paksuus harjussa on suuruusluokkaa 20 – 30 m. Pohjavedenpinta harjun laella on arviolta 5 m syvydessä.

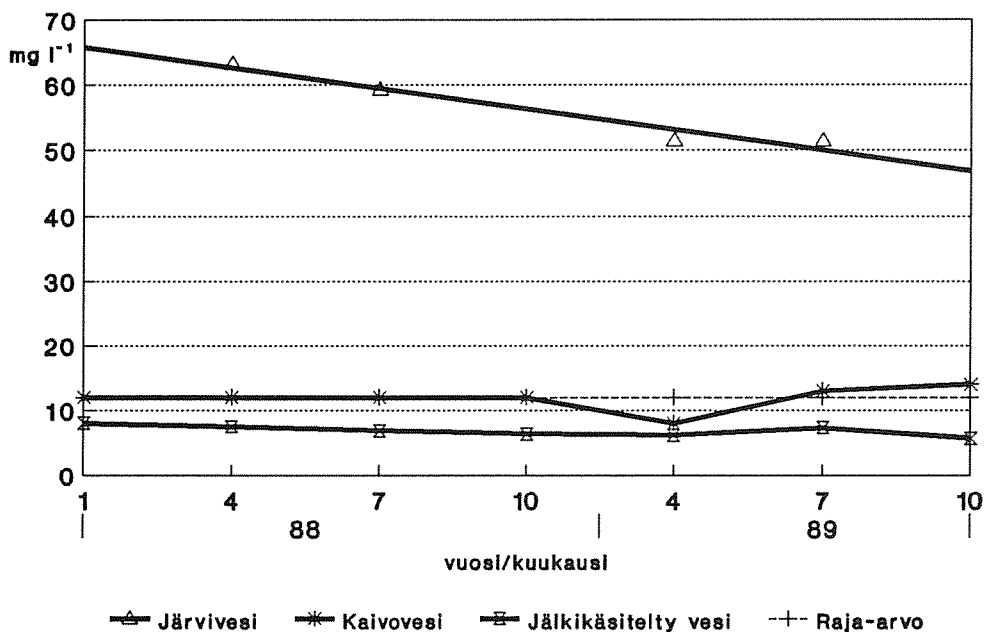
Välittömästi harjun pohjoispuolella on Vihnusjärvi ja eteläpuolella on Pyhäjärvi. Pyhäjärvi ei ole hydraulisesti yhteydessä harjuun, koska muodostuman eteläreunalla aines on savea – silttiä. Vihnusjärven ottamolta hieman itään sijaitsevat kallioharjan-teet eivät välttämättä katkaise pohjaveden virtausta, koska pohjavedenpinta on lähes samassa tasossa niiden kanssa. Vedenoton vaikutuksesta pohjaveden virtaussuunnat ovat sekä idästä että lännestä kohti ottamoa, mutta luonnollinen päävirtaussuunta on itään. Pohjavesialueella on suoritettu runsasta maa-aineksen ottoa.

Koska pohjavedenpinta on harjussa Vihnusjärven pintaa alempana, tapahtuu rantaimetyymistä järvestä harjuun. Pohjavesitutkimuksen mukaan Vihnusjärvestä suotautuva vesi muodostaa suurimman osan ottamolta pumpattavasta vedestä. Ennen rakennetun

imeyttämisen aloittamista järvestä ei kuitenkaan suotautunut vettä pohjavesialtaaseen riittävästi, koska ranta-alueiden lieju- ja savikerrokset soran päällä heikensivät rantaimetyymistä. Seurauksena oli pohjavedenpinnan aleneminen koko pohjavesialueella. Kaivojen antoisuus pieneni ja veden laatu heikkeni, koska rantaimetyyneen veden viipymä maaperässä oli lyhyt. Rantaimetyymisen tehostamiseksi suunniteltiin mm. rantojen ruoppausta ja täyttöä hiekalla (Paavo Ristola Oy, 1977).

Rantaimetyymyksen lisäksi aloitettiin Vihnusjärven pohjavedenottamalla tekopohjaveden imeytys harjun laelle v. 1974. Nykyään imeytys on jatkuvaa. Raakavesi imeytetään sadetusta muistuttavalla menetelmällä. Harjun päälle on johdettu runkoputki, josta lähtevät rei'itetyt imeytysputkistot. Putkiston päällä on n. 30 cm sepelikerros suojaamassa putkistoa, muuten maasto on melko luonnontilaista. Putkiston kunto tarkastetaan vuosittain ja samalla uusitaan sepelikerrosta. Pintavalunta pitkin harjun rinteitä aiheuttaa pientä hävikkiä. Vedenottamon etäisyys imeytysalueesta on n. 2 km ja veden viipymäksi maaperässä laitos arvioi 3 – 4 viikkoa. Pohjavedenpinnan noususta imeytyksen vaikutuksesta ei ole olemassa mitattuja arvoja.

Imeytetyn veden määrä vuosikeskiarvona on $1\,500\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$, josta suunnilleen kolmasosa häviää pintavaluntana. Laitoksen esittämän arvion mukaan verkostoon pumpatusta vedestä 40 % on imeytettyä tekopohjavettä, loput 60 % on luonnollista pohjavettä ja rantaimetyynyttä vettä. Maatilanharjun pohjavesialueella sadannasta muodostuva pohjavesimäärä on pohjavesitutkimuksen (Paavo Ristola Oy, 1977) mukaan n. $800 - 1\,000\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Nykyisin laitokselta pumpataan pohjavettä verkostoon $5\,000 - 5\,200\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Kun imeytetyn veden määrä on $1\,500\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$, saadaan tämän arvion perusteella rantaimetyymisen osuudeksi n. 50 – 60 %, imeytetyn veden osuudeksi 20 – 30 % ja luonnollisen pohjaveden osuudeksi 20 % laitoksen tuottamasta vesimäärästä.

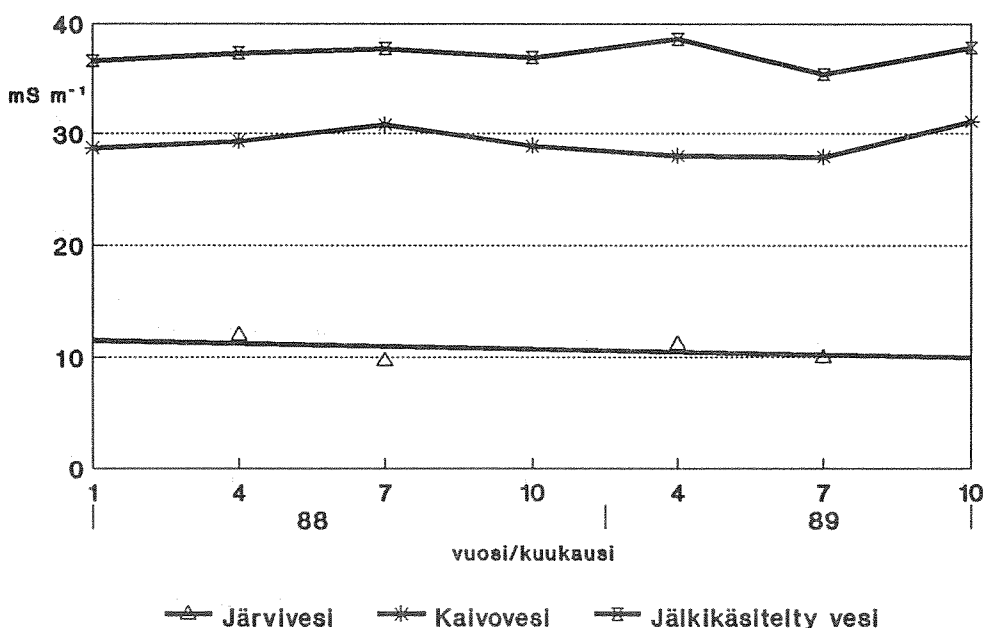


Kuva 50. Veden KMnO_4 -luku käsittelyn eri vaiheissa.

Sekä rantaimetyymyksessä että tekopohjaveden imeytyksessä on raakavetenä Vihnusjärven vesi. Vihnusjärven pitkänomainen muoto kertoo selvästi, että järvi on syntynyt kallioperän itäkoillinen – länsilounas-suuntaiseen ruhjeeseen. Järven etäisyys imeytys-

alueesta on n. 700 m. Vesistön valuma-alueella sijaitsee Myllypuron teollisuusalue, jonka läpi virtaa Vihnusjärveen laskeva Myllypuro. Tämä teollisuusalue muodostaa selvän likaantumiseriskin raakavesilähteelle. Imeytyksen jälkeen vesi alkaloidaan sammutetulla kalkilla ja desinfioidaan kloorilla.

Järvivedessä KMnO_4 -luku on $50 - 70 \text{ mg l}^{-1}$, kaivovedessä $10 - 12 \text{ mg l}^{-1}$ ja jälkikäsitellyssä vedessä alle 10 mg l^{-1} eli tältä osin laitoksen vesi täyttää talousveden laatutavoitteet (kuva 50). Myös pH pysyttelee sallituissa rajoissa; kaivovedessä pH on $6,5 - 6,7$ ja alkaloinnin jälkeen veden pH on $7,5 - 8,3$. Vesi täyttää myös bakteriologiset laatuvaatimukset. Sen sijaan rautapitoisuus on suositeltua korkeampi sekä kaivovedessä (pitoisuus usein yli 6 mg l^{-1}) että ajoittain myös jälkikäsitellyssä vedessä ($0,05 - 0,9 \text{ mg l}^{-1}$). Laitoksen vedessä on runsaasti liuenneita suoloja; sähkönjohtavuus on kaivovedessä suunnilleen 30 mS m^{-1} ja jälkikäsitellyssä vedessä $35 - 40 \text{ mS m}^{-1}$ (kuva 51).



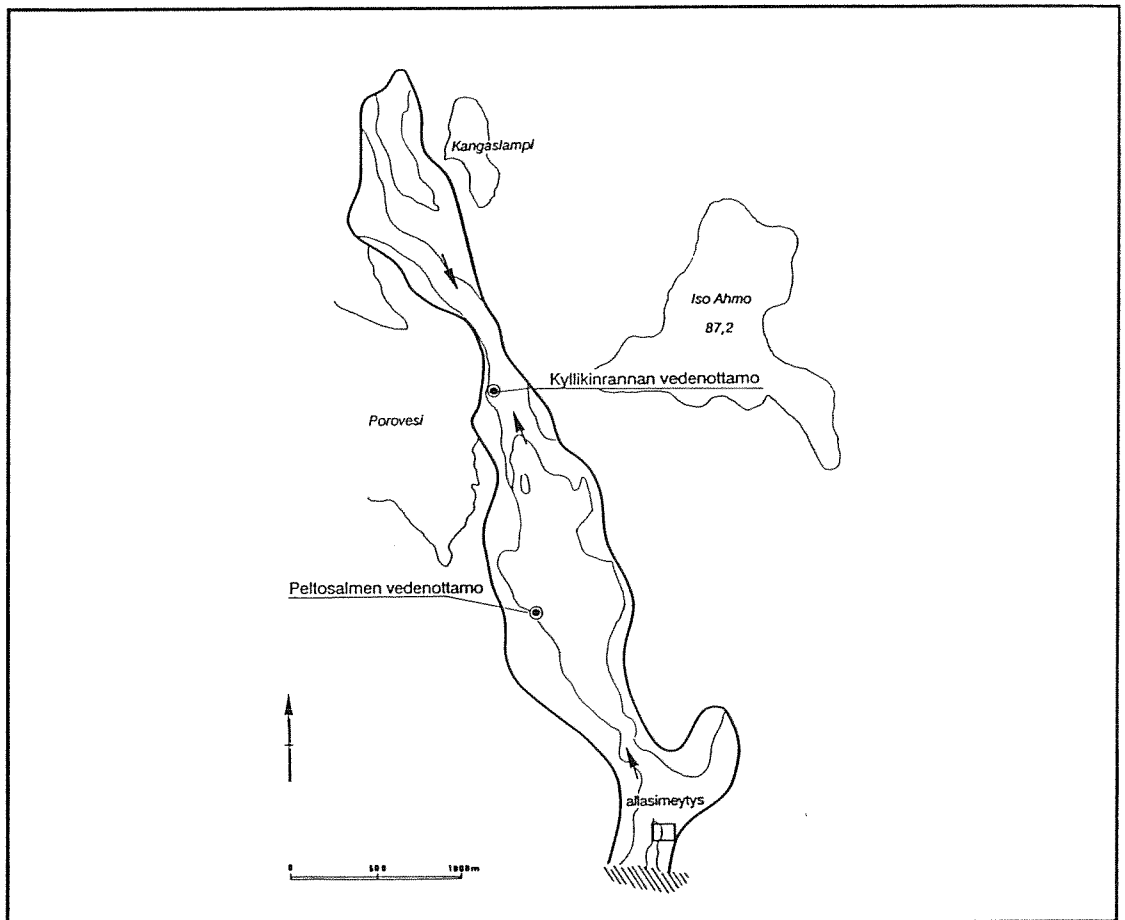
Kuva 51. Veden sähkönjohtavuus käsittelyn eri vaiheissa.

11.10 Iisalmen Kyllikinrannan tekopohjavesilaitos

Kyllikinranta – Ohenmäki – Nerkoo harjujakso on osa luode – kaakko-suunnassa kulkevaa Pohjanlahden rannikolta itärajalta ulottuvaa Raahen – Piippolan – Siilinjärven – Outokummun harjujaksoa. Iisalmen eteläpuolella pitkittäisharju kulkee pohjois-koillinen – eteläitä-suunnassa varsin kapeana muodostumana. Vettä hyvin johtavaa osaa harjusta on vain kapea ydinosa. Harjun reuna-alueilla esiintyy paksuja kerroksia hienoa hiekkaa rantakerrostumina. Näihin liittyy usein orsivesikerroksia. Välillä harju kulkee ns. piiloharjuna siltti- ja savikerrosten peittämänä.

Kalliokynnykset katkovat harjun useisiin eri pohjavesialueisiin. Peltosalmen – Ohenmäen pohjavesialue jakaantuu edelleen hydrogeologisin perustein eli pohjaveden virtaussuuntien mukaan osa-alueisiin. Peltosalmen – Ohenmäen pohjavesialueen keskellä, Salmenrannan kohdalla, kulkee kalliokynnys. Jokainen ko. pohjavesialueen

kolmesta vedenottamosta on sijoitettu tämän kalliokynnyksen pohjoispuoliselle osa-alueelle. Välittömästi kalliokynnyksen pohjoispuolella on imeytysallas. Lemmenlaakson ottamo sijaitsee 850 m altaalta pohjoisluoteeseen, Peltosalmen ottamo 1,4 km altaalta pohjoisluoteeseen ja Kyllikinrannan ottamo 2,6 km altaalta pohjoisluoteeseen (kuva 52). Koska Lemmenlaakson ottamo on varsin lähellä imeytysaluetta, on se poistettu käytöstä.



Kuva 52. Peltosalmen–Ohenmäen pohjavesialueen yleiskartta.

Alueella on tehty useita pohjavesitutkimuksia, joissa on selvitelty pohjaveden virtaus-suuntia (Suunnittelukeskus Oy, 1978a). Niiden mukaan Kyllikinrannan vedenottamolle virtaa pohjavettä sekä luoteesta että kaakosta. Vedenjakajan yksityiskohtaista sijaintia alueen luoteispäässä ei ole selvitetty. Ennen vedenottamon käyttöönottoa pohjavedenpinta oli ottamoalueella korkeammalla kuin Porovedessä, joten pohjavesi purkautui lähteinä Poroveteen. Vedenoton vaikutuksesta pohjavedenpinta laski siten, että se pysytteli alempana kuin Poroveden keskimääräinen vedenpinta. Siten on mahdollista, että pohjavesivarasto kasvaa rantaimetyymisen kautta. Rantaimetyymistä ei vedenottamalla kuitenkaan hyödynnetä suunnitellusti, eikä mahdollisesti rantaimetyymisestä vesimääristä ole olemassa arvioita. Runsas rantaimetyyminen ei Poroveden huonon laadun vuoksi ole suotavaa. Peltosalmen ottamolle pohjavettä virtaa pääasiassa kaakosta. Pohjavedenjakajana toimiva kalliokynnys imeytysalueen kaakkoispuolella ei ilmeisesti täysin estä pohjaveden virtausta, vaan jonkin verran virtausta tapahtuu sen yli. Pohjavedenpinta on kalliokynnyksen eteläpuolisella osa-alueella useita metrejä korkeammalla kuin Peltosalmen alueella.

Aineksen koostumus muodostumassa vaihtelee. Harjun reuna-alueilla aines on hienoa hiekkaa – silttiä ja paikoitellen savea. Myös vertikaalisuunnassa koostumus vaihtelee. Muodostumassa on useita koostumukseltaan vaihtelevia maakerroksia. Altaan kohdalla ainesta on kalliopinnan päällä 12 m ja pohjoisluodesuunnassa kalliopinta laskee koko ajan siten, että paksuimmillaan maakerrosten paksuus on 56 m. Päällimmäisenä on 9 – 16 m löyhärakenteista hiekkaa tai soraa ja sen alla 2 – 42 m tiivistä, pohjaveden kyllästämää soraa tai löyhärakenteista moreenia. Paikoitellen on muodostumassa havaittu neljä eri maakerrosta: esim. n. 400 m altaalta pohjoiseen on pinnalla 1 m paksu löyhä maakerros, sen alla 10 – 14 m paksu tiivis kivinen tai sorainen kerros, seuraavaksi 7 – 10 m löyhää silttiä tai hienoa hiekkaa ja pohjalla 12 – 17 m pohjaveden kyllästämää soraa tai löyhärakenteista moreenia (Suunnittelukeskus Oy, 1978b).

Kyllikinrannan pohjavedenottamo otettiin käyttöön v. 1970 ja Peltosalmen ottamo v. 1971. Tekopohjaveden imeytys aloitettiin v. 1981. Imeytysallas on sijoitettu siten, että imeytyksessä puhdistunut vesi kulkeutuu pääasiassa Peltosalmen ottamolle, mutta myös Kyllikinrannan ottamolta otettavan pohjaveden määrää saadaan jonkin verran lisättyä. Ennen imeytyksen aloittamista on Kyllikinrannan ottamon vesi ollut rauta- ja mangaanipitoista: rautaa on ollut 0,4 – 0,7 mg l⁻¹ ja mangaania 0,5 – 1,5 mg l⁻¹. Peltosalmen ottamon vesi on ollut hyvälaatuista: rautaa 0,08 mg l⁻¹ ja mangaania 0,02 mg l⁻¹.

Imeytys Peltosalmen alueella on kausittaista. Toiminnassa otetaan huomioon Kirmanjärven purkujoen vesimäärän vaihtelut eli kuivina kausina pidetään tauko imeytyksessä. Tällöin vedenotossa hyödynnetään kertynyttä pohjavesivarastoa. Imeytysalueella on yksi allas, jonka pinta-ala on n. 1 300 m². Allasta kunnostetaan vuosittain kahdella tavalla: kuoritaan 0,5 m paksusta suodatinhiekkakerroksesta pinta pois ja levitetään uusi tilalle sekä kynnetään altaan pohja käsiauralla vaoille imeytymisen edistämiseksi. Etäisyys altaan pohjalta pohjavedenpintaan on n. 10 m. Peltosalmen vedenottamo sijaitsee 1,4 km altaalta pohjoisluoteeseen. Imeytetyn veden viipymästä maaperässä ei laitoksella arviota, mutta tekopohjavesitutkimuksessa (Suunnittelukeskus Oy, 1978a) esitetään seuraavanlainen arvio: vedenottamon kapasiteetilla 6 500 m³ d⁻¹ (1 500 m³ d⁻¹ luonnollista pohjavettä, 5 000 m³ d⁻¹ tekopohjavettä) ja edellyttämällä pohjaveden virtausnopeudeksi 15 – 30 m d⁻¹ saadaan viipymäksi 55 – 80 d. Vedenottamon nykyiset todelliset imeytys- ja pumppaustehot ovat kuitenkin selvästi edellisiä arvioita pienemmät.

Koko Peltosalmen – Ohenmäen pohjavesialueen antoisuudeksi on vesihallituksen v. 1981 tekemässä pohjavesialuekartoituksessa arvioitu 4 500 m³ d⁻¹. Peltosalmen ottamon antoisuuden on arvioitu olevan 800 m³ d⁻¹ ja Kyllikinrannan ottamon 2 000 m³ d⁻¹. Laitoksen antaman ilmoituksen mukaan nykyään tekopohjavettä imeytetään Peltosalmen – Ohenmäen pohjavesialueelle keskimäärin 1 320 m³ d⁻¹ ja vedenottamolta pumpataan vettä 3 130 m³ d⁻¹. Pohjavedenpinta on noussut imeytyksen vaikutuksesta imeytysalueella 1 – 2 m ja vedenottamoalueella n. 1 m. Laitoksen esittämän arvion mukaan verkostoon pumpatussa vedessä on 35 % tekopohjavettä ja 65 % luonnollista pohjavettä. Peltosalmen ottamon kaivoista pumpataan edelleen hyvälaatuista pohjavettä. Jälkikäsittelevaiheessa kahden vedenottamon vedet johdetaan yhteen.

Raakavesi imeytysaltaalle johdetaan Kirmanjärvestä, joka on 3 km:n päässä imeytysalueesta. Kirmanjärven valuma-alue on 27 m² ja sen keskivirtaama on 24 000 m³ d⁻¹. Valuma-alueella mahdollisia likaavia tekijöitä ovat maa- ja metsätalous. Pohjavettä Kirmanjärveen purkautuu 1 000 – 1 500 m³ d⁻¹. Ilman säännöstelyä voidaan Kirman-

järvestä ottaa raakavettä imeytykseen n. 6 000 m³ d⁻¹ (Suunnittelukeskus Oy, 1978a). Järvivesi on laadultaan hyvää raakavettä, joskin lievästi humuspitoista (KMnO₄-luku 25 – 37 mg l⁻¹, väriluku 15 – 60 Pt mg l⁻¹). Järven tilaa on pyritty parantamaan vuodesta 1986 eteenpäin hapettamalla sitä Mixox–menetelmällä. Järvivesi imeytetään altaaseen ilman esikäsittelyä.

Imeytetyn veden jälkikäsittely suoritetaan Kyllikinrannan vedenpuhdistamolla. Aluksi vesi ilmastetaan kaskadi–ilmastuksen avulla. Seuraavaksi suoritetaan kemikalointi eli syötetään sammutettua kalkkia (Ca(OH)₂) pH:n kohottamiseksi, kaliumpermanganaattia (KMnO₄) hapetuskemikaaliksi raudan ja mangaanin poistamiseksi sekä natriumhydroksidia (NaOH) pH:n säätämiseksi, koska kalkkia ei ehdi lyhyen kontaktiajan aikana liueta tarpeeksi. Kemikaloinnin jälkeen vesi johdetaan hiekkasuodattimeen, josta edelleen 1 500 m³ suuruiseen puhdasvesisäiliöön. Tarvittaessa vesi voidaan desinfioida kloorilla.

Tekopohjaveden imeytys on ilmeisen toimiva menetelmä Kyllikinrannan ja Peltosalmen vedenottamoilla. Syitä tähän on monia:

1. Raakavesi on kohtalaisen hyvälaatuista.
2. Imeytysmatka ja viipymä maaperässä ovat riittävän pitkiä veden puhdistumisen kannalta.
3. Kaivoalueella ovat hydrogeologiset olosuhteet riittävän hyvät ja luonnollinen pohjavesi laadultaan hyvää.
4. Pohjavesivaroja ei käytetä äärimmäisellä teholla.
5. Imeytys on osa veden käsittelyä; puhdistusta täydennetään jälkikäsittelyllä.

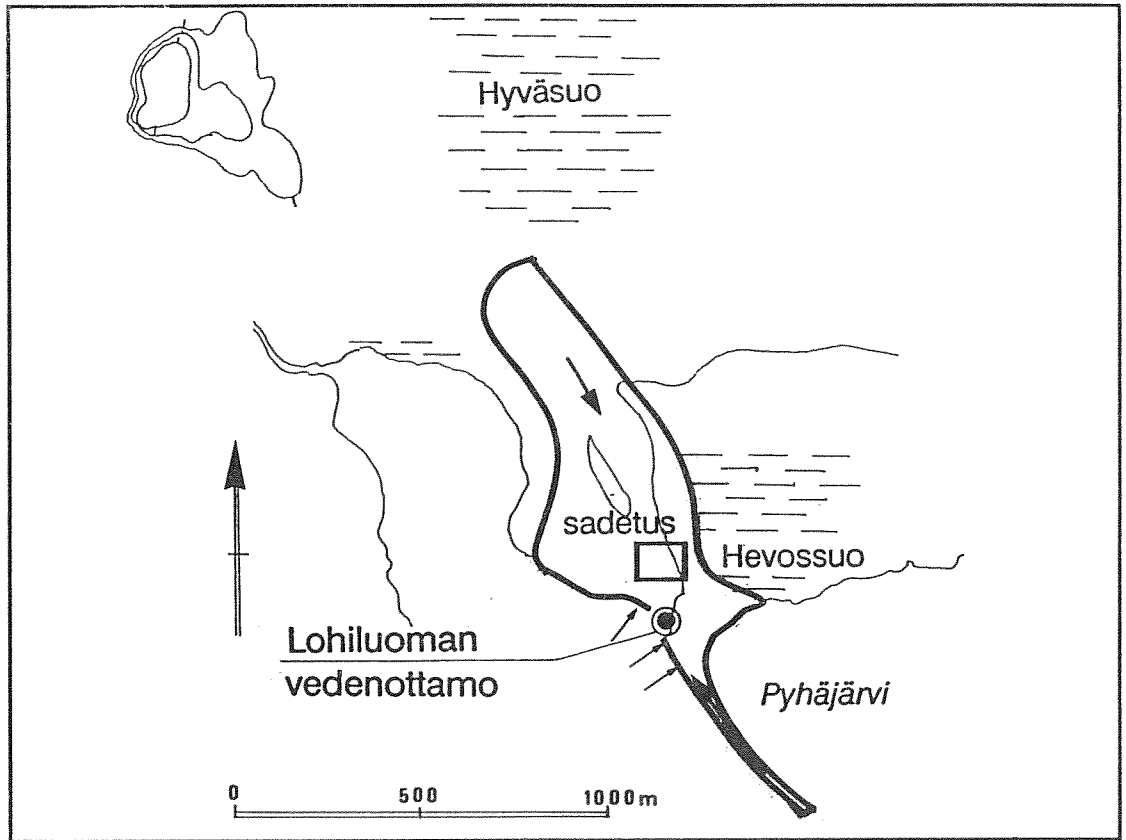
Peltosalmen ottamolta pumpattava vesi on hapanta, pehmeää ja humuksetonta. Typpiyhdisteitä, rautaa ja mangaania on vähän. Ottamon vesi kuuluu Kaupunkiliiton laatuluokituksen mukaan raakavesiluokkaan I. Tekopohjavesilaitoksen veden laatua huonontaa kuitenkin Kyllikinrannan ottamolta pumpattava vesi, jossa epäsuotuisten hapetus–pelkistys–olosuhteiden vuoksi esiintyy runsaasti rautaa ja mangaania. Kyllikinrannan pohjavedenpuhdistamolalta lähtevässä vedessä on pH 8,2 – 8,4, KMnO₄-luku 3 – 4 mg l⁻¹, sähkönjohtavuus 14 mS m⁻¹, rautapitoisuus alle 0,2 mg l⁻¹ ja mangaanipitoisuus alle 0,1 mg l⁻¹ eli vesi täyttää talousveden laatutavoitteet.

11.11 Euran Lohiluoman tekopohjavesilaitos

Lohiluoman tekopohjavesilaitos on sijoitettu lyhyelle pitkittäisharjulle. Lohiluoman pitkittäisharju on jatke sen kaakkoispuolella sijaitsevalle Säkylänharjulle. Vaikka harju jatkuu luoteeseen pääosiltaan savenalaisena, pilkistää se esiin välillä pieninä hiekka – sorakumpareina. Muodoltaan selvänä harju esiintyy jälleen Vaaniissa. Lohiluoman harju rajoittuu kaakkois- ja länsiosassaan Pyhäjärveen sekä pohjoisessa ja idässä Hevossuon ja Hyväsuon suoalueisiin. Itäpuolella on asutusta. Luoteispuolella alueen läheisyydessä sijaitsee A.Ahlström Oy:n paperitehtaat.

Harjun pintaosan ja liepeiden aines on hiekkaa, ydinosa aines koostuu hyvin pyörityneestä ja lajittuneesta kivisestä sorasta. Lohiluoman vedenottamo sijaitsee juuri tässä karkearakeisessa ytimessä. Maakerrosten paksuus on suurusluokkaa 10 – 20 m. Hiittenkarin kapeassa niemessä rantaviiva on vettä läpäisevä, joten rantaimetyymistä tapahtuu merkittävästi runsaan pumppauksen myötä. Ennen Lohiluoman vedenottamon perustamista purkautui pohjavesi alueella Pyhäjärveen nykyisen vedenottamon

kohdalta. Vedenottamon aloitettua toimintansa oli pumpattava pohjavesi aluksi laadultaan hyvää. Kun kapasiteetti kasvoi yli alueen luonnollisen antoisuuden, joka on n. $500 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, kaivoon alkoi virrata Pyhäjärvestä rantaimetyntä vettä. Vesihallituksen v. 1981 tekemässä pohjavesialuekartoituksessa alueen antoisuudeksi rantaimetyntymisen aiheuttaman lisäyksen johdosta arvioitiin $5\,000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$.



Kuva 53. Lohiluoman pohjavesialueen yleiskartta.

Pohjaveden luonnollinen virtaussuunta Lohiluoman laitosalueella on kaakkoon. Vedenottamon kaivot sijaitsevat aivan Pyhäjärven rannassa siten, että Hiittenkarin kärkestä pohjavesi ja rantaimetyntynyt tekopohjavesi virtaa luoteeseen (kuva 53). Hiittenkarista virtaava vesi on ajoittain ollut rauta- ja humuspitoista. Veden laatua on pyritty parantamaan hapetuksella. Tekopohjaveden imeytyksen aloittamisen jälkeen pohjavedenpinta on saavuttanut järvenpinnan tason ja paikoin noussut yläpuolellekin, jolloin rantaimetyntyminen on vähentynyt (Paavo Ristola Oy, 1975). Myöhemmin laitosalueelle on suunniteltu lisäkaivo imeytysalueen itäpuolelle. Kaivo on suunniteltu pumppaamaan imeytettyä tekopohjavettä siten, että imeytyksen hyötysuhde olisi mahdollisimman suuri. Vedenoton määrää säädellään imeytyksen tehokkuuden mukaisesti (Maa ja Vesi Oy, 1980b).

Tekopohjaveden muodostamiskokeiluja alettiin tehdä Lohiluoman ottamolla v. 1975, jolloin vedenkulutus oli jo kasvanut niin suureksi, että muodostuman luonnollinen antoisuus ei enää riittänyt. Imeytys on tällä hetkellä jatkuvaa ja se toteutetaan sadetuksena. Harjun laelle on vedetty rei'itetty putki, josta Pyhäjärven vesi sadetetaan luonnontilaiseen rinteeseen. Vettä valuu pintavaluntana alas rinteitä samalla imeytyen hyvin läpäisevään hiekkamaastoon. Jatkuva sadetus kuitenkin muuttaa hieman

luonnontilaista kasvillisuutta, joten Lohiluoman imeytysalueella on havaittavissa pohjakerroksen liettymistä. Vedenottamalla pumppaus suoritetaan kahdesta kaivosta. Lähimmän kaivon etäisyys imeytysalueesta on n. 50 m. Imeytetyn veden määrä vuosikeskiarvona on $1\,500\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Ottamolta pumpataan vettä $2\,010\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Laitoksen arvion mukaan verkostoon pumpatusta vedestä on 60 % tekopohjavettä ja 40 % luonnollista pohjavettä.

Ennen tekopohjaveden imeyttämisen aloittamista Lohiluoman vedenottamon vedessä oli joitakin laadullisia heikkouksia. Talvella 1975 VYR-menetelmän käytöstä huolimatta veden rautapitoisuus ylitti talousvedessä sallitun pitoisuuden ja rauta sakkautui vesijohtoverkostoon. Ajoittain esiintyi vedessä myös jonkin verran typpiyhdisteitä, joiden arveltiin päässeen pohjaveteen pohjavesialueella sijaitsevan asutuksen tai vedenottamorakennuksen viemäreistä. Tekopohjaveden muodostamiskokeiden aikana v. 1975 todettiin, että rantaimetyksen ja pintavalutuksen seurauksena ei veden rautapitoisuus lisääntynyt tutkimuspisteissä, vaikka orgaanisen aineksen hajoamiseen kuluu happea. Tutkimuksissa todettiin, että pitkien aikojen kuluessa on hapellisen pohjaveden virtauksen seurauksena syntynyt vedenottamosta luoteeseen sijaitsevaan harjuun vahvasti hapettunut kenttä, josta vettä saadaan raudattomana. Pienet rautapitoisuudet vedessä saatiin poistettua pintavalutuksen avulla (Paavo Ristola Oy, 1975).

Tekopohjaveden muodostamiskokeiden aikana havaittiin, että vaikka rantaimetytynyt vesi kulkeutui hyvin lyhyen matkan maaperässä, aleni KMnO_4 -luku puoleen järvi veden arvosta. Vedenottamon vedessä KMnO_4 -luku oli $5 - 12\text{ mg l}^{-1}$. Rautapitoisuus oli maksimissaan $0,15\text{ mg l}^{-1}$ ja pH oli $6,7 - 9,5$. Tarkkailuvuosilta 1988 - 1989 Lohiluoman laitokselta on saatavissa vain muutamia vedenlaatutietoja, joiden perusteella voidaan tehdä ainoastaan yleisiä arvioita laitoksen toimivuudesta (taulukko 13).

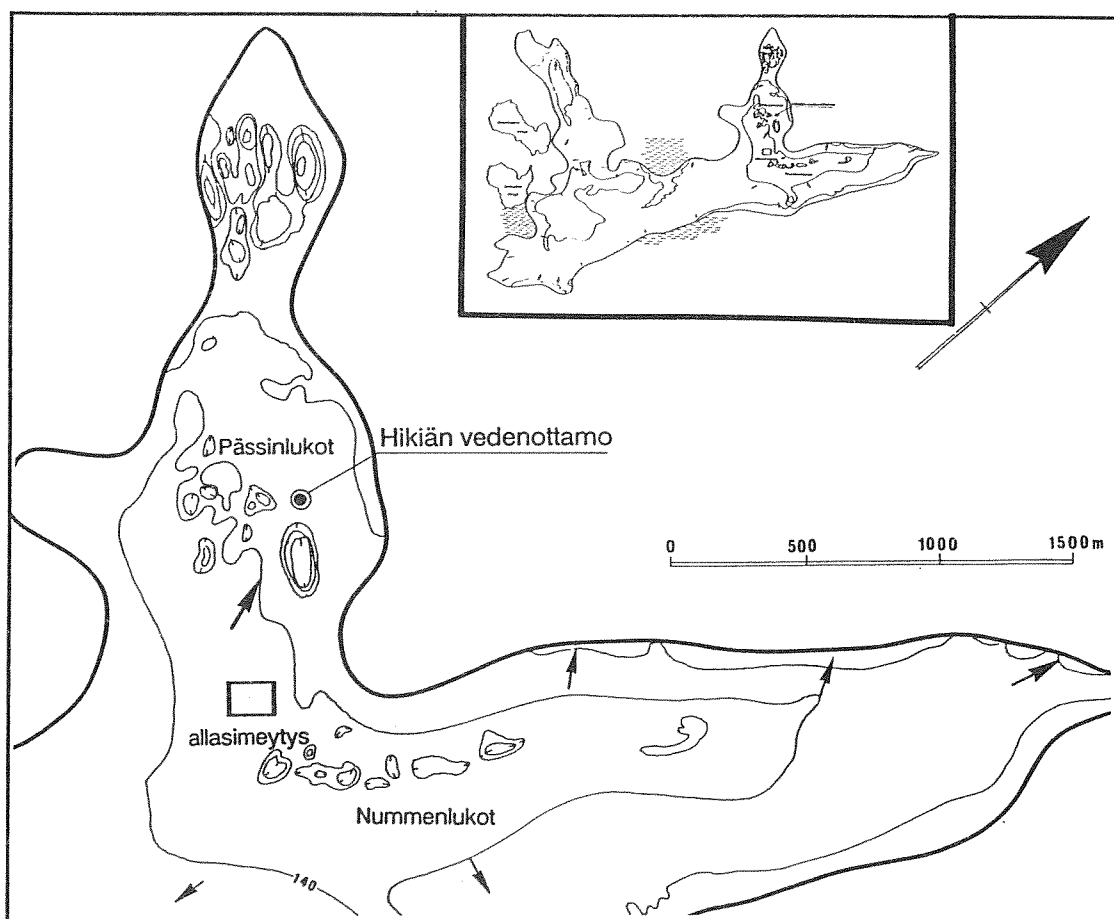
Taulukko 13. Lohiluoman laitoksen veden laatu käsittelyn eri vaiheissa 31.1.1989.

Veden laatumuuttuja	Järvivesi	Ottamon vesi
KMnO_4 -luku (mg l^{-1})	19	10
Väri-luku (Pt mg l^{-1})	5	5
pH	7,2	7,7
Sähkönjohtavuus (mS m^{-1})	8,3	11
Rauta (mg l^{-1})	0,07	0,16
Nitraatti (mg l^{-1})	0,11	0,48

Ottamon vesi täyttää nykyisellään talousveden laatutavoitteet, tosin väri-luku on juuri raja-arvon 5 Pt mg l^{-1} suuruinen. Rautapitoisuus on saatu selvästi alhaisemmaksi ilmastuksella ja rinneimeytyksellä. Järvivedessä on ajoittain esiintynyt hieman koliformisia bakteereja, mutta ottamon vedessä niitä ei ole havaittu.

Vedelle ei tehdä esikäsittelyä ennen imeyttämistä, mutta jälkikäsittelynä säädetään pH:ta natriumhydroksidilla. Laitoksen toiminnassa ilmenneistä ongelmista mainittakoon rautasaostumien aiheuttama siiviläputkikaivojen ajoittainen tukkeutuminen.

11.12 Hyvinkään Hikiän tekopohjavesilaitos



Kuva 54. Kurun pohjavesialueen yleiskartta.

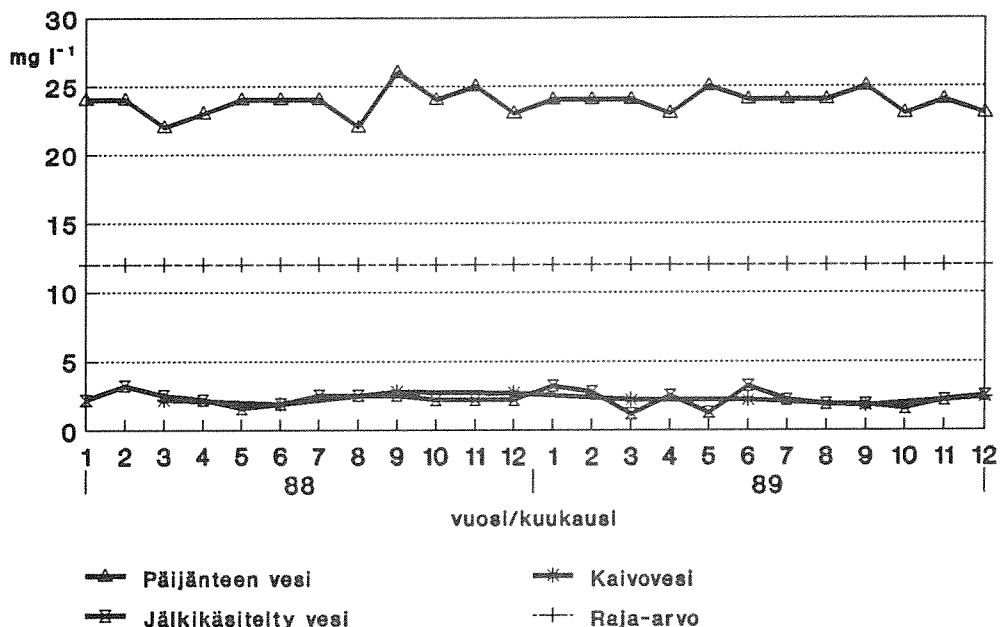
Hikiän tekopohjavesilaitos sijaitsee I Salpausselän alueella. Hyvinkään kohdalla I Salpausselkä kulkee koillinen – lounas-suuntaisena laajana reunamuodostumana, johon liittyy useita luode – kaakko-suuntaisia pitkittäisharjuja. Aines on huonosti lajittunutta, välillä esiintyy hienojakoisia välikerroksia. Laitos on sijoitettu Nummen- ja Pässinlukkojen alueelle, missä on runsaasti erikokoisia suppia (kuva 54). Tynnin ym. (1969) mukaan Nummenlukkojen eteläpuolella on useita peräkkäisiä, suunnilleen I Salpausselän suuntaisia kivisiä selänteitä, joissa aines on huonosti lajittunutta ja tiukkaan pakkautunutta. Pässinlukoilta luoteeseen erottuu pitkittäisharju, joka liittyy ilman katkosta I Salpausselkään. Pohjavedenpinnan yläpuolella on paikoin jopa yli 40 m paksut kerrokset maa-ainesta.

Pohjaveden virtauskuva on epäselvä aineksen sekalaisuuden vuoksi. Päävirtaussuunta on Pässinlukoilta pohjoisluoteeseen. Imeytetyn veden virtaamisen etelään ja itään estää kalliopinnan korkeus. Mahdollisuudet koilliseen tapahtuvaan virtaukseen ovat myös pienet, koska imeytysjaksojen välisinä aikoina pohjavedenpinta on koillispuolella imeytysalueen pintaa ylempänä. Länteen tapahtuu pohjaveden virtausta, mutta virtaamat eivät todennäköisesti ole kovin suuria. Tähän viittaavat suuret pohjavedenpinnan korkeuserot eri havaintoputkien välillä, mikä on merkki heikoista hydraulisista yhteyksistä. Tynnin ym. (1969) arvion mukaan Pässinlukkojen luoteispäässä pohjavesi purkautuu lähteistä antoisuuksilla 11 l s^{-1} ja 2 l s^{-1} . Näiden luonnollisten virtaus-

määrien perusteella voidaan olettaa Hikiän ottamon luonnollisen antoisuuden olevan vähintään $1\,100\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$.

Hyvinkään tekopohjavesilaitoksen käyttöönottovuosi on 1979. Vedenotto on jatkuvaa, mutta imeytys kausittaista. Laitoksen toiminnan alkuaikoina havaittiin, että aineksen vedenjohtavuus on oletettua huonompi. Tämä seikka ei kuitenkaan aiheuta ongelmia maakerrosten valtaviin paksuuksiin vuoksi (Maa ja Vesi Oy, 1981). Imeytys tapahtuu allasimeytyksenä kahdesta altaasta, joiden yhteenlaskettu pinta-ala on $4\,000\text{ m}^2$. Altaiden suodatinhiekkakerroksen paksuus on n. 1 m ja etäisyys pohjavedenpintaan n. 45 m. Altaiden pohjat on puhdistettu laitoksen toiminnan aikana muutamia kertoja kuorimalla pois ohut kerros suodatinhiekkaa. Imeytetyn veden viipymä maaperässä on vähintään 60 d ja vedenottamon etäisyys imeytyspaikasta 800 m. Imeytetyn veden määrä vuosikeskiarvona on $1\,000\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Tämä määrä saadaan laitoksen arvion mukaan pumpattua käyttöön kokonaan. Pohjavedenpinnan nousu imeytyksen vaikutuksesta on imeytysalueella maksimissaan 3 m.

Hikiän tekopohjavesilaitos sijaitsee Kurun pohjavesialueella, joka on hyvin laaja alue. Pohjaveden muodostumisalueen pinta-ala on $15,19\text{ km}^2$. Imeytymiskertoimella 0,5 on koko alueen antoisuudeksi arvioitu $12\,000\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$, mutta Hikiän ottamon vaikutusalueelta pumpataan vain n. $1\,000\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Vaikka vedenottamon vaikutus ulottuu suppealle alueelle, on selvää, että tekopohjaveden osuus koko pumpattavasta vesimäärästä on melko pieni. Siihen viittaa myös se, että pohjaveden laadussa ei ole tapahtunut mainittavia muutoksia imeytysten johdosta (Maa ja Vesi Oy, 1981).



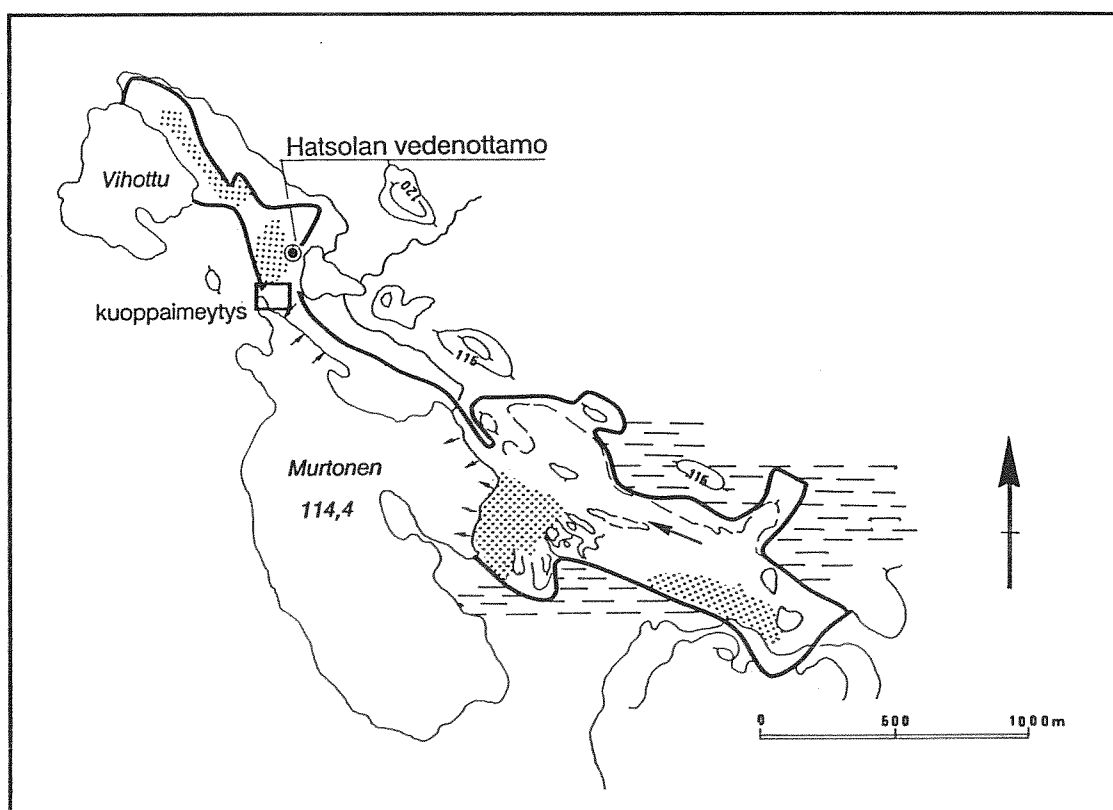
Kuva 55. Veden KMnO_4 -luku käsittelyn eri vaiheissa.

Imeytykseen käytettävä vesi otetaan Päijännetunnelista, joka kulkee 5 km imeytysalueen itäpuolella. Vedelle ei tehdä esikäsitelyä ennen imeytystä, mutta jälkikäsiteltyä käytetään kalkkia veden pH:n säätämiseen ja natriumhypokloriittia desinfiointiin. Vuosina 1988 – 1989 Päijänteen veden KMnO_4 -luku oli $20 - 25\text{ mg l}^{-1}$. Hikiän vedenottamon kaivovedessä KMnO_4 -luku oli ko. aikana alle 5 mg l^{-1} , samoin jälkikäsitellyssä vedessä (kuva 55). Rautapitoisuus Päijänteen vedessä oli $0,05 - 0,1\text{ mg l}^{-1}$

ja kaivovedessä raudan määrä oli koko ajan alle $0,02 \text{ mg l}^{-1}$. Alkaliteetti Päijänteen vedessä oli $0,2 - 0,25 \text{ mmol l}^{-1}$, kaivovedessä $0,3 - 0,4 \text{ mmol l}^{-1}$ ja jälkikäsitellyssä vedessä $0,4 - 0,5 \text{ mmol l}^{-1}$. pH oli sekä Päijänteen vedessä että kaivovedessä $6,5 - 7,5$, mutta alkaloinnin seurauksena jälkikäsitellyn veden pH oli $7 - 9$.

Koska Hikiän tekopohjavesilaitoksella muodostuman luonnollinen antoisuus on suuri verrattuna imeytettävän veden määrään, ei imeytys vaikuta merkittävästi ottamon veden laatuun. Lisäksi paksujen maakerrosten vuoksi imeytetyn veden viipymä maaperässä on puhdistumisen kannalta riittävä. Imeytettävien vesimäärien lisäämistä rajoittaa aineksen huono vedenläpäisevyys.

11.13 Juvan Hatsolan tekopohjavesilaitos



Kuva 56. Hatsolan pohjavesialueen yleiskartta.

Hatsolan pohjavedenottamo on sijoitettu luode – kaakko–suuntaiselle pitkittäisharjulle, jonka pituus on noin 3,5 km. Harju on muodoltaan epäselvä. Etenkin kaakkoisosassa eli Kirkkoharjun alueella glasifluviaalinen aines on levinnyt deltamaiseksi kankaaksi. Aines muodostumassa on melko hyvin lajittunutta soraista hiekkaa ja kerrospaksuudet suuruusluokkaa 10 – 20 m. Etenkin harjun ydinosassa vallitsee aineksen karkeuden johdosta hyvä hydraulinen johtavuus.

Pohjavesialueen eteläreunaa rajoittaa Murtonen järvi ja luoteiskärkeä pieni järvi, Vihottu. Muualla harjua ympäröivät hajanaiset suoalueet, joihin liittyy useita pieniä lampia. Soiden vaikutuksesta alueen vedet ovat hyvin humuspitoisia. Raakavesilähteenä käytettävän Murtonen pohjalla on paksuimmillaan lähes 4 m paksu liejakerros.

Kirkkoharjun alueelta pohjavesi virtaa länsiluoteeseen osan purkautuessa Murtoseen. Hatsolan vedenottamo ja imeytysalue ovat pohjavesialueen luoteispäässä, missä pohjavedenpinta luonnollisessa tilassa on alempana kuin Murtosen pinta. Jatkuvan imeytyksen seurauksena pohjavedenpinta on kuitenkin noussut siten, että todennäköisesti rantaimetyymistä ei enää tapahdu. Vaikka rantaimetyyminen mahdollistettaisiin esim. ylimitoitettun pumppauksen avulla, estää liejukerros Murtosen pohjalla ja rannoilla rantaimetyymisen.

Imeytys Hatsolan ottamolla on aloitettu v. 1987 ja se on jatkuvaa. Raakavesi pumpataan Murtosesta, josta se johdetaan imeytysalueelle aivan järven rantaan. Vesi hapetetaan porrasilmastuksen avulla ja imeytetään puhdistetun sorakuopan pohjalle. Imeytysalueena toimiva sorakuoppa on aidattu alue, jonka pinta-ala on 200 – 300 m². Sorakuoppaa ei ole erityisemmin muotoiltu. Kuopan pohjalla ja reunoilla kasvaa nuorta puustoa. Pohjaa ei ole toistaiseksi kertaakaan puhdistettu. Jonkin verran tukkeutumista on tapahtunut, joten ilmeisesti säännöllinen puhdistus on paikallaan.

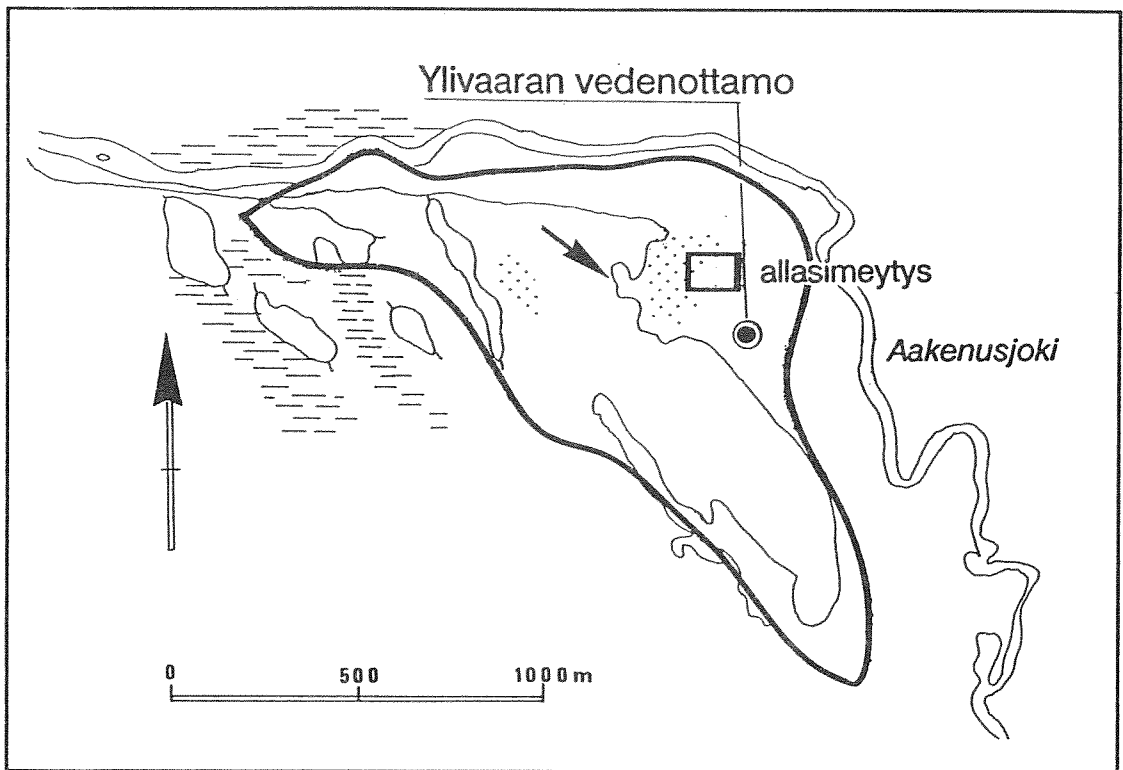
Lämpiminä aikoina esiintyy vedessä jonkin verran leväkasvustoa. Kuopan pohjalla on vettä keskimäärin 70 – 80 cm ja aines pohjalla on luonnontilaista. Kuopan pohjan ja pohjavedenpinnan yleisen korkeusaseman välinen etäisyys on arveluttavan pieni: n. 1 m. Hydraulinen pintakuorma on 0,05 – 0,07 m h⁻¹. Pohjavedenpinta on noussut imeytyksen vaikutuksesta kaivoalueella n. 2 m. Kaivot sijaitsevat n. 150 m imeytysalueesta koilliseen. Sorakuopan pohjan ja kaivojen välinen korkeusero on n. 3 m. Koska imeytymismatka on kovin lyhyt ja aines karkeata, on ilmeistä, että veden viipymä maaperässä jää liian lyhyeksi.

Laitoksen esittämän arvion mukaan luonnollista pohjavettä muodostuu Hatsolan pohjavesialueella n. 500 m³ d⁻¹. Vesihallituksen v. 1981 tekemän pohjavesialuekartoituksen mukaan alueen antoisuus on 1 200 m³ d⁻¹. Tässä arvioissa on ilmeisesti otettu huomioon mahdollisuus alentaa pumppauksella pohjavedenpintaa siten, että Murtosen vettä alkaa rantaimetyyä akviferiin. Imeytetyn veden määrä vuosikeskiarvona on 1 100 m³ d⁻¹. Vesioikeuden lupa vedenottoon on 1 500 m³ d⁻¹, mutta ilmoituksen mukaan ottamolta pumpataan 980 m³ d⁻¹. Laitoksen arvion mukaan imeytetystä vedestä saadaan talteen ainoastaan 600 – 650 m³ d⁻¹, osa todennäköisesti purkautuu Murtoseen. Prosenttiosuudet verkostoon pumpatussa vedessä ovat täten 55 % teko-pohjavettä ja 45 % luonnollista pohjavettä.

Murtonen on matala ja pieni järvi. Ympäröivien suoalueiden lisäksi järviveden laatuun vaikuttavat valuma-alueella harjoitettava maatalous sekä Murtosen rannalla sijaitseva meijeri. Järvi on selvästi rehevöitynyt. Tämän seurauksena veden happipitoisuus on laskenut ja vedessä on esiintynyt ajoittain runsaasti rihmamaisia viherleviä, jonkin verran piileviä ja vähän sinileviä. Järviveden humuspitoisuus on niin suuri, ettei imeytys ilman kemiallista käsittelyä riittävästi pienennä sitä. Ajoittain kaivoveden KMnO₄-luku ja väriluku ovat ylittäneet talousveden laatutavoitteet (vanhat raja-arvot 15 mg l⁻¹ ja 15). Rautapitoisuus ylittää myös ajoittain nykyisen raja-arvon 0,2 mg l⁻¹. Verkostovesi on hyvin pehmeää eli vähän kalsiumia ja magnesiumia sisältävää. Liian alhaista pH-arvoa säädellään jälkikäsitteilynä natriumhydroksidilla. Muita kemikaaleja ei käsitteilyssä tällä hetkellä käytetä.

Vaikka ottamon kolme siiviläputkikaivoa sijaitsevat lähekkäin, vaihtelee pH eri kaivojen kesken. Kaivoista pumpatussa vedessä on esiintynyt lietteenä hienoaainesta, joskaan se ei ole ainakaan toistaiseksi aiheuttanut tukkeutumista.

11.14 Kittilän Ylivaaran tekopohjavesilaitos



Kuva 57. Ylivaaran pohjavesialueen yleiskartta.

Kittilän alueella yleisimpiä pintamaalajeja ovat moreeni ja turve. Glasifluviaalinen aines muodostaa katkonaisia kapeita harjunpätkiä, joiden aines on usein levittynyt deltamaiseksi tasaiseksi kankaaksi. Ylivaaran pohjavedenottamo on juuri tällaisen muodostuman alueella. Pohjavesialue muodostuu n. 2 km pitkstä ja leveimmillään 0,9 km leveästä tasaisesta deltamaisesta kerrostumasta (kuva 57). Aluetta ympäröivät hajanaiset moreenikumpareet ja niiden väliset suoalueet. Pohjois- ja itäpuolella virtaa kiemurteleva Aakenusjoki, joka laskee Ounasjokeen. Aluetta halkoo myös pohjoiseen kulkeva maantie. Alueella on suoritettu jonkin verran maa-aineksen ottoa.

Ylivaaran muodostuman aines on itäosassa karkeaa kivistä soraa, länsiosassa hiekkaa ja hienoa soraa. Luoteisosassa esiintyy paikoitellen silttikerrostumia. Glasifluviaalista ainesta on keskimäärin 5 m ja sen alla on tiivis pohjamoreeni tai kallio. Pohjaveden päävirtaussuunta on muodostuman pituussuunnassa luoteesta kaakkoon. Ohuiden sora- ja hiekkakerrosten vuoksi alueen pohjavesivarasto on melko suppea, joten pohjavedenpintaa joudutaan nostamaan imeyttämällä tekopohjavettä. Vuonna 1981 tehdyn pohjavesialuekartoituksen mukaan muodostuman antoisuus lisääntyy Aakenusjoesta tapahtuvan rantaimetyymisen kautta, mutta laitoksen antamien tietojen mukaan rantaimetyymistä ei ainakaan suunnitelmallisesti käytetä hyväksi.

Ylivaaran pohjavedenottamo aloitti toimintansa jo 1950-luvun lopulla. Kun laitoksella todettiin pohjavesivarojen riittämättömyys, aloitettiin tekopohjaveden imeytys v. 1972. Tekopohjavettä imeytetään ympäri vuoden, vaikka tarvetta olisi vain talvisin. Kaivo on alueen itäreunalla ja imeytysallas siitä n. 180 m länsiluoteeseen. Altaan pinta-ala on 200 m² ja sen pohja on luonnontilaista ainesta. Allas puhdistetaan konekaivuna

kerran vuodessa. Altaan pohjan ja pohjavedenpinnan välinen etäisyys on n. 3 m. Pohjavedenpinta on noussut imeytyksen vaikutuksesta imeytysalueella 1,8 m ja ottamoalueella 0,6 m. Veden viipymästä maaperässä ei ole tarkkaa tietoa, mutta koska virtausmatka on kohtalaisen lyhyt ja aines karkeaa soraa, voidaan olettaa, että viipymä on hyvin lyhyt, ehkä alle 7 d.

Pohjavesialueen luonnollinen antoisuus on n. $600 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Imeytetyn veden määrä vuosikeskiarvona on $250 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ ja vedenottamolta pumpataan n. $700 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Laitos ei esitä arviota tekopohjaveden osuudesta laitoksen tuottamasta vesimäärästä, mutta likimääräisenä arviona voidaan esittää 30 % tekopohjavettä ja 70 % luonnollista pohjavettä.

Imeytettävä vesi otetaan Aakenusjoesta, jonka etäisyys imeytysalueesta on n. 200 m. Jokiveden laadusta laitoksella ei ollut analyysituloksia, mutta koska alue sijaitsee etäällä suurista taajamista eikä valuma-alueella ole voimakkaasti likaavia tekijöitä, voidaan olettaa veden olevan laadultaan hyvää. Soiden humuspitoiset valumavedet saattavat heikentää jokiveden laatua. Selvityksen yhteydessä ei saatu myöskään analyysituloksia ottamon vedestä ennen imeyttämisen aloittamista. Vertailemalla Ylivaaran pohjavedenottamolta pumpatun vesinäytteen tutkimustuloksia 1970-luvun lopulla ja vuosina 1988 – 1989 (taulukko 14) voidaan havaita, että veden moitteeton laatu ei ole heikentynyt. KMnO_4 -luvun heikkoa kasvua on ajoittain havaittavissa, mutta edelleen se pysyttelee reilusti talousveden laatutavoitteen raja-arvon alapuolella. pH on edelleen melko alhainen, mutta kuitenkin ohjerajojen 6,5 – 8,8 sisällä. Vedelle ei jouduta tekemään esi- eikä jälkikäsittelyä.

Taulukko 14. Kittilän Ylivaaran vesijohtoveden laatu vuosina 1978 – 1979 ja 1988 – 1989 (luvut keskiarvoja).

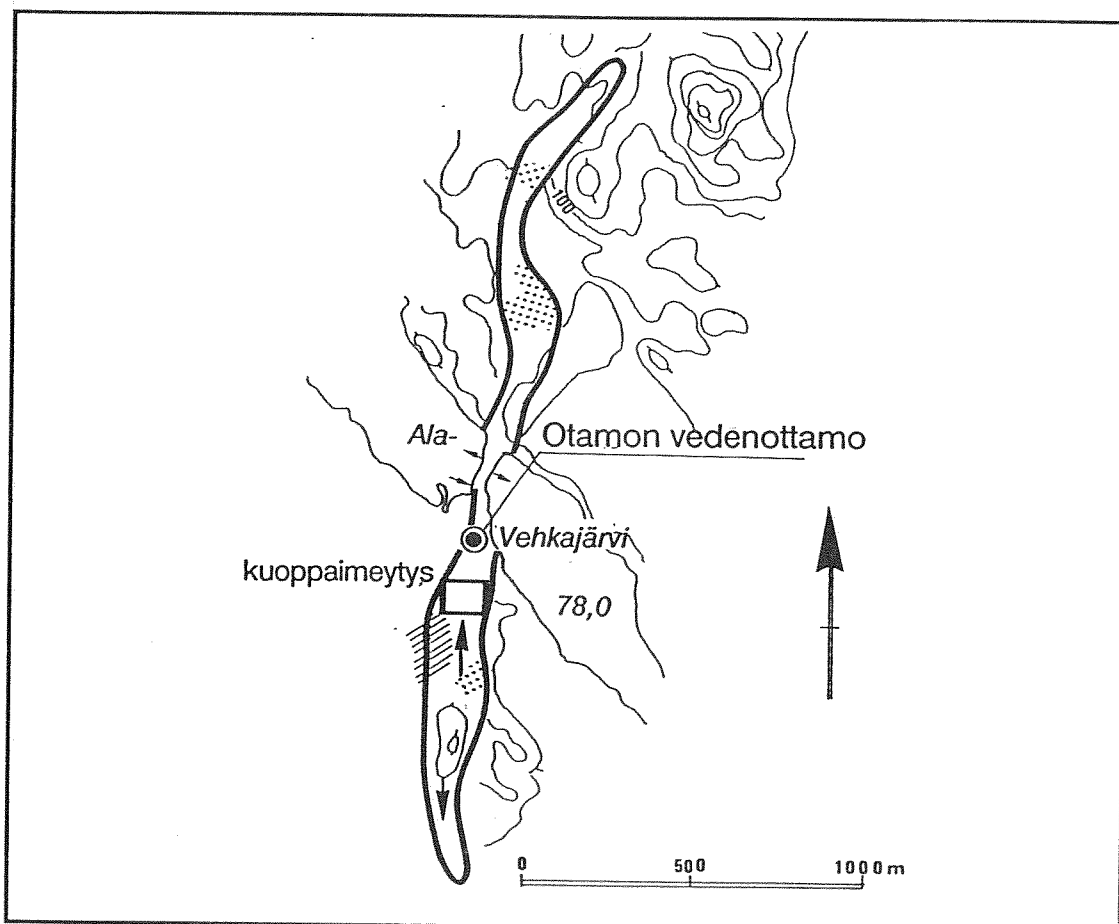
Veden laatumuuttuja	1978-79	1988-89
Nitraatti (mg l^{-1})	3,05	1,12
Kloridi (mg l^{-1})	3,0	2,05
Rauta (mg l^{-1})	0,14	0,07
Alkaliteetti (mmol l^{-1})	0,58	0,55
KMnO_4 -luku (mg l^{-1})	2,5	6,5
pH	6,8	6,7
Sähkönjohtavuus (mS m^{-1})	9,0	6,8

11.15 Sysmän Otamon tekopohjavesilaitos

Otamon pohjavesialueen muodostaa matala, kalliokynnysten jakama pitkittäisharju. Harju on pohjois – etelä-suuntainen ja pituudeltaan n. 2,5 km. Keskivaiheilla harjun katkaisee kallioperän ruhjeeseen syntynyt kapea, luode – kaakko-suuntainen Alavehkajärvi. Järven pohjoispuolella aines on hyvin lajittunutta hiekkaa. Eteläpuolella, missä kalliokynnykset jakavat harjun osa-alueisiin, aines on heikommin lajittunutta. Alueella on harjoitettu runsaasti maa-aineksen ottoa ja myös imeytys tapahtuu käytöstä poistetun hiekkakuopan pohjalle.

Kalliokynnysten vaikutuksesta pohjaveden virtaussuunta vaihtelee. Pohjavedenpinnan taso muodostumassa Alavehkajärven kohdalla on miltei samassa tasossa järvenpinnan

kanssa eli korkeudella +78,00 m. Siten pohjaveden suotautumista voi tapahtua kumpain suuntaan riippuen ottamalla pumpatun veden määrästä. Laitoksen antamien tietojen mukaan rantaimeytymistä on aikaisemmin tapahtunut, mutta nykyään rannat ovat niin liettyneet, että imeytymistä ei juurikaan tapahdu.



Kuva 58. Otamon pohjavesialueen yleiskartta.

Otamon tekopohjavesilaitoksen käyttöönotto vuosi on 1972. Kaivo on aivan lähellä järven etelärantaa. Imeytysalue on kaivolta 220 m etelään (kuva 58). Imeytys on jatkuvaa. Järvestä pumpattu vesi johdetaan hapetusportaikon kautta hiekkakuoppaan, jonka pohja on puhdistettu. Erityisiä allasrakenteita imeytysalueella ei ole. Vesi imeytyy nopeasti maaperään, joten varsinaista vesiä tai lammikkoa ei synny. Imeytyksen vaikutuksesta pohjavedenpinta on noussut kaivoalueella n. 1 m. Kuopan pohjan ja pohjavedenpinnan välisestä etäisyydestä sekä imeytetyn veden viipymästä maaperässä ei laitoksella ole esittä mittaustuloksia, mutta erikseen mainitaan, että imeytysmatka saisi olla pidempi kuin nykyiset 220 m. Todennäköisesti maa-ainesta on luonnontilassa ollut pohjavedenpinnan yläpuolella 5 – 10 m ja nykyisillä hiekkakuopilla alle 5 m. Esiintymän luonnollinen antoisuus on n. $600 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Imeytetty vesimäärä vuosikeskiarvona on $150 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ ja kaivosta pumpattu vesimäärä $565 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$.

Alavehkajärven valuma-alueella ei ole voimakkaasti likaavia tekijöitä, mutta haja-kuormitus rasittaa vesistöä, koska järvi on pienikokoinen. Vedessä esiintyy fekaalisia koliformisia bakteereita sekä hyvin paljon koliformisia bakteereita, joita on ajoittain esiintynyt vielä imeytetyssäkin vedessä. Mikrobiologisen laadun parantamiseksi tulisi

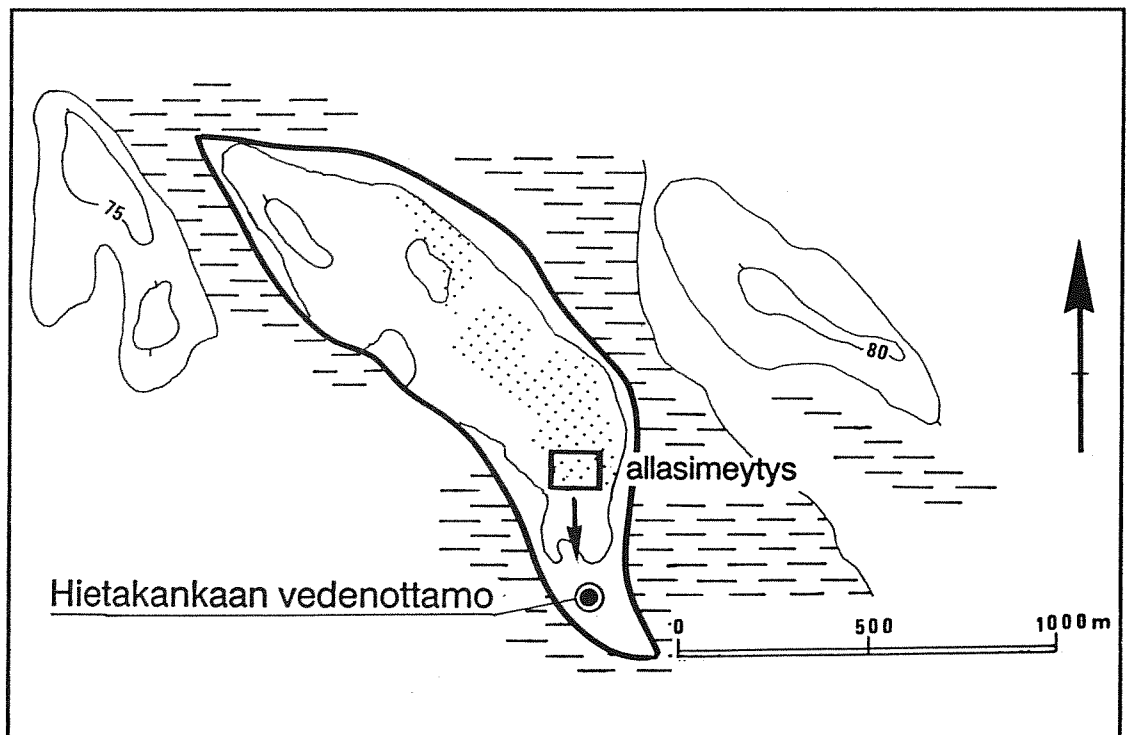
joko jäljittää bakteerien lähde ja tyrehdyttää se tai ainakin desinfioida ottamon vesi jälkikäsittelynä. Tällä hetkellä jälkikäsittelyssä säädellään veden pH:ta natriumhydroksidilla.

Selvityksen yhteydessä saatiin veden laatutietoja Otamolla imeytettävästä järivedestä ja kaivovedestä melko niukasti. Taulukon 15 analyysituloksista nähdään kuitenkin, että jatkuva tekopohjaveden imeytys ei ole merkittävästi muuttanut ottamolta saatavan veden laatua. KMnO_4 -luku on hieman kasvanut, sen sijaan sähkönjohtavuus ja kloridipitoisuus ovat selvästi pienentyneet.

Taulukko 15. Otamon pohjavedenottamon kaivoveden laatu vuosina 1969, 1978, 1988 ja 1989 (luvut yksittäisten vesinäytteiden tutkimustuloksia).

Veden laatumuuttuja	1969 (19.3.)	1978 (12.9.)	1988 (13.6.)	1989 (5.4.)
Nitraatti (mg l^{-1})	18,5	2,0	12,0	9,8
Ammonium (mg l^{-1})	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Kloridi (mg l^{-1})	41	13	12	11
Rauta (mg l^{-1})	0	< 0,05	< 0,1	< 0,1
Kokonaiskovuus (mmol l^{-1})	0,66	0,52	0,61	0,59
KMnO_4 -luku (mg l^{-1})	2	5,4	4,2	4,2
pH	6,0	6,3	6,5	6,7
Sähkönjohtavuus (mS m^{-1})	22	19	12	12

11.16 Evijärven Hietakankaan tekopohjavesilaitos



Kuva 59. Hietakankaan pohjavesialueen yleiskartta.

Evijärven kunnan vedenhankinta hoidetaan Hietakankaan pohjavedenottamolta. Hietakangas on luode – kaakko-suuntainen pitkittäisharju, pituudeltaan n. 1,8 km. Evijärvi sijaitsee Pohjanmaalla, missä harjut ovat pinta-alaltaan vaatimattomia ja useimmiten savipeitteisiä ns. piiloharjuja. Lisäksi seudulla on paljon suoalueita. Hietakangastakin ympäröivät miltei joka ilmansuunnassa suoalueet; pohjoisessa yhtenäinen Teerineva, muualla hajanaiset soistuneet alueet. Alueen eteläpuolella virtaa Ähtävänjoki. Pohjavesialueen keskiosassa on maa-aineksen oton yhteydessä kaivettu valtaosa harjusta pois.

Muodostuman aines on kairausten perusteella (Maa ja Vesi Oy, 1976a) hienoa hiekkaa – hiekkaista soraa, seassa on melko paljon kiviä. Glasifluviaalista ainesta on 3 – 7 m. Ennen imeytyksen aloittamista tehdyissä pohjavesiselvityksissä havaittiin pohjavedenpinnan korkeussuhteissa kynnyks n. 400 m vedenottamolta luoteeseen. Kun pohjavedenpinta vedenottamalla aleni ja pohjaveden virtaus luoteesta oli estynyt, alkoi ottamon alueelle virrata huonolaatuisia humusvesiä ympäröiviltä soilta. Näistä syistä johtuen aloitettiin vedenottamalla tekopohjaveden imeytys vuonna 1982.

Imeytysalueen tarkka sijainti etsittiin imeytyskokeilla. Allas oli sijoitettava pohjavedenjakajan eteläpuolelle. Alustavissa imeytyskokeissa imeytysallas sijoitettiin 170 m nykyisestä altaasta luoteeseen, mutta sillä kohdin maaperän vedenläpäisevyys ei ollut riittävä. Syynä olivat muodostumassa esiintyvät silttikerrokset. Nykyisen altaan kohdalla, 300 m vedenottamolta luoteeseen (kuva 59), muodostuman aines on karkeata soraa. Altaan pohjalle on levitetty suodatinhiekkakerros hidastamaan imeytymistä ja tehostamaan veden puhdistumista. Tekopohjavesitutkimuksessa (Maa ja Vesi Oy, 1980a) arvioitiin virtauksen poikkipinta-alaksi n. 500 m² ja huokoisuudeksi 30 %. Kun pohjaveden virtaamaksi oletettiin 300 m³ d⁻¹ saatiin imeytysteholla 500 m³ d⁻¹ veden teoreettiseksi viipymäksi maaperässä 56 d. Käytäntö on kuitenkin osoittanut, että viipymä on huomattavasti lyhyempi. Laitoksen esittämän arvion mukaan 7 d eli selvästi liian lyhyt.

Koska kalliokynnyks jakaa Hietakankaan alueella pohjaveden virtaussuunnan sekä kaakkoon että luoteeseen, on alueen keski- ja pohjoisosaan rakennettu lisäkaivoja pohjavedenoton tehostamiseksi. Imeytetty vesi virtaa ainoastaan eteläisimpään kaivoon. Koska imeytys on kausittaista, on laitoksella edelleenkin ongelmana veden heikko laatu. Jos ottamalla pumpataan pitkään yliteholla, alkaa vedessä esiintyä suoalueilta imeytyneen veden aiheuttamia värihaittoja. Yleensä tekopohjavettä on imeytetty vain silloin, kun pohjavedenpinta on ollut alimmillaan. Vuosina 1988 – 1989 imeytysjaksot olivat seuraavat:

7.3. – 25.3.1988	=> 18 d
2.8. – 15.8.1988	=> 13 d
27.12.1988 – 16.1.1989	=> 20 d
13.3. – 20.3.1989	=> 7 d
26.6. – 3.7.1989	=> 7 d
24.7. – 28.7.1989	=> 4 d
27.9. – 17.10.1989	=> 20 d
31.10. – 6.11.1989	=> 6 d
28.11. – 11.12.1989	=> 13 d

Vuonna 1988 imeytys oli siis kaikkiaan käynnissä 35 d ja seuraavana vuonna 73 d. Kun tiedetään, että v. 1988 tekopohjavettä imeytettiin yhteensä 10 585 m³, saadaan

vuorokaudessa imeytetyksi vesimääräksi n. 300 m³. Vuoden 1990 lokakuusta lähtien on ollut käytäntö, että imeytys on käynnissä joka toinen viikko.

Imeytysalueella on yksi allas, jonka pinta-ala on 150 m². Altaan pohjalla olevan suodatinhiekkakerroksen paksuus on 0,5 – 1,0 m. Suodatinhiekkavaikuttaa aina altaan puhdistuksen yhteydessä, imeytyskauden päätyttyä. Altaan pohjan ja pohjavedenpinnan välinen etäisyys on 3 m. Hydraulinen pintakuorma on 0,08 m h⁻¹. Imeytyksen seurauksena pohjavedenpinta nousee imeytysalueella 0,7 m ja vedenottamoalueella 0,6 m. Muodostuman luonnollinen antoisuus on 400 m³ d⁻¹ ja ottamolta pumpataan sama määrä. Koska imeytys on hyvin satunnaista, ei imeytetyn veden määrästä ja osuuksista voi antaa luotettavia lukuja. Jonkinlaisen käsityksen tekopohjaveden osuudesta saa kuitenkin seuraavista luvuista: v. 1988 imeytettiin yhteensä 10 590 m³ ja ottamolta pumpattiin kyseisenä vuonna 144 180 m³. Jos oletetaan, että kaikki imeytetty vesi on saatu sekoittuneena luonnolliseen pohjaveden talteen, saadaan tekopohjavedelle osuudeksi laitoksen tuottamasta vesimäärästä n. 7 %.

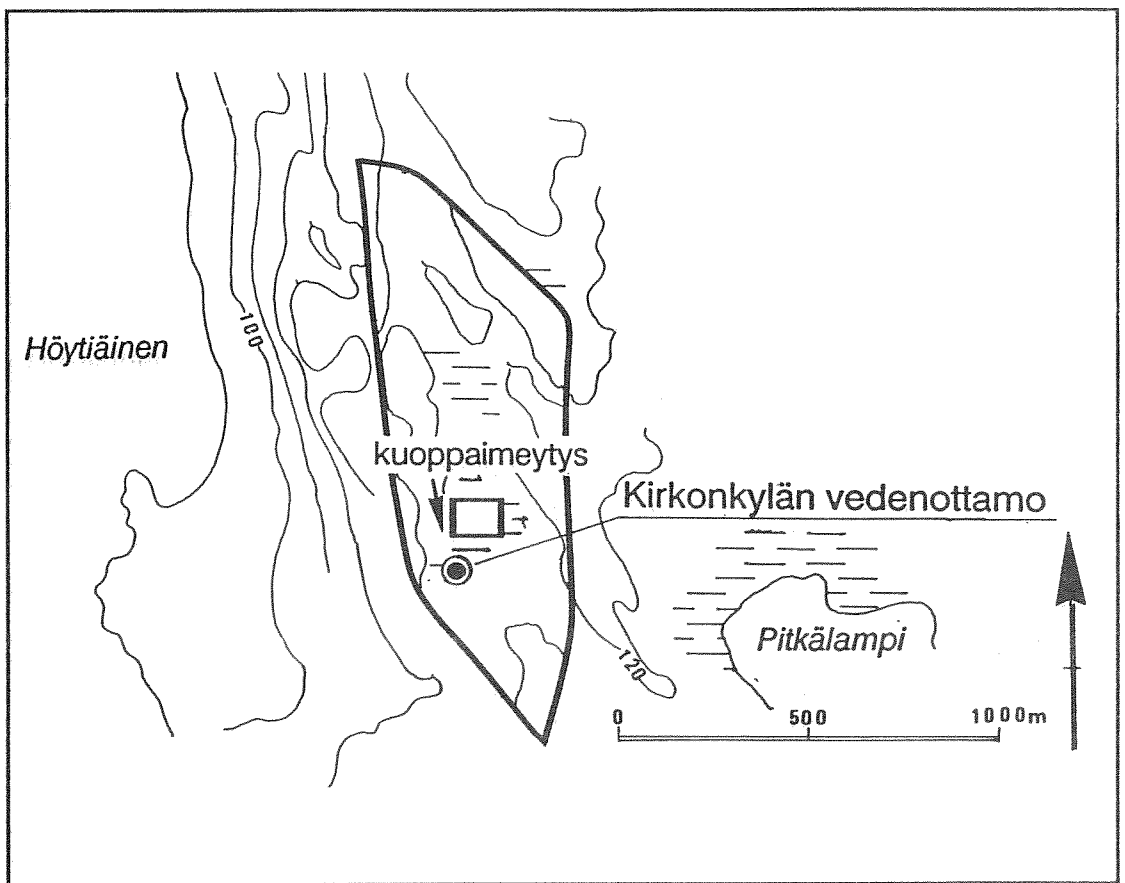
Hietakankaan vedenottamon lisäkaivon paikan tutkimuksessa 1975 todettiin, että alueen luonnollinen pohjavesi oli laadultaan melko hyvää. Siinä ei ollut lainkaan rautaa eikä mangaania. Samalla todettiin, että happamuutensa ja pehmeytensä vuoksi pohjavesi on metalliputkistoja syövyttävää, joten kaivoista pumpattu vesi on neutraaloituva ennen verkostoon johtamista.

Raakavesi imeytykseen otetaan Ähtävänjoesta, joka on 600 m päässä imeytysalueesta. Jokiveden laatua heikentää humuspitoisuus. Vuosina 1988 – 1989 Evijärven luusuasta otetuissa vesinäytteissä väriluku oli 50 – 160 Pt mg l⁻¹. Väriluku jokivedessä on maksimissaan toukokuussa, kevättulvien jälkeen ja minimissään elokuussa. Koska raakaveden laatu on heikko ja imeytetyn veden viipymä maaperässä lyhyt, ei laitokselta lähtevä vesi ole aina täysin moitteetonta. Vesijohtoveden värilukuarvot ovat suurimmillaan imeytysjaksojen jälkeen. Vesijohtovedessä pH-arvo on melko alhainen, ajoittain lähellä lääkintöhallituksen antamien raja-arvojen alarajaa (raja-arvo 6,5 – 8,8). Myös väriarvo ja KMnO₄-luku vesijohtovedessä ylittävät ajoittain raja-arvot: KMnO₄-luvussa esiintyy arvo 19 mg l⁻¹ (vanha raja-arvo on 15 mg l⁻¹). Veden laatua pyritään vedenottamalla parantamaan alkaloimalla kaivovesi natriumhydroksidilla. Muuta esi- tai jälkikäsittelyä vedelle ei tehdä.

11.17 Kontiolahden kirkonkylän tekopohjavesilaitos

Kontiolahden kirkonkylän vedenottamo sijaitsee n. 1,5 km kylän keskustasta pohjoiseen, Pitkälammen ja Höytiäisen välisessä maastossa. Alue on 26 – 30 m Höytiäisen vedenpinnan yläpuolella (Maa ja Vesi Oy, 1960b). Pohjavesialue koostuu pienistä harjumuodostumista, joiden välissä on suppeita soistuneita alueita. Glasifluviaalinen aine on melko huonosti lajittunutta ja sisältää runsaasti hienoainesta, tosin välillä esiintyy lajittuneempiakin sora – hiekkakerroksia. Koostumukseltaan vaihtelevien maakerrosten paksuus on pohjavesitutkimuksen (Maa ja Vesi Oy, 1960b) mukaan n. 3 – 10 m. Monin paikoin glasifluviaalisen aineksen päällä on 0,5 – 2 m turvetta. Pohjavesialueen tarkka raja on hankalaa, koska selvää ja yhtenäistä muodostumaa alueella ei ole. Samasta syystä ovat pohjaveden virtaussuunnat jokseenkin epäselvät. Päävirtaussuuntaa on vaikea hahmottaa.

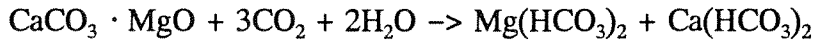
Vedenottamo sijaitsee soistuneessa painanteessa. Imeytysalue on 30 m kaivoilta pohjoiskoilliseen (kuva 60). Höytiäiseen sijoitettu raakavedenpumppaamo on 650 m kaivoilta länteen. Imeytys on jatkuvaa. Ennen imeytystä järvivesi ilmastetaan erityisen suuttimen läpi johtamalla ja hiekkapikasuodatetaan. Hiekkapikasuodatusaltaita on kaksi, niiden yhteenlaskettu pinta-ala on $3,9 \text{ m}^2$. Suodatinhiekkakerroksen paksuus on 0,7 m. Tarvittaessa hiekkapikasuodattimet puhdistetaan vastavirtahuuhtelulla ja poistovesi ohjataan avo-ojaan. Suodatettu vesi valutetaan suodattimen pohjalta putkia pitkin alla olevaan maaperään. Luonnontilaisen soran päällä on 0,6 m sepelikerros puhdistuksen helpottamiseksi. Sepelikerros vaihdetaan tarvittaessa, esim. jos suodatinhiekkavaluu alas ja tukkii sepelin huokostilat. Altaan pohjan ja pohjavedenpinnan välinen etäisyys on n. 3 m ja hydraulinen pintakuorma $2,8 \text{ m h}^{-1}$. Imeytetyä viipymää maaperässä ei ole mitattu, mutta vedenottamon lyhyt etäisyys imeytysalueesta (30 m) viittaa siihen, että veden puhdistuksessa pelkkä imeytys ei riitä veden käsittelyksi.



Kuva 60. Kontiolahden kirkonkylän pohjavesialueen yleiskartta.

Kontiolahden kirkonkylän pohjavesialueen luonnolliseksi antoisuudeksi on arvioitu $400 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Vettä imeytetään $260 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ ja pumpataan kulutukseen $390 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Voidaan siis todeta, että laitoksen nykyinen kapasiteetti riittäisi imeytyksen ansiosta tehokkaampaankin vedenottoon. Vuonna 1989 Itä-Suomen vesioikeus onkin laajentanut vedenottolupaa siten, että tällä hetkellä määrä on $700 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Laitoksella ei ole esittää arviota siitä, kuinka suuri osuus ottamolta pumpatusta vedestä on imeytyksen tuottamaa tekopohjavettä. Seurannassa on kuitenkin havaittu, että imeytyksen vaikutuksesta pohjavedenpinta on noussut kaivoalueella n. 1,5 m.

Imeytys kirkonkylän pohjavedenottamolla aloitettiin v. 1976. Raakavesi imeytykseen otetaan Höytiäisestä. Sekä järviveden että kaivoveden laatutietoja laitokselta saatiin varsin puutteellisesti. Saatujen tietojen perusteella voidaan kuitenkin todeta, että järven vedessä on hieman koliformisia bakteereja. Edellä selostetun esikäsittelyn lisäksi vesi alkaloidaan imeytyksen jälkeen suodattamalla Akdolit-massasta ja kvartsihiekkakerroksesta koostuvan suodattimen läpi. Akdolit-massa on magnomassaksi kutsuttua poltettua dolomiittia, jossa magnesiumkarbonaattista on poistunut hiilidioksidi. Magnomassa sisältää siis kalsiumkarbonaattia ja magnesiumoksidia ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgO}$), ja sen reaktio veden kanssa voidaan esittää reaktioyhtälöllä:



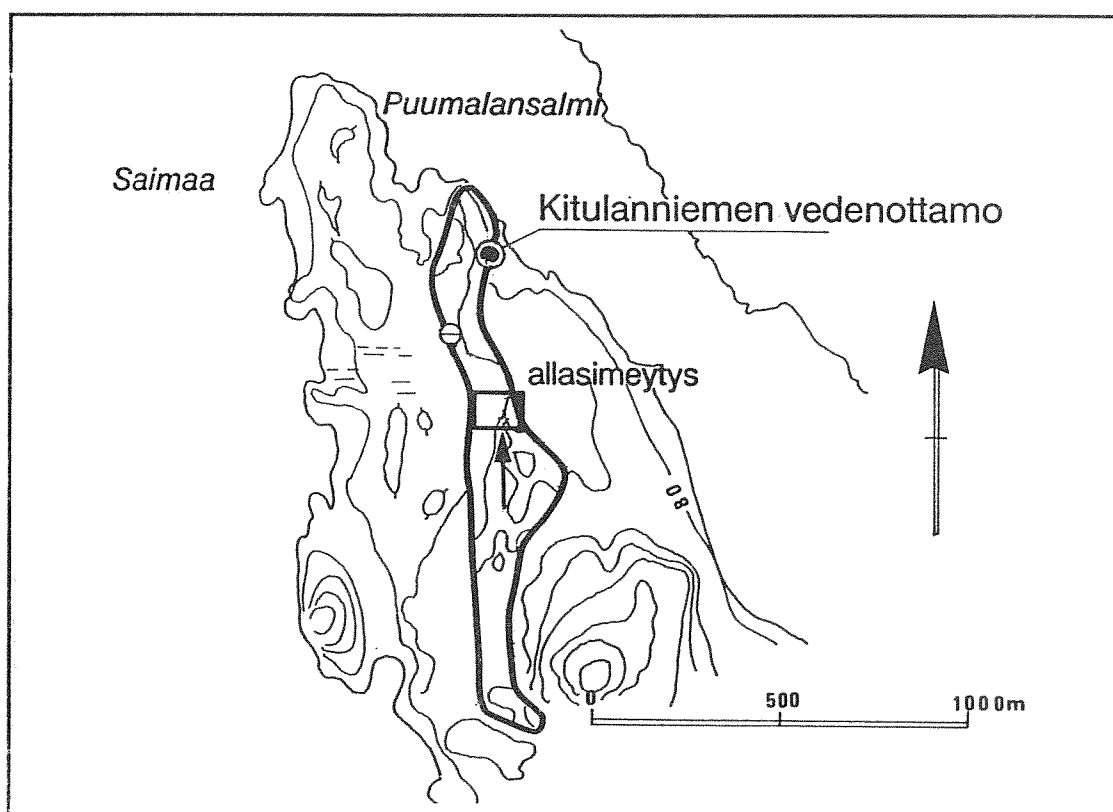
Suodatinta käytetään alkaloinnin lisäksi raudan ja mangaanin poistossa. Saostunut rauta huuhdellaan vastavirtahuuhtelulla. Ongelmana suodattimen käytössä on ollut se, että massan alkalointikyky ei riitä raakaveden pH:n ollessa alhaisimmillaan, joten suodattimen lisäksi joudutaan käyttämään alkalointikemikaaleja. Magnomassa vaihdetaan 2 – 3 kertaa vuodessa. Varajärjestely veden desinfiointiksi on olemassa, mutta ainakaan toistaiseksi tarvetta ei ole ollut.

Laitoksen toiminnassa ilmenneistä ongelmista mainittakoon yleisesti esiintyvä rautaongelma. Alueen luonnollinen pohjavesi on rautapitoista, maksimissaan 2 – 4 mg l⁻¹. Verkostovedessäkin rautapitoisuudet ovat ajoittain ylittäneet lääkintöhallituksen antamat raja-arvot (vanha 0,3 mg l⁻¹, uusi 0,2 mg l⁻¹). Samoin on KMnO₄-luku ollut melko korkea, mutta arvo on kuitenkin pysytellyt sallituissa rajoissa (vanha raja-arvo 15 mg l⁻¹, uusi raja-arvo 12 mg l⁻¹).

11.18 Puumalan Kitulanniemen pohjavedenottamo

Puumalan Kitulanniemen pohjavedenottamon kohdalla on ehkä hieman harhaanjohtavaa puhua tekopohjavesilaitoksesta. Ottamolla on mahdollisuus muodostaa tekopohjavedettä ja imeytystä on käytetty tarpeen mukaan kuivina kausina. Koko 1980-luvun ajan Saimaan vesistön pinta pysytteli korkealla, mikä Kitulanniemessä lisäsi lähellä vesistöä olevan siiviläputkikaivon tuottoa lisääntyneen rantaimetytymisen ansiosta. Rantaimetytymisen lisäksi laitoksella on ollut tarvetta suoraan tekopohjaveden imeytykseen vain lyhyinä aikoina. Koska veden käyttömäärä on pysynyt melko vakiona samoin kuin olosuhteet pohjaveden muodostumisalueella, ei laitoksella ole katsottu tarpeelliseksi analysoida usein veden laatua. Säännöllisesti, joka toinen kuukausi, on tutkittu ainoastaan bakteerit talousvedestä.

Kitulanniemen pohjavesialue on osa kallioperän painanteisiin syntynyttä katkonaista harjujaksoa, jota kalliokynnykset katkovat. Aines on soraa – karkeaa hiekkaa eli erittäin hyvin vettä läpäisevää. Imeytysallas sijaitsee 360 m rannassa sijaitsevasta kaivosta etelään (kuva 61). Imeytysalueella on kairausten mukaan 3,8 m hiekkaa ja sen alla 3,5 m soraista hiekkaa ja kiviä. Tämän syvemmälle ei kairauksilla päästy, joten aines muuttuu ilmeisesti tiiviiksi pohjamoreeniksi. Yleisesti maakerrosten paksuus muodostumassa on suuruusluokkaa 5 – 10 m. Paksuimmillaan maa-ainesta on luotausten mukaan 10 – 12 m pohjavedenpinnan alapuolella (Maa ja Vesi Oy, 1976b). Harjua ympäröiviltä moreenirinteiltä ja kalliokohoumilta virtaa vettä harjuun lisäen kviferin antoisuutta. Pohjaveden päävirtaussuunta on pohjoiseen.



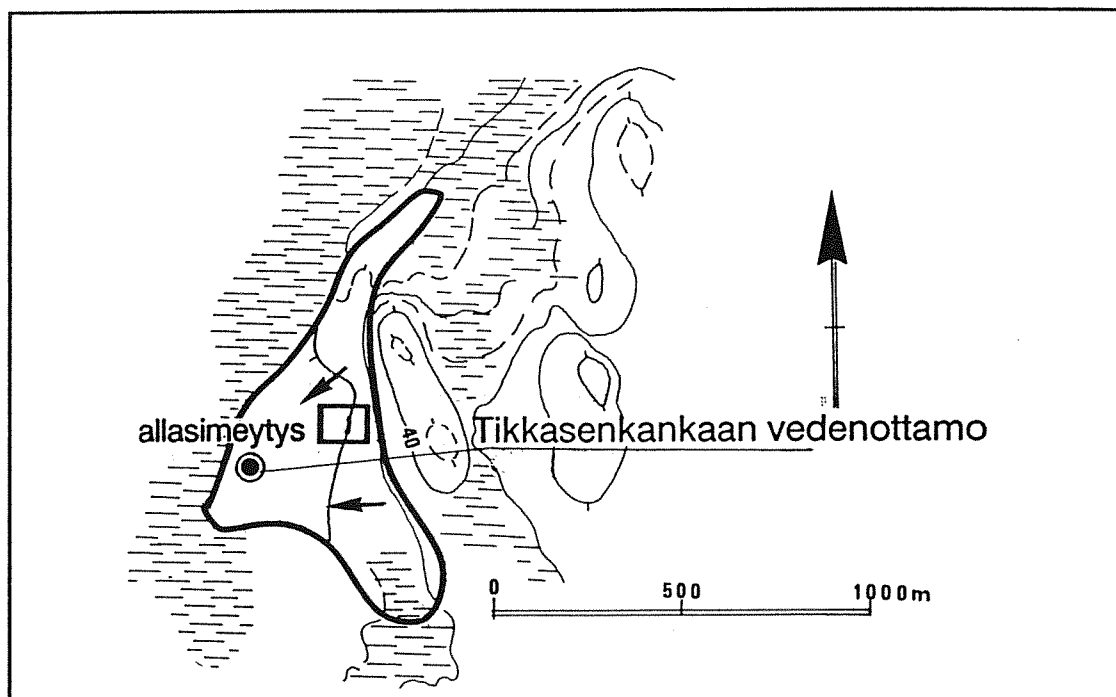
Kuva 61. Kitulanniemen pohjavesialueen yleiskartta.

Kitulanniemen ottamo on tehostettiin tekopohjavesilaitokseksi v. 1977. Alueen luonnollinen antoisuus on n. $350 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ ja se on saatu imeytyksen avulla nousemaan määrään $500 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Vuonna 1988 vedenottamolta pumpattiin vettä $310 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Imeytetyn veden talteensaamiseksi rakennettiin uusi siiviläputkikaivo 160 m altaalta luoteeseen. Altaan pinta-ala on n. 20 m^2 . Koska imeytys on hyvin satunnaista, altaan pohjaa ei ole toistaiseksi tarvinnut puhdistaa kertaakaan. Pohjalla ei ole erityistä suodatinhiökkakerrosta vaan aines on luonnontilaista. Altaan pohjan ja pohjavedenpinnan välinen etäisyys on 3 – 4 m. Imeytetyn veden viipymä on laitoksen arvion mukaan n. 30 d. Imeytetyn veden määrä on ollut suurimmillaan $50\,000 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$, mutta joinakin vuosina ei tekopohjavettä ole imeytetty ollenkaan. Pohjavedenpinnan nousu imeytyksen vaikutuksesta on imeytysalueella n. 3 m ja vedenottamoalueella n. 1 m. Rantaimetyymistä säädellään vanhalla, Puumalansalmen rannassa sijaitsevalla kaivolla.

Raakavesi imeytykseen otetaan Saimaan vesistöön kuuluvasta Puumalansalmesta. Raakavesilähteen etäisyys imeytysalueesta on n. 500 m. Lähialueella ei ole voimakkaasti likaavaa toimintaa, mutta eteläpuolella sijaitsevalla suoalueelta saattaa ajoittain kulkeutua pohjaveteen humuspitoisia vesiä. Koska käytetystä raakavedestä ja imeytetystä vedestä ei ole olemassa säännöllisesti analysoituja laatutietoja, ei voida laatia luotettavaa kuvaajaa veden laadun kehityksestä. Puumalansalmesta otetusta raakavedestä on tehty huhtikuussa 1990 laboratoriotutkimus, josta ovat esimerkkinä seuraavat arvot: KMnO_4 -luku 28 mg l^{-1} , happi $11,2 \text{ mg l}^{-1}$, happikylläisyys 84 %, pH 6,8 ja sähkönjohtavuus $4,3 \text{ mS m}^{-1}$. Vesianalyyseistä voidaan myös havaita, että uudemmassa harjukaivosta pumpatun veden happipitoisuus on selvästi vanhan rantakaivon veden happipitoisuutta suurempi. Vesijohtoveden pH on melko alhainen ja ajoittain se alittaa raja-arvon 6,5. Vuonna 1989 verkostovedessä esiintyi ajoittain lievästi ummehtunut

haju, jolle ei kuitenkaan löydetty erityistä aiheuttajaa. Imeytykseen liittyen vedelle ei tehdä esi- eikä jälkikäsittelyä.

11.19 Simon Tikkasenkankaan tekopohjavesilaitos



Kuva 62. Tikkasenkankaan pohjavesialueen yleiskartta.

Simo sijaitsee 80 km Oulusta pohjoiseen alueella, missä suoalueet peittävät suurimman osan maapinta-alasta. Laajoja suoalueita erottavat toisistaan usein huonosti lajittuneet moreenikumpareet. Lajittuneesta aineksesta koostuvia sora- ja hiekkamuodostumia alueella on hyvin niukasti. Tikkasenkankaan pohjavesialueen muodostaa varsin tasainen hiekkakangas, joka on paksuudeltaan n. 5 m. Aines on melko hyvin lajitunutta keskikarkeaa hiekkaa, mutta välillä saattaa esiintyä silttisiä kerroksia. Alue rajoittuu tiiviisiin moreeneihin sekä turpeen alaisiin hiekkoihin ja siltteihin. Pohjavesialueen arvioitu antoisuus on $200 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Pohjavesi virtaa länteen, missä alue päättyy rämeiseen suopainanteeseen.

Tikkasenkanan pohjavedenottamo aloitti toimintansa 1973 ja antoisuuden lisäämiseksi aloitettiin imeytys 1978. Simojoesta johdetun veden imeytys on lähes jatkuvaa. Ainoastaan tulva-aikoina ei vettä johdeta imeytysalueelle. Vesi pumpataan yhdestä kaivosta, joka sijaitsee aivan alueen länsireunalla. Pumpaustehokkuutta on suunniteltu parannettavan toisella kaivolla, koska ilmeisesti osa imeytetystä vedestä karkaa hävikkinä.

Jokivesi imeytetään yhden altaan kautta maaperään. Altaan paikkaa siirrettiin marraskuussa 1990. Käytöstä poistettu allas sijaitsi n. 110 m kaivolta koilliseen ja uusi allas rakennettiin 230 m kaivolta koilliseen (kuva 62). Sijaintia muutettiin, koska Simojoen humuspitoinen vesi ei puhdistunut lyhyen imeytymismatkan aikana riittävästi. Etäisyyden lisäksi kasvoi korkeusero: uuden altaan kohdalla on maanpinta 2,4 m kor-

keammalla kuin vanhan. Uuden altaan pinta-ala on 60 – 80 m². Raakavesi johdetaan maahan kaivetun putken kautta vesisuihkun hajottajan läpi altaaseen. Altaan reuna, jota pitkin vesi valuu, on päällystetty 0,2 m sepelikerroksella. Altaan pohjalla on luonnontilainen aines. Vesikerroksen paksuus altaassa on yleensä 0,7 – 0,8 m. Etäisyys pohjavedenpintaan on n. 2 m. Pohjavedenpinta on noussut imeytyksen vaikutuksesta imeytysalueella n. 1 m ja kaivossa 0,5 – 0,8 m. Veden viipymäksi maaperässä laitos arvioi 5 – 6 d.

Laitoksella ei kyselyä tehtäessä oltu mitattu vuorokaudessa imeytetyn veden määrää. Arviona kuitenkin esitettiin, että 30 – 40 % verkostoon pumpatusta vedestä muodostuu imeytyksen avulla ja loput eli 60 % on luonnollista pohjavettä. Tällä hetkellä ottamolta pumpataan vettä n. 180 m³ d⁻¹.

Raakavesi pumpataan Simojoesta 1,5 km päässä imeytysalueesta. Ojitetujen ja turvetuotannossa olevien soiden valumavedet nostavat selvästi jokiveden humuspitoisuutta. Jokivarressa harjoitetaan myös jonkin verran peltoviljelyä. Esimerkkinä mainittakoon, että marraskuussa 1990, ennen uuden altaan käyttöönottoa, veden laatuanalyysi antoi seuraavanlaiset tulokset:

Simojesta Tikkasenkankaalle tuleva vesi: KMnO₄-luku 48,2 mg l⁻¹, pH 7,22, väri 100 mg l⁻¹, NO₃-N 92 mg l⁻¹.

Tikkasenkankaan vedenottamolta pumpattava vesi: KMnO₄-luku 18,6 mg l⁻¹, pH 6,42, väri 20 mg l⁻¹, NO₃-N 69 mg l⁻¹.

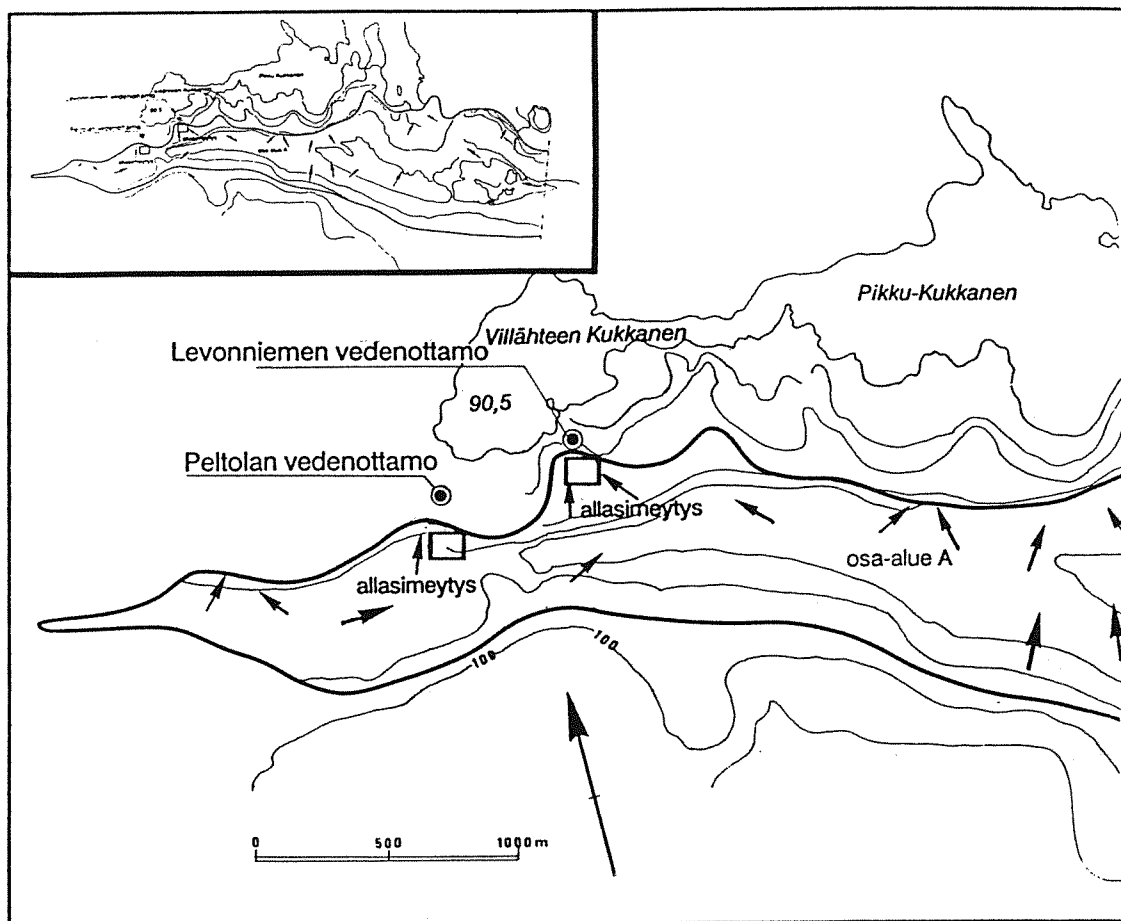
Arvoista nähdään, että lääkintöhallituksen antamat rajat ylittyvät vedenottamon vedessä. Humuspitoisuus ja nitraattityppipitoisuus ovat liian suuria ja pH liian alhainen. Myös veden rautapitoisuus on ajoittain hieman kohonnut. Täten voidaan päätellä, että imeytysmatka on aikaisemmin todellakin ollut liian lyhyt ja imeytysaltaan siirtäminen etäämmäs kaivosta oli aiheellista. Laitoksella on alustavasti suunniteltu kemiallista käsittelyä pH:n nostamiseksi ja humuspitoisuuden pienentämiseksi.

11.20 Nastolan Levonniemen ja Peltolan pohjavedenottamot

Levonniemen ja Peltolan vedenottamot käsitellään samassa yhteydessä, koska ne sijaitsevat samalla pohjavesialueella ainoastaan 550 m päässä toisistaan. Niitä ei voi nimittää varsinaisesti tekopohjavesilaitoksiksi, koska järvivettä on alueella imeytetty viimeksi elokuussa 1980. Mälkösen pohjavedenottamon perustamisen jälkeen luonnolliset pohjavesivarat ovat riittäneet Nastolan kunnan vedentarpeeseen. Laitos on kuitenkin kaiken aikaa käyttövalmis. Altaat puhdistetaan kerran vuodessa ja pumppujen toimivuus tarkistetaan säännöllisesti. Täten imeytys voidaan aloittaa koska tahansa.

Nastolan kunnassa on kaksi tärkeää pohjavesialuetta, jotka molemmat ovat osa I Salpausselkää. Nastolan kohdalla, n. 16 km Lahdesta itäkaakkoon, Salpausselkä kulkee suunnilleen itä – länsi-suuntaisena reunamuodostumana, johon liittyy paikoitellen pohjois – etelä-suuntaisia pitkittäisharjuja. Nastolan – Uudenkylän pohjavesialue ja Villähteen pohjavesialue muodostavat yhdessä n. 20 km pitkän yhtenäisen muodostuman, mutta eri pohjavesialueiksi ne erotetaan kallioperän ruhjevyydytyksen kohdalta, Kymijärven itäkärjen eteläpuolella. Levonniemen ja Peltolan vedenottamot sijoittuvat Nastolanharju – Uudenkylän pohjavesialueen länsiosaan, missä I Salpausselkä kulkee

n. 0,5 km leveänä selänteenä. Pohjavedenpinnan taso muodostuman eteläosassa on selvästi korkeammalla kuin pohjoisosassa, joten pohjaveden virtaus suuntautuu pääasiassa etelästä pohjoiseen. Peltolan ottamo saa vetensä Kankaan alueelta ja Levonniemen ottamo Varjolankankaan ja Kouluharjun alueelta. Laitoksen antamien tietojen mukaan ottamoilta pumpatut vesimäärät eivät vaikuta toistensa antoisuuksiin.



Kuva 63. Nastolan-Uudenkylän pohjavesialueen yleiskartta.

Kuten Salpausselille on tyypillistä, aines muodostumassa on huonosti lajittunutta. Silttiset kerrokset vuorottelevat karkeiden kerrosten kanssa ja pohjoisreunalla saattaa ainekseen sekoittua ohuita moreenikerroksia. Pääasiassa aines on kuitenkin vettä hyvin läpäisevää soraista hiekkaa. Koko Nastonharju – Uusikylän pohjavesialueen antoisuudeksi on vesihallituksen pohjavesialuekartoituksessa v. 1980 arvioitu $7\,700\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Levonniemen vedenottamon antoisuudeksi on arvioitu $1\,900\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$ ja Peltolan $1\,000\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$.

Tekopohjaveden imeytys laitoksilla aloitettiin v. 1975. Imeytys oli kausittaista ja vuodesta 1978 eteenpäin imeytystarve väheni edelleen, kun Mälkösen vedenottamo otettiin käyttöön. Imeytys lopetettiin toistaiseksi kokonaan elokuussa 1980. Molemmilla ottamoilla vesi imeytettiin kahdesta altaasta, pinta-alaltaan $1\,500\text{ m}^2$ (kahden altaan yhteenlaskettu pinta-ala). Altaat puhdistettiin kerran vuodessa ja samalla uusittiin 0,5 m paksu suodatinhiekkakerros. Vesikerroksen paksuus altaissa pysytteli 0,2 – 0,3 m:ssä. Altaiden pohjan ja pohjavedenpinnan välisestä etäisyydestä laitos ei osannut antaa luotettavaa arviota. Maakerrosten paksuuden ollessa vähintään suuruus-

luokkaa 20 – 30 m on todennäköistä, että etäisyys on ollut riittävä veden puhdistumisen kannalta. Imeytyksen vaikutuksesta pohjavedenpinta nousi vedenottamoalueella 1 – 2 m.

Sekä Levonniemen että Peltolan ottamoilla imeytettiin laitoksen antamien tietojen mukaan järvivettä $1\,500\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$, josta käyttöön pumpattiin suunnilleen 50 %. Verkos-
toon pumpatussa vedessä oli tällöin arvion mukaan 35 % tekopohjavettä ja 65 % luonnollista pohjavettä. Rantaimeytymistä Villähteen Kukkasesta ei todennäköisesti tapahdu, koska pohjavedenpinta pysyttelee hieman järvenpintaa korkeammalla, etenkin imeytyksen aikana. Kaivojen etäisyys altaista on molemmilla ottamoilla n. 400 m ja veden viipymä maaperässä 20 – 30 d.

Raakavesi imeytykseen on otettu ja tullaan edelleenkin mahdollisen imeytyksen alkaessa ottamaan Villähteen Kukkasesta. Järven etäisyys imeytysalueesta on n. 500 m. Koska tekopohjavettä ei ole imeytetty vuoden 1980 jälkeen ja selvityksen tarkkailuvuodet ovat 1988 – 1989, ei Nastolan laitosten kohdalla voida esittää vertailukelpoisia veden laatutietoja. Laitokselta pumpattavassa vedessä on ollut ongelmana kohonneet rauta- ja etenkin mangaanipitoisuudet. Vettä on jälkikäsitellynä neutraloitu natriumhydroksidilla. Nykyään Levonniemen ottamolta pumpataan n. $1\,100\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$ ja Peltolan ottamolta n. $800\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$.

12 SUUNNITTEILLA OLEVAT TEKOPOHJAVESILAITOKSET

12.1 Kymenlaakson Vesi Oy:n hanke

Kymenlaakson Vesi Oy rakentaa tekopohjavesilaitosta Kuivalaan, Valkealan kunnan Utin pohjavesialueelle. Saman pohjavesialueen länsipäässä on vuodesta 1972 ollut toiminnassa Kouvolan kaupungille veden tuottava Haukkajärven tekopohjavesilaitos. Molemmat laitokset ottavat raakavetensä Haukkajärvestä. Kuivalan tekopohjavesilaitoksen toiminta on suunniteltu alkavaksi v. 1992. Osakkaina hankkeessa ovat Kotka, Anjalankoski ja Vehkalahti, joiden alueella on asukkaita yhteensä n. 80 000.

Kuivalan alueella tehdyissä seismisissä luotauksissa on todettu, että maakerrosten paksuus on maksimissaan 40 m. Pohjavesivarasto on lähes 20 m paksu. Muodostuman luonnollinen antoisuus on n. $2\,500\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Koeimeytyksillä on etsitty imeytykseen parhaiten soveltuva alue, missä imeytys tullaan toteuttamaan sekä allasimeytyksenä että sadetuksena. Laskelmien mukaan imeytysalueella voidaan muodostaa tekopohjavettä $30\,000\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Alkuvaiheessa tullaan laitokselta pumppaamaan tekopohjavettä keskimäärin $26\,000\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$, mutta lupa vedenottoon on maksimissaan $33\,700\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$. Tällöin alueen kapasiteetti on mitoitettu äärimmilleen.

Imeytetyn veden viipymän maaperässä on arvioitu olevan 30 – 45 d, mutta käytännössä viipymä saattaa jäädä hieman lyhyemmäksi. Imeytysalueen pinta-ala on n. $0,4\text{ km}^2$. Kaivot sijoitetaan hevosenkengän muotoiseen muodostelmaan imeytysalueen ympärille. Luonnollista pohjavettä tulee laitoksen tuottamasta vedestä olemaan noin 10 % ja loput eli 90 % tulee olemaan imeytyksen tuottamaa tekopohjavettä. Imeytyksen lisäksi vedenkäsitelyssä on varauduttu alkalointiin ja desinfiointiin (suullinen tiedonanto, Esko Mälkki, 23.10.1990 ja Timo Kulmala 12.3.1991).

12.2 Turun Seudun Vesi Oy:n hanke

Laajin tekopohjavesilaitoshanke Suomessa tällä hetkellä on Turun Seudun Vesi Oy:n hanke rakentaa tekopohjavesilaitos Virttaankankaalle. Hankkeessa ovat osakkaina Turku, Raisio, Naantali, Kaarina, Piikkiö, Lieto ja Paimio. Yhteenlaskettu asukasmäärä em. taajamissa on n. 240 000 asukasta. Hanke on suunnitteluvaiheessa. Likimääräinen arvio on, että tekopohjavesilaitos Virttaankankaalle toteutuu 1990-luvun lopulla.

Raakavesi tullaan ottamaan Pyhäjärvestä, johon on vedenotto-oikeus määrälle $1,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Pienoismallikokeiden perusteella näyttää todennäköiseltä, että esikäsittelyä ennen imeytystä ei tarvita. Varmuuden vuoksi laitoksella varaudutaan kuitenkin mikrosiiivilöintiin tai pikasuodatukseen. Jos jälkikäsittely osoittautuu tarpeelliseksi, voidaan se suorittaa Turun pintavesilaitoksella, minne ottamon vesi joka tapauksessa johdetaan jakelua varten.

Alueella, minne tekopohjavesilaitos on suunniteltu, on muodostuman luonnollinen antoisuus $5\,000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Vajovesikerros on 10 – 40 m paksu. Vedentarve tulee olemaan $0,8 - 0,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ eli noin $69\,000 - 80\,000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, joten luonnollista pohjavettä tulee laitoksen tuottamassa vedessä olemaan vain n. 6 – 7 %. Suunnitelma laitoksen tarkasta sijoittelusta on vielä kesken, eikä imeytystapaa ole vielä lopullisesti päätetty (suullinen tiedonanto, Jorma Määttä, 5.3.1991).

12.3 Muita hankkeita

Rovaniemen kaupungin Kolpeneen pohjavedenottamon kapasiteetti ei tulevaisuudessa yksinään riitä tyydyttämään kaupungin vedentarvetta. Ratkaisuksi on suunniteltu tekopohjaveden imeyttämistä maalaiskunnan Jokkavaaran pohjavesialueella. Alueella on tehty pohjavesitutkimuksia imeytysjärjestelyjen selvittämiseksi. Lisäksi Rovaniemen kaupunki selvittää edelleen mahdollisuuksia laajentaa vedenhankintaa muilta pohjavesialueilta, joilla tekopohjaveden imeytys ei olisi tarpeellista. Alustavan aikataulun mukaan laitoksen rakentaminen käynnistyy 1993.

Jokkavaaran imeytysalue on suunniteltu kahden harjun yhtymäkohtaan, missä ainesta on pohjavedenpinnan yläpuolella 16 – 23 m. Muodostuman luonnollinen antoisuus on $3\,500 - 4\,000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ ja tekopohjaveden imeytyksen avulla antoisuus nousisi $6\,000 - 8\,000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$:iin. Kemijoesta otettu raakavesi esisuodatetaan ja tavoitteena on, että esikäsittelyn jälkeen veden väriluku on korkeintaan 15 Pt mg l^{-1} ja KMnO_4 -luku pienempi kuin 20 mg l^{-1} . Imeytystapana on allasimeytys. Koska kaivojen lopullista sijaintia ei ole määritetty, ei veden viipymää maaperässä voida arvioida (suullinen tiedonanto, Heikki Hautala, 24.6.1991).

Forssan kaupungin vedenottoa Vieremänharjulla on suunniteltu laajennettavaksi tekopohjaveden imeytyksen avulla. Ensimmäiset koeimeytykset tehtiin keväällä 1975 (Rönkä ym., 1977). Raakavesi otettiin tällöin Kaukjärvestä. Tekopohjavettä ei ole imeytetty vuoden 1980 jälkeen, mutta tavoitteena on aloittaa jatkuva imeytys vuoden 1995 tienoilla. Vieremänharjun aines on soraa – hiekkaa, paikoitellen esiintyy savi- ja siltipitoisia ohuita kerroksia. Muodostuman luonnollinen antoisuus on noin $9\,000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, mistä määrästä $3\,200 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ muodostuu sade- ja sulavesistä, $2\,000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ on kallioperän siirrosvyöhykkeeseen kulkeutunutta kalliopohjavettä,

3 000 m³ d⁻¹ Kaukjärvestä rantaimetyntynyt vettä ja 800 m³ d⁻¹ Loimijoesta rantaimetyntynyt vettä (Rönkä ym., 1977). Vuonna 1990 Vieremän ottamolta pumpattiin pohjavettä noin 5 000 m³ d⁻¹. Tekopohjavettä tullaan imeyttämään noin 2 500 m³ d⁻¹ ja sama määrä tullaan lisäämään vedenottoa (suullinen tiedonanto, Tapio Tuominen, 24.10.1991).

13 TULOSTEN TARKASTELO

Suomessa on 21 tekopohjavesilaitosta, joista Nastolan Peltolan ja Levonniemen pohjavedenottamoilla ei tekopohjavettä ole imeytetty vuoden 1980 jälkeen. Seuraavassa tarkastellaan niitä 19 tekopohjavesilaitosta, joilla tekopohjavettä on imeytetty vuosina 1988 – 1989. Taulukkoon 16 on koottu perustiedot jokaisesta laitoksesta. Tällä hetkellä toiminnassa olevat laitokset on otettu käyttöön vuosina 1970 – 1987 (kuva 1). Nykyisistä tekopohjavesilaitoksista viidellä imeytys on kausittaista ja neljällätoista jatkuva. Syitä tekopohjaveden kausittaiseen muodostamiseen ovat luonnollisten pohjavesivarojen riittävyys tai raakavesilähteen vesivarojen niukkuus.

Tekopohjaveden imeytysalueella maa-aineksen on oltava hyvin lajittunutta hiekkaa – soraa. Parhaiten soveltuu imeytykseen aines keskikarkeasta hiekasta hienoon soraan eli rakeot 0,2 – 6,0 mm. Aineksen yleiskuvauksen perusteella voidaan sanoa, että 12 laitoksella (63 %) muodostuman aines on suositusten mukaista, kolmella laitoksella (16 %) aineksen seassa on moreenia, kolmella laitoksella (16 %) aines on paikoitellen liian hienorakeista (hienoa hiekkaa) ja yhdellä laitoksella (5 %) aines on paikoitellen liian karkeata (kivistä soraa).

Suomessa 14 tekopohjavesilaitosta (74 %) on rakennettu pitkittäisharjulle, kolme laitosta (16 %) I Salpausselän alueelle ja kaksi laitosta (10 %) tasaiselle ja ohuelle deltamaiselle kerrostumalle. Jos pitkittäisharjussa on maa-ainesta riittävän paksult (vähintään 15 m), soveltuu se paremmin imeytysalueeksi kuin reunamuodostuma. Vaikka reunamuodostumissa ovat kerrospaksuudet useita kymmeniä metrejä, saattaa niiden huonosti lajittunut aines aiheuttaa ongelmia imeytysjärjestelyissä. Jos muodostuman maksimipaksuus on 10 m, on aineksen oltava keskikarkeaa hiekkaa ja raakaveden erittäin hyvää, jotta vesi puhdistuu riittävästi maaperässä. Kerrospaksuus 10 – 20 m on kohtalaisen riittävä, mutta suositeltavaa on, että muodostuman paksuus on yli 20 m. Suomen tekopohjavesilaitoksista yhdeksän (47 %) on sijoitettu muodostumalle, jonka maksimipaksuus on 20 m tai enemmän (taulukko 17).

Suomen tekopohjavesilaitoksilla yleisin imeytystapa on **allasimeytys**; 13 laitoksella (68 %) käytössä ovat imeytysaltaat. Muita imeytystapoja ovat **sadetus** Porvoossa, Eurassa, Nokialla ja Lappeenrannan Hanhikempissä (allasimeytyksen ohella) sekä **kuoppaimeytys vanhaan sorakuoppaan** Juvalla ja Sysmässä. Kontiolahdella hiekkapikasuodatettu vesi valuu putkia pitkin alla olevaan maaperään. Hiekkasuodatimen pinta-ala on 3,9 m². Allasimeytyslaitoksista viidellä on käytössä yksi allas ja kahdeksalla laitoksella 2 – 4 allasta, joita käytetään vuorotellen jaksoittain. Altaiden yhteenlaskettu pinta-ala on 20 – 11 000 m². Altaiden huolto- ja puhdistustoimenpiteiden tiheys vaihtelee riippuen lähinnä raakaveden laadusta. Keskimäärin altaiden pohjat puhdistetaan kerran tai kaksi vuodessa, mutta tiheimmillään kerran kuukaudessa. Koneellisesti altaita puhdistettaessa tulisi noudattaa erityistä huolellisuutta, jottei esim. öljyä tai polttoainetta pääse valumaan altaan pohjalle.

Taulukko 16. Suomen tekopohjaviesilaitosten imeytystiedot.

Laitoksen sijaintipaikka ja nimi	Käyttöaika- tointavuosi	Imeytys- muodosu- matyyppi	Muod. luon. ant. [m ³ d ⁻¹] (+ ranta- imeytymisen)	Imeytety vesimäärä [m ³ d ⁻¹]	Veden- oton määrä [m ³ d ⁻¹]	Teko- pohja- veden osuus [%]	Ei- käsitelly	Jälkikäsit- tely	Imeytysa- pa, alla- pinta- ala [m ²]	Hyd- raulin pinta- kuorma [m h ⁻¹]	Ei- isyys pohjalta poh- javeden pintaan [m]	Ei- isyys alteen pohjalta poh- javeden pintaan [m]	Etäisyys alteen pohjalta poh- javeden pintaan [m]	Viivymä [d]	Rantaimey- tymistä	Altaiden puhdistus	Raankavesilähde
1. Pori, Hartakangas	1977	jatkuva pitkittäis- harju	3500	23000	26000	90	kaikki, Al- sulf., pohm.	kloori, kaikki	allas 10700	0,10	1-2,5	I 400 II 600	1-2,5	21	Ei	2 krt/vuosi	Tuurujärvi
2. Lappeenranta, Hietäintieni	1974	jatkuva I Salpaus- selkä	500 (3500)	10914	9696	55-65	ei	kaikki, NaClO	allas 5680	0,08	12-13	200	12-13	7	Kyllä	2 krt/vuosi	Suomonselkä
3. Hämeenlinna, Avenistio	1976	jatkuva pitkittäis- harju	3500 (8600)	7730	9620	80	ei	ilmastus, hidassuod., kaikki	allas 11000	0,03	15	1100	15	40	Ei	1 krt/vuosi	Alajärvi
4. Tuusula, Jäniksenlinna	1979	jatkuva pitkittäis- harju	4000 (5000)	6500	6900	60	ei	hidassuod., kaikki	allas 4500	0,12	13-15	800	13-15	40	Ei	kerran 3:ssa vuodessa	Päijännentunneli
5. Kouvol, Haukkajärvi	1972	jatkuva I Salpaus- selkä	2500	6607	6473	60-65	ei	ei	allas 3300+3500	0,05	vanh. 11-27 uudet 25	vanhat 550 uudet 250	2	30-40 14-20	Ei	joka toinen vuosi	Haukkajärvi
6. Mikkeli, Pursiala	1974	jatkuva pitkittäis- harju	5000 (15000)	1100	6400	15	ei	ilm., kaikki, H ₂ SO ₄	allas 2800	0,05	23	1400	23	30	Kyllä	2-3 krt/vuosi	Kattilanlahti
7. Porvoo, Sannaisten	1982	jatkuva pitkittäis- harju	3400 (5100)	3000	5400	50	ei	NaOH, NaClO	sadetus	0,04	5	2000	5	20-30	Kyllä	1 krt/vuosi	Myllykyläjärvi
8. Nokia, Vihmusjärvi	1974	jatkuva pitkittäis- harju	1000 (4000)	1500	5200	20-40	ei	kaikki, kloori	sadetus	0,04	10	1400	10	55-80	Kyllä	1 krt/vuosi	Vihmusjärvi
9. Isalmi, Kvillikiviranta	1981	kausit- tainen	2800	1320	3125	35-40	ei	ilm., kaikki, KMnO ₄ , NaOH	allas 1300	0,04	17-18	500	17-18	45	Ei	kesä 1 krt/kk, tal. 1 krt/2-3 kk	Hanhijärvi
10. Lappeenranta, Hanhikemppi	1970	jatkuva pitkittäis- harju	600	1500	2160	50-70	ei	ei	sadetus + allas 2825	0,04	5-10	50	5-10	< 20	Kyllä	-	Pyhäjärvi
11. Eura, Lehtiluoma	1975	jatkuva pitkittäis- harju	500 (5000)	1500	2010	60	ei	NaOH	sadetus	0,04	45	800	45	60	Ei	1979-90 muut. kerran	Päijännentunneli
12. Hyvinkää, Hikiä	1979	kausit- tainen	12000	1000	1000	< 30	ei	kaikki, NaClO	allas 4000	0,05- 0,07	1	150	1	< 7	Kyllä	-	Murtonen
13. Juva, Hatsola	1987	jatkuva pitkittäis- harju	500 (1200)	1100	980	55	ei	NaOH	kuoppa 200-300	0,05- 0,07	3	180	3	< 7	Kyllä	1 krt/vuosi	Aakenusjoki
14. Kitiä, Ylivaara	1972	jatkuva tas. deltam. kerrostuma	600	250	700	30	ei	ei	allas 200	0,08	< 5	220	< 5	7	Kyllä	epäsään- nöllisesti	Alaveshjärvi
15. Sysmä, Otamo	1972	jatkuva pitkittäis- harju	600	150	565	25	ei	NaOH	kuoppa	0,08	3	300	3	7	Ei	imeytyvää päätyttyä	Ähtävänjoki
16. Evijärvi, Hietakangas	1982	kausit- tainen	400	ka 300	400	7	ei	NaOH	allas 150	0,08	3	300	3	7	Ei	imeytyvää päätyttyä	Höytäinen
17. Koniolahdi, Kirkonkyliä	1976	jatkuva pitkittäis- harju	400	260	390	20-40	ilm., hiek- kapikausod.	magnomas- suodatin	hiekkasuod. + kuoppa	0,08	3	30	3	< 7	Ei	epäsään- nöllisesti	Puumalanalmi
18. Puumala, Kittilänniemi	1977	kausit- tainen	350	ei mitattu, satunnaisesti	310		ei	ei	allas 20	0,08	3-4	360	3-4	30	Kyllä	-	Simojoki
19. Simo, Tötkäsenkangas	1978	kausit- tas. deltam. kerrostuma	200	ei mitattu	180	30-40	ei	ei	allas 60-80	0,08	2	230	2	7	Ei	epäsään- nöllisesti	Villähcen
20. Nastola, Levonniemi	1975-80	kausit- tainen*	1900	1500*	1100**		ei	NaOH	allas 1500	0,08	5-10	400	5-10	20-30	Ei	1 krt/vuosi	Kukkanen
21. Nastola, Peltola	1975-80	kausit- tainen*	1000	1500*	800**		ei	NaOH	allas 1500	0,08	5-10	400	5-10	20-30	Ei	1 krt/vuosi	Villähcen Kukkanen

* Vuoden 1980 jälkeen ei ole ollut tarvetta lisää antoisuutta tekopohjaviesilaitosten imeytystiellä. Imeytety vesimäärä vv. 1975-1980 oli 1500 m³ d⁻¹

** Vedenotannolla nykyään pumpattava pohjaviesimäärä (ei imeytystä).

Taulukko 17. Muodostuman maksimikerrospaksuudet Suomen tekopohjavesilaitoksilla.

Maksimikerrospaksuus (m)	Laitosten määrä	%-osuus
alle 10	5	26 %
10 - 20	5	26 %
20 - 30	2	11 %
30 - 40	4	21 %
40 - 50	3	16 %

Raakavetenä käytettävän järvi- ja jokiveden laadun seuranta on laitoksilla huonoa. Ainoastaan yhdellä laitoksella – Porissa – analysoidaan raakavesi päivittäin. Neljällä laitoksella – Tuusulassa, Kouvolassa, Hämeenlinnassa ja Hyvinkäällä – raakavettä analysoidaan suositusten mukaisesti eli vähintään neljä kertaa vuodessa. Muilla 14 laitoksella raakaveden laadun tarkkailu on puutteellista tai sitä ei tarkkailla ollenkaan. Analysoiduissa raakavesissä KMnO_4 -luku on 15 – 70 mg l^{-1} ja väriluku 5 – 160 Pt mg l^{-1} . Kuudella laitoksella raakaveden väriluku on alle 60 Pt mg l^{-1} ja kuudella laitoksella yli 60 Pt mg l^{-1} , muilla laitoksilla värilukuarvoja analysoidaan puutteellisesti.

Jos raakaveden KMnO_4 -luku on alle 40 mg l^{-1} , voidaan vettä imeyttää sellaisenaan, mikäli viipymä on 45 – 60 d (Kaupunkiliiton julkaisu B 192, 1984). Raakaveden KMnO_4 -luku on 11 laitoksella suunnilleen 20 – 40 mg l^{-1} ja viipymä näillä laitoksilla on 10 – 80 d. Edellä mainitun ehdon 45 – 60 d:n viipymästä täyttävät kaksi laitosta ja yhdeksällä laitoksella viipymä jää mainittua suositusta lyhyemmäksi. Analyysitulosten mukaan kolmella laitoksella raakaveden KMnO_4 -luku on 40 – 70 mg l^{-1} . Tällöin tulisi Kaupunkiliiton julkaisun B 192 mukaan viipymän olla yli 45 d, mutta näistä kolmesta laitoksesta ainoastaan yhdellä on viipymä 45 – 60 d. Niillä viidellä laitoksella, joiden raakavedestä ei saatu tarkkoja analyysituloksia, on raakavesi varsin humuspitoista eli melko varmasti KMnO_4 -luku on yli 40 mg l^{-1} .

Raakavesi esikäsitellään ennen maaperään imeyttämistä ainoastaan kahdella laitoksella: Porissa ja Kontiolahdella. Porissa esikäsitely koostuu monivaiheisesta kemiallisesta käsittelystä, jonka pääasiallinen tarkoitus on saostaa raakavedestä liiallinen humus pois. Käsittelyn eri vaiheet ovat pH:n säätö, saostuskemikaalin lisäys, sekoitus, hiutalointi ja selkeytys. Kontiolahdella imeytysvesi valutetaan maaperään ilmastuksen ja hiekkapikasuodatuksen jälkeen. Esikäsitelyä ei tehdä 17 laitoksella (89 %) ja useimmilla se ei nykyisellään välttämätöntä olekaan. Viidellä laitoksella – Lappeenrannan Hanhikempissä, Juvalla, Sysmässä, Evijärvellä ja Simossa – humuksen saostaminen raakavedestä olisi ainakin ajoittain tarpeellista. Näiden laitosten raakavesi on hyvin humuspitoista ja neljällä viimeksi mainitulla laitoksella veden viipymä maaperässä on vain noin 7 d, joten maaperän puhdistuskyky ei ole riittävä. Orgaaninen aines vedessä edistää mikrobien kasvua ja saattaa aiheuttaa bakteerien esiintymistä vesijohdovedessä. Hanhikempissä esikäsitelyn tarpeellisuutta lisää kesäisin runsas sinileväkintojen esiintyminen.

Imeytetyn veden määrä on 150 – 23 000 $\text{m}^3 \text{d}^{-1}$ ja vedenoton määrä 180 – 26 000 $\text{m}^3 \text{d}^{-1}$. Hydraulinen pintakuorma on mitattu tai arvioitu kahdeksalla laitoksella ja se on 0,03 – 0,12 m h^{-1} . Etäisyys altaan pohjalta pohjavedenpintaan on 1 – 45 m. Hatvan ym. (1978) mukaan etäisyyden tulisi olla vähintään 5 m, jotta vesi puhdistuisi riittävästi ennen sekoittumista luonnolliseen pohjaveteen. Kymmenellä laitoksella

(53 %) ainesta on enemmän kuin 5 m. Etäisyys imeytysalueelta vedenottamolle on 30 – 2 600 m. Ristola (1965) ja Vanhala (1967) esittävät, että tekopohjaveden virtausmatka maaperässä on oltava vähintään 200 m. Tämän suosituksen mukainen riittävän suuri etäisyys imeytysalueelta kaivoille on 15 laitoksella (79 %). Veden viipymä maaperässä on 7 – 80 d. Rönkän ym. (1977) ja Hatvan ym. (1978) mukaan viipymän tulisi olla 60 – 90 d. Edellä mainitun suosituksen täyttävät ainoastaan kaksi laitosta (10 %) – Iisalmi ja Hyvinkää. Seitsemällä laitoksella (37 %) viipymä on 20 – 50 d ja kahdeksalla laitoksella (42 %) suunnilleen 7 d. Kahdella laitoksella viipymää ei ole mitattu tai arvioitu.

Pohjavesialueen antoisuus kasvaa rantaimetytymisen kautta kymmenellä laitoksella (53 %). Osalla laitoksista rantaimetytymisen hyödyntäminen on täysin suunnittelema- tonta, joillakin jopa pyritään estämään rantaimetytymisen pintaveden huonon laadun vuoksi. Kolmella laitoksella rantaimetytymisen on hyvin vähäistä, koska lajittuneen aineksen pinnalle on kerrostunut vettä läpäisemätön liejukerros. Merkittävästi rantai- meytyminen vaikuttaa pohjavesialueen antoisuuteen Lappeenrannan Huhtiniemessä, Mikkelissä, Porvoossa, Nokialla ja Eurassa. Lappeenrannassa pohjavesialueen antoi- suus on kasvanut rantaimetytymisen seurauksena $500 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$:sta määrään $3\,500 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, Mikkelissä vastaavat luvut ovat $5\,000$ ja $15\,000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, Porvoossa $3\,400$ ja $5\,100 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, Nokialla $1\,000$ ja $4\,000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ ja Eurassa 500 ja $5\,000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Teko- pohjaveden imeytys vähentää rantaimetytymistä, koska pohjavedenpinta muodostu- massa nousee imeytyksen seurauksena vähintään 1 – 2 m.

Kyselyn yhteydessä pyrittiin selvittämään, mitkä ovat tekopohjaveden ja luonnollisen pohjaveden prosenttiosuudet laitoksen tuottamassa vedessä. Vastauksista kävi ilmi, että arviointia pidettiin vaikeana, joten luvut eivät ole ehdottoman luotettavia. Toisaalta lähtökohtana pidettiin sitä, että laitoksen henkilökunnan esittämä arvio on luotettavin arvio, koska tarkkoja mittaustuloksia ei voida saada. Prosenttiosuuksien arvioimista vaikeuttavat pohjavesivaraston lisääntyminen rantaimetytymisen kautta ja tekopohjave- den imeyttämisen vaikutus rantaimetytymisen määrään. Tekopohjaveden osuus vedenottamon vedestä on 15 – 90 %. Puumalassa ja Evijärvellä imeytys on satunnais- ta, joten tekopohjaveden osuutta on vaikea arvioida, mutta molemmilla laitoksilla se jää alle 10 %:n. Alhaisin tekopohjaveden osuus eli 15 % on Mikkelin laitoksella, missä pohjavesialueen antoisuutta nostaa merkittävästi rantaimetytymisen. Suurin tekopohjaveden osuus eli 90 % on Porin laitoksella, missä maaperään imeyttämistä käytetään lähinnä veden laadun tasaamiseen ja viimeistelemiseen.

Veden puhdistumista maaperässä ei saatujen analyysitulosten perusteella pystytä seuraamaan luotettavasti, koska kuten raakavetenä käytettävää järvivettä myös kaivovettä analysoidaan puutteellisesti. Usein näyte otetaan laitokselta lähtevästä vedestä, joka on jälkikäsitelty, tai ainoastaan vesijohtovedestä. Niillä laitoksilla, joilla analysoidaan kaivovettä, ei sitä välttämättä tehdä säännöllisesti. Joillakin laitoksilla tehdään pelkästään mikrobiologinen tutkimus. Kaivoveden KMnO_4 -lukua ja värilukua voidaan pitää eräänlaisena veden puhdistumisen mittarina. Seitsemällä laitoksella (37 %) – Lappeenrannan Hanhikempissä, Mikkelissä, Nokialla, Juvalla, Evijärvellä, Kontiolahdella ja Simossa – kaivoveden KMnO_4 -luku on ajoittain yli 10 mg l^{-1} , mikä viittaa siihen, että vesi ei puhdistu riittävästi imeytyksen aikana. 11 laitoksella (58 %) vesi puhdistuu maaperässä hyvin; KMnO_4 -luku laskee imeytyksen aikana keskimäärin arvosta 20 mg l^{-1} arvoon 5 mg l^{-1} eli reduktio on vähintään 75 %.

Sähkönjohtavuus kasvaa imeytyksen aikana vähintään seitsemällä laitoksella (37 %) yli arvon 15 mS m^{-1} . Maksimiarvo (noin 30 mS m^{-1}) on analysoitu Lappeenrannan

Hanhikempin ja Nokian laitosten vesistä. Hälyttävän suuria arvoja ei kuitenkaan esiinny. Sähkönjohtavuuden kohoamiseen vaikuttavat mm. mineraaliaineksesta liuenneet ionit, maa-aineksen otto ja teiden suolaus.

Yleisimmät veden laatuun liittyvät ongelmat ovat kaivoveden alhainen pH ja suuri rautapitoisuus. Alhainen pH johtuu siitä, että Suomessa luonnollinen pohjavesi yleensäkin on hapanta ja sisältää vapaata hiilihappoa. Rautaa joutuu pohjaveteen esim. kiillegneissien ja -liuskeiden kemiallisen rapautumisen tuloksena. Sopivissa hapetus-pelkistys-olosuhteissa (E_h -potentiaali laskee alle +230 mV) veteen liunneen raudan pitoisuus alkaa kohota. Pelkistävät olosuhteet syntyvät, kun lajittuneen aineksen päällä on vettä läpäisemätön kerros, esim. savea. Liian suuri rautapitoisuus ja alhainen pH ovat yleisiä ongelmia pohjavedenottamoilla Suomessa, eikä niitä voida pitää tekopohjavesilaitosten erityisongelmina. Siitä huolimatta juuri nämä kaivoveden ominaisuudet edellyttävät jälkikäsitteilyä myös tekopohjavesilaitoksilla.

Jälkikäsitteily kaivovedelle tehdään 13 laitoksella (68 %). Yleisimpiä menetelmiä ovat **alkalointi** joko natriumhydroksidilla (kuudella laitoksella) tai kalkilla (seitsemällä laitoksella) sekä **desinfiointi** kloorilla viidellä laitoksella (26 %). Raudanpoisto **ilmas-tuksen** avulla tehdään kahdella laitoksella (10 %) ja yhdellä laitoksella (5 %) käytetään **hidassuodatusta**. Lisäksi Kontiolahden laitoksella käytetään jälkikäsitteilyssä **magnomassasuodatinta**, jossa veden pH nousee ja Iisalmen laitoksella käytetään **kaliumpermanganaattia hapetuskemikaalina raudan ja mangaanin poistossa**. Viidellä laitoksella jälkikäsitteilyn laajentamista voitaisiin harkita veden laadun parantamiseksi: Nokiassa, Eurassa, Juvalla ja Evijärvellä raudanpoistoa sekä Sysmässä ja Evijärvellä desinfiointia. Lisäksi kolmella laitoksella – Eurassa, Juvalla ja Evijärvellä – tulisi tehostaa kaivoveden humuspitoisuuden tarkkailua mahdollisen lisäkäsitteilytarpeen selvittämiseksi. Edellä mainituilla toimenpiteillä saataisiin laitosten vesi jatkuvasti talousveden laatuvaatimukset ja -tavoitteet täyttäväksi.

Ilman esi- ja jälkikäsitteilyä tekopohjavettä muodostetaan viidellä laitoksella (26 %): Kouvolassa, Lappeenrannan Hanhikempissä, Kittilässä, Puumalassa ja Simossa. Miltei jokaisella näistä laitoksista on jonkinasteinen vedenlaatuongelma. Kouvolassa pH on alhainen ja fluoridipitoisuus liian suuri, Hanhikempissä on esiintynyt ajoittain sinilevätoksiineja, Puumalassa on pH alhainen ja Simossa ovat humus- ja nitraattityppi-pitoisuudet ja rautapitoisuus liian suuria sekä pH alhainen.

Taulukko 18. Jatkuvan valvonnan alaisen vesijohtoveden vähimmäistutkimustiheydet (lääkintöhallituksen yleiskirje nro 1977, 1990).

Kuluttajien määrä vedenjakoalueella	Näytteenottokertoja vuodessa *		Näytteenotto- pisteitä/kerta
	M	F	
alle 1 000	8	4	2
1 000 – 4 000	12	6	3
4 000 – 30 000	16	8	4
yli 30 000	24	12	6

* = tasaisin väliajoin

M = mikrobiologisia tutkimuksia varten

F = fysikaalis-kemiallisia tutkimuksia varten

Kuten veden laatua käsiteltäessä mainittiin, on laitosten oma tarkkailu puutteellista. Veden analysointia – järviveden, kaivoveden tai jälkikäsitellyn veden – tulisi lisätä 14 laitoksella (74 %). Vettä tulee analysoida käsittelyn eri vaiheissa säännöllisesti vähintään neljä kertaa vuodessa, joka vuosi samana ajankohtana (taulukko 18).

Laitoksen toimivuutta heikentävistä ongelmista yleisimmät ovat humuspitoinen raakavesi ja liian lyhyt viipymä. Raakaveden humuspitoisuus heikentää laitokselta lähtevän veden laatua kuudella laitoksella (32 %): Lappeenrannan Hanhikempissä, Juvalla, Sysmässä, Evijärvellä, Kontiolahdella ja Simossa. Lyhyehkö viipymä heikentää veden laatua kahdeksalla laitoksella (42 %): Mikkelissä, Eurassa, Juvalla, Kittilässä, Sysmässä, Evijärvellä, Kontiolahdella sekä Simossa. Joillakin laitoksilla osa imeytetystä vedestä virtaa hävikkinä pintavesistöön, esim. Tuusulassa ja Juvalla. Aineksen huonon vedenläpäisevyyden vuoksi imeytysaluetta on jouduttu siirtämään Kouvolassa ja Evijärvellä. Hyvinkäällä imeytysmääriä ei nykyisistä arvoista voida merkittävästi nostaa, koska imeytyminen on huonon vedenläpäisevyyden vuoksi liian hidasta. Iisalmen laitoksella veden laatua huonontaa Kyllikinrannan ottamon luonnollisen pohjaveden suuret rauta- mangaanipitoisuudet (Fe 0,4 – 0,7 mg l⁻¹, Mn 0,5 – 1,5 mg l⁻¹). Porvoon laitoksella erityisongelmana on raakaveden riittämättömyys kuivina aikoina. Porin laitokselta lähtevä vesi on monien käsittelyvaiheiden jälkeen lämmintä (maksimiarvo +19,6 °C). Korkea lämpötila saattaa edistää bakteerien kasvua putkistoissa.

Kallioperän ja muodostuman mineraaliaineksen koostumuksen havaittiin vaikuttavan tekopohjaveden laatuun ainoastaan rapakivialueella. Vuosina 1988 – 1989 oli Kouvolan Haukkajärven laitoksen kaivoveden fluoridipitoisuus 1,9 – 2,0 mg l⁻¹ (raja-arvo 1,5 mg l⁻¹). Simosen (1987) mukaan viborgiitissa, joka on Kaakkois-Suomen rapakivimassiivin yleisin kivilaji (76,2 %), on hivenalkuaineista erityisesti fluoria runsaammin kuin graniittisissa kivissä yleensä. Lappeenrannan laitoksilla fluoridipitoisuus ei ole yhtä suuri kuin Kouvolassa. Huhtiniemen laitoksella fluoridipitoisuus oli edellä mainittuina vuosina 0,20 – 0,23 mg l⁻¹ ja Hanhikemпин laitoksella 0,67 – 1,01 mg l⁻¹. Selityksenä on Lappeenrannan sijainti aivan rapakivimassiivin pohjoisreunalla. Aines muodostumaan on kulkeutunut luoteesta, missä kivilaji on kiillegneissia. Lappeenrannan Hanhikempissä kalkkikivilouhos vaikuttaa myös laitoksen veden laatuun. Kalkki on helposti liukeneva mineraali, jonka kulkeutuminen harjun ainekseen on nostanut kovuuden kaivovedessä välille 9,5 – 10,1 °dH.

Vesilaitostilastojen mukaan vuonna 1989 kaikkien vesilaitosten jakama kokonaisvesimäärä oli 1 151 274 m³ d⁻¹, josta pohjavedenottamot tuottivat 598 600 m³ d⁻¹ eli noin 52 %. Tämä osuus sisältää myös tekopohjavesilaitosten tuottaman vesimäärän 87 509 m³ d⁻¹, joka on noin 8 % kaikkien vesilaitosten vesimäärästä. Vuonna 1990 vesilaitosten jakama kokonaisvesimäärä oli 1 189 742 m³ d⁻¹, josta pohjavedenottamot tuottivat 638 890 m³ d⁻¹ eli noin 54 %. Mikäli kaikki suunnitteilla olevat tekopohjavesilaitokset aloittavat toimintansa ja tällä hetkellä toiminnassa olevat laitokset jatkavat nykyisellä kapasiteetilla, tulee tekopohjavesilaitosten jakama vesimäärä kasvamaan lähivuosina määrään 114 500 m³ d⁻¹. Tällöin tekopohjaveden osuus kokonaisvesimäärästä tulee olemaan 9 – 10 %.

14 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tekopohjaveden muodostaminen pintavettä imeyttämällä on käyttökelpoinen menetelmä pohjavesivarojen lisäämiseksi, mikäli täytetään seuraavat ehdot:

1. Muodostuman aineksen tulee olla koostumukseltaan keskikarkeaa hiekkaa – hienoa soraa eli raekoot 0,2 – 6,0 mm. Suomen nykyisillä laitoksilla aines on koostumukseltaan sopivaa. Joillakin laitoksilla aines saattaa paikoitellen olla liian karkeata tai hienorakeista, mutta pääosa aineksesta on suositusten mukaista.

2. Maa-aineksen maksimikerrospaksuus muodostumassa tulee olla vähintään 15 m, mieluummin yli 20 m. Suomen laitoksilla muodostumassa on ainesta alle 20 m kymmenellä laitoksella ja yli 20 m yhdeksällä laitoksella. Niillä viidellä laitoksella, joilla muodostuman paksuus on alle 10 m, on selvästi havaittavissa, että maaperän puhdistuskyky ei ole riittävä. Alueella, missä kerrospaksuus on alle 10 m, ei tulisi luottaa veden puhdistumiseen pelkän imeytyksen avulla, vaan sen lisäksi tulisi käyttää esi- tai jälkikäsittelyä tai molempia.

3. Veden viipymän maaperässä tulee olla vähintään 45 – 60 d. Ainoastaan kahdella laitoksella viipymä on 60 – 90 d. Seitsemällä laitoksella viipymä on 20 – 50 d. Huolellisen tarkkailun ja mahdollisten lisäkäsittelyjen avulla voidaan 30 d:n viipymällä saada käyttökelpoista talousvettä. Täten voidaan sanoa, että yhdeksällä laitoksella (noin 50 %) on viipymä muut käsittelyvaiheet huomioonottaen riittävä. Tosin esitetyt viipymät ovat useimmilla laitoksilla pelkkiä arvioita, joten luvut ovat jossain määrin epäluotettavia. Ongelmallisia ovat laitokset, jotka on jouduttu sijoittamaan pinta-alaltaan ja paksuudeltaan niin suppealle muodostumalle, että viipymä on suuruusluokkaa 7 d. Näillä laitoksilla esi- tai jälkikäsittely tai molemmat olisivat välttämättömiä, etenkin jos raakavesi on humuspitoista.

4. Raakavedelle on vaikea antaa tiukkoja ohjeita, koska veden puhdistumiseen vaikuttavat monet tekijät. Suositeltava raakaveden KMnO_4 -luku on 20 – 40 mg l⁻¹. Yleisesti Suomen tekopohjavesilaitoksilla käytetään joko hyvää tai tyydyttävää raakavettä (Vesilaitosten raakaveden laatuluokitus, 1984).

5. Imeytystapana allasimeytys on tehokkain. Altaat tulee puhdistaa ja vaihtaa niiden pohjalle suodatinhiekkä säännöllisesti, vähintään kaksi kertaa vuodessa. Allasimeytys on Suomen laitoksilla toiminut hyvin. Sadetus ei ole yhtä tehokas menetelmä, ja lievänä ongelmana esiintyy imeytysalueen liettymistä.

6. Tekopohjaveden imeyttämisen ympäristövaikutuksia tulee seurata, etenkin toiminnan alkuvaiheessa. Merkittäviä haitallisia ympäristövaikutuksia ei Suomessa ole esiintynyt. Ajoittain saattaa imeytysvesi valua pintavaluntana vesistöön tai imeytysalueen lähiympäristöön, mikäli aineksen vedenläpäisevyys ei ole riittävän suuri imeytettävään vesimäärään verrattuna.

Suomen tekopohjavesilaitosten toimivuutta voidaan parantaa lähinnä lisäämällä laitoksen omaa tarkkailua eli veden laadun seurantaa. Joissakin tapauksissa tekopohjaveden imeytys yksinään ei riitä, vaan sitä on pidettävä osana veden käsittelyä. Pintavedet saattavat olla humuspitoisia tai runsaasti bakteereja tai muita haitta-aineita sisältäviä. Niillä imeytysalueilla, missä viipymän lisääminen eli imeytysmatkan kasvattaminen on mahdollista, voidaan veden laatua pyrkiä parantamaan uusilla

imeytysjärjestelyillä. Esimerkkinä mainittakoon uuden imeytysaltaan rakentaminen Simon Tikkasenkankaalle.

Mikäli luonnollisen pohjaveden osuus laitoksen tuottamasta vedestä on merkittävästi imeytetyn tekopohjaveden osuutta suurempi, voidaan raakavedelle asettaa hieman lievemmat laatuvaatimukset joidenkin laatumuuttujien suhteen, koska imeytetyn veden sekoittuminen pohjaveteen laimentaa pitoisuuksia. Imeytettävä vesi ei kuitenkaan saa aiheuttaa luonnollisen pohjaveden pilaantumista tai laadun merkittävää huonontumista. Suomessa ei ole havaittu raakaveden sisältävän raskasmetalleja, synteettisiä orgaanisia yhdisteitä ym. haitallisia kemikaaleja, jotka Keski-Euroopan tekopohjavesilaitoksilla heikentävät merkittävästi raakavetenä käytettävien pintavesien laatua.

KIRJALLISUUS

- Aura, O. 1968.** Hanhikemпин tekopohjavesilaitos. Eripainos Vesitalous 5/1968. 4 s.
- Baliga, K.Y., O'Connor, J.T. 1971.** Biologically mediated chemical changes in the filtration of aerated waters. *Journal of American Water Works Association* 63, 5. p. 292 – 297.
- Blazejewski, M. 1982.** Gas content in the ground during artificial recharge of groundwater. In: *Bulletin of the German Association for Water Resources and Land Improvement (DVWK); No. 14. International Symposium on Artificial Groundwater Recharge 14.–18.5.1979, Dortmund.* p. 59 – 70.
- Brauch, H-J., Kühn, W. 1986.** Behaviour of organic micropollutants during river bank filtration and drinking water treatment. In: *Water Pollution Research Report 3: Behaviour and Transformation of organic pollutants in groundwater treatment. Proceedings of a Workshop organised by Commission of the European Communities, 16.–17.10.1986, Greece.* p. 13 – 32.
- Britschgi, R., Hatva, T. & Suomela, T. (toim.). 1991.** Pohjavesialueiden kartoitus- ja luokitusohjeet. *Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja – sarja B 7.* Helsinki. 60 s.
- Chang, A.C., Page, A.L. 1985.** Soil Deposition of Trace Metals during Groundwater Recharge Using Surface Spreading. In: *Asano, T. (ed.). Artificial Recharge of Groundwater.* Boston. p. 609 – 626.
- Constantz, J., Herkelrath, W.N. 1988.** Field measurements of the influence of entrapped air upon ponded infiltration rates. In: *Fok, Yu-Si (ed.). Infiltration Principles and Practices. Post-Conference Proceedings of the Infiltration Development and Application.* Honolulu, Hawaii. p. 398 – 407.
- Crites, R.W. 1985.** Micropollutant Removal in Rapid Infiltration. In: *Asano, T. (ed.). Artificial Recharge of Groundwater.* Boston. p. 579 – 608.
- Frank, W.H. 1982.** Historical development and present state of artificial groundwater recharge in the Federal Republic of Germany. In: *Bulletin of the German Association for Water Resources and Land Improvement (DVWK); No. 11. International Symposium on Artificial Groundwater Recharge 14.–18.5.1979, Dortmund.* p. 13 – 41.
- Frankenberger, W.T. 1988.** Biological influence of saturated hydraulic conductivity of soils. In: *Fok, Yu-Si (ed.). Infiltration Principles and Practices. Post-conference Proceedings of the Infiltration Development and Application.* Honolulu, Hawaii. p. 539 – 552.
- Geotek Oy. 12.12.1969.** Harjakankaan tekopohjavesiselvitykset: Seisminen luotaus. Porin kaupungin vesilaitos. Nro 6040. Julkaisematon. 2 s.
- Gerba, C.P., Goyal, S.M. 1985.** Pathogen Removal from Wastewater during Groundwater Recharge. In: *Asano, T. (ed.). Artificial Recharge of Groundwater.* Boston. p. 283 – 317.

- Haberer, K. 1982.** Special problems in infiltration water pretreatment on the Rhine river. *In:* Bulletin of the German Association for Water Resources and Land Improvement (DVWK); No. 12. International Symposium on Artificial Groundwater Recharge 14.–18.5.1979, Dortmund. p. 179 – 192.
- Hatva, T., Niemistö, L. & Seppänen, H. 1974.** Tekopohjaveden laadun kehitys – perusselvitys. Vesihallitus, teknillinen tutkimustoimisto. Julkaisematon. 72 s.
- Hatva, T. 1975.** Porvoon kaupungin Linnanmäen pohjavesiesiintymän alueella suoritettut pohja- ja tekopohjavesitutkimukset. INSKO 125–75 XV. Helsinki. 18 s.
- Hatva, T., Ärölä, T., Björkell, K-G., Pääkkönen, J. & Efraimsson, J. 1978.** Pohjaveden käsittely ja tekopohjaveden muodostaminen maaperää hyväksi käyttäen. YVY-julkaisu 34 b. Helsinki. 62 s.
- Hatva, T. 1985.** Pohjaveden hyödyntämiseen liittyvät ympäristövaikutukset. INSKO 123–85 II. Helsinki. 11 s.
- Himberg, K., Keijola, A-M., Hiisvirta, L., Pyysalo, H. & Sivonen, K. 1989.** The effect of water treatment processes on the removal of hepatotoxins from *Microcystis* and *Oscillatoria* cyanobacteria: a laboratory study. *Water Research*, Vol.23, No.8, 1989. Great Britain. p. 979 – 984.
- Hrubec, J. 1982.** Pilot plant study of artificial recharge of pretreated water from river Rhine in the Veluwe Area. *In:* Bulletin of the German Association for Water Resources and Land Improvement (DVWK); No. 14. International Symposium on Artificial Groundwater Recharge 14.–18.5.1979, Dortmund. p. 155 – 174.
- Hrubec, J., den Boer, A.C., van der Heuvel, M.P.M., van Keulen, C. 1986.** Behaviour of halogenated organic compounds during groundwater recharge. Influence of soil composition and temperature. *In:* Water Pollution Research Report 3: Behaviour and Transformation of organic pollutants in groundwater treatment. Proceedings of a Workshop organised by Commission of the European Communities, 16.–17.10.1986, Greece. p. 140 – 147.
- Huisman, L. & Olsthoorn, T.N. 1983.** Artificial Groundwater Recharge. Boston. 320 p.
- Huppmann, O., Kohm, J. 1982.** Field research on the infiltration of surface water into groundwater. *In:* Bulletin of the German Association for Water Resources and Land Improvement (DVWK); No. 12. International Symposium on Artificial Groundwater Recharge 14.–18.5.1979, Dortmund. p. 105 – 122.
- Härme, M. 1978.** Suomen geologinen kartta 1 : 100 000. Lehdet 2043 ja 2044. Keravan ja Riihimäen kartta-alueiden kallioperä. Geologinen tutkimuslaitos. Espoo. 51 s.
- Iihola, H. 1975.** Tekopohjavesitutkimukset. INSKO 125–75 IXb. Helsinki. 35 s.
- Iihola, H. 1980.** Energian varastointi pohjaveteen. Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto. Oy Vesi-Hydro Ab. Helsinki. 91 s.
- Kainuun vesi- ja ympäristöpiiri. 31.1.1991.** Mustikkamäen pohjavesiselvitykset 1986 –1990, Kajaani. Tutkimusselostus; tnro 914 Kavy 4:3. Julkaisematon. 15 s.

- Kajosaari, E., Rantala, M. 1973.** Hämeenlinnan kaupungin tekopohjavesilaitos. Suomen Kunnallislehti 1/1973. s. 25 – 27.
- Kalliokoski, P., Vartiainen, T., Liimatainen, A., Keränen, P. & Kauranen, P. 1986.** The mutagenicity of artificial recharged groundwater based on humusrich lake water. In: Water Pollution Research Report 3: Behaviour and Transformation of organic pollutants in groundwater treatment. Proceedings of a Workshop organised by Commission of the European Communities, 16.–17.10.1986, Greece. p. 150 – 154.
- Kauppi, L., Sandman, O., Knuuttila, S., Eskonen, K., Liehu, A., Luokkanen, S. & Niemi, M. 1990.** Maankäytön merkitys vesien käytölle haitallisten sinileväkukintojen esiintymisessä. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja- sarja A, nro 48. Helsinki. 55 s.
- Kaupunkiliiton julkaisu B 93. 1982.** Pohjaveden suojele. Helsinki. 93 s.
- Kaupunkiliiton julkaisu B 77. 1983.** Kemikaaliohjeet vesi- ja viemärlaitoksille. Helsinki. 104 s.
- Kaupunkiliiton julkaisu B 192. 1984.** Vesilaitosten raakaveden laatuluokitus. Helsinki. 49 s.
- Kaupunkiliiton julkaisu B 194. 1985.** Vesijohtoveden laadun valvonta. Helsinki. 50 s.
- Keijola, A-M., Himberg, K., Esala, A-L., Sivonen, K., Hiisvirta, L. & Laine, S. 1988.** Sinilevätoksiinien käyttäytyminen vedenkäsittelyssä. Vesitalous 2(1988) XXIX. Espoo. s. 1 – 6.
- Kejonen, A. 1987.** Maaperäkartan 114306 selitys; Kivennäismaalajit. Maanmittaushallitus. Helsinki.
- Koskinen, S. 1975.** Tekopohjavesi ja sen valmistusta haittaava suodatinaineksen tukkeutuminen. Pro gradu-tutkielma, Helsingin yliopisto, Geologian ja paleontologian laitos. 57 s.
- Kowal, A.L. 1982.** Infiltration practices in Poland. In: Bulletin of the German Association for Water Resources and Land Improvement (DVWK); No. 11. International Symposium on Artificial Groundwater Recharge 14.–18.5.1979, Dortmund. p. 87 – 99.
- Lahermo, P. 1975.** Pohjaveden laatu ja siihen vaikuttavat tekijät. INSKO 125–75 VII. Helsinki. 23 s.
- Lahermo, P., Ilmasti, M., Juntunen, R. & Taka, M. 1990.** Suomen geokemian atlas. Osa 1. Suomen pohjavesien hydrogeokemiallinen kartoitus. Geologian tutkimuskeskus. Espoo. 66 s.
- Lahti, K. 1981.** Suolistoperäisten bakteerien ja virusten aiheuttama pohjavesien pilaantuminen. Vesihallituksen tiedotus 208. Helsinki. 43 s.
- Laitala, M. 1984.** Suomen geologinen kartta 1 : 100 000. Lehdet 3012 ja 3021. Pellingin ja Porvoon kartta-alueiden kallioperä. Geologian tutkimuskeskus. Espoo. 53 s.
- Lehr, J.H. 1964.** Relation of Shape of Artificial Recharge Pits to Infiltration Rate. Journal of American Water Works Association. Jun. 1964. p. 699 – 702.

- Lillja, J.L.W. 1938.** Helsingin kaupungin vesijohtolaitos 1876 – 1936. Helsinki.
- Lindroos, P., Hyyppä, J., Sten, C-G & Tuittila, H. 1983.** Suomen geologinen kartta 1:100 000. Lehdet 1132+1134, Rauma–Kokemäki. Maaperäkarttojen selitykset. Geologinen tutkimuslaitos. Espoo. 71 s.
- Liski, U-M. 1988.** Soranoton vaikutukset pohjaveden laatuun Noormarkun Harjakankaan ja Finpyyn pohjavesialueilla. Pro gradu-tutkielma, Turun yliopisto, Geologian laitos. Julkaisematon. 90 s.
- Lääkintöhallituksen yleiskirje nro 1862:** Talousveden terveydellisen laadun valvonta. 30.1.1985. Helsinki. 16 s.
- Lääkintöhallituksen yleiskirje nro 1977:** Talousveden terveydellisen laadun valvonta. 12.12.1990. Helsinki. 20 s.
- Maa ja Vesi Oy. 20.06.1960a.** Täydentävä pohjavesitutkimus fenolisaastutuksesta. Mikkelin kaupunki. Nro 2165. Julkaisematon. 22 s.
- Maa ja Vesi Oy. 7.12.1960b.** Pohjavesitutkimus kirkonkylää ja asemanseutua varten. Kontiolahden kunta. Nro 2281. Julkaisematon. 21 s.
- Maa ja Vesi Oy. 31.1.1967.** Paraisten Kalkkivuori Osakeyhtiön Hanhikempin ja Salpausselän välisen alueen pohjavesitutkimus. Paraisten Kalkkivuori Osakeyhtiö. Nro 9040. Julkaisematon. 25 s.
- Maa ja Vesi Oy. 31.7.1968.** Pohjavesi- ja tekopohjavesitutkimus Valkealan Utissa. Kouvolan kaupunki. Nro 9105. Julkaisematon. 38 s.
- Maa ja Vesi Oy. 14.2.1972.** Seismiset tutkimukset Teilinummen ja Tönölänmäen alueilla. Tuusulan Seudun Vesilaitos kl. B 3794. Julkaisematon. 5 s.
- Maa ja Vesi Oy. 30.10.1973.** Tekopohjavesitutkimus Jäniksenlinnassa. Tuusulan Seudun Vesilaitos kl. B 4060. Julkaisematon. 17 s.
- Maa ja Vesi Oy. 1.3.1976a.** Lisäkaivon paikan tutkimus Hietakankaalla. Evijärven kunta. FL 50487. Julkaisematon. 13 s.
- Maa ja Vesi Oy. 13.8.1976b.** Kitulanniemen pohjavesitutkimus. Puumalan vesiosuuskunta. R 9225. Julkaisematon. 22 s.
- Maa ja Vesi Oy. 13.1.1977.** Jäniksenlinnan tekopohjavesilaitoksen suoja-alue suunnitelma. Tuusulan Seudun Vesilaitos kl. F 4942. Julkaisematon. 7 s.
- Maa ja Vesi Oy. 17.11.1978.** Jäniksenlinnan tekopohjavesilaitos. Lisätutkimukset Teilinummen imeytysalueella ja suodatinhiekkaselvitykset. Tuusulan Seudun Vesilaitos kl. F 20170. Julkaisematon. 7 s.
- Maa ja Vesi Oy. 21.4.1980a.** Tekopohjavesitutkimus Hietakankaalla. Evijärven kunta. FF 50852. Julkaisematon. 12 s.
- Maa ja Vesi Oy. 16.10.1980b.** Lohiluoman vedenottamo, Lisäkaivon tutkiminen ja

mitoitussuunnitelma. Euran kunta. F 80674. Julkaisematon.

Maa ja Vesi Oy. 20.11.1981. Hikiän tekopohjavesilaitos, pohjavesitilanteen tarkkailuohjelman tarkistus. Hyvinkään kaupunki. F 20640. Julkaisematon. 11 s.

Myllyvirta, M., Tanttu, U. 1991. Jäniksenlinnan vesilaitos – hidassuodatettua tekopohjavettä Keski-Uudellemaalle. Kunnalliselämä 1–1991. Helsinki. s. 47 – 50.

Mälkki, E. 1972. Tekopohjavesimenetelmän soveltamiseen vaikuttavista hydrogeologisista olosuhteista. Rakennusgeologinen yhdistys. Vol.7.N:o 52. Eripainos. 5 s.

Mälkki, E. 1979. Ground–water flow velocity as an indikator of the permeability and internal structure of eskers. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 32. Vesihallitus. Helsinki. 42 s.

Niemi, M., Sipilä, A., Hiisvirta, L., Raunio, V., Seppänen, H. & Knuth, S. 1980. Homeet ja sädesienet vesilaitosten raakavedessä ja vesijohtovedessä. Vesihallituksen tiedotus 192. Helsinki. 75 s.

Paavo Ristola Oy. 24.10.1975. Lohiluoman vedenottamo, Pohjavesitutkimus. Euran kunta. Nro 1086. Julkaisematon. 16 s.

Paavo Ristola Oy. 10.08.1977. Maatilanharjun pohjavesitutkimus. Nokian kaupunki. Nro 1474. Julkaisematon. 10 s.

Paavo Ristola Oy. 21.11.1979. Porvoon kaupunki; Pohjavesitutkimus. Nro 1711. Julkaisematon. 30 s.

Punakivi, K., Lahermo, P., Rainio, H. & Valovirta, V. 1977. Suomen geologinen kartta 1:100 000. Lehdet 3021+3012, Porvoo. Maaperäkartan selitykset. Geologinen tutkimuslaitos. Espoo. 40 s.

Puffelen, van J. 1982. Artificial groundwater recharge in the Netherlands. In: Bulletin of the German Association for Water Resources and Land Improvement (DVWK); No. 11. International Symposium on Artificial Groundwater Recharge 14.–18.5.1979, Dortmund. p. 63 – 86.

Purchas, D.B. 1987. Removal of insoluble particles. In: Lorch, W. (ed.). Handbook of Water Purification (Second Edition). Chichester, West Sussex, England. p. 173 – 225.

Pätsch, B., Schmidt, W.D. 1982. Algae in water catchment plants – Possibilities to prevent mass developments. In: Bulletin of the German Association for Water Resources and Land Improvement (DVWK); No. 14. International Symposium on Artificial Groundwater Recharge 14.–18.5.1979, Dortmund. p. 31 – 41.

Rainio, H. 1987. Maaperäkartan 311311 selitys; Kivennäismaalajit. Maanmittaushallitus. Helsinki.

Ristola, P. 1965. Tekopohjavesi. Rakennustekniikka 1965:9. s. 579 – 581.

Rönkä, E. 1975. Tekopohjavesilaitokset. INSKO 125–75 IXa. Helsinki. 13 s.

- Rönkä, E., Hatva, T & Iihola, H. 1977.** Tekopohjaveden muodostaminen. YVY-tutkimus 34. Helsinki. 215 s.
- Rönkä, E., Koskinen, S. 1979.** Ensimmäisen vuoden käyttökokemuksia Harjakankaan tekopohjavesilaitoksesta. Vesitalous 1/1979. s. 24 – 31.
- Rönkä, E., Uusinoka, R., Vuorinen, A. 1980.** Geochemistry of groundwater in the Precambrian crystalline bedrock of Finland in relation to the chemical composition of the reservoir rock. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 38. Vesihallitus. Helsinki. s. 41 – 53.
- Saari, V. 1967.** Tekopohjavesilaitos. Vesitalous 3/1967. s. 26 – 29.
- Saarinen, S. 1981.** Jälleenimeytys pohjaveden raudan ja mangaanin poistossa. Vesihallituksen monistesarja 1981:63. Helsinki. 87 s.
- Sauramo, M. 1924.** Suomen geologinen yleiskartta 1:400 000. Lehti B 2, Tampere. Maalajikartan selitys. Suomen geologinen komissioni. Helsinki. 76 s.
- Setälä, A., Assmuth, T. 1990.** Kemikaalien käyttäytymiseen maaperässä vaikuttavat fysikaalis-kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 273. Helsinki. 69 s.
- Simonen, A. 1987.** Suomen geologinen kartta 1:100 000. Kaakkois-Suomen rapakivi-massiivin kartta-alueiden kallioperä. Kallioperäkarttojen selitykset. Geologian tutkimuskeskus. Espoo. 49 s.
- Sivonen, K., Lahti, K. 1987.** Sinilevien esiintyminen ja niiden aiheuttama terveysriski. Ympäristö ja terveys n:o 5/1987, vsk.18. s. 406 – 410.
- Sniegocki, R.T., Brown, R.F. 1970.** Clogging in recharge wells causes and cures. Artificial Ground Water Recharge Conference, University of Reading, England, Sept. 21 – 24, Paper 13, p. 15.
- Stucki, S. 1987.** Ozonation. In: Lorch, W. (ed.). Handbook of Water Purification (Second Edition). Chichester, West Sussex, England. p. 513 – 529.
- Suunnittelukeskus Oy. 9.3.1978a.** Kyllikinranta – Ohenmäki – Nerkoo – harjujakson pohja- ja tekopohjavesivarojen käytön yleissuunnitelma. Iisalmen kaupunki. Nro 4584. Julkaisematon. 28 s.
- Suunnittelukeskus Oy. 8.12.1978b.** Tekopohjavesitutkimus. Iisalmen kaupunki. Nro 5945. Julkaisematon. 3 s.
- Suunnittelukeskus Oy. 11.7.1990.** Jäniksenlinnan vesilaitoksen laajennus. Kaivonpaikkatutkimukset. Tuusulan Seudun Vesilaitos kl. 1113–9736. Väliraportti. 11 s.
- Tanttu, U. 1986.** Hidassuodatus. Vesitalous 6/1986. s. 12 – 16.
- Treweek, G.P., Montgomery, J.M. 1985.** Pretreatment Processes for Groundwater Recharge. In: Asano, T. (ed.). Artificial Recharge of Groundwater. Boston. p. 205 – 248.

- Tynni, R., Härme, M., Valovirta, V. & Hyyppä, J. 1969.** Suomen geologinen kartta 1:100 000. Lehti 2044, Riihimäki. Maaperäkartan selitys. Geologinen tutkimuslaitos. Otaniemi. 95 s.
- Vanhala, R. 1967.** Tekopohjavesi. Eripainos Maalaiskunta-lehdestä n:o 13/1967. Helsinki. s. 8 – 11.
- Vesi-Hydro Oy. 12.5.1970.** Harjakankaan tekopohjavesitutkimus. Porin kaupungin vesilaitos. Nro 5553. Julkaisematon. 36 s.
- Vesi-Hydro Oy. 9.5.1983.** Harjakankaan tekopohjavesilaitos: Imeytysjärjestelyjen laajentamisesta. Porin kaupunki. Nro 10690. Julkaisematon. 5 s.
- Vesi-Hydro Oy. 10.6.1985a.** Haukkajärven tekopohjavesilaitoksen laajentaminen, yleissuunnitelma. Kouvolan kaupunki. Nro 11475. Julkaisematon. 22 s.
- Vesi-Hydro Oy. 6.11.1985b.** Huhtiniemen tekopohjavesilaitos: Maaperän hydraulikka. Lappeenrannan kaupunki. Nro 11529. Julkaisematon.
- Virkkala, K., Härme, M. & Hyyppä, J. 1959.** Suomen geologinen kartta 1 : 100 000. Lehti 2043, Kerava. Maaperäkartan selitys. Geologinen tutkimuslaitos. Helsinki. 99 s.
- Vorma, A. 1965.** Suomen geologinen yleiskartta 1 : 100 000. Lehti 3134, Lappeenranta. Kallioperäkartan selitys. Geologinen tutkimuslaitos. Helsinki. 72 s.
- Weissman, B.J. 1987.** Microfiltration. In: Lorch, W. (ed.). Handbook of Water Purification (Second Edition). Chichester, West Sussex, England. p. 303 – 315.
- Wihuri, H. 1975.** Tekopohjavesilaitosten suunnittelusta. Vesitalous 3(1975)XVI. Helsinki. s. 3 – 6.

PINTAVESIEN RAAKAVESILUOKITUS

LIITE 1/1

Kaupunkiliiton julkaisu B 192:

Vesilaitosten raakaveden laatuluokitus. 1984. s. 4 - 6.

2.2

PINTAVESIEN RAAKAVESILUOKITUS

Luokka	Luokan kuvaus	Muuttujat ja niiden raja-arvot	Raakaveden käsittelytarve
I Erinomainen	Luonnontilainen tai lähes luonnontilainen vesistö tai sen osa. Luokkaan kuuluvat järvet ovat yleensä suurehkoja ja kirkasvetisiä, joissa kesäkerrostuneisuus on säännöllistä. Vesissä ei ole havaittavaa rehevyyttä, savisameutta tai humuspitoisuutta. Vesissä ei esiinny epämiellyttävää hajua tai makua. Vettä voidaan yksityistaloudessa usein käyttää sellaisenaan talousvetenä.	Lämpötila (max.) < 15°C Näkösyvyys > 3,5 m KMnO ₄ -luku < 15 (mg/l KMnO ₄) Veden väriluku < 15 pH 6,5-7,5 Happi, min. > 80 % kyllästysarvosta Happi, max. < 110 % kyllästysarvosta Sameus < 1 FTU Rauta < 200 ug/l Mangaani < 10 ug/l Kok.fosfori < 10 ug/l (P) a-klorofylli < 2 ug/l (kasvukauden keskiarvo) Koliiformiset (35°C) bakteerit satunnaisesti ja silloinkin vain < 10 kpl/100 ml Fekaaliset koliiformiset bakteerit tai fekaaliset streptokokit satunnaisesti ja silloinkin vain 1-2 kpl/100 ml	Kevyt käsittely: - alkalointi + lievä desinfiointi - suodatus + desinfiointi - tekopohjaveden muodostaminen ilman esikäsittelyä - hidassuodatus.
II Hyvä	Luonnontilainen tai lähes luonnontilainen vesistö tai sen osa, jossa rehevyys tai humuspitoisuus aiheuttavat lisävaatimuksia raakaveden käsittelylle. Luokkaan kuuluvat myös ne vesistöt tai vesistöosat, jotka jätevesien, hajakuormituksen tai muun muuttavan toiminnan vuoksi ovat vain lievästi liikaantuneet. Vesissä ei esiinny kuitenkaan epämiellyttävää hajua.	Lämpötila (max.) 15-20°C Näkösyvyys > 2,5 m KMnO ₄ -luku 15-40 (mg/l KMnO ₄) Veden väriluku 15 - 70 Happi, min. > 80 % kyllästysarvosta Happi, max. < 110 % kyllästysarvosta Ammonium < 100 ug/l (NH ₄) Rauta 200-500 ug/l Mangaani 10-30 ug/l Ligniini (NaLS) < 2 mg/l Kok.fosfori 10-25 ug/l (P) a-klorofylli 2-5 ug/l (kasvukauden keskiarvo) Kasviplanktonin biomassa (märkä paino) < 0,5 mg/l (kasvukauden keskiarvo) Koliiformiset (35°C) bakteerit < 50 kpl/100 ml Fekaaliset koliiformiset bakteerit tai fekaaliset streptokokit < 10 kpl/100 ml	Normaali käsittely: - saostus-selkeytys-suodatus-desinfiointi-alkalointi - kontaktisuodatus + desinfiointi - tekopohjaveden muodostaminen ilman esikäsittelyä.

LIITE 1/2

Luokka	Luokan kuvaus	Muuttujat ja niiden raja-arvot	Raakaveden käsittelytarve
III Tyydyttävä	Luonnontilainen tai lähes luonnontilainen vesistö tai sen osa, jossa rehevyys tai humuspitoisuus ovat niin tuntuvia, ettei vedenkäsittely normaalilla tavalla takaa hyvää puhdistustulosta. Luokkaan kuuluvat myös ne vesistöt tai vesistön osat, jotka jätevesien, hajakuormituksen tai muun muuttavan toiminnan vuoksi ovat likaantuneet. Vesissä voidaan ajoittain todeta epämiellyttävää hajua. Vedessä ei esiinny terveydellisiä riskitekijöitä.	Lämpötila (max.) 20-25 °C Näkösyvyys 1,5 - 2,5 m KMnO ₄ -luku 40-80 (mg/l KMnO ₄) Veden väriluku 70-150 Sähkönjohtavuus < 20 mS/m Kloridit < 50 mg/l Sulfaatit < 70 mg/l Happi, min. > 60 % kyllästysarvosta Happi, max. < 125 % kyllästysarvosta Nitriitit < 50 ug/l (NO ₂) Ammonium 100-500 ug/l (NH ₄) Rauta 500-2000 ug/l Mangaani 30-100 ug/l Fenolit < 2 ug/l Ligniini (NaLS) 2-5 mg/l Mineraaliöljyt < 50 ug/l Kok.fosfori 25-50 ug/l (P) a-klorofylli 5-20 ug/l (kasvukauden keskiarvo) Kasviplanktonin biomassa (märkä paino) 0,5-2 mg/l (kasvukauden keskiarvo) "Kokonaispesäkelyku" < 1000 kpl/ml Koliformiset (35 °C) bakteerit 50-100 kpl/100 ml Fekaaliset koliformiset bakteerit tai fekaaliset streptokokit 10-50 kpl/100 ml	- Normaali käsittely + tarvittava lisäkäsittely. - Tekopohjaveden muodostaminen esikäsittelystä vedestä.
IV Huono	Vesistöt tai vesistöosat ovat jätevesien, hajakuormituksen tai muun muuttavan toiminnan vuokuntuvasti likaantuneet. Luokkaan voi kuulua myös luonnostaan erittäin reheviä tai voimakkaasti humuspitoisia vesistöjä tai niiden osia. Vesissä esiintyy usein epämiellyttävää hajua ja saattaa esiintyä terveydellisiä riskitekijöitä.	Lämpötila (max.) 20-25 °C Näkösyvyys 0,5-1,5 m KMnO ₄ -luku 80-120 (mg/l KMnO ₄) Veden väriluku 150-200 Sähkönjohtavuus 20-40 mS/m Kloridit 50-200 mg/l Sulfaatit 70-150 mg/l Happi, min. > 40 % kyllästysarvosta Happi, max. < 150 % kyllästysarvosta Nitraatit < 30 mg/l (NO ₃) Nitriitit 50-100 ug/l (NO ₂) Ammonium 500-2000 ug/l (NH ₄) Rauta 2000-5000 ug/l Mangaani 100-1000 ug/l Fenolit 2-10 ug/l Ligniini (NaLS) 5-10 mg/l Mineraaliöljyt 50-100 ug/l Arseeni < 50 ug/l Elohopea < 2 ug/l Kadmium < 5 ug/l Kromi (VI) < 50 ug/l Lyijy < 50 ug/l Kokonaissyaniidi < 50 ug/l Kok.fosfori 50-100 ug/l (P) a-klorofylli 20-100 ug/l (kasvukauden keskiarvo) Kasviplanktonin biomassa (märkä paino) 2,0-10 mg/l (kasvukauden keskiarvo) "Kokonaispesäkelyku" 1000-10000 kpl/ml Koliformiset (35 °C) bakteerit 100-1000 kpl/100 ml Fekaaliset koliformiset bakteerit tai fekaaliset streptokokit 50-500 kpl/100 ml	- Tehostettu fysikaalinen ja kemiallinen käsittely (lisäkäsittelynä esimerkiksi useampivaiheinen saostus, suodatus, ja pH:n säätö, otsonointi, hiili- tai hidassuodatus, tekopohjaveden muodostaminen).

Luokka	Luokan kuvaus	Muuttujat ja niiden raja-arvot	Raakaveden käsittelytarve
V Sopimaton	Vesistöt tai vesistönsosat ovat jätevesien, hajakuormituksen tai muun muut-tavan toiminnan vuoksi pilaantuneet.	Lämpötila (max.) > 25 ^o C KMnO ₄ -luku > 120 (mg/l KMnO ₄) Veden väriluku > 200 Sähkönjohtavuus > 40 mS/m Kloridit > 200 mg/l Sulfaatit > 150 mg/l Happi, min. < 40 % kyllästysarvosta Happi, max. > 150 % kyllästysarvosta Nitraatit > 30 mg/l (NO ₃) Nitriitit > 100 ug/l (NO ₂) Ammonium > 2000 ug/l (NH ₄ ²) Mangaani > 1000 ug/l Fenolit > 10 ug/l Ligniini (NaLS) > 10 mg/l Mineraaliöljyt > 100 ug/l Arseeni > 50 ug/l Elohopea > 2 ug/l Kadmium > 5 ug/l Kromi (VI) > 50 ug/l Lyijy > 50 ug/l Kokonaissyaniidi > 50 ug/l Kok. fosfori > 100 ug/l (P) a-klorofylli > 100 ug/l (kasvukauden keskiarvo) Kasviplanktonin biomassa (märkä paino) > 10 mg/l (kasvukauden keskiarvo) "Kokonaispesäkeluku" > 10000 kpl/ml Koliformiset (35 ^o C) bakteerit > 1000 kpl/100 ml Fekaaliset koliformiset bakteerit tai fekaaliset streptokokit 500 kpl/100 ml	Ei soveltu raakavedeksi kuin poikkeustapauksissa.

II HYDROGEOLOGISET TIEDOT

9. Akviferityyppi :

harju reunamuodostuma delta muu, mikä :

10. Vallitseva maalaji : _____

11. Maakerrosten paksuus :

< 5 m 5-10 m 10-20 m 20-30 m > 30 m

12. Pohjavedenpinnan nousu imeytyksen vaikutuksesta :

a) imeytysalueella _____ m

b) vedenottamoalueella _____ m

III RAAKAVESITIEDOT

13. Vesistö, josta raakavesi otetaan : _____

14. Vesistön valuma-alueella sijaitsevat voimakkaasti likaavat tekijät (esim. teollisuutta) : _____

15. Raakavesilähteen etäisyys imeytysalueesta : _____ km

16. Esikäsitely ja käytetyt kemikaalit : _____

17. Jälkikäsitely ja käytetyt kemikaalit : _____

18. Raakaveden, käsitellyn veden ja vesijohtoveden laatutiedot vuosilta 1988-1989 liitteenä (ohessa valmiit kaavakkeet) :

kyllä ei

IV IMEYTYSTIEDOT

19. Imeytystapa :
- allasimeytys kaivoimeytys sadetus rantaimeytys
- muu, mikä : _____
20. Jos käytössä on allasimeytys, selvitettävä seuraavat seikat :
- a) Imeytysaltaiden lukumäärä ja yhteenlaskettu kokonaispinta-ala :

- b) Kuinka usein altaat puhdistetaan ja millä menetelmällä :

- c) Altainen suodatinhiekkakerroksen paksuus : _____ m
- d) Altainen pohjan ja pohjavedenpinnan välinen etäisyys :
_____ m
21. Imeytetyn veden määrä (vuosikeskiarvo) : _____ m³/d
22. Hydraulinen pintakuorma : _____ m³/m²/h eli m/h
23. Käyttöön pumpatun tekopohjaveden määrä : _____ m³/d
24. Verkostoon pumpatussa vedessä :
- _____ % tekopohjavettä
- _____ % luonnollista pohjavettä
25. Liittyykö imeytykseen rantaimeytystä : kyllä ei
26. Rantaimetyksessä syntyneen tekopohjaveden osuus laitoksen koko kapasiteetista : _____ %
27. Imeytetyn veden viipymä maaperässä : _____ vrk
28. Vedenottamon etäisyys imeytyspaikasta : _____ m

V MUITA TIETOJA

29. Alueen hydrogeologisista olosuhteista johtuvat erityisongelmat (esim. rautapitoisuus, imeytymatkan riittämättömyys) :

30. Laitoksen toiminnassa ilmenneet tekniset ongelmat (esim. suodattimen tukkeutuminen) sekä niiden ratkaisuehdotukset : _____

31. Liitteenä laitoksen alueelta yleiskartta, johon on merkitty : raakavesilähde, imeytysalue (esim. altaiden sijainti), kaivot, veden käsittelylaitos, pohjavesialueen rajat.

kyllä ei

32. Yhteyshenkilö laitoksella (nimi, osoite, puh.) :

LIITE 3/1

TALOUSVEDEN LAATUTAVOITTEET.

TERVEYDELLE HAITALLISTEN JA KÄYTTÖKELPOISUUTEEN
VAIKUTTAVIEN AINEIDEN ENIMMÄISPITOISUUDET JA RAJAT.

Lääkintöhallituksen yleiskirje nro 1862. 30.1.1985. s. 7 – 9.

Talousveden laatutavoitteet. Käyttökelpoisuuteen vaikuttavien aineiden ja ominaisuuksien enimmäispitoisuudet ja rajat

Aine tai ominaisuus		Enimmäispitoisuus	
		ThL 56 §:n määrittelemä talousvesi	Muu talousvesi
Alumiini	Al mg/l	0,2	1,0
Ammonium	NH ₄ mg/l	0,5	1,5
Kloridi	Cl mg/l	100	400
Kupari	Cu mg/l	0,3	1,0
Mangaani	Mn mg/l	0,1	0,5
Rauta	Fe mg/l	0,3	1,0
Sinkki	Zn mg/l	1,0	3,0
Anioniaktiiviset			
detergentit	mg/l	0,2	1,0
Mineraaliöljyt	mg/l	0,05	0,05
KMnO ₄ -luku	mg/l	15	30
pH		7,0 – 9,0	6,0 – 9,5
Sameus	FTU	1	5
Väri	Pt mg/l	15	30
Haju ja maku		Ei selvää vierasta hajua tai makua	

Eräiden myrkyllisten aineiden suurimmat sallitut pitoisuudet talousvedessä

Aine		Suurin sallittu pitoisuus mg/l
Arseeni	As mg/l	0,05
Elohopea	Hg mg/l	0,002
Kadmium	Cd mg/l	0,005
Kromi (kokonais-Cr tai Cr ⁶⁺)	Cr mg/l	0,05
Lyijy	Pb mg/l	0,05
Syanidi	CN mg/l	0,05

Yleisesti esiintyvien terveydelle haitallisten aineiden suurimmat sallitut pitoisuudet talousvedessä

Aine		Raja-arvot mg/l	
Fluoridi	F mg/l	1,5	3,0
Nitraatti	NO ₃ mg/l	30	50
Nitriitti	NO ₂ mg/l	0,2	1,0

LIITE 4 TALOUSVEDEN TERVEYDELLISET LAATUVAATIMUKSET
JA LAATUTAVOITTEET.

Lääkintöhallituksen yleiskirje nro 1977. 12.12.1990. s. 9 - 11.

Taulukko 3. Talousveden terveydelliset laatuvaatimukset

<u>Muuttuja</u>	<u>Enimmäistiheys 100 ml:ssa</u>
Koliformiset bakteerit	alle 1 (ks. liite 1)
Escherichia coli (alustava tunnistus)	alle 1
	<u>Enimmäispitoisuus, mg/l</u>
Arseeni, As	0,05
Elohopea, Hg	0,001
Kadmium, Cd	0,005
Kromi, Cr	0,05
Lyijy, Pb	0,05
Nikkeli, Ni	0,05
Seleen, Se	0,01
Syanidi, CN	0,05
Fluoridi, F	1,5
Nitraatti, NO ₃	25 (ks. liite 1)
- " -, NO ₃ -N	6,0
Nitriitti, NO ₂	0,1
- " -, NO ₂ -N	0,03
Hiiitetetrakloridi, CCl ₄ *	0,003
Kloorifenolit (summa)*	0,01
Pestisidit	WHO:n voimassa olevat ohjeet

* Kloorifenolien summalla tarkoitetaan tri-, tetra- ja pentakloorifenolien yhteispitoisuutta.

Taulukko 4. Talousveden laatuvaatimukset

<u>Muuttuja</u>	<u>Enimmäistiheys ml:ssa</u>
Heterotrofinen pesäkeluku (20°C, 72h)	alle 100 (ks. huomautus 1)
	<u>Enimmäispitoisuus, mg/l</u>
Aktiivisen kloorin kokonaismäärä, Cl ₂	1,0
Alumiini, Al	0,2
Ammonium, NH ₄	0,5
- " -, NH ₄ -N	0,4
Fosfaatti, PO ₄ -P	0,1
Kloridi, Cl	100
KMnO ₄ -luku	12
COD _{mn} , O ₂	3,0
Kupari, Cu	0,3
Mangaani, Mn	0,1
Mineraaliöljyt	0,05
Natrium, Na	150
Orgaanisen hiilen kokonaismäärä, TOC	3,5
Rauta, Fe	0,2
Sinkki, Zn	3,0
Sulfaatti, SO ₄	100
	<u>Ohjearvo</u>
pH	6,5 - 8,8
Sameus	1,0 FTU
Väiriluku	5
Haju ja maku	Ei vierasta hajua tai makua

Huomautus 1. Vesilaitoksen jakamalle vesijohtovedelle

VEDEN SYÖVYTTÄVYYDEN ARVIOINTI*

Vesijohtoveden syövyttävyyttä arvioitaessa tulisi analyysin käsittää ainakin seuraavat määritykset: pH, kokonaiskovuus, kloridit, sulfaatit, KMnO_4 -kulu-
tus, Al, Fe, Mn ja sähkönjohtavuus. Tutkimuksessa todettiin, että vesijohtovesi on syövyttävää, jos analyysiarvot eivät täytä seuraavia ehtoja:

pH	>8,3
kokonaiskovuus	>3-4 °dH
alkaliniteetti	>0,6 mval/l
kloridit	<50 mg/l
sulfaatit	<100 mg/l
KMnO_4 -kul.	<20 mg/l
Al	<0,3 mg/l
Fe) (Pitoisuuksien tulee täyttää lääkintö-) hallituksen talousvedelle määrittämät Mn) alemmat raja-arvot)

Vaikka kovuus ja alkaliniteetti olisivat suhteellisen korkeat, aiheuttavat pH:n vaihtelut korroosion lisääntymistä.

* Ote Cormet Oy:n tekemästä tutkimuksesta Korroosio vesilaitoksilla, vesijohtoverkossa ja kiinteistöjen käyttövesilaitteissa. SITRA:n julkaisu sarja B N:o 55. Helsinki 1980.

LIITE 6 YLEISKARTAN MERKKIEN SELITYKSET



Pohjavesialueen varsinaisen muodostumisalueen raja



Pohjavesialueiden välinen raja



Pohjavesialueen osa-alueiden välinen raja



Pohjaveden virtaukseen vaikuttava kallio (havaittu tai arvioitu)



Vettä läpäisevä rantaviiva



Pohjaveden huomattava virtaussuunta



Pohjaveden paikallinen virtaussuunta



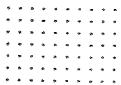
Pohjavedenottamo



Pohjavesikaivo



Tekopohjaveden imeytysalue



Maa-ainestenottoaikka



Pohjavesilammikko



Suoalue

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLINNON JULKAISUJA - sarja A

41. Siuntionjokineuvottelukunta: Siuntionjoen vesistön käytön ja suojelun yleissuunnitelma. Helsinki 1989.
42. Vilhunen, Oili: Hankoa ympäröivän merialueen tila vuosina 1976 - 1986. Helsinki 1989.
43. Vantaanjoen vesistön vesiensuojelun toimenpideohjelma. Helsinki 1990.
44. Jeltsch, Ulrich: Saastuneiden maa-alueiden kunnostus. Helsinki 1990.
45. Avohakkuun ja metsäojituksen vaikutukset purovesien laatuun Nurmes tutkimuksessa. Helsinki 1990.
46. Heikkilä, Raimo: Vaasan läänin uhanalaiset suokasvit. Helsinki 1990.
47. Korkka-Niemi, Kirsti: Tutkimus kaivovesien happamoitumisesta Suomessa. Helsinki 1990.
48. Kauppi, Lea; Sandman, Olavi; Knuutila, Seppo; Eskonen, Kristiina; Liehu, Anita; Luokkanen, Sinikka & Niemi, Maarit: Maankäytön merkitys vesien käytölle haitallisten sinileväkukintojen esiintymisessä. Helsinki 1990.
49. Heikkinen, Kaisa & Visuri, Anna: Orgaanisten aineiden merkityksestä ja pidättymisestä virtaavan veden ekosysteemissä.
Heikkinen, Kaisa & Visuri, Anna: Turvetuotannon typpikuormituksen vaikutuksista virtaavissa vesissä. Helsinki 1990.
50. Pitkänen, Heikki; Kangas, Pentti; Sarkkula, Juha; Lepistö, Liisa; Hällfors, Guy & Kauppila, Pirkko: Veden laatu ja rehevyys Itäisellä Suomenlahdella. Raportti vuosien 1987 - 88 tutkimuksista. Helsinki 1990.
51. Hirvi, Juha-Pekka (toim.): Suomenlahden öljyvahinko 1987. Helsinki 1990.
52. Levinen, Riitta: Puhdistamolietteen viljelykäytön edellytykset. Helsinki 1990.
53. Niemi, Reino A: Makrofytyt vesien tilan seurannassa. Helsinki 1990.
54. Lammassaari, Veikko: Uitto ja sen vesistövaikutukset. Helsinki 1990.
55. Kainuun vesi- ja ympäristöpiirin toiminnan suuntaviivat 1990-luvun alkupuoliskolla. Helsinki 1990.
56. Perälä, Jaakko & Reuna, Marja: Lumen vesiarvojen alueellinen vaihtelu Suomessa. Helsinki 1990.
57. Haja-asutuksen vedenhankinnan kehittäminen. Helsinki 1990.
58. Puustinen, Jukka: Typen merkitys rannikkovesien rehevöitymisessä. Helsinki 1990.
59. Oulun vesi- ja ympäristöpiiri: Pohjois-Pohjanmaan vedet ja ympäristö 1990-luvulla. Helsinki 1990.
60. Saviranta, Leena & Katko, Tapio (toim.): Kansainvälinen vesihuollon vuosikymmen 1981 - 1990 Suomessa. Helsinki 1990.
61. Katko, Tapio (ed.): The international drinking water and sanitation decade 1981 - 1990 in Finland. Helsinki 1990.
62. YV-projekti: Kokemuksia osallistumisesta ja vaikutusten arvioinnista vesiensuojelun suunnittelussa. Helsinki 1990.
63. Antikainen, Sari; Smolander, Ulla & Järvinen, Olli: Näytteenottomenetelmän luotettavuus luonnonvesien raskasmetalliseurannassa. Helsinki 1990.
64. Saarela, Jouko: Kaivosjätteiden geoteknisistä ominaisuuksista ja ympäristövaikutuksista. Helsinki 1990.
65. Turun vesi- ja ympäristöpiiri: Vesien käyttö ja hoito 1990-luvulla Varsinais-Suomi ja Etelä-Satakunta. Helsinki 1990.
66. Mukherjee, Arun B: The use of chlorinated paraffins and their possible effects in the environment. Helsinki 1990.
67. Assmuth, Timo: Kaatopaikkojen ongelmajätteiden ympäristövaikutukset. Riskikaatopaikkatutkimuksen pääraportti. Helsinki 1990.
68. Porvoonjoen kuormitus selvitystyöryhmä; Lehtonen, Eija & Penttilä, Sirpa (toim.): Porvoonjoen kuormitus selvitys. Helsinki 1991.
69. Mikkelin vesi- ja ympäristöpiiri: Mikkelin läänin vesien hoito 1990-luvulla. Helsinki 1991.
70. Louekari, Kimmo; Saarikoski, Heli & Joki-Kokko, Eeva: Kadmium ympäristössä. Helsinki 1991.
71. Kokkolan vesi- ja ympäristöpiiri: Keski-Pohjanmaan vedet ja ympäristö. Helsinki 1991.
72. Freindling, Alexander & Heitto, Lauri: Primary production of inland waters. Helsinki 1991.
73. Pennanen, Jussi: Toutain Kokemäenjoen keskiosan ja Loimijoen järjestelyn vaikutusalueella. Helsinki 1991.

74. Hildén, Mikael; Hakaste, Tapio; Korhonen, Pekka & Rahikainen, Eljas: Kokemäenjoen keskiosan ja Loimijoen kalatalouden intressianalyysi. Helsinki 1991.
75. Ihme, Raimo; Heikkinen, Kaisa & Lakso, Esko: Pintavalutus turvetuotantoalueiden valumavesien puhdistuksessa. Helsinki 1991.
76. Pasanen, Jaana: Öljyisen maan ja jätteen mikrobiologinen puhdistus. Helsinki 1991.
77. Ihme, Raimo; Isotalo, Lauri; Heikkinen Kaisa & Lakso, Esko: Turvesuodatus turvetuotantoalueiden valumavesien puhdistuksessa.
Ihme, Raimo; Heikkinen Kaisa & Lakso, Esko: Laskeutusaltaiden toimivuuden parantaminen turvetuotantoalueiden valumavesien käsittelyssä.
Ihme, Raimo; Heikkinen Kaisa & Lakso, Esko: Turvetuotantoalueiden kuormituksen pidättäminen sarkaojiin. Helsinki 1991.
78. Rantala, Aulis (toim.): Vesistöjen kalkitus happamien sulfaattimaiden vaikutusalueella. Helsinki 1991.
79. Kiiminkijoen vesiensuojelusuunnittelun työryhmä; Hynninen, Pekka (toim.): Kiiminkijoen vesiensuojelusuunnitelma. Helsinki 1991.
80. Keski-Suomen vesi- ja ympäristöpiiri: Keski-Suomen kehittyvät vesivarat. Helsinki 1991.
81. Haapala, Kirsti & Eurén, Maija: Luonnonvesien ja jätevesien kiintoainemäärityksen ongelmista. Helsinki 1991.
82. Laine, Anne & Heikkinen, Kaisa: Turvetuotannon kalastovaikutukset. Helsinki 1991.
83. Vesihuoltolaitokset 31.12.1988 ja 31.12.1989. Helsinki 1992.
84. Sandman, Olavi; Turkia, Jaana & Huttunen, Pertti: Paleolimnologinen tutkimus metsäojituksen ja -lannoituksen vesistövaikutuksista Juupajoen Kalliojärvässä. Helsinki 1992.
85. Helsingin vesi- ja ympäristöpiiri: Uudenmaan ja Etelä-Hämeen vedet. Helsinki 1991.
86. Roila, Tuija: Pienvesien happamoitumisen seuranta vuosina 1979 - 1989.
Roos, Jaana: Puskurikapasiteetin muutokset eräissä pienjärävissä vuosien 1937 - 48 ja 1988 välillä. Helsinki 1992.
87. Ollikainen, Minna: Karjalan Pyhäjärven tila 1980-luvulla sedimentin piilevien ilmentämänä. Helsinki 1992.
88. Lepistö, Liisa: Planktonlevien aiheuttamat haitat. Helsinki 1992.
89. Rantakangas, Jorma: Perkauksen aiheuttaman kiintoainevirtaaman ennakointi. Helsinki 1992.
90. Kaijalainen, Erkki (toim.): Sonkajärven reitin vesien käytön yleissuunnitelma. Helsinki 1992.
91. Salo, Simo: The fate of chemicals spilled on water. A literature review of physical and chemical processes. Helsinki 1992.
92. Mäkirinta, Urho & Tolonen, Pasi: Vaalan Järvikylän järvien kasvillisuus järvien tilan kuvaajana. Helsinki 1992.
93. Mäkirinta, Urho: Muutoksia Alavetelin Isojärven kasvillisuudessa 1973 - 1981. Helsinki 1992.
94. Nakari, Tarja: Porvoon edustan merialueen meriveden vaikutuksista sumpputettujen ja luonnonkalojen elintoimintoihin. Helsinki 1992.
95. Torpström, Heikki & Lappalainen, Matti: Järvien biomanipulaation perusteita ja käytännön mahdollisuuksia. Helsinki 1992.
96. Salonen, Seija; Frisk, Tom; Kämeniemi, Tellervo; Niemi, Jorma; Pitkänen, Heikki; Silvo, Kimmo & Vuoristo, Heidi: Fosfori ja typpi vesien rehevöittäjinä – vaikutusten arviointi. Helsinki 1992
97. Assmuth, Timo; Strandberg, Tapio; Joutti, Anneli & Kalevi, Kirsti: Kemiallisesti saastuneiden maa-alueiden tutkimusmenetelmät. Helsinki 1992.