

YVY

TUTKIMUS 37

Raudan ja mangaanin poisto pohjavedestä jälleenimeytysmenetelmällä

yhdykskuntien vesi- ja ympäristöprojekti

HELSINKI 1977

YVY

477 tutkimus

TUTKIMUS 37

Raudan ja mangaanin poisto pohjavedestä jälleenimeytysmenetelmällä

VESIHALLITUKSEN PROJEKTI N:O 7530

SUUNNITTELUKESKUS OY

TUOMO HATVA
JUHANI EFRAIMSSON

yhdyskuntien vesi- ja ympäristöprojekti

HELSINKI 1977

ISBN 951-9250-88-3
ISSN 0355-1997

KYRIIRI OY
Luotsikatu 4, 00160 H:KI 16
PAINO: 90-630 230
MYynti: 90-440 211/KIRJAKAUPPA
RUNEBERGINK. 14—16
(H:GIN KAUPPAKORKEAKOULU)
00100 Helsinki 10

ESIPUHE

Jälleenimeytysmenetelmään liittyvä tietous perustui ennen tätä tutkimusta pääasiassa käytössä olevilta laitoksilta saatuihin kokemuksiin. Tämän tutkimuksen päätavoitteena on ollut saada kokonaiskäsitys menetelmän käyttömahdollisuuksista erilaisissa hydrogeologisissa oloissa ja laadultaan erilaisissa pohjavesissä sekä saada käytännön suunnittelutöitä palvelevia tietoja laitosten mitoituksesta ja kustannuksista.

Tutkimusten suunnittelun, valvonnan, veden laatututkimukset, pienoismallikokeet ja raportoinnin on rahoittanut vesihallitus (YVY-määräraha). Laitosmittakaavassa tehdyt imeytyskokeet on rahoittanut kenttätutkimusten osalta Iisalmen kaupunki, Kälviän vesiosuuskunta sekä Auran ja Vehkalahden kunnat. Imeytyskokeet on tehty Iisalmessa, Aurassa ja Vehkalahdella pohjavedenottamoiden normaalin käytön yhteydessä, jolloin puhdistettu vesi on pumputtu kulutukseen. Kälviällä jälleenimeytyslaitos rakennettiin imeytyskokeen antamien tulosten perusteella. Laitos otettiin käyttöön keväällä 1977.

Tutkimusten suunnittelusta, valvonnasta, veden laatututkimuksista ja -mittauksista, pienoismallikokeista sekä tämän raportin laadinnasta vastaa Suunnittelukeskus Oy. Laitosmittakaavaisiin tutkimuksiin liittyvät rakennustyöt ja kokeiden valvonta kentällä on tehty kyseisten vesilaitosten toimesta. Suunnittelukeskus Oy:ssä ovat tutkijoina toimeet fil. maist. T. Hatva ja rak.mest. J. Efraimsson sekä asiantuntijana mikrobiologisissa kysymyksissä maat. ja metsät. tri Harri Seppänen.

Tutkimusta on ohjannut ja valvonut seuraava ryhmä:

puheenjohtaja fil. lis. Esa Rönkä, vesihallitus
prof. Eero Kajosaari, Teknillinen korkeakoulu
tekn. lis. Veli-Matti Tiainen, YVY-projekti
dipl.ins. Arto Latvala, vesihallitus

II

Tutkimus alkoi 25.8.1975 ja päättyi 31.3.1977. Tutkimuksen raportti on laadittu 30.6.1977 mennessä ja viimeistelty syksyllä 1977.

Tutkimus vastaa hyvin sille asetettuja tavoitteita. Menetelmän käyttömahdollisuuksiin ja laitosten mitoittamiseen liittyvien tietojen voidaan katsoa lisääntyneen siinä määrin, että edellytykset jälleenimeytysmenetelmän suunnitteluun ja käyttöön ovat ratkaisevasti parantuneet.

Yhdyskuntien vesi- ja ympäristöprojekti

S I S Ä L L Y S L U E T T E L O

ESIPUHE	I
SISÄLLYSLUETTELO	III
TIIVISTELMÄ	VII
ENGLISH SUMMARY	XI
1. JOHDANTO	1
2. POHJAVEDEN RAUTA- JA MANGAANIPITOISUUS SEKÄ SIIHEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	3
2.1 Raudan ja mangaanin esiintymisestä pohjavedessä	3
2.2 Raudan ja mangaanin liukoisuuteen vaikuttavat fy- sikaalis-kemialliset tekijät	4
2.3 Biotoimintojen merkitys raudan ja mangaanin esiintymisessä pohjavedessä	10
2.3.1 Yleistä	10
2.3.2 Biotoiminnat raudan ja mangaanin kierrossa	10
3. RAUDAN JA MANGAANIN POISTO POHJAVEDESTÄ JÄLLEEN- IMEYTYSMENETELMÄLLÄ	17
3.1 Yleistä	17
3.2 Menetelmän toimintaperiaate	17
3.3 Aikaisemmin saadut kokemukset	19
4. TUTKIMUKSET LAITOSMITTAKAAVASSA	21
4.1 Iisalmen kaupungin Peltosalmen pohjaveden- ottamalla tehdyt imeytyskokeet	21
4.1.1 Yleistä	21
4.1.2 Hydrogeologiset olot	22
4.1.3 Aikaisemmin tehdyt tutkimukset ja veden- ottojärjestelyt	22
4.1.4 Imeytyskokeiden suoritus	24
4.1.5 Tutkimustulokset	27
4.1.5.1 Raakaveden laatu	27

4.1.5.2	Raakaveden laadun muuttuminen esikäsitteilyvaiheissa	29
4.1.5.3	Veden laatu imeytysaltaassa ja puhdasvesikaivossa	32
4.1.5.4	Muut imeytyskokeen aikana tehdyt havainnot	33
4.2	Kälviän vesiosuuskunnan Riipan pohjavedenottamon suunnittelua varten tehdyt imeytyskokeet	34
4.2.1	Yleistä	34
4.2.2	Hydrogeologiset olot	35
4.2.3	Aikaisemmin tehdyt tutkimukset	37
4.2.4	Imeytyskokeiden valmistelu ja suoritus	38
4.2.5	Tutkimustulokset	40
4.2.5.1	Raakaveden laatu	40
4.2.5.2	Raakaveden laadun muuttuminen esikäsitteilyssä	43
4.2.5.3	Veden laatu imeytysaltaassa ja puhdasvesikaivossa	46
4.2.5.4	Muut imeytyskokeen aikana tehdyt havainnot	47
4.2.5.5	Raudan ja mangaanin poistokokeet laboratoriossa	50
4.3	Auran kunnan Takaliston pohjavedenottamalla tehdyt imeytyskokeet	52
4.3.1	Yleistä	52
4.3.2	Hydrogeologiset olot	53
4.3.3	Aikaisemmin tehdyt tutkimukset	55
4.3.4	Imeytyskokeiden suoritus	57
4.3.5	Tutkimustulokset	58
4.3.5.1	Raakaveden laatu	58
4.3.5.2	Raakaveden laadun muuttuminen esikäsitteilyssä	60
4.3.5.3	Veden laatu puhdasvesikaivossa	62
4.3.5.4	Muut imeytyskokeen aikana tehdyt havainnot	62

4.4	Vehkalahden kunnan Summan pohjavedenottamolla tehdyt imeytyskokeet	63
4.4.1	Yleistä	63
4.4.2	Hydrogeologiset olot	64
4.4.3	Jälleenimeytyksen tehostaminen	66
4.4.4	Tutkimustulokset	66
4.4.4.1	Raakaveden laatu	66
4.4.4.2	Raakaveden laadun muuttuminen esikäsitellyssä	68
4.4.4.3	Veden laatu vedenottamolla	69
4.4.4.4	Muut imeytyksen aikana tehdyt havainnot	69
5.	PIENOISMALLIKOKEET	70
5.1	Yleistä	70
5.2	Tehdyt tutkimukset ja niiden tulokset	70
5.2.1	Tutkimusten valmistelut	70
5.2.2	Raakavesi	74
5.2.3	Sepelisuodattimen mitoituskoe	75
5.2.4	Sepelisuodattimen materiaalikoe	76
5.2.5	Sepelisuodattimen tukkeutumiskoe	77
5.2.6	Ilmastus-selkeytyskoe	79
5.2.7	Imeytysaltaan tukkeutumiskoe	81
5.2.7.1	Hiekkasuodattimen tukkeutumis- nopeus ja veden laadun muutokset suodattimessa	81
5.2.7.2	Suodatinhiekan rakeisuuden vaiku- tus imeytysaltaan tukkeutumiseen	82
6.	KUSTANNUSVERTAILU	85
6.1	Yleistä	85
6.2	Rakennuskustannukset	85
6.3	Käyttökustannukset	88
7.	TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET	89
7.1	Jälleenimeytysmenetelmän toimintaperiaatteet	89

7.2	Hydrogeologisten olojen ja imeytysjärjestelyiden vaikutus jälleenneimeytysmenetelmän käyttöön	90
7.3	Raakaveden esikäsittelytarve ja -menetelmät	92
7.4	Raakaveden laadunmuutokset jälleenneimeytyksessä	94
7.5	Jälleenneimeytyslaitosten mitoitus ja käyttö	97
7.6	Kustannukset	99
7.7	Jatkotutkimustarve	100

LÄHDEVIIITTEET

101

TIIVISTELMÄ

Jälleenimeytysmenetelmässä poistetaan pohjavedessä oleva rauta ja mangaani maanpinnalta tehtävän imeytyksen avulla. Tällä menetelmällä toimiva laitos käsittää yleensä raakavesikaivon, esikäsitteily-yksikön, imeytysaltaan ja puhtasvesikaivon.

Menetelmää on käytetty Ruotsissa jo useiden vuosien ajan, ja sen erilaisia sovellutuksia oli kokeiltu aikaisemmin myös Suomessa.

Tämän tutkimuksen tavoitteeksi asetettiin mm. seuraavaa:

- menetelmän käyttömahdollisuuksien tutkiminen erilaisissa hydrogeologisissa oloissa ja laadultaan erilaisissa pohjavesissä
- biologisen toiminnan merkityksen selvittäminen raudan ja mangaanin saostumisprosessissa (rauta- ja mangaanibakteerit)
- raakaveden laadussa esikäsitteilyvaiheessa ja imeytyksessä tapahtuvien muutoksien selvittäminen
- erityisesti paljon rautaa ja mangaania sisältävien pohjavesien esikäsitteilymenetelmien tutkiminen
- jälleenimeytykseen perustuvien laitosten mitoitusperusteiden laatiminen (esikäsitteily ja allasimeytys)
- jälleenimeytyslaitosten kustannukset

Tutkimukset aloitettiin laitosmittakaavaisilla imeytyskokeilla, joita tehtiin seuraavissa kohteissa:

- Peltosalmen pohjavedenottamo, Iisalmen kaupungin vesilaitos
- Riipan pohjavedenottamo, Kälviän vesiosuuskunta

VIII

- Takaliston pohjavedenottamo, Auran kunta
- Summan pohjavedenottamo, Vehkalahden kunta

Imeytyskokeet tehtiin talvella 1976. Imeytystehot vaihtelivat 100–1 000 m³/d ja puhdistetun veden pumppausteho 250–1 800 m³/d.

Laitosmittakaavaisissa imeytyskokeissa esille tulleita kysymyksiä tutkittiin kontrolloiduissa oloissa pienoismallin avulla. Pienoismaallikokeet tehtiin Saksaniemen pohjavedenottamolla Porvoon maalaiskunnassa kesällä 1976.

Tässä raportissa on käsitelty tutkimustulosten lisäksi myös pohjaveden rauta- ja mangaanipitoisuuteen vaikuttavia tekijöitä. Eri-tyistä huomiota on kiinnitetty biotoimintojen merkitykseen.

Kenttätutkimuksissa todettiin, että raudan ja mangaanin saostuminen jälleenimeytysprosessissa perustuu biologiseen toimintaan. Rauta ja mangaani saostuvat rauta- ja mangaanibakteerien solutupien pinnalle, missä ympäristö on alkalinen. Biologisen toiminnan ansiosta jälleenimeytysmenetelmällä voidaan poistaa pohjavedestä rauta ja mangaani myös sellaisissa oloissa, jotka edellyttäisivät tavanomaisia menetelmiä käytettäessä täydellistä kemiallista käsittelyä (Riipan pohjavedenottamo, Kälviän vesiosuuskunta).

Laitosmittakaavassa tehdyt kokeet ovat osoittaneet sen, että jälleenimeytysmenetelmää voidaan soveltaa monilla eri tavoin hydrologisten olojen tarjoamien mahdollisuuksien mukaan. Tutkimuskohteet voidaan ryhmitellä paikallisten olojen ja imeytysjärjestelyiden perusteella seuraavasti:

1. Raakavesi tuodaan imeytyspaikalle eri pohjavesiesiintymästä. Imeytysallas voi olla puhtasvesikaivon läheisyydessä tai vedenottamoalueen ulkopuolella. Pohjavesi on käsittelyalueella hyvälaatuista.
2. Raakaveden otto ja imeytys maaperään tehdään saman pohjavesi-

esiintymän alueella. Imeytysallas on puhtasvesikaivon vieressä. Pohjavesi on käsittelyalueella rautapitoista.

3. Raakavesi tuodaan imeytyspaikalle eri pohjavesiesiintymästä. Imeytysallas on puhtasvesikaivon vieressä. Pohjavesi on käsittelyalueella rautapitoista.

Tutkimuksissa ei ollut ryhmään 3 kuuluvaa vedenottamoaa. Olosuhteiden ryhmässä 3 voidaan katsoa olevan jälleenimeytysmenetelmän käytön kannalta kuitenkin paremmat kuin ryhmässä 2. Olosuhteet ovat menetelmän käytön kannalta edullisimmat ryhmässä 1.

Jos raakavedessä on runsaasti rautaa ja mangaania, joudutaan vesi esikäsittelemään ennen imeytysaltaaseen johtamista. Esikäsittelyn avulla pyritään vähentämään veden rauta- ja mangaanipitoisuutta imeytysaltaan tukkeutumisen hidastamiseksi.

Tutkimuskohteissa raakaveden rautapitoisuudet vaihtelivat 1,7–8,9 mg/l ja mangaanipitoisuudet 0,10–0,27 mg/l. Esikäsittelymenetelmänä kokeiltiin sepelisuodatusta, ilmastus-selkeytysportaikkoa ja rinnevalutusta.

Raudan voitiin todeta pidättyvän kaikissa tutkimuskohteissa parhaiten yksinkertaiseen sepelisuodattimeen. Pidättymisprosessi oli oikein mitoitetuissa suodattimissa 50 %. Jos raakaveden rautapitoisuus on korkea tai siinä on mangaania, puhdistustehoa voidaan lisätä rakentamalla sepelisuodattimia kaksi tai useampia peräkkäin.

Rinnevalutusta voidaan saatujen kokemusten perusteella käyttää esikäsittelyyn sopivissa olosuhteissa esimerkiksi harjualueiden reunamilla. Osa vedestä imeytyy maaperään jo rinteellä. Maaperän tukkeutuessa pääosa vedestä kulkeutuu kuitenkin imeytysaltaaseen tai -ojiin.

Imeytysaltaaseen tulevassa vedessä vielä olevat rauta ja mangaani pidättyivät imeytysaltaan suodatinkerroksen pintaan. Imeytysal-

taasta maaperään joutuva vesi oli raudatonta ja mangaanitonta.

Poikkeuksena oli Auran kunnan Takaliston pohjavedenottamo, jossa biologinen toiminta ei lähtenyt käyntiin.

Myös veden muissa laatuominaisuuksissa tapahtui muutoksia. Näistä olivat merkittävimpiä orgaanisen aineksen ja hiilidioksidin pitoisuuden pieneneminen.

Jälleenimeytyslaitokset tulee mitoittaa ja suunnitella siten, että imeytystä voidaan tehdä ilman keskeytyksiä läpi talven eli noin neljän kuukauden ajan. Raportissa on esitetty laitosmittakaavaisien ja pienoismallikokeiden perusteella lasketut kokemusperäiset arvot sepelisuodattimen ja imeytysaltaan mitoitus varten.

Jälleenimeytyslaitosten kustannukset ovat riippuvaisia kohteen olosuhteista. Olosuhteiden ollessa edulliset ovat jälleenimeytysmenetelmällä toimivien laitosten investointikustannukset huomattavasti pienemmät kuin tavanomaisten laitosten.

Alkuperäiset tavoitteet saavutettiin tutkimuksissa hyvin. Menetelmän käyttöön liittyvän tietouden voidaan katsoa lisääntyneen siinä määrin, että edellytykset laitosten suunnitteluun ja käyttöön ovat parantuneet huomattavasti. Kun pohjaveden käsittelykustannuksia saatetaan menetelmän avulla monissa tapauksissa merkittävästi laskea, voidaan myös huonolaatuisia pohjavesiä ottaa käyttöön nykyistä enemmän ja pohjaveden osuutta vedenhankinnoissa lisätä.

SUMMARY

The removal of iron and manganese from the ground water by the re-infiltration method (aeration, clarification and infiltration without any real equipment) is performed by infiltrating the water through the soil. An infiltration plant using this method usually comprises a raw water well, a pre-treatment unit, an infiltration basin and a pure water well.

The method has been applied in Sweden for several years, and various applications of it have also been tried in Finland.

This study had the following aims:

- To investigate the possibilities to use the method in various hydrogeological conditions and in treatment of ground water of differing quality.
- To determine the significance of biological activity in the precipitation process of iron and manganese (iron and manganese bacteria).
- To investigate the changes in the quality of the raw water during the pre-treatment and infiltration.
- To investigate the pre-treatment methods of ground waters with exceptionally high iron and manganese contents.
- To establish dimensioning arguments for plants using re-infiltration (pre-treatment and basin infiltration).
- To estimate the costs of re-infiltration plants.

The investigations were started with infiltration tests at the following water works using ground water:

XII

- Peltosalmi, the Iisalmi City Water Works
- Riippa, the Kälviä Water Works
- Takalisto, the Commune of Aura
- Summa, the Commune of Vehkalahti

The infiltration tests were carried out during the winter 1976. The efficiency of the infiltration process varied between 100 - 1 000 m³/d and the pumping efficiency of the purified water between 250 - 1 800 m³/d.

The questions that arose in connection with these tests were investigated with a pilot plant. They were carried out at the Saksaniemi Water Works in the rural district of Porvoo during the summer 1976.

In addition to the investigation results, this report deals with factors affecting the iron and manganese contents of the ground water. Special attention has been paid to the significance of bio activities.

The field studies showed that the precipitation of iron and manganese in the re-infiltration tests is based on biological activities. Iron and manganese precipitate on the surface of the iron and manganese cell sheaths, where the environment is alkaline. Due to the biological activities, iron and manganese can be removed from the ground water by the re-infiltration method also in conditions where heavy chemical treatment would be required if conventional methods were applied (the Riippa Water Works, the Kälviä Water Works).

The tests that were carried out at the various ground water intakes showed that the re-infiltration method can be applied in many different ways according to the hydrogeological conditions. According to the local circumstances and the infiltration methods employed, the objects of study can be divided in the following three groups:

1. The raw water is transported to the infiltration area from a separate ground water basin. The infiltration basin can be either near a pure water well or outside the water intake area. The ground water within the treatment area is of good quality.
2. Both the intake and infiltration into the soil of the raw water is performed at the same ground water basin. The infiltration basin is next to a pure water well. The ground water within the treatment area contains iron.
3. The raw water is transported to the infiltration area from a separate ground water basin. The infiltration basin is next to a pure water well. The ground water within the treatment area contains iron.

If the iron and manganese contents of the raw water are high, the water must be pre-treated before leading it to the infiltration basin. This procedure slows down the clogging of the basin.

In the performed tests, the iron contents of the raw water varied between 1.7 - 8.9 mg/l and the manganese contents between 0.10 - 0.27 mg/l. Infiltration through crushed stone, cascade aeration and infiltration through a slope were the methods employed in the pre-treatment process.

In all tests iron was most effectively retained with a simple crushed stone filter. 50% of iron could be retained by filters that were correctly dimensioned. If the iron content of the raw water was high or it contained manganese, the purification efficiency could be intensified by constructing two or more crushed stone filters one after the other.

Experience has shown that in favourable conditions, like on the edges of ridge areas, infiltration through a slope can be used in pre-treatment. Part of the water gets absorbed into the soil

already on the slope. If the soil gets clogged, most of the water is still carried to the infiltration basins or ditches.

The iron and manganese that were still left when the water ran into the infiltration basins were retained on the filter layer in the basins. The water that ran to the soil from the basins was free from iron and manganese. The Takalisto Water Works was an exception in this respect, as the biological activity did not get started there.

Certain changes in other qualities of the water could also be observed. The most significant of these was the decline in the content of the organic matter and carbondioxide.

In the dimensioning and planning of re-infiltration plants, attention must be paid to the possibility to carry out the infiltration throughout the winter without interruptions, i.e. during a period of about four months. Experimental values for dimensioning the crushed stone filters and the infiltration basins are given in the report. These values have been calculated on the basis of the tests carried out at the mentioned ground water intakes and the pilot plants.

The costs of the re-infiltration plants depend on the local circumstances. In favourable conditions, the investment costs of a re-infiltration plant are considerably lower than those of a conventional plant.

The original aims of the study were well obtained. The knowledge concerning the use of the method can be considered to have expanded significantly. Due to the possibility of considerable reduces in the costs of treating the ground water in many cases, it has also become possible to make more use of ground water of poor quality, and thus to increase the share of ground water in water supply.

1. JOHDANTO

Pohjaveden paremmuus vedenhankinnassa pintaveteen verrattuna on yleisesti tunnustettu asia. Paitsi sitä että pohjaveden laatu ja lämpötila pysyvät yleensä tasaisina, on maaperän suojaama pohjavesi myös saastumisvaaraa ajatellen huomattavasti edullisemmassa asemassa kuin pintavesi. Siksi pintaveden käyttöä voidaankin pitää oikeana vaihtoehtona vedenhankinnassa vain, jos pohjavettä ei ole riittävästi tai se likaantumisen takia tai luonnostaan on erityisen huonoa.

Useimmiten pohjavesi vaatii käsittelytoimeksi vain alkaloinnin veden syövyttävyyden poistamiseksi. Haitallisen korkea rauta- ja/ tai mangaanipitoisuus voi kuitenkin lisätä käsittelytarvetta.

Käyttövedessä sallittujen aineiden määrä ilmoitetaan yleensä kahdena lukuna. Raudan osalta nämä luvut ovat 0,3 mg/l ja 1 mg/l ja mangaanin 0,1 mg/l ja 0,3 mg/l. Vesi on yleensä hyväksyttävää, jos aineita on vähemmän kuin pienemmän luvun osoittama määrä. Jos aineita on enemmän, kuin ilmoitettu suurempi arvo osoittaa, on veden kelvollisuus vähentynyt huomattavasti. Viimeistään tällöin on ryhdyttävä kaikkiin mahdollisiin toimiin veden laadun parantamiseksi, joskin näihin toimiin on syytä ryhtyä jo silloin, kun pienempi pitoisuus on ylitetty.

Raudan poistaminen tavanomaisia menetelmiä käyttäen on sekä rakentamis- että käyttökustannuksiltaan varsin kallista. Raudanpoistolaitos, joka käsittää ilmastuksen, selkeytyksen, suodatuksen ja kemikaloinnin, vastaa perustamiskustannuksiltaan pintaveden puhdistuslaitosta. Erityisesti pienten laitosten perustamis- ja käyttökustannukset ovat suhteellisen suuria.

Raudan poistoa on pyritty saamaan taloudellisemmaksi ja käytöltään helpommaksi monilla eri menetelmillä. Ruotsissa on kehitetty raskasta käsittelyä korvaamaan niin sanottu jälleenimeytysmenetelmä (återinfiltrationsmethod). Menetelmä on periaatteessa sama kuin ilmastus-hidassuodatusmenetelmä, mutta suodatin on rakennettu maa-

han ja alavesisäiliönä toimii maaperän pohjavesivarasto. Menetelmän erilaisia sovellutuksia on kokeiltu myös Suomessa.

Jälleenimeytysmenetelmän käyttöön liittyvä tietous on perustunut pääasiassa käytössä olevilta laitoksilta saatuihin kokemuksiin. Kokemukset osoittavat, että menetelmän käyttökelpoisuuteen vaikuttavat eniten imeytysalueen hydrogeologiset olot.

Menetelmän käyttömahdollisuuksien selvittämiseksi erilaisissa hydrogeologisissa oloissa ja laadultaan erilaisissa pohjavesissä valittiin neljä tutkimuskohdetta, joissa tehtiin laitosmittakaavaisia imeytyskokeita. Tutkimuksia täydennettiin pienoismallikokeilla.

Laitosmittakaavaiset imeytyskokeet tehtiin Iisalmen kaupungin Peltosalmen, Vehkalahden kunnan Summan ja Auran kunnan Takaliston pohjavedenottamoilla sekä Kälviän vesiosuuskunnan suunnitteilla olleella Riipan pohjavedenottamolla. Pienoismallikokeet tehtiin Porvoon mlk:n Saksaniemen pohjavedenottamolla.

2. POHJAVEDEN RAUTA- JA MANGAANIPITOISUUS SEKÄ SIIHEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

2.1 Raudan ja mangaanin esiintymisestä pohjavedessä

Pohjaveden laatu on riippuvainen monista eri tekijöistä. Näistä voidaan osoittaa viisi pääryhmää, jotka kukin jakautuvat vielä alaryhmiin. Pääryhmät ovat meteorologiset, geologiset, pedologiset, biologiset, mariiniset ja antropogeeniset tekijät /1/.

Raudan ja mangaanin esiintymiseen pohjavedessä vaikuttavat eniten geologiset tekijät /2/. Geologisista tekijöistä on tärkein maaperän geologinen rakenne. Hyvin vettä johtavia maalajeja sisältävillä alueilla, joilla runsaasti happea sisältävät sade- ja sulamisvedet imeytyvät nopeasti pohjavedeksi, on pohjaveteen liuenneen raudan ja mangaanin määrä yleensä pieni. Vettä läpäisemättömien savikerrostumien alla, kuten esimerkiksi harjujen reunamilla ja arteesisissa pohjavesiesiintymissä, pohjavedessä ei yleensä ole happea, jolloin vesi on pelkistynyttä ja sisältää liuennutta rautaa ja mangaania.

Rauta ja mangaani liukenevat pohjaveteen pääasiassa maanpinnalla olevan maannosvyöhykkeen rikastumiskerrokseen pidentyneistä rauta- ja mangaanisostumista. Liukenemista tapahtuu pelkistyneen pohjaveden noustessa kyseiselle tasolle /3/. Pohjaveden pelkistyminen johtuu pohjaveteen joutuneen orgaanisen aineksen hapettumisesta, jolloin veteen liuennut happi kuluu loppuun. Rautaa ja mangaania voi liueta pelkistävässä oloissa pohjaveteen myös helposti rapautuvasta mineraaliaineksesta kuten kiilteistä /1/. Mangaani liukenee ensin ja sitä seuraa rauta /3/.

Jos rikastumiskerroksessa olisi rautaa noin 1 kg/m^2 , joka liukenisi 100 m^3 suuruiseen vesimäärään, olisi veden rautapitoisuus 10 mg/l . Jos pohjavettä muodostuu noin $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2$ vuodessa ja koko raudan liukenemiskausi olisi 100 vuotta, liukenisi muodostuvaan pohjaveteen kyseisellä alueella rautaa 50 mg/l /3/.

Pohjavesiemme rauta- ja mangaanipitoisuudet vaihtelevat suuresti eri esiintymisissä. Suurimmat tavatut rautapitoisuudet ovat olleet suuruusluokkaa 100 mg/l. Tavallisesti rautapitoisuus on alle 5,0 mg/l. Mangaanipitoisuudet ovat huomattavasti pienempiä. Korkeimmat todetut pitoisuudet ovat olleet muutamia milligrammoja litras- sa. Jos mangaania esiintyy pohjavedessä, pitoisuudet ovat tavalli- sesti alle 0,5 mg/l.

2.2 Raudan ja mangaanin liukoisuuteen vaikuttavat fysikaalis-kemialliset tekijät

Rauta esiintyy luonnossa ferro- ja ferrimuodossa. Ferromuodossa esiintyessään rauta on liukoinen veteen. Ferrimuodossa rauta on saostunut hydroksidina. Rauta liukenee veteen etupäässä bikarbo- naattina.



Rauta voi esiintyä pohjavedessä myös liunneena tai kolloidisina kompleksi-ioneina, joita rauta muodostaa sekä epäorgaanisten että orgaanisten aineiden kanssa. Näissä ioneissa rauta esiintyy useimmiten kolmenarvoisena /4/.

Kompleksi-ioneja muodostava orgaaninen aines on humusta, joka koos- tuu monista erilaisista orgaanisista aineista. Tärkeimpiä täl- laisia aineita ovat fulvohappo-, hymatomelaani- ja humiinihapot. Humuksen muodostamat rautakompleksit ovat stabiileja ja väriltään ruskeita yhdisteitä. Epäorgaanisia kompleksiyhdisteitä rauta muodostaa kloridi-, fluoridi-, fosfaatti-, sulfaatti- ja karbonaat- ti-ionien kanssa. Voimakkaimmat kompleksit rauta muodostaa klori- din ja fluoridin kanssa. Kompleksi on sitä voimakkaampi, mitä alhaisempi veden pH-arvo on.

Mangaani voi esiintyä luonnossa neljässä eri hapetusmuodossa, Mn^{2+} , Mn^{3+} , Mn^{4+} ja Mn^{6+} . Mangaani muistuttaa esiintymistavaltaan mo-

nessa suhteessa rautaa. Mangaanin kemialliset ominaisuudet ovat kuitenkin erilaiset kuin raudan ja sitä on huomattavasti vaikeampi poistaa vedestä kuin rautaa /5/.

Mangaani liukenee kiviaineksen rapautuessa raudan tavoin etupäässä bikarbonaattina ($\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$). Jouduttuaan kosketuksiin hapen kanssa mangaani hapettuu neljänarvoiseksi ja jää aluksi liuokseen kolloidisena hydroksidina, joka saostuu sopivissa oloissa. Koska mangaani on vaikeimmin hapetettavissa kuin rauta, suurin osa mangaania jää usein vielä liuokseen raudan jo saostuttua /6/.

Raudan ja mangaanin esiintyminen riippuu erilaisista tasapainoreaktioista. Tällaisia ovat hydroksidin saostuminen ja hydrolyysi, karbonaattien liukoisuus ja saostuminen, hapetus- ja pelkistysreaktiot, sulfidien liukoisuus ja saostuminen sekä kompleksi-ionin ja kelaatin muodostuminen. Huomattavimmin raudan ja mangaanin liukoisuuteen vaikuttaa pH:n ohella ympäristön E_h -potentiaali /4/.

Veden hapetus-pelkistys- eli E_h -potentiaali ilmaisee, kuinka happea tai pelkistävää vesi on tunnettuun standardiin verrattuna. Redoksireaktioissa on kysymyksessä elektronien siirtyminen siten, että hapettava aine luovuttaa ja pelkistävä vastaanottaa elektroneja. Redoksireaktiot voidaan mitata redoksisysteemiin upotetulla platina- tai kulta-elektrodilla potentiometrisesti voltteina.

Kun hapetus-pelkistystapahtumat luonnossa useimmiten ovat reversiibeilitä, palautuvia, pohjaveden E_h -potentiaali kuvaa pohjavedessä kulloinkin vallitsevaa tasapainotilaa. Tasapainotilaan vaikuttavat monet ulkoiset tekijät (lämpötila, pH ja eri aineiden konsentraatiot), joiden osuus tasapainon muodostumisessa vaihtelee tapauksesta toiseen. Tällöin E_h -potentiaalimittauksella voidaan ilmaista systeemin kaikkien tekijöiden yhteisvaikutusta, jota tässä kirjoituksessa kutsutaan E_h -potentiaaliksi /2/.

Laboratorio-oloissa tehtyjen tarkkojen kokeiden perusteella tiedetään varsin tarkasti raudan ja mangaanin hapettuneen ja pelkistyneen muodon esiintymisen riippuvuus erilaisista ympäristötekijöistä.

Tästä on esimerkkinä esitetty kuvat 1 ja 2.

Kuvassa 1 on esitetty raudan eri hapetusasteiden esiintyminen vedessä pH:n ja E_h -potentiaalin funktiona. Kiinteiden aineiden stabiiliusalueet ilmaisevat alueet, joissa raudan aktiivisuus liuoksessa on vähemmän kuin 0,01 mg/l /7/.

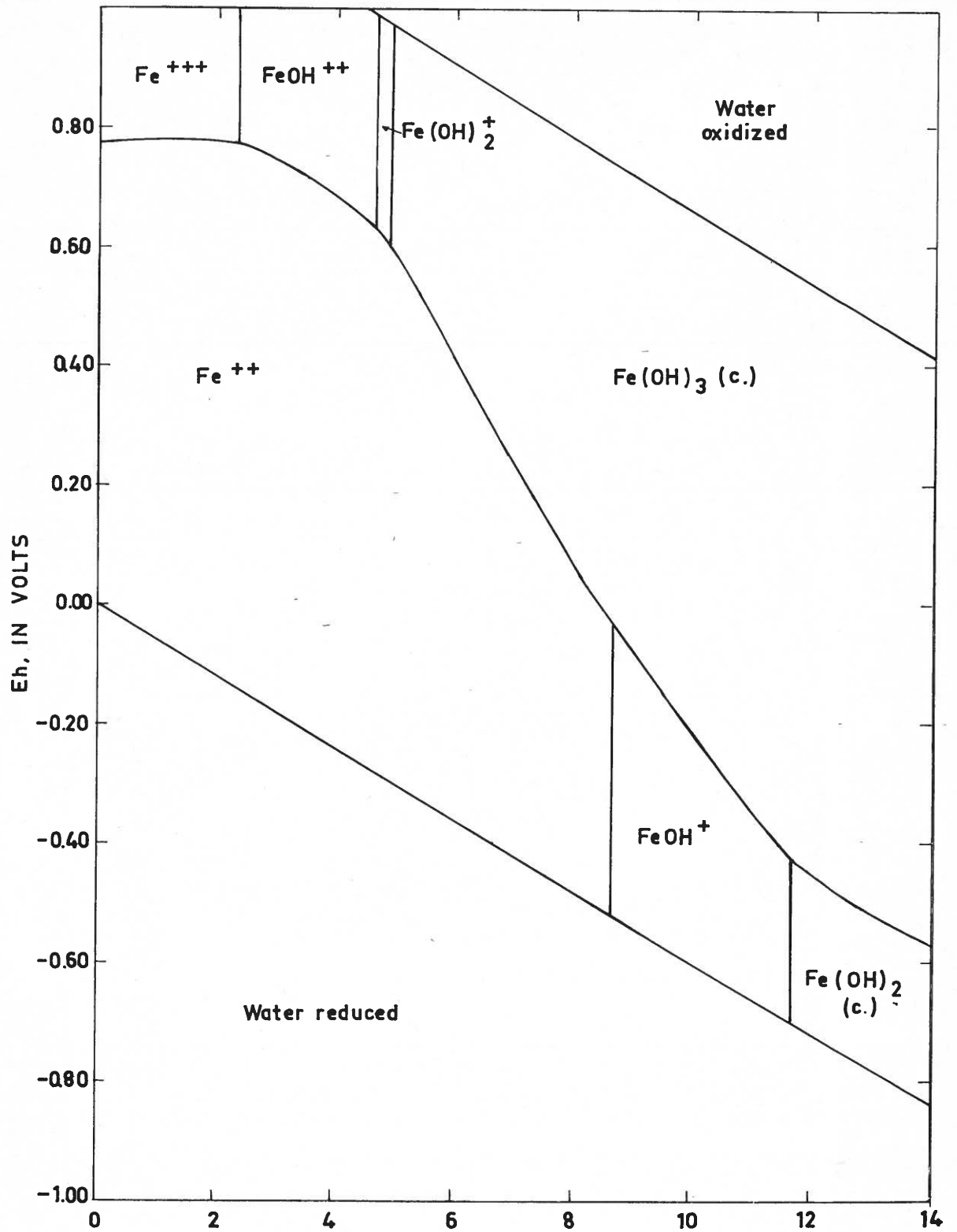
Kuvassa 1 esitettyssä pH- E_h -diagrammissa ei ole otettu huomioon muita pohjavedessä yleisesti esiintyviä yhdisteitä, jotka vaikuttavat redoksisatasapainoon (C-, N-, O-, S-, Mn-yhdisteet) /8/. Raudan esiintymiseen vaikuttavista yhdisteistä ovat tärkeimmät bikarbonaatti- ja sulfaattiyhdisteet /4/.

Bikarbonaatti vaikuttaa raudan liukoisuuteen kahdella eri tavalla, puskuroimalla veden pH-arvoa ja rajoittamalla raudan liukoisuutta. Vedessä, jossa sulfaatti on pelkistynyt sulfidiksi, rauta voi saostua sulfidina. Jos rautapitoinen pohjavesi kulkeutuu tällaiselle alueelle, liunneen raudan pitoisuus voi laskea alla 0,01 mg:n/l /9/.

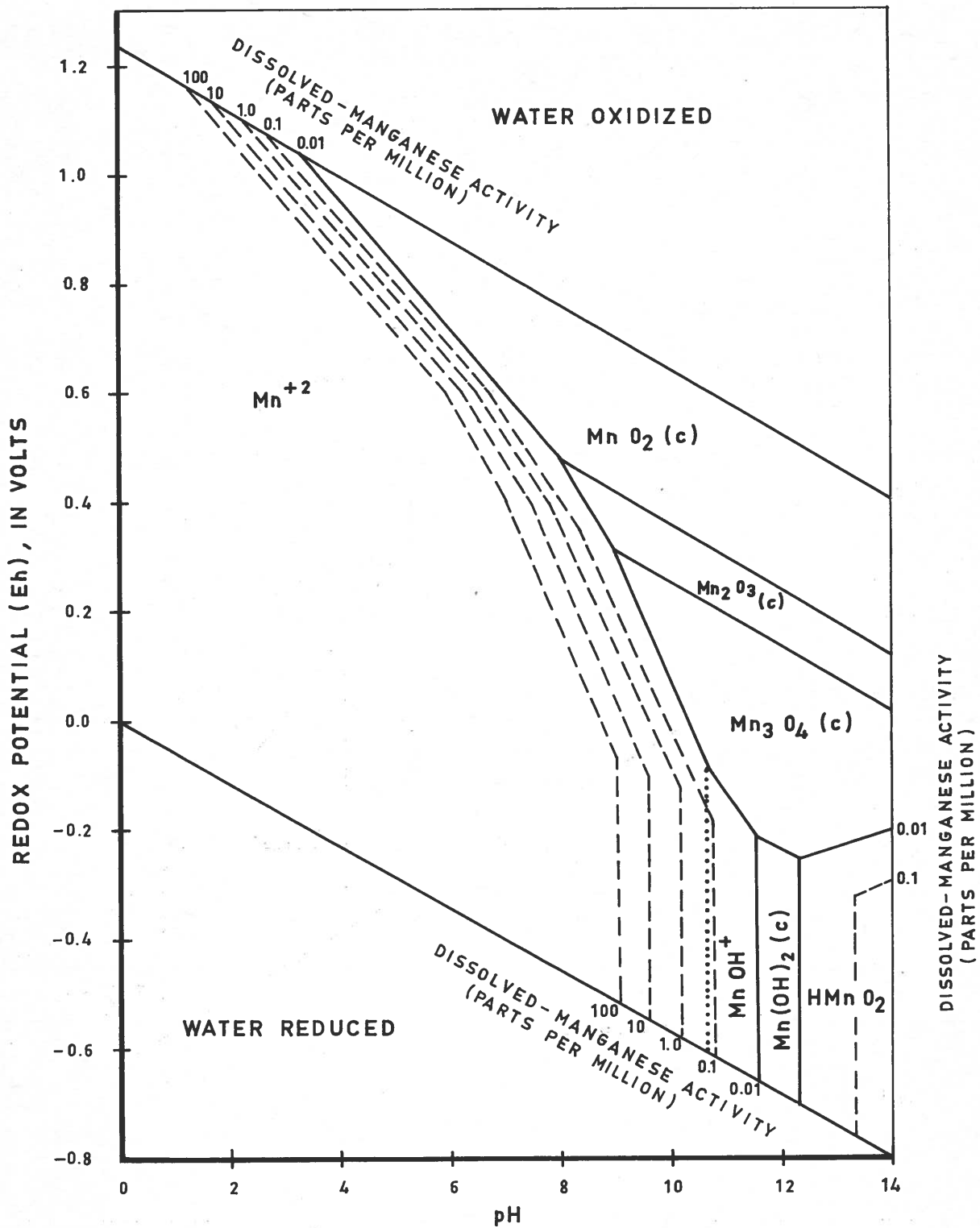
Kuvassa 2 on esitetty vastaavasti mangaanin eri hapetusasteiden esiintyminen vedessä pH:n ja E_h -potentiaalin funktiona. Kaksiarvoisen mangaanin hapettumis- ja saostumisnopeus kasvaa nopeasti pH:n noustessa. Reaktionopeus vähenee, kun liuoksessa on läsnä sulfaatti- ja bikarbonaatti-ioneja /5/.

Kun luonnonvesien E_h -potentiaalin mittaustuloksiin (mittausjärjestelyn lisäksi) vaikuttavat raudan ja mangaanin ohella monien muiden metalliyhdisteiden ja jopa orgaanisten aineiden hapetus-pelkistystasapainot sekä useissa luonnonvesissä vielä palautumattomien redoksisysteemien aiheuttamat potentiaalierot, liukoisuuskäyrillä ei käytännössä voida odottaa olevan suurtakaan merkitystä /2/.

Käytännön mittauksissa on kuitenkin havaittu, että E_h -mittauksilla on merkitystä pohjavesien hapetus-pelkistystilaa ja erityisesti raudan hapetusastetta määritettäessä. Pohjavesitutkimusten yhteydessä suoritetuissa mittauksissa on todettu, että pH-7:ään korjatun

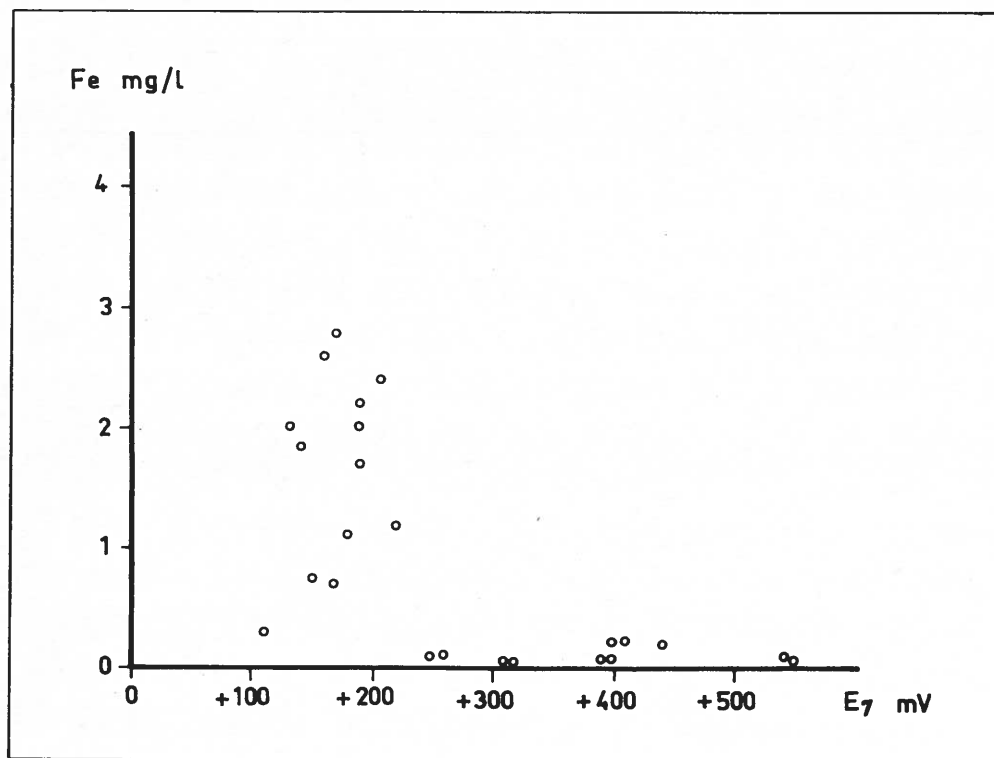


Kuva 1. Raudan eri hapetusasteiden esiintyminen vedessä pH:n ja E_h :n funktioina (Hem J.D. 1959).



Kuva 2. Mangaanin eri hapetusasteiden esiintyminen vedessä pH:n ja E_h :n funktiona (Hem J.D. 1963).

E_h -potentiaalin laskiessa alle +230 mV:n, veteen liunneen raudan pitoisuus alkaa kohota (kuva 3) /2/. Nämä havainnot ovat sopusoinnussa Mortimerin tekemien tutkimusten kanssa /10/. Mittaustulosten ja E_h -pH-käyrien perusteella ei voida tehdä kuitenkaan johtopäätöksiä veteen liunneen raudan määrästä.



Kuva 3. Raudan (kokonaisrauta) ja E_h -potentiaalin välinen riippuvuus. Määritykset tehty kentällä (Hatva T., Niemistö L. ja Seppänen H. 1972).

Mangaanin osalta ei ole käytettävissä riittävästi käytännön mitaustuloksia veteen liunneen mangaanin ja E_h -potentiaalin välisen riippuvuussuhteen esittämiseksi. Mangaanin on todettu liukenevan huomattavasti korkeammalla E_h -tasolla kuin rauta. Jos raudan liukoisuusraja ($Fe < 0,01$ mg/l) on pH 7:ssä liukoisuuskäyrien perusteella noin +230 mV, on se mangaanin osalta vastaavasti noin +600 mV.

2.3 Biotoimintojen merkitys raudan ja mangaanin esiintymisessä pohjavedessä

2.3.1 Yleistä

Luonnossa ei juuri tapahdu erilaisten kemiallisten yhdisteiden muuttamista toisiksi yhdisteiksi ilman eliöiden vaikutusta. Eliöiden toiminta vaikuttaa aineiden olomuotojen muutokseen joko välittömästi tai välillisesti.

Välittömiä eliöiden vaikutuksia ovat sellaiset, joissa jokin eliöryhmä aktiivisesti muuttaa kemiallisia yhdisteitä toisiksi. Tällaisissa joko hapetus- tai pelkistysreaktioissa vapautuu energiaa, jota eliöt voivat käyttää hyväkseen omassa aineenvaihdunnassaan. Esimerkkejä näistä toiminnoista ovat rikkiyhdisteiden, typpiyhdisteiden ja hiiliyhdisteiden hapetus - pelkistystapahtumat.

Välillisellä vaikutuksella tarkoitetaan sitä, että eliöt muuttavat aineenvaihdunnantuotteillaan ympäristöään sellaiseksi, että monet kemialliset reaktiot tulevat mahdollisiksi. Tärkeimmät näistä eliöiden välillisistä vaikutuksista kohdistuvat pH:n ja hapetus-pelkistystasapainon muutokseen. Hajotusportaan eliöt tuottavat aineenvaihdunnan tuotteena hiilidioksidia, joka aiheuttaa heikosti puskuroidussa ympäristössä merkittävän pH-tason alenemisen. Tämä puolestaan edistää monien yhdisteiden liukenemista veteen.

2.3.2 Biotoiminnot raudan ja mangaanin kierrossa

Raudan ja mangaanin kierto pohjavesissä voidaan jakaa kahteen vaiheeseen, jotka ovat hapettuneiden aineiden pelkistyminen ja raudan sekä mangaanin liukeneminen veteen ja raudan ja mangaanin hapettuminen ja saostuminen.

Heterotrofinen, toisenvarainen, orgaanisen aineksen hajotukseen kohdistuva bakteeritoiminta kuluttaa vedestä liuennutta happea, jonka johdosta ympäristön E_h -potentiaali laskee. Kun liuennut happi on kulunut loppuun, E_h -potentiaali voi laskea tasoon, missä

rauta ja mangaani liukenevat veteen ($\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ $E_0' + 0,77 \text{ V}$).

Raudan ja mangaanin pelkistyminen on suorassa riippuvuussuhteessa pohjavedessä vallitsevan biologisen hajotustoiminnan vilkkauteen. Mitä enemmän pohjavesi sisältää orgaanista ainetta, sitä nopeammin happi kuluu hajotustoimintoihin ja sitä nopeammin hapetus-pelkistyspotentiaali laskee alle +230 mV:n, jolloin rauta liukenee veteen.

Raudan ja mangaanin liukeneminen voi siis olla vain välillisesti bakteerien toiminnan tulos. Luonnossa tunnetaan myös rautaa tai mangaania liuottavia (ja hapettavia) lajeja, joiden toiminta ei liity suoranaisesti orgaanisen aineksen hajotukseen.

Raudan ja mangaanin kierron toinen vaihe on pelkistyneiden muotojen hapetus, jolloin sekä rauta että mangaani voivat saostua. Saostuminen johtuu siis sekä kemiallis-fysikaalisista että mikrobiologisista prosesseista. Yleensä korkeissa happikonsentraatioissa vallitsevina tyyppinä ovat kemialliset reaktiot ja alhaisissa happikonsentraatioissa biologiset prosessit.

Rautaa hapettavat organismit voidaan jakaa neljään pääryhmään /11, 23/. Ensimmäisen ryhmän muodostavat rauta- ja mangaanibakteerit sanan varsinaisessa mielessä, toisin sanoen ne organismit, jotka kykenevät käyttämään hapetuksessa vapautuvaa energiaa omien aineenvaihduntareaktioidensa energialähteenä.

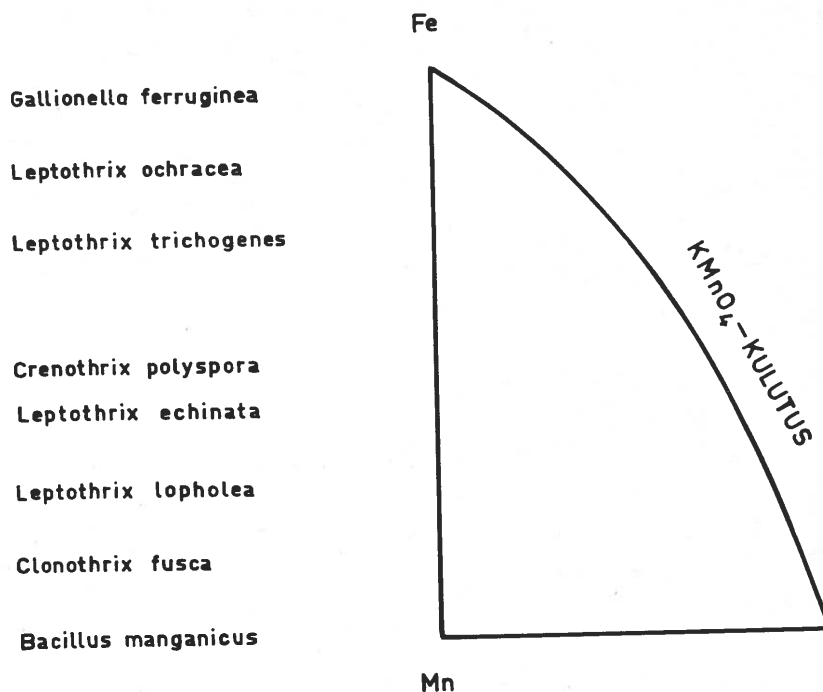
Rauta- ja mangaanibakteerien taipumus käyttää energialähteenään joko rautaa tai mangaania riippuu lajikohtaisesti veden orgaanisen aineen määrästä (kuva 4), hapen pitoisuudesta ja pH-asteesta.

Raudan hapettuminen ja saostuminen tapahtuu yleisimmin siten, että rautabakteerit ottavat raudan absorptiivisesti solujensa pinnalle, missä ympäristö on alkalinen. Solujen välittömässä läheisyydessä rauta ja myös mangaani hapettuvat neutraaleiksi orgaanisten suolojen kolloidimuodoiksi, joilla ei enää ole merkitystä bakteerien aineenvaihdunnalle. Kolloidinen rauta muuttuu hydrosolimudon

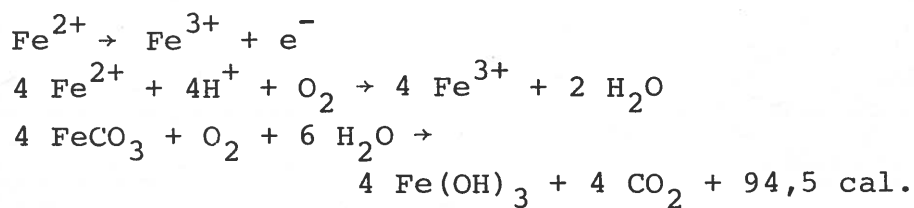
jälkeen ruskeaksi tai mustanruskeaksi hydrogeeliksi ja tästä edelleen lopulta kolloidikemiallisten rakennemuutosten kautta kiinteäksi hydrogeeliksi /12/. Saostuman värisävy riippuu raudan ja mangaanin suhteesta. Mitä enemmän saostumassa on mangaania, sitä tummempaa se on.

Kuva 4.

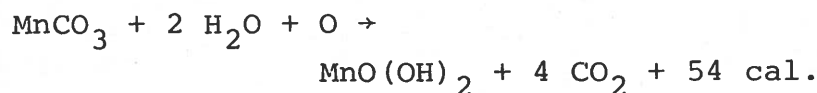
Biologinen rauta- ja mangaanispektri (Beger H. 1966).



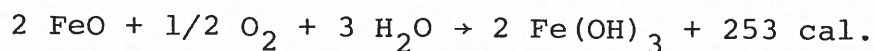
Bakteriaallinen raudan hapetus esitetään tavallisesti seuraavien kaavojen muodossa /12, 13/:



Mangaanin hapetus tapahtuu BEGERin (1966) mukaan /12/:



Silloin kun rauta ja mangaani esiintyvät kahdenarvoisina oksideissa, hapetus tapahtuu BEGERin (1966) mukaan /12/:



Tarkasteltaessa kahta viimeistä yhtälöä todetaan, että mangaanin hapetuksessa vapautuva energia (kalorimäärä) on n. 6 kertaa pienempi kuin raudan vastaavan yhdisteen hapetuksessa. Toisin sanoen bakteeri, joka kykenee käyttämään energialähteenään sekä raudan että mangaanin hapetusta, joutuu hapettamaan mangaania 6 kertaa enemmän kuin rautaa saadakseen saman energiamäärän /12/.

Samanlaisessa hyötytuloksessa on mangaanisaostuman muodostuminen olennaisesti suurempi kuin rautasaostumien muodostuminen. Valinnaisesti joko rautaa tai mangaania hapettavat bakteerit muodostavat saostumia mangaanipitoisessa vedessä suhteellisesti enemmän kuin puhtaasti rautapitoisessa vedessä. Käytännön vesihuollolle mangaanisakan muodostuminen saattaa olla huomattavasti vaikeampi ongelma kuin rautasakan muodostuminen.

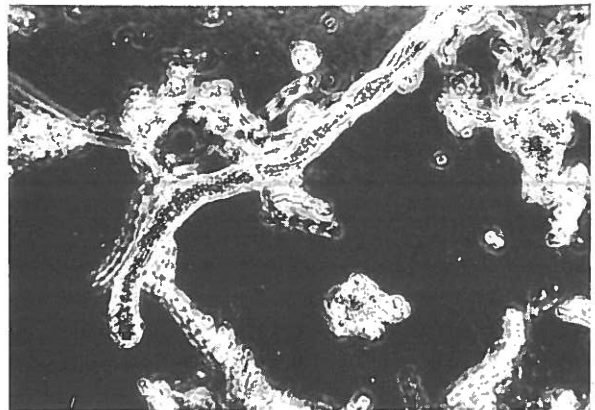
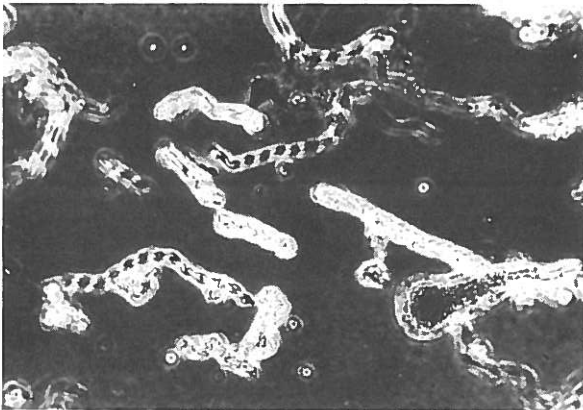
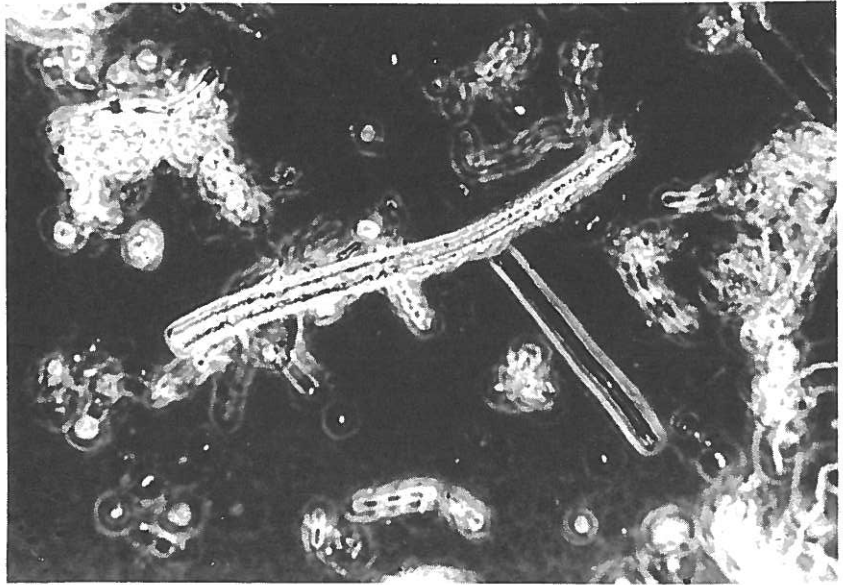
Rautabakteereista voidaan mainita tyypillisimpinä *Leptothrix* ja *Gallionella*-suvun bakteerit. Tässä yhteydessä käytetään nimitystä *Leptothrix*, vaikka PRINGSHEIM (1949) on esittänyt, että *Leptothrix* on identtinen *Sphaerotilus*-lajin kanssa /14/.

Leptothrix on verraten yleinen rautapitoisessa vedessä (kuva 5). Maanpinnalle pulppuava rautapitoinen pohjavesi värjäytyy avouomassa ruskeaksi yleensä juuri *Leptothrixin* hapettaessa pohjavedessä olevaa liukoista Fe^{++} -rautaa hydroksidimuotoon (Fe^{+++}).

Morfologisesti parhaiten tunnetut rautabakteerit kuuluvat sukuun *Gallionella* (kuva 6). *Gallionella*t ovat yleensä autotrofeja, jotka käyttävät hiilenlähteenään epäorgaanista hiiltä ja typpilähteenään epäorgaanista typpeä /15/. Ne suosivat vettä, jossa orgaanisen aineen pitoisuus on alhainen /16/. Vaikka *Gallionella*t ovat autotrofeja, niiden on todettu vaativan vähäisissä määrin orgaanista ainetta /17/. *Gallionella*

Kuva 5.

Leptothrix - suvun bakteerien muodostamia solutuppia, joista toinen rautasaostuman peittäjä.

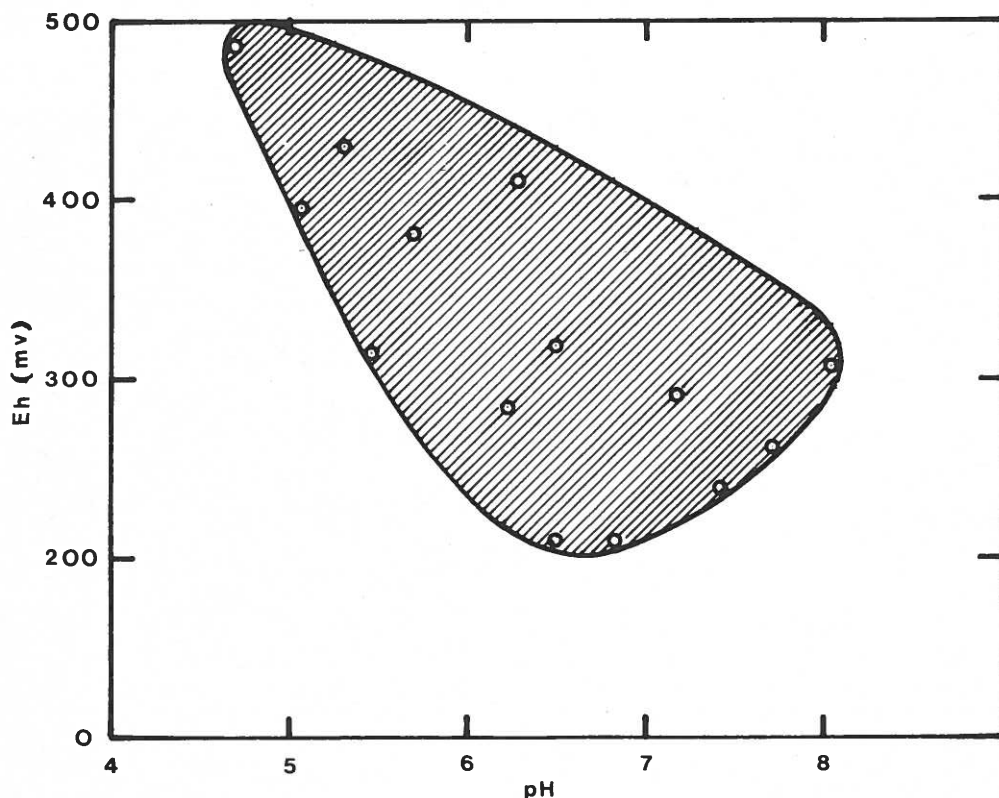


Kuva 6. Gallionella - suvun bakteerien muodostamia rihmoja, jotka ovat rautasaostuman peittämiä.

on mikroaerofiili /18, 19/, joka viihtyy ympäristössä, missä liuenneen hapen pitoisuus on alhainen. Se on siten tyypillinen "gradienttiorganismi", joka esiintyy hapellisen ja hapettoman veden rajakerroksessa /20/. Gallionella vaatii kasvaakseen tarttumapinnan. Sen optimaali kasvulämpötila on +25–+30 °C, joskin hidasta kasvua on todettu alemmissakin lämpötiloissa /18/. Gall-

l i o n e l l a kasvaa pH-alueella noin 4–6,5 /19, 20/. Se hapettaa liukoista bikarbonaattirautaa /21/ ja muodostaa varren ympärille rautahydroksidisaostuman /22/.

Rauta- ja mangaanibakteerien elinmahdollisuuksiin vaikuttavia ympäristötekijöitä ovat mm.: happikonsentraatio (hapetus-pelkistysaste), pH ja orgaanisen aineen määrä. Näistä ympäristövaatimuksesta kaksi ensimmäistä ovat toisistaan riippuvaisia siten, että hapettuneilla pH-alueilla raudan biologinen hapetus tapahtuu korkeammassa redoksitasoissa kuin korkeamman pH:n alueella. Esimerkiksi pH-alueella 5 redoksitaso on +500 mV ja pH-alueella 6,7 vastaavasti +200 mV /13, 20/ (kuva 7).



Kuva 7. Rauta- ja mangaanibakteerien toiminnan E_h - ja pH-rajat Baas-Becking et al. mukaan (Wolfe 1964).

Rautaorganismien toiseen ryhmään kuuluvat heterotrofiset bakteeri, jotka tarvitsevat hiilenlähteekseen orgaanista ainetta. Nämä kykenevät keräämään solujensa ympärille rautahydroksiditupen. Tähän ryhmään kuuluu myöskin leviä, jotka pystyvät keräämään solu-

jensa ympärille rautasaostumia. Jako ensimmäisen ja toisen ryhmän välillä ei ole selvä, sillä useat niin sanotut varsinaisetkin rauta- ja mangaanibakteerit tarvitsevat orgaanista ainetta.

Kolmannen ryhmän rautaorganismien joukossa muodostavat ne bakteerit, jotka pystyvät käyttämään humus-rautakompleksiyhdisteitä energialähteenään. Nämä organismit käyttävät ravinnokseen kompleksiyhdisteiden orgaanista humusta saostaen samalla pinnalleen rautaa. Tyypillistä on, että tällaiset liukoiset kompleksiset orgaaniset Fe-yhdisteet ovat kemiallisesti hyvin kestäviä. Näitä käytettäviä lajeja on ennen kaikkea ruskeissa humusvesissä. Esimerkkinä näistä voidaan mainita *S i d e r o c a p s a t r e u b i i*.

Neljännän ryhmän muodostavat korkeammat vesikasvit, jotka saostavat pinnoilleen rautaa erittäin voimakkaan yhteyttämistoiminnan aikana käyttäen rautaan sitoutunutta hiilidioksidia yhteyttämiseen /11/.

3. RAUDAN JA MANGANIN POISTO POHJAVEDESTÄ JÄLLEENIMEYTYSMENETELMÄLLÄ

3.1 Yleistä

Veden laadun suhteen alun perin hyvässä pohjavesiesiintymässä rauta- ja mangaanipitoisuus alkaa vedenoton lisääntyessä usein kasvaa. Kasvu johtuu pohjavedenpinnan laskiessa huonolaatuisen pohjaveden kulkeutumisesta esiintymän sivuilta vedenottamolle. Myös veden orgaanisen aineen pitoisuus voi tällöin kasvaa.

Vedenottamon kaivoista saatavan pohjaveden laadun pitämiseksi hyvänä tai sen korjaamiseksi on kehitetty menetelmä, jossa kaivon ympärille saadaan aikaan laadultaan hyvä pohjavesivarasto.

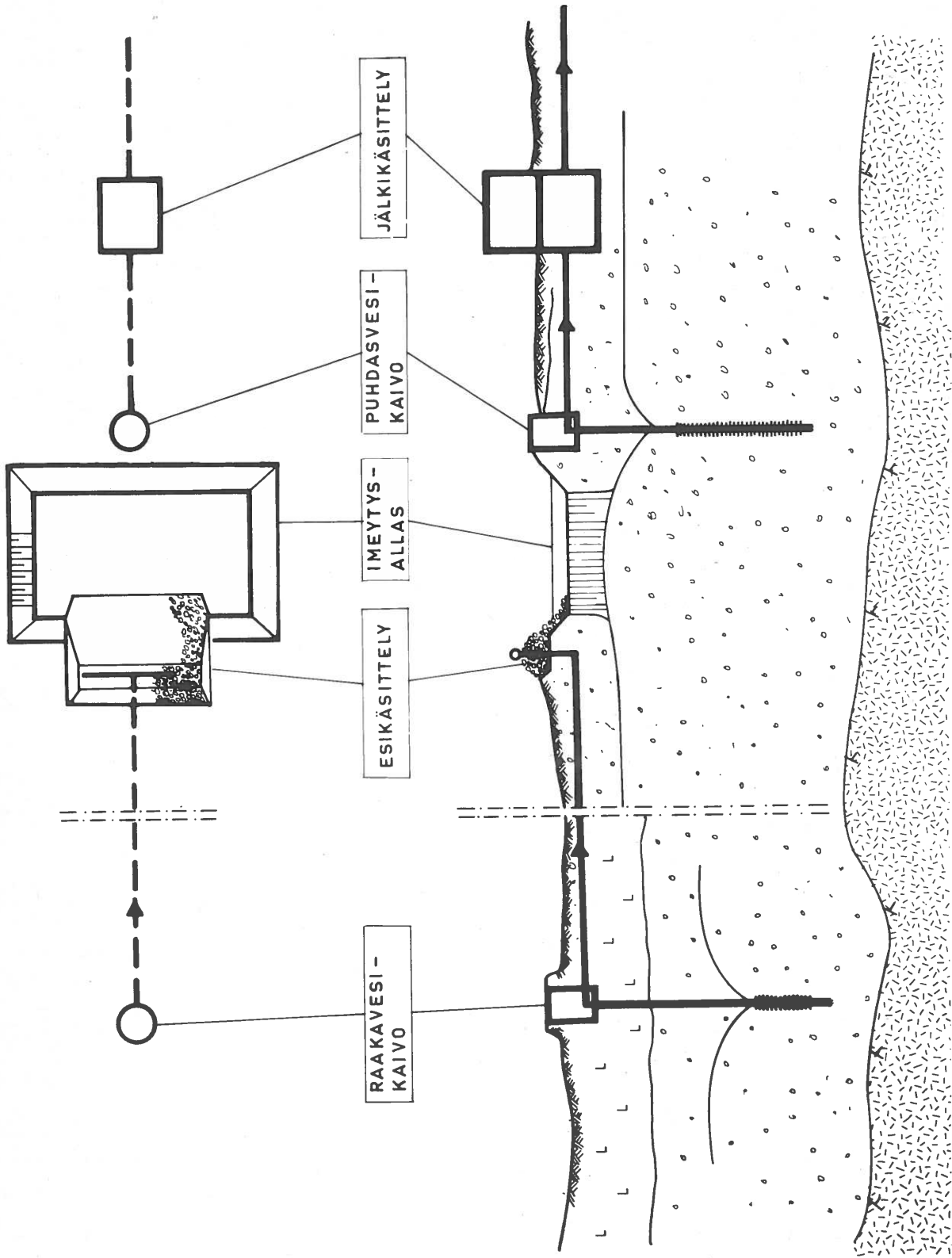
Menetelmässä on kysymys maaperän ja siinä olevan pohjavesivaraston hyväksikäytöstä veden käsittelyssä. Imeytys maaperään suoritetaan samalla tavalla kuin tekopohjavettä muodostettaessa.

Koska raakavetenä käytetään pohjavettä, jonka laatuominaisuudet ovat erilaiset kuin pintaveden, saavutetaan jälleenimeytysmenetelmällä hyvä puhdistustulos huomattavasti lyhyemmillä viipymäarvoilla kuin tekopohjavettä muodostettaessa. Jälleenimeytyslaitosten vaatima tilantarve on tästä syystä pieni tekopohjavesilaitokseen verrattuna.

3.2 Menetelmän toimintaperiaate

Jälleenimeytykseen perustuva raudan ja mangaanin poistolaitos käsittää yksinkertaisimmassa muodossaan raakaveden ottokaivon, imeytysaltaan ja puhdasvesikaivon. Jos raakavedessä on runsaasti rautaa ja mangaania, joudutaan vesi esikäsittelmään ennen imeytysaltaaseen johtamista (kuva 8). Esikäsittelyn avulla pyritään vähentämään veden rauta- ja mangaanipitoisuutta imeytysaltaan tukkeutumisen hidastamiseksi.

Esikäsittely voidaan tehdä käyttämällä esimerkiksi sepelisuodatusta.



Kuva 8. Raudan ja mangaanin poisto jälleimeytysmenetelmällä. Periaatepiirros.

Sepelisuodatuksessa ilmastettu vesi johdetaan karkearakeisesta sepelistä valmistettuun suodattimeen. Sepelisuodattimia voi olla useita peräkkäin.

Esikäsitteilyssä voidaan käyttää hyväksi myös paikallisia maasto-oloja ja poistaa raakavedessä oleva liika rauta ennen altaaseen imeytystä niin sanotun rinnevalutuksen avulla. Rinnevalutuksessa raakavesi johdetaan ilmastuksen jälkeen sopivan kaltevalle rinteelle, jossa sen annetaan valua luonnollisen kasvillisuuden peittämää rinnettä alas. Vedessä olevat rauta ja mangaani saostuvat ja pidentyvät maanpintaan.

Esikäsitteilyn jälkeen vedessä vielä jäljellä olevat rauta ja mangaani saostuvat imeytysaltaan suodatinkerroksen pinnalle.

3.3 Aikaisemmin saadut kokemukset

Jälleenimeytysmenetelmään perustuvia laitoksia on ollut käytössä Ruotsissa jo useita vuosia. Saadut kokemukset ovat olleet hyviä. Taulukossa 1 on esitetty eräiden käytössä olevien laitosten käsittelytuloksia (VIAK AB).

Taulukko 1. Ruotsissa käytössä olevilta jälleenimeytyslaitoksilta saatuja käsittelytuloksia.

Paikka	Keskimääräinen Fe, Mn, KMnO ₄ mg/l			Kontakti- suodatin			Teho m ³ /d		
	raakavesi		puhdas vesi	on	ei				
Boxholm	1,3	0,3	7	0,1	0,05	4	x	2 500	
Tröri	2,1	0,15	6	0,1	0,05	5		x	300
Gislaved	0,2	0,3	5	0,1	0,05	4		x	3 000
Långhytten	1,5	0,4	14	0,1	0,05	9	x		1 700
Västerhaninge	0,4	0,2	5	0,1	0,05	4	x		2 500
Österhammar	0,15	0,1	19	0,1	0,05	12		x	800

Suomessa oli tätä tutkimusta aloitettaessa käytössä jälleenimeytykseen perustuva raudan poistolaitos Vehkalahden Summassa. Menetelmä

oli otettu käyttöön jo vuonna 1972. Menetelmää kokeiltiin 1974 myös Auran kunnan Takaliston sekä Kruunupyyn kunnan pohjavedenottamoilla. Kokeilut eivät johtaneet näillä laitoksilla paikallisten hydrogeologisten olojen johdosta pysyvien laitosten rakentamiseen.

Rinnevalutusta on käytetty raudan ja mangaanin poistossa jo aikaisemminkin. Jälleenimeytysmenetelmään olennaisesti kuuluva imeytysallas on korvattu tällöin esim. hiekalla täytetyllä kokoomaojalla. Tällainen laitos on käytössä Salossa.

4. TUTKIMUKSET LAITOSMITTAKAAVASSA

4.1 Iisalmen kaupungin Peltosalmen pohjaveden- ottamolla tehdyt imeytyskokeet

4.1.1 Yleistä

Iisalmen kaupunki ottaa pääosan käyttövedestään kaupungin eteläpuolella sijaitsevalta Lemmenlaakson-Kyllikinrannan harjualueelta. Alueella on kolme pohjavedenottamo, jotka ovat Lemmenlaakso, Peltosalmi ja Kyllikinranta. Näiltä vedenottamoilta keskimäärin otettut pohjavesimäärät olivat ennen imeytyskokeiden aloittamista v. 1975 1 000 m³/d, 800 m³/d ja 2 000 m³/d eli yhteensä 3 800 m³/d.

Lemmenlaakson ja Kyllikinrannan pohjavedenottamoilta saatava vesi on rauta- ja mangaanipitoista. Peltosalmen alun perin Iisalmen mlk:n kansalaiskoulun vedentarvetta varten rakennetulta pohjavedenottamolta saatava vesi on sen sijaan ollut hyvälaatuista.

Peltosalmen vedenottamolta saatava hyvälaatuinen pohjavesi pumputtiin 1975 Lemmenlaakson pohjavedenottamolle rakennettuun vesijohtoon. Vesi käsiteltiin Kyllikinrannan raudanpoistolaitoksella.

Kyllikinrannan raudanpoistolaitoksella esiintyi käyttövaikeuksia, kun Kyllikinrannan ja Lemmenlaakson vedenottamolta otettavan veden rauta- ja mangaanipitoisuus alkoi kasvaa. Suodattimet jouduttiin huuhtelemaan päivittäin.

Imeytyskokeiden tavoitteeksi asetettiin veden käsittelyn helpottaminen ja käsittelykustannusten pienentäminen Kyllikinrannan raudanpoistolaitoksella sekä jälleenimeytysmenetelmän käyttömahdollisuuksien tutkiminen kyseisissä olosuhteissa. Imeytyksen tarkoituksena oli lisätä Peltosalmen vedenottamolta saatavan hyvälaatuisen pohjaveden määrää johtamalla vedenottamoalueelle Lemmenlaakson vedenottamolta rautapitoista pohjavettä.

4.1.2 Hydrogeologiset olot

Tutkimusalue liittyy kaakosta Iisalmen kaupungin kautta luoteeseen kulkevaan pitkittäisharjuun. Harjun reunamalla esiintyy paikoitellen paksujakin kerroksia hiekkaa ja hienoa hiekkaa niin sanottuina rantakerrostumina. Näissä kerrostumissa esiintyy orsivesikerroksia.

Peltosalmen pohjavedenottamo sijaitsee verraten leveän harjuselänteen länsireunalla. Pohjaveden virtaussuunta on kaakosta luoteeseen. Pohjaveden pinta nousee melko tasaisesti Kyllikinrannan vedenottamolta Lemmenlaakson vedenottamolle päin siirryttäessä (kuva 9).

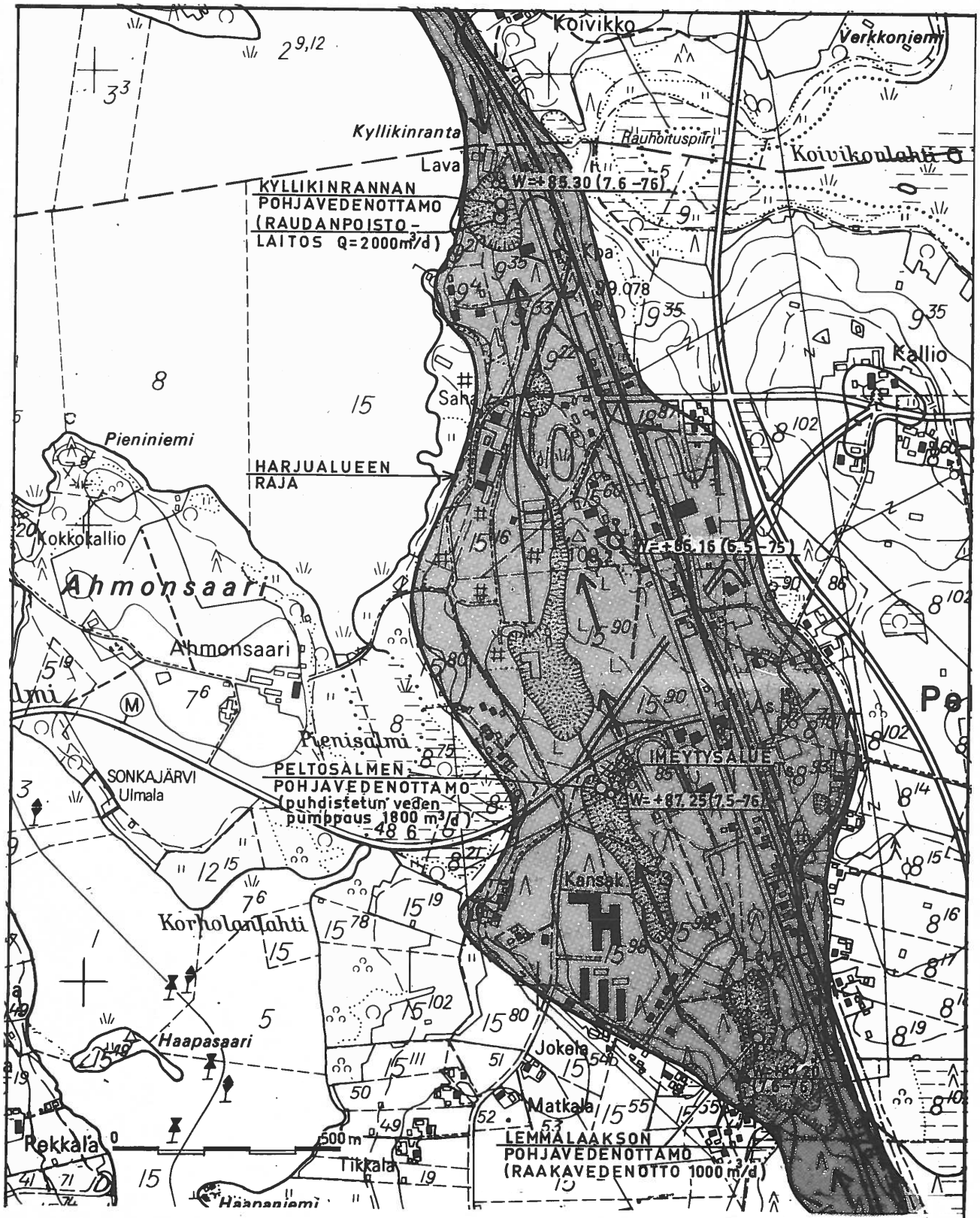
Maaperä on Peltosalmen vedenottamoalueella kaivojen ja niiden viereissä olevan imeytysaltaan kohdalla pinnassa 2-3 metriä hienoa hiekkaa ja sen alapuolella 14 metrin syvyydelle saakka vettä hyvin johtavaa hiekkaista soraa ja soraa.

Rinnevalutusalue sijaitsee laakeaksi tasoittuneen harjuselänteen länsirinteellä. Maaperä on ohuen pintamaakerroksen alla vettä hyvin johtavaa hiekkaa ja soraa. Vallitsevana metsätyyppinä alueella on puolukkatyyppin kangasmetsä.

4.1.3 Aikaisemmin tehdyt tutkimukset ja vedenottojärjestelyt

Iisalmen mlk:n Peltosalmen kansalaiskoulun ja lähiympäristön asutustaajaman vedenhankintaa varten 1962 tehdyn pohjavesitutkimuksen perusteella tutkimusalueelta on arvioitu olevan saatavissa riittävästi hyvälaatuista pohjavettä vedentarvetta varten. Vedentarpeeksi oli arvioitu keskimäärin $150 \text{ m}^3/\text{d}$.

Vedenottoa varten koepumppauspaikalle rakennetuista kaivoista pumputtu vesi täytti hyvälle juoma- ja talousvedelle asetetut vaatimukset (taulukko 2).



Kuva 9. Hydrogeologinen yleiskartta. Peltosalmen ja Lemmenlaakson pohjavedenottamot. Iisalmi.

Taulukko 2. Peltosalmen pohjavedenottamolta 25.1.1965 otettujen näytteiden analyysituloksia.

	CO ₂	Kok.kov.	Fe	Mn	Johtok.	KMnO ₄
pH	mg/l	°dH	mg/l	mg/l	mS/m	mg/l
6,8	20	1,3	0,00	0,00	6,9	5,6

Vedenottamo otettiin Iisalmen kaupungin vesilaitoksen käyttöön 1970. Ennen imeytyskokeiden aloittamista vedenottamolta otettiin vettä 800 m³/d.

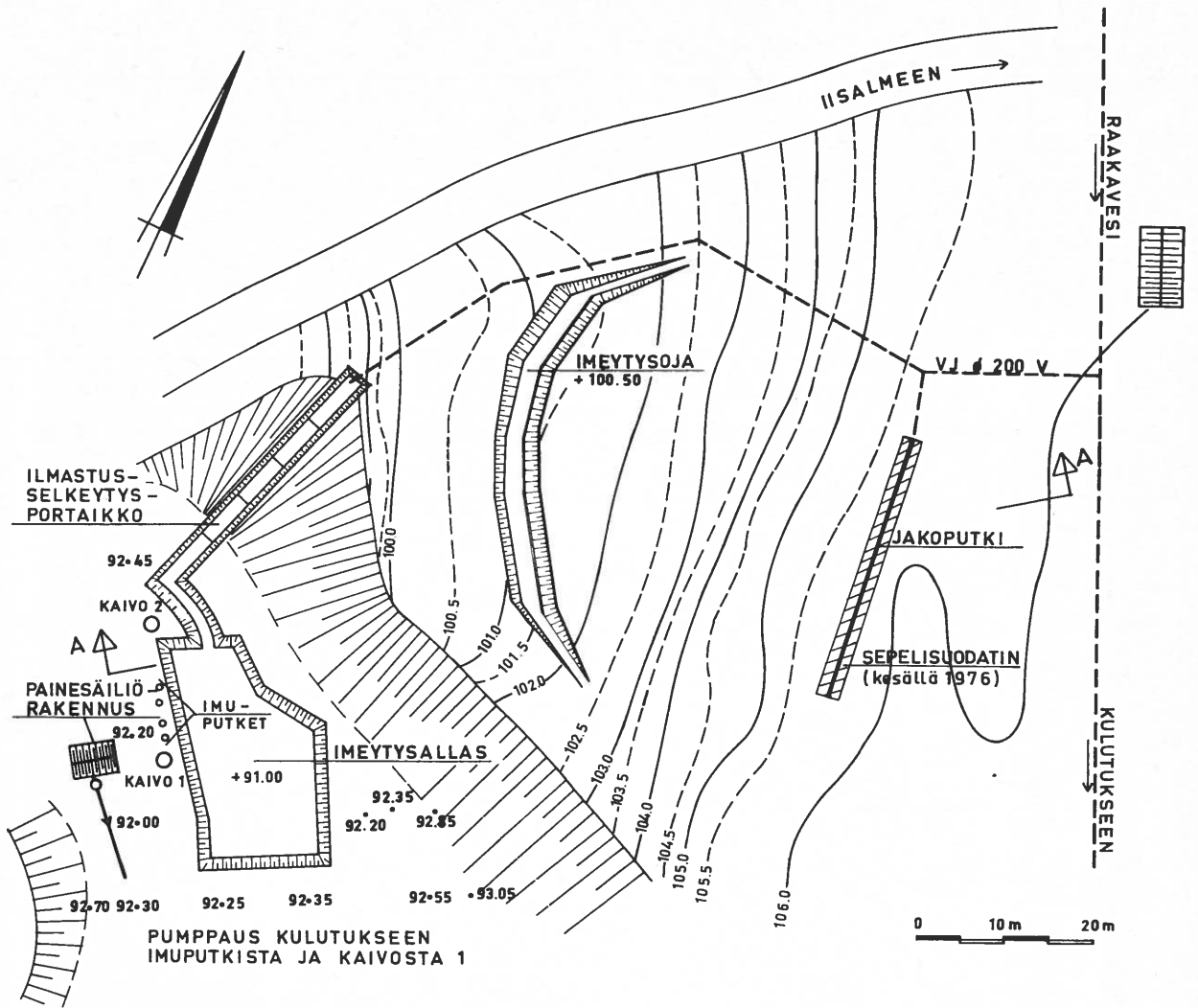
4.1.4 Imeytyskokeiden suoritus

Lemmenlaakson vedenottamolta otetun raakaveden (1 000 m³/d) esikäsittely tehtiin rinnakkain kahdella eri tavalla. Osa vedestä (500 m³/d) johdettiin harjun päällä kulkevasta runkojohdosta harjun rinteelle (rinnevalutus). Toinen osa vedestä (500 m³/d) esikäsiteltiin niin sanotussa ilmastus-selkeytysportaikossa (kuvat 10 ja 11).

Rinnevalutus aloitettiin 19.11.1975. Vesi johdettiin noin 30 metriä pitkään, rinteän yläreunalle sijoitettuun rei'itettyyn Ø 400 mm:n putkeen. Rinteän alareunaan kaivettiin imeytysoja. Asennusvirheen takia korkealle ilmaan suihkunnut vesi jäättyi nopeasti ja muodosti talvella 1976 korkean jäävuoren. Jäätymistä tapahtui myös rinteessä. Imeytysojan todettiin maaliskuussa 1976 jääntyneen pohjaan saakka.

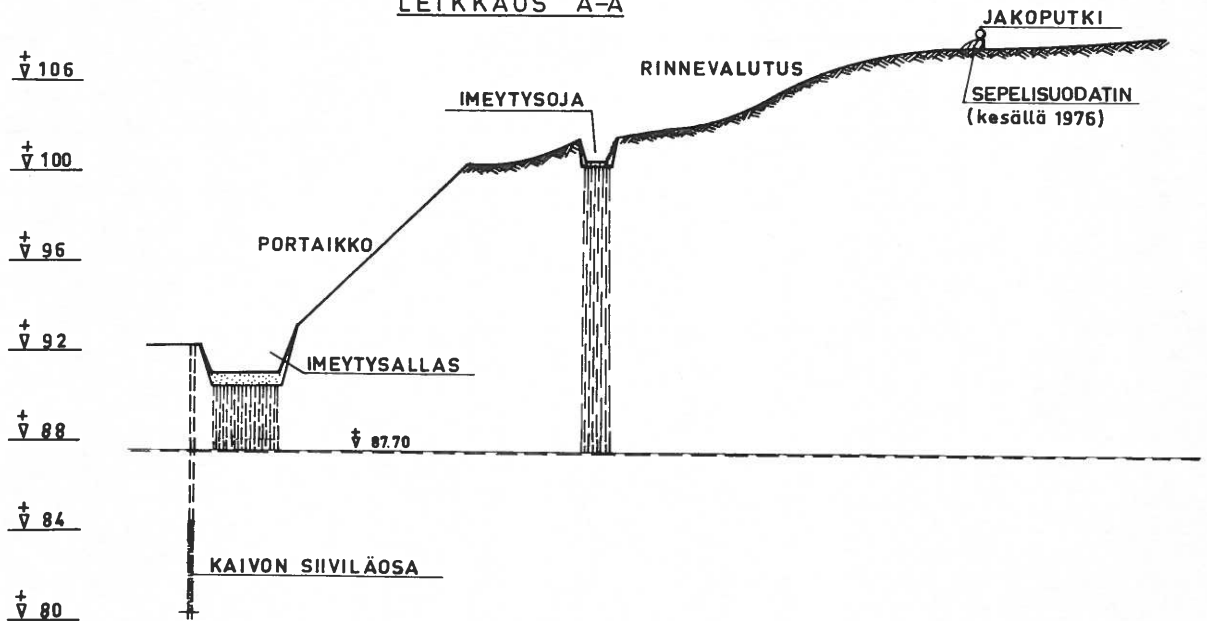
Rinnevalutuskokeita jatkettiin kesällä 1976. Jäiden sulettua tehoa nostettiin siten, että se oli kesäkuun alussa 1 000 m³/d. Jakoputkea jatkettiin tässä yhteydessä 15 metriä, putken alapuolelle ajettiin sepeliä ja vesisuihkun suunta muutettiin alaspäin.

Esikäsitteily portaikossa aloitettiin 4.12.1976. Vesi johdettiin kuvassa 11 esitetyn portaikon kautta imeytysaltaaseen. Imeytysaltaan pinta-ala oli noin 250 m². Portaikon sijoitus ja mitoitus määräytyi paikallisten olojen perusteella.

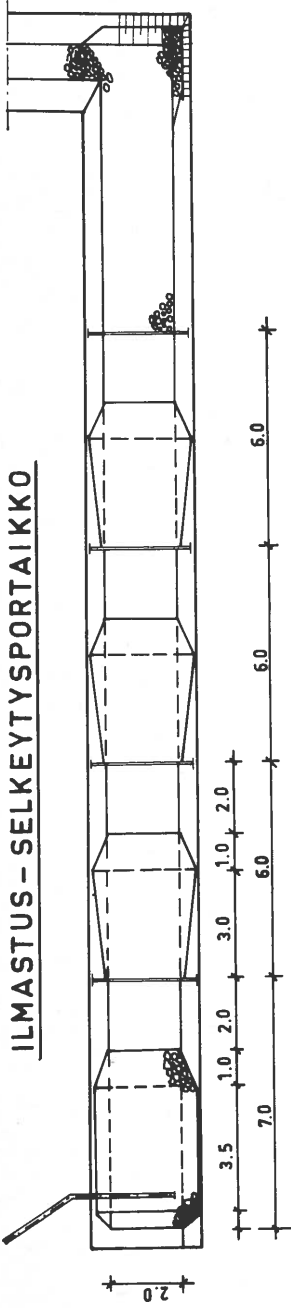


PUMPPAUS KULUTUKSEEN IMUPUTKISTA JA KAIVOSTA 1

LEIKKAUS A-A



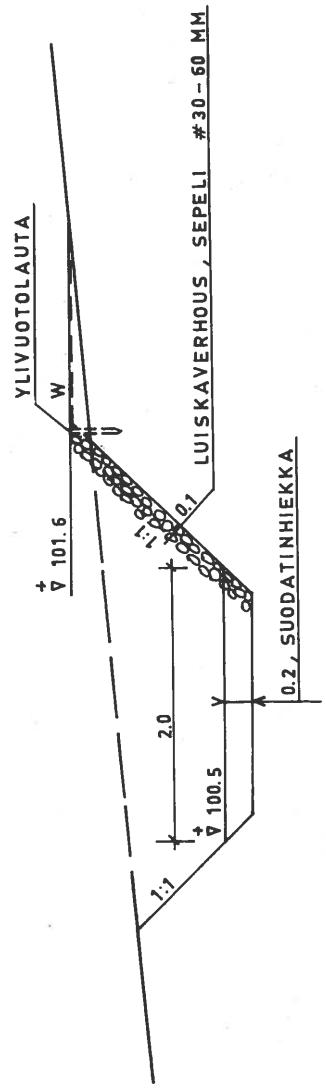
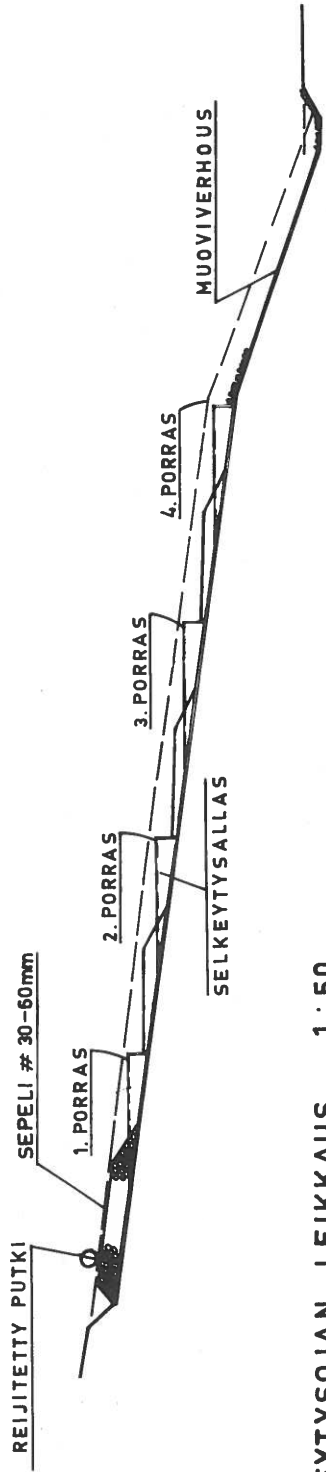
Kuva 10. Asemapiirros ja poikkileikkaus esikäsittely- ja imeytyskokeiden järjestelystä. Peltosalmen pohjavedenotto. Iisalmi.



+ ▽ 100

+ ▽ 95

+ ▽ 90



Kuva 11. Ilmastus - selkeytysportaikko ja imeytysojan rakenne. Peltosalmen pohjavedenotto.

Iisalmi.

Portaikko rikkoutui 30.1.1976. Imeytys aloitettiin uudelleen helmikuun lopulla. Koesarja lopetettiin 20.4.1976.

Puhdistettu vesi pumputtiin kulutukseen imeytysaltaan viereen asennetuista imeytysputkista kenttäkalustolla ja imeytysaltaan vieressä olevasta putkikaivosta. Pumppausteho oli 1 800 m³/d.

4.1.5 Tutkimustulokset

4.1.5.1 Raakaveden laatu

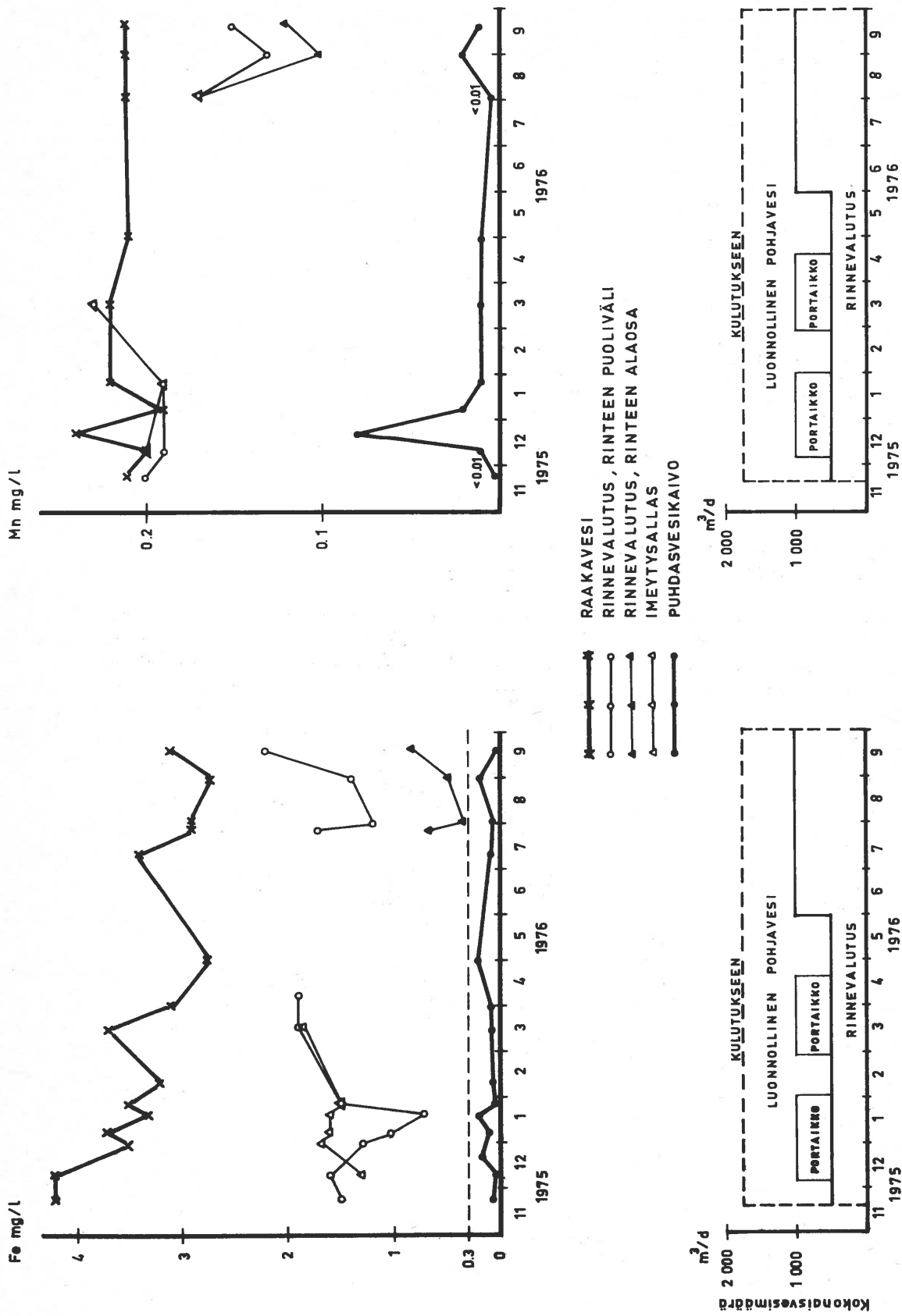
Lemmenlaakson pohjavedenottamolta pumputtu raakavesi oli erittäin pehmeää, hapanta, niukasti suoloja ja orgaanista ainesta sisältävää. Vedен hiilidioksidi-, rauta- ja mangaanipitoisuudet olivat korkeita (taulukko 3).

Taulukko 3. Lemmenlaakson pohjavedenottamolta pumputun raakaveden analyysituloksia.

Pvm.		25.11.75	27.1.75	17.3.76	29.4.76	2.8.76
°C			5,2 ^x	4,9 ^x		
Väri	mg Pt/l	20	20	5	5	
pH		6,3	5,65 ^x	6,25 ^x	6,3	6,5
CO ₂	mg/l		33,4 ^x	33,4 ^x	28,0	
Kok.kov.	°dH	1,1	1,3	1,4	1,6	1,2
NH ₄	mg/l		0,05	0,12	0,06	0,04
SO ₄	"	5,8	1,9	5,8		
Fe	"	4,2	3,5	3,7	2,8	2,9
Mn	"	0,21	0,22	0,22	0,20	0,21
Johtok.	mS/m	8,7	7,2	8,9	7,9	8,0
KMnO ₄	mg/l	1	1	2,2	4,4	1

^x määrittäminen tehty kentällä

Raakaveden rauta- ja mangaanipitoisuudet on esitetty myös kuvassa 12. Osa määrittämisistä on tehty raudan osalta kentällä.



Kuva 12. Imeytyskokeiden suoritus ja raakaveden, esikäsittelyn veden ja kulutukseen pumpatun veden rauta- ja mangaanipitoisuudet. Peltosalmen pohjavedenottamo. Iisalmi.

4.1.5.2 Raakaveden laadun muuttuminen eri esikäsitteilyvaiheissa

Rinnevalutus

Raakaveden rautapitoisuus laski rinteän puoliväliin mennessä talvioloissa 1,5–1,9 mg:aan/l. Rinteän alaosaan ja imeytysojasta ei saatu näytteitä rinteän jäätyneen vuoksi. Kesällä rautapitoisuudessa ei ollut todettavissa vastaavalla kohdalla rinnettä selviä muutoksia. Koeolot olivat imeytysjärjestelyissä tehtyjen muutosten vuoksi kuitenkin erilaiset kuin talvella.

Rinteän alaosassa, ennen imeytysojaa, rautapitoisuudet olivat laskeneet kesällä alle yhden mg:n/l. Mangaanipitoisuuksissa ei ollut todettavissa talvella muutoksia. Kesällä mangaanipitoisuus laski selvästi (kuva 12 ja taulukko 4).

Taulukko 4. Esikäsitteilyvaiheessa (rinnevalutus) rinteän puolivälistä ja alaosaan otettujen näytteiden analyysituloksia.

Pvm.		25.11.75	27.1.76	17.3.76	2.8.76	30.8.76	21.9.76
°C			0,5 ^x	2,4 ^x			
O ₂	mg/l		13,3 ^x	10,7 ^x			
E ₇	mV			+400 ^x			
pH		7,0	6,82 ^x	6,60 ^x	7,0 ₁ 7,5 ₁	7,2 ₁ 7,6 ₁	
Väri	mg Pt/l	20	30	35			
CO ₂	mg/l		5,3	8,8 ^x	6,2 ₁ 8,2 ₁		
Kok.kov.	°dH	1,1	1,4	1,5	1,2 ₁ 1,4 ₁		
NH ₄	mg/l		0,06	0,04	0,04 ₁ 0,04 ₁		
SO ₄	"	7,7	1,9	7,7			
Fe	"	1,5	1,5 ^x	1,9 ^x	1,2 ₁ 0,32 ₁	1,4 ₁ 0,48 ₁	2,2 ₁ 0,84 ₁
Mn	"	0,20	0,21	0,23	0,17 ₁ 0,17 ₁	0,13 ₁ 0,10 ₁	0,15 ₁ 0,12 ₁
Johtok.	mS/m	7,7	6,8	7,6	8,6 ₁ 75 ₁		
KMnO ₄	mg/l	1	1	1	1 ₁ 1 ₁	3,5 ₁ 4,1 ₁	1
Termostab.					0		
Koolim. bakt.	kpl/100 ml				0		
Fekaaliset streptokokit					1		
kpl/100 ml					1 ₁		

1 näyte rinteän alaosaan x määrittäminen tehty kentällä

Rinteellä tapahtuneen esikäsitteilyn ansiosta imeytysveden pH nousi huomattavasti ja hiilidioksidipitoisuus laski alle 10 mg:aan/l. Veteen liuenneen hapen määrä oli korkea.

Virtausmatkan kasvaessa orgaanisen aineksen määrässä odotettavissa oleva lievä nousu ja pH:n kohoaminen yli 7,0:n antavat viitteitä mikrobiologisen toiminnan vilkastumisesta kesällä. Rinteellä oli-kin todettavissa pitkiä rihmamaisia U l o t h r i x-viherleviä.

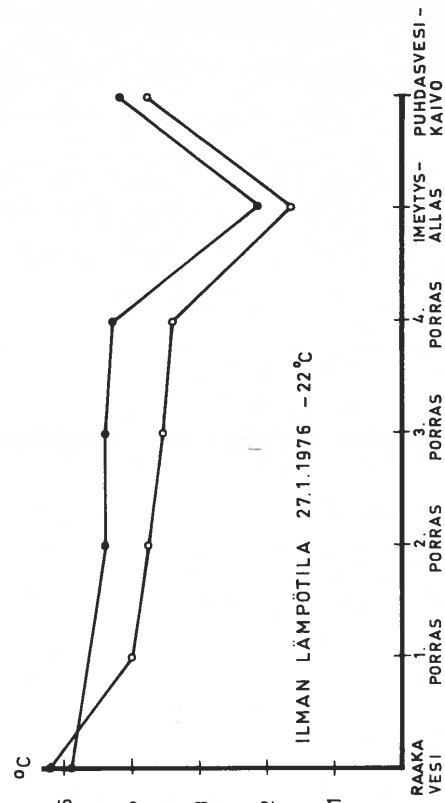
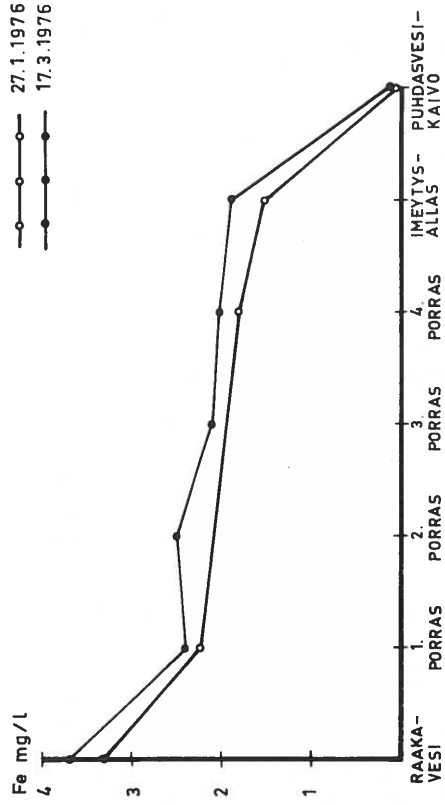
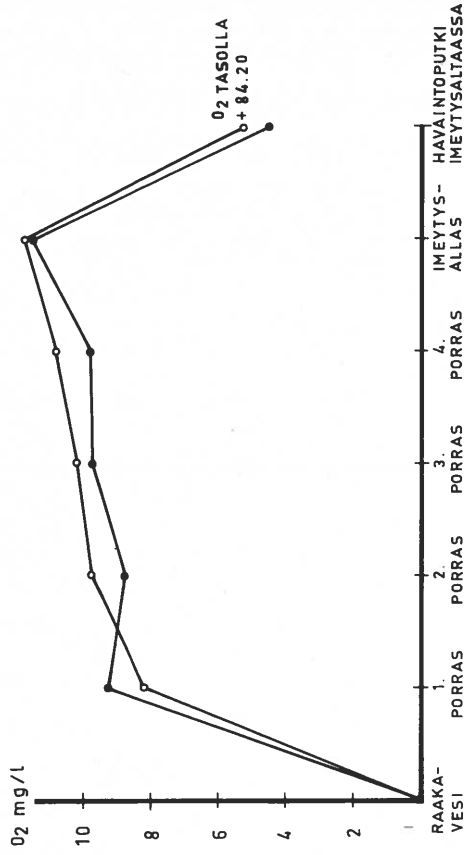
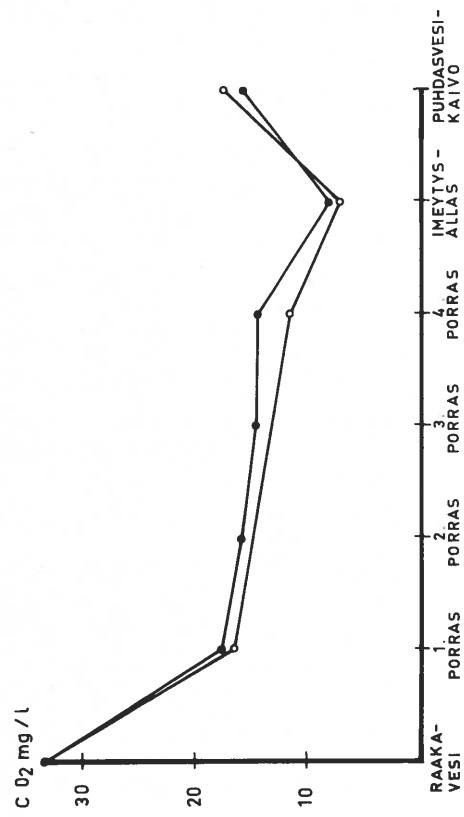
Rautasakasta tehtyjen laboratoriotutkimusten perusteella sakka oli muodostunut rauta- ja mangaanibakteerien solutupprien pinnalle. Vallitseva laji oli *A c t i n o m y c e s f e r r u c o s u s*. Myös *G a l l i o n e l l a*-sukuun kuuluvia lajeja esiintyi jonkin verran. *L e p t o t h r i x*-lajeja ei sen sijaan todettu. Rautaa oli saostunut myös viherlevien pinnalle.

Ilmastus-selkeytysportaikko

Vesi ilmastui hyvin portaikossa ja veteen liuenneen hapen määrä kasvoi portaalta portaalle siirryttäessä. Veden hapettuessa hiilidioksidipitoisuus laski imeytysaltaaseen mennessä alle 10 mg:n/l. Lasku oli nopeinta käsittelyn alkuvaiheessa. Käsittelemättömän veden hiilidioksidipitoisuus oli yli 30 mg/l. Veden pH nousi hiilidioksidipitoisuuden laskiessa noin arvoon 6,6.

Hapetus-pelkistyspotentiaali oli raudan suhteen hapettavalla puolella jo ensimmäisen portaalan selkeytysaltaassa. E_7 -potentiaaliksi mitattiin kyseisessä altaassa 27.1.1975 +468 mV ja 17.3.1976 +354 mV. Neljännelle portaalle mennessä E_7 -potentiaali kasvoi vastavina ajankohtina 15 ja 43 mV. Imeytysaltaassa E_7 -potentiaaliarvot olivat +458 mV ja +372 mV.

Pohjaveden rautapitoisuus laski nopeimmin ensimmäisellä portaalla. Rauta saostui pääasiassa tuloputken alla olevassa sepelikasassa ja pidättyi sepeliin. Rautasakkaa laskeutui myös runsaasti selkeytysaltaan pohjalle. Siirryttäessä portaita alaspäin rautapitoisuus laski viimeiselle neljännelle portaalle mennessä vain noin 0,5 mg/l



Kuva 13. Raakaveden hiilidioksidi-, happi- ja rautapitoisuuden sekä lämpötilan muutokset ilmastus-selektiosuorituksen aikana ja imeytysaltaassa 21.1. ja 17.3.1976. Peltosalmen pohjavedenotto. Iisalmi.

(kuva 13). Saostunutta rautaa oli todettavissa portaikon kaikissa selkeytysaltaissa, mutta ei kuitenkaan siinä määrin kuin ensimmäisessä altaassa. Imeytysaltaassa rautapitoisuudet vaihtelivat eri ajankohtina välillä 1,27–1,70 mg/l. Keskimääräinen rautapitoisuus oli 1,52 mg/l

Pohjaveden mangaanipitoisuudessa ei ollut havaittavissa portaikossa muutoksia. Pitoisuudet olivat vielä imeytysaltaassa yhtä suuret kuin imeytysvedessä (0,20–0,23 mg/l).

4.1.5.3 Veden laatu imeytysaltaassa ja puhtasvesikaivossa

Imeytysaltaassa vesi oli runsaasti liuennutta happea sisältävää, lievästi hapanta ja sen hiilidioksidipitoisuus oli pieni. Vesi oli raudan suhteen hapettavaa. Vedestä otetuista näytteistä tehdyissä analyyseissä todettiin kuitenkin vielä rautaa ja mangaania (kuvat 12 ja 13, taulukko 5).

Taulukko 5. Peltosalmen vedenottamolta imeytysaltaasta ja puhtasvesikaivosta otettujen näytteiden analyysituloksia.

Pvm.	25.11.75		27.1.76		17.3.76		24.4.76	2.8.76
	kaivo		allas	kaivo	allas	kaivo	kaivo	kaivo
°C			1,6 ^x	3,8 ^x	2,1 ^x	3,7 ^x		
Väri mg Pt/l	0		50	5	25	5	10	
pH	6,4		6,50 ^x	6,10 ^x	6,87	6,75 ^x	6,30	6,40
CO ₂ mg/l			7,0	17,6 ^x	7,9	15,8 ^x	8,8	16,0
Kok.kov. °dH	1,5		1,2	1,4	1,7	1,4	1,2	1,3
NH ₄ mg/l			0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,04
SO ₄ "	7,7		1,9	5,8	5,8	7,7		
Fe "	0,07		1,5 ^x	0,06	1,9 ^x	0,09	0,21	0,06
Mn "	0,01		0,20	0,01	0,23	0,01	0,01	0,01
Johtok. mS/m	6,7		6,9	7,4	7,6	7,6	9,0	8,1
KMnO ₄ mg/l	1		1	1	1	1	1	1

^x määrittäminen tehty kentällä

Vesi imeytyi talvella 1975-76 altaasta maaperään ja kulkeutui lämpö-

tilahavaintojen perusteella altaan vieressä olevaan kaivoon. Pohjaveden lämpötila oli imeytysaltaassa esimerkiksi 27.1.1976 $1,0^{\circ}\text{C}$, altaan keskellä olevassa havaintoputkessa pohjavedenpinnan alapuolella 2°C ja altaan vieressä olevassa kaivossa $3,8^{\circ}\text{C}$. Luonnollinen pohjaveden lämpötila oli tällöin $5,2^{\circ}\text{C}$.

Imeytysaltaassa olevassa vedessä todetut rauta ja mangaani pidättyivät imeytysaltaan pohjaan ja pohjavedeksi imeytyvä vesi oli raudatonta ja mangaanitonta. Kaivosta pumputtu puhdistettu vesi oli erittäin pehmeää, hapanta tai lievästi hapanta, niukasti suoloja ja orgaanista ainesta sisältävää. Veden hiilidioksidipitoisuus oli pienempi ja pH korkeampi kuin ennen käsittelyä alueelta otetussa luonnollisessa pohjavedessä. Vesi oli lähes raudatonta ja mangaanitonta. Vedessä esiintyi sameutta, kun portaikko murtui ja imeytysallas täyttyi hienojakoisilla maa-aineksilla.

Imeytysaltaasta maaperään imeytyvässä vedessä oli vielä runsaasti happea. Imeytysaltaan keskellä olleessa havaintoputkessa happea oli noin neljän metrin syvyydellä pohjaveden pinnasta 27.1.76 $5,3\text{ mg/l}$ ja 17.3.76 $4,4\text{ mg/l}$. Vastaavat lämpötilat olivat $2,1$ ja $3,2^{\circ}\text{C}$.

4.1.5.4 Muut imeytyskokeen aikana tehdyt havainnot

Imeytysallas ei tukkeutunut imeytyksen aikana altaan pohjalle saostuneen raudan ja mangaanin vaikutuksesta. Tämä johtui imeytysaltaan puhdistamisesta, joka jouduttiin tekemään portaikon murruttua.

Altaassa oli vettä imeytyskokeen päättyessä $0,25$ metriä. Mikäli imeytystä olisi voitu jatkaa yhtäjaksoisesti, olisi imeytysallas tukkeutunut vedessä olleen rautamäärän perusteella arvioituna noin neljässä kuukaudessa eli huhtikuun lopulla 1976.

Valutusrinteen alaosassa ollut imeytysoja tukkeutui imeytysveden määrään nähden pienen imeytyspinta-alan vuoksi suhteellisen nopeasti. Oja puhdistettiin kesä-lokakuussa 1976 kolme kertaa.

Valutusrinteelle saostuneet rauta ja sekä osittain myös mangaani pidättyivät maan pintakerrokseen ja siinä olevaan kasvillisuuteen. Kesällä 1976 rautaa pidättyi eniten rinteiden yläreunassa olevaan sepelisuodattimeen.

Vesi levisi jakoputkesta sepelisuodattimen kautta rinteelle suhteellisen tasaisesti. Rinteiden jyrkempään yläosaan muodostui kuitenkin puroja, jotka alkoivat syöpyä maaperään. Rinteelle keräytynyt rautasakka lähti kosketeltaessa herkästi veden mukana liikelle pitkin rinnettä ja edelleen imeytysojaan. Normaalien sateiden aikana rautasakka pysyi paikoillaan.

Imeytysveden lämpötila laski portaikossa noin 5,0 °C:sta 1-2 °C:seen. Jäätymistä ei tapahtunut portaikossa tai imeytysaltaassa, vaikka lämpötila laski talvella 1976 ajoittain alle -25 °C:n.

Valutusrinne ja imeytysoja jäättyivät talvella 1976. Jäätymisen johtui tuloputken asennusvirheestä. Vesi suihkusi putkesta korkealle ilmaan, jolloin veden lämpötila pakkasilla laski lähelle 0 °C:ta. Vesi jäättyi maanpinnalle. Imeytystä jatkettiin kuitenkin koko talven ajan. Vesi imeytyi maaperään koko rinteiden alueella, missä rautasakan aiheuttama tukkeutuminen oli vielä tällöin vähäistä.

Rautasakan peittämiä rauta- ja mangaanibakteereja esiintyi sekä esikäsittely-yksiköissä että imeytysaltaassa. Bakterilajeissa ei ollut eroja. Puhdistetusta vedestä otetussa näytteessä esiintyi joitakin Gallionella-rihmoja ilman rautasakkaa.

Pohjavesi oli Peltosalmen vedenottamoalueella allasimeytyksen päättyessä 20.4.1976 tasolla +87,69. Tämän jälkeen pohjaveden pinta alkoi laskea ja oli toukokuun alussa tasolla +87,25 (kuva 9).

4.2 Kälviän vesiosuuskunnan Riipan pohjavedenottamon suunnittelu varten tehdyt imeytyskokeet

4.2.1 Yleistä

Kälviän vesiosuuskunta on käyttänyt vedenhankintaan vuoteen 1976

saakka pintavettä. Vedenkulutuksen kasvaessa päätettiin 1976 siirtyä käyttämään pohjavettä. Se otettaisiin noin 13 km:n etäisyydellä Kälviän kirkonkylästä olevasta Riipan pohjavesiesiintymästä, jonka antoisuudeksi on arvioitu 1 000 m³/d.

Kälviän vesiosuuskunnan vedenkulutus oli v. 1970 noin 200 m³/d. Vuonna 1980 kulutukseksi on arvioitu 450 m³/d ja vuonna 2000 920 m³/d.

Riipan pohjavesiesiintymän käyttöönotto edellyttää raudan ja mangaanin poistoa. Imeytyskokeiden tavoitteeksi asetettiin raudan ja mangaanin poistomahdollisuuksien selvittäminen jälleenimeytysmenetelmällä. Jälleenimeytysmenetelmän rakentamis- ja käyttökustannukset arvioitiin pieniksi muihin vedenkäsittelymenetelmiin verrattuna.

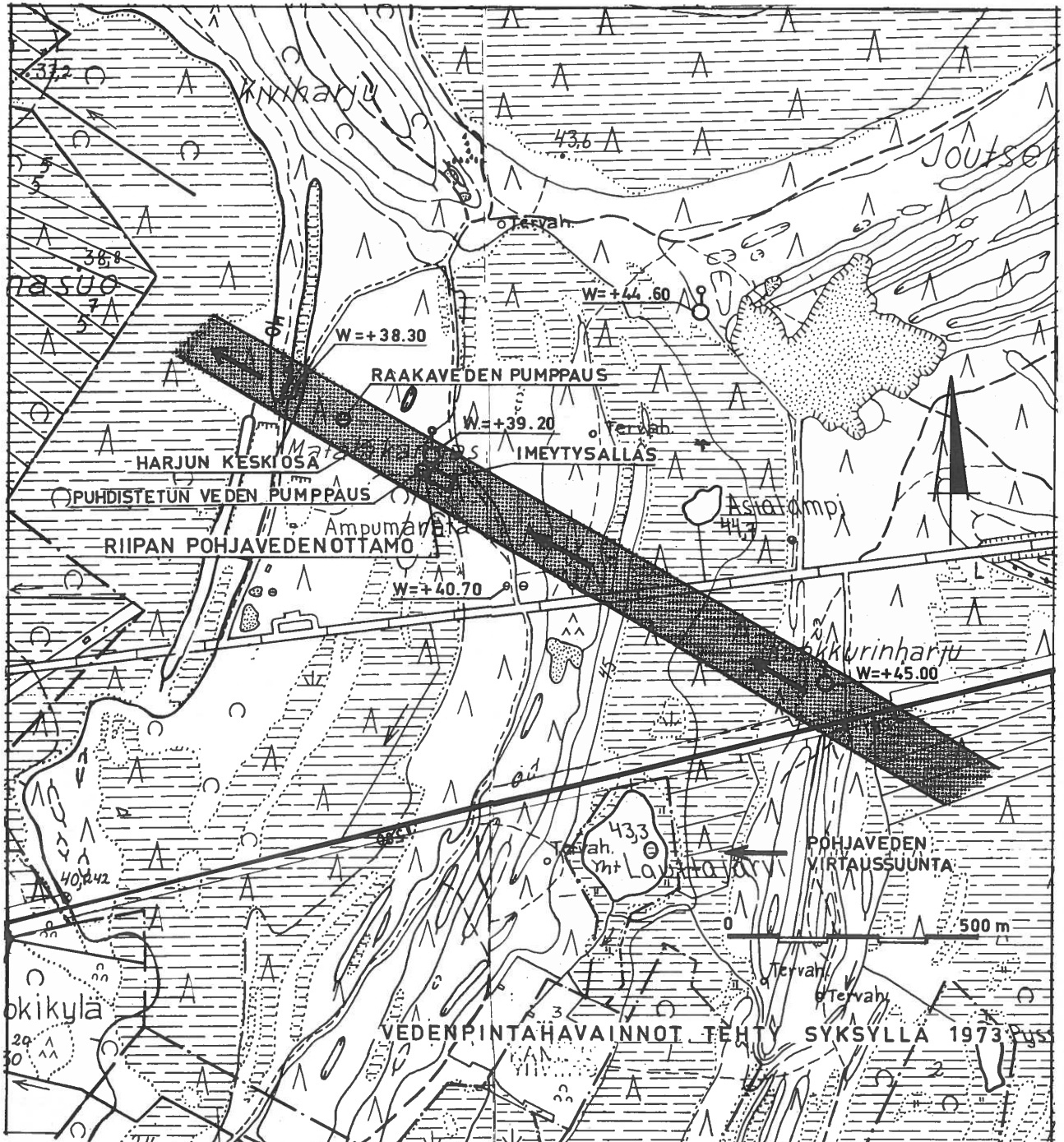
Riipan pohjavesiesiintymä on esimerkki Pohjanmaalla tyypillisistä oloista, joissa pohjavesi on pohjavesikerroksen pintaosissa hyvälaatuista. Vedenoton kasvaessa rautapitoisuus alkaa kasvaa.

4.2.2 Hydrogeologiset olot

Riipan pohjavesiesiintymä muodostuu rantavoimien vaikutuksesta laajalle levinneistä epäyhtenäisistä, loivapiirteisistä hiekkalueista. Maaperä on pinnassa hienoa hiekkaa ja hiekkaa. Esiintymä on soiden ympäröimä. Soita esiintyy myös hiekkaselänteiden välissä.

Primaarinen, karkeita maalajeja sisältävä harjun keskiosa on peittynyt hiekkakerrosten alle. Kairausten perusteella primaarinen harju kulkee imeytysveden ottopisteen ja imeytysaltaan kautta luoteesta kaakkoon (kuva 14).

Pohjavedenpinta on primaariharjun alueella noin 3–4 metrin syvyydellä maanpinnasta ja laskee kaakosta luoteeseen purkautuen hiekkalueen länsipuolella olevalle suolle.



Kuva 14. Hydrogeologinen yleiskartta. Riipan pohjavedenottamo. Kälviän vesiosuuskunta.

Primaarinen harjuselänne on erittäin kapea. Maakerrosten paksuus vaihtelee harjun keskiosissa 12,5–22 m. Imeytysaltaan ja sen vieressä olevan kaivon kohdalla maaperä on pinnassa 3–4 metriä hienoa hiekkaa ja hiekkaa ja sen alapuolella karkeaa hiekkaa ja soraa 12,5 metrin syvyydelle saakka.

Imeytysveden ottopisteen maaperä on pinnasta 6,6 metriin hienoa hiekkaa ja hiekkaa ja sen alapuolella vaihtelevia kerroksia hiekkaa ja soraa.

4.2.3 Aikaisemmin tehdyt tutkimukset

Aikaisemmin tehtyjen alustavien veden laatututkimusten perusteella pohjavesi oli imeytysaltaan vieressä ennen koepumppauksia lähes raudatonta ja mangaanitonta 11 metrin syvyydelle maanpinnasta saakka. Rautapitoisuus vaihteli eri tasoilla 0,04–0,09 mg/l ja mangaanipitoisuus 0,0–0,05 mg/l. Maaperän vedenläpäisykyky oli hyvä.

Pohjaveden laadun selvittämiseksi tehtiin pisteessä ennen imeytyskokeiden aloittamista kahden kuukauden koepumppaus senhetkistä vedentarvetta vastaavalla teholla ($500 \text{ m}^3/\text{d}$). Pumppaus tehtiin 7–9 metrin syvyydeltä maanpinnasta. Pohjavesi oli aluksi hyvälaatuista. Pumppauksen aikana rauta- ja mangaanipitoisuudet alkoivat kuitenkin nousta (taulukko 6).

Kun pumppauksen perusteella oli todettu, että paikalta ei saada riittävästi hyvälaatuista pohjavettä, ryhdyttiin valmistelemaan imeytyskoetta.

Taulukko 6. Pohjaveden laatu ennen imeytyskokeen aloittamista tehdyn koepumppauksen aikana.

	pH	CO ₂ mg/l	Kok.kov. °dH	Fe mg/l	Mn mg/l	Johtok. mS/m	KMnO ₄ mg/l
20.8.75	5,7		0,5	0,04	0,05	4,6	2
15.10.75	5,7	61,0		1,50	0,10		3
26.11.75	6,0	42,0		2,05	0,08		3

4.2.4 Imeytyskokeiden valmistelu ja suoritus

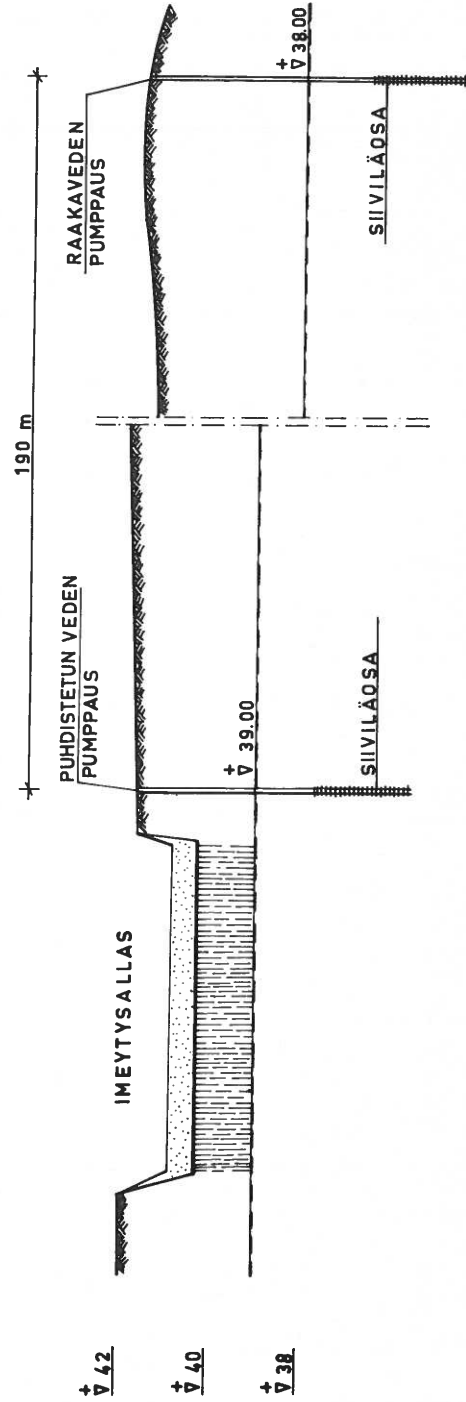
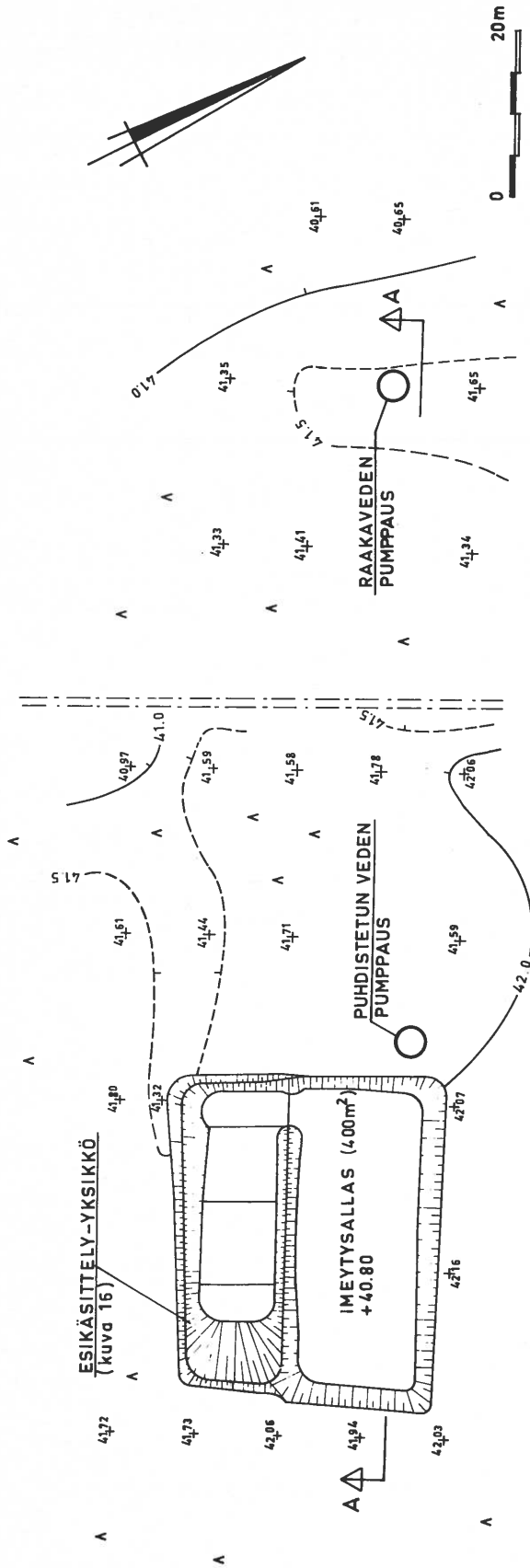
Imeytysallas sijoitettiin kapean harjuselänteen keskiosan kohdalle. Karkeiden hiekka- ja sorakerrostumien päällä oleva hieno hiekka soveltui sellaisenaan suodatinhiekaksi. Allas mitoitettiin 1 000 m³/d suuruisen vesimäärän käsittelyä varten (kuva 15).

Ennen imeytyskokeiden aloittamista tehtiin kentällä pienoismallikokeita raudan ja mangaanin poistomahdollisuuksien selvittämiseksi. Kokeet tehtiin 1,5 metriä korkeassa Ø 12 cm:n monikerrossuodattimessa. Suodatinmateriaalina käytettiin hiekkaa, jonka raekoko vaihteli eri kerroksissa 0,2–5,0 mm. Ilmastus tehtiin poikkipienoilla varustetussa kourussa (kaskadi-ilmastus). Kokeet tehtiin suodatusnopeudella 5 m/h. Tutkimustulokset on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Koepumppausvedestä tehtyjen suodatuskokeiden tuloksia Riipan vedenottamalla.

Näyte otettu suodatuksen aloituksesta lukien (h)	pH	CO ₂ mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Huomautuksia
<u>Ilmastus ja suodatus (27.–29.10.1975)</u>					
0,5	6,2		0,27	0,11	
17,5	6,2		1,13	0,10	
24,5	6,1	42,0	1,17	0,09	
42,5	6,0	42,5	1,04	0,09	raakavesi: pH 5,7, Fe 1,64, Mn 0,10, CO ₂ 78,0
<u>pH:n nosto, ilmastus ja suodatus (24.–27.11.1975)</u>					
0,5	10,5	0	1,74	0,05	
20	9,5	0	2,46	0,07	
26,5	10,6	0	1,70	0,06	
44,5	7,0	4,0	1,56	0,10	
50,0	9,8	0	1,70	0,05	
69,0	9,3	0	1,62	0,05	raakavesi: pH 6,0, Fe 2,05, Mn 0,08

Pienoismallikokeiden perusteella voitiin todeta, että pohjaveteen liuennutta rautaa ja mangaania ei voida poistaa ilmastuksen ja suodatuksen avulla. Tulokseen ei päästy, vaikka veden pH:ta nostettiin lipeän avulla.



Kuva 15. Asemapiirros ja poikkileikkaus esikäsittely- ja imeytyskokeiden järjestelystä. Riipan pohjavedenotto, Kälvien vesiosuuskunta.

Koska jälleenimeytysmenetelmässä raudan ja mangaanin saostuminen perustuu mikrobiologiseen toimintaan, oli kuitenkin oletettavissa, että tällä menetelmällä voidaan päästä hyvään tulokseen. Esikäsitelysuunnitelmia muutettiin pienoismallikokeista saatujen kokemusten perusteella siten, että veden viipymä esikäsitely-yksikössä oli mahdollisimman pitkä ja ilmastus tehokasta (kuva 16).

Imeytyskokeet aloitettiin joulukuun lopulla 1975 ja niitä jatkettiin toukokuun puoliväliin saakka 1976. Pumppaustehot on esitetty kuvassa 17.

4.2.5 Tutkimustulokset

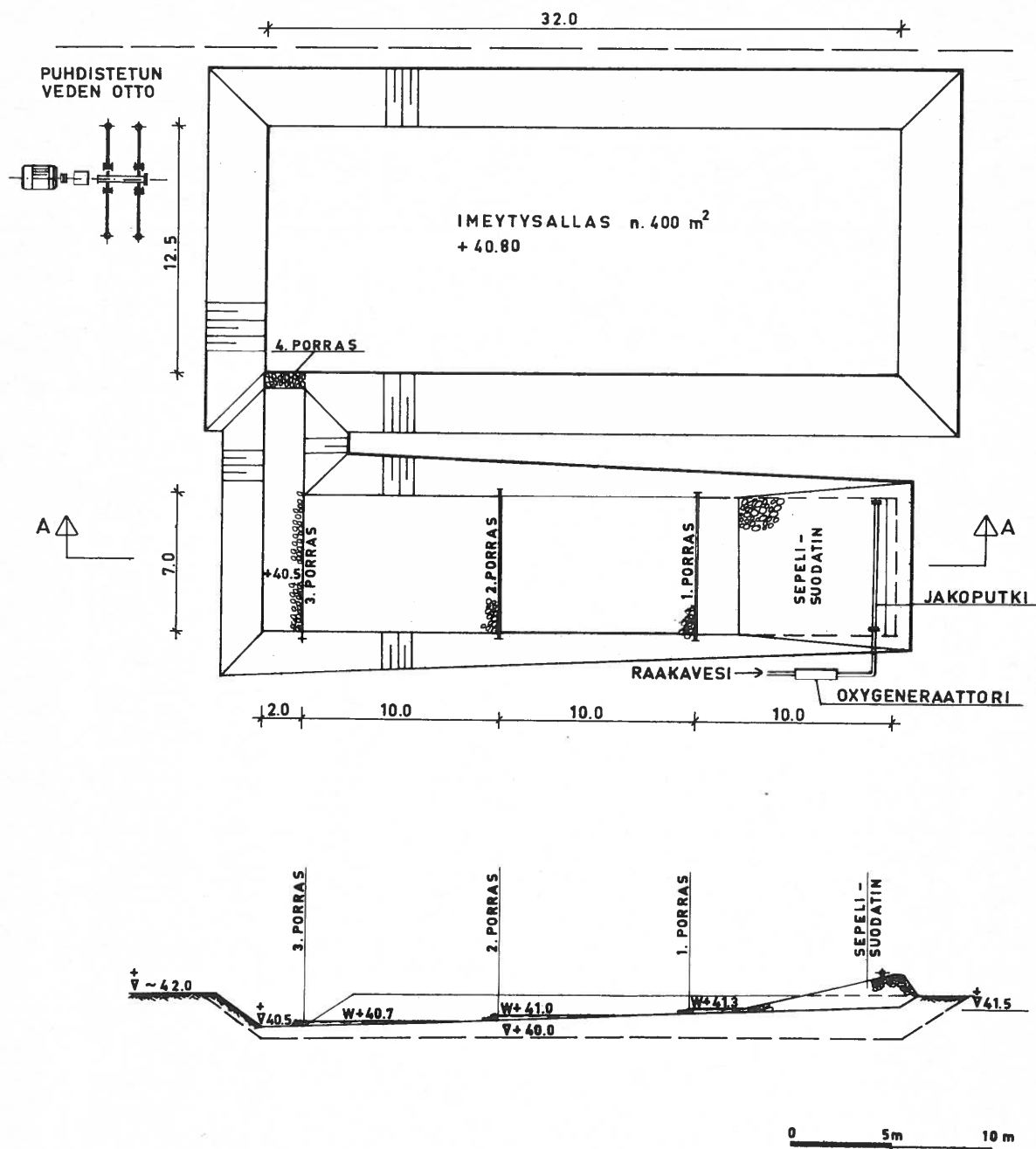
4.2.5.1 Raakaveden laatu

Noin 200 metrin etäisyydeltä imeytysaltaasta pumputtu raakavesi oli erittäin pehmeää, hyvin hapanta, niukasti suoloja ja jonkin verran orgaanista ainesta sisältävää pohjavettä. Veden hiilidioksidipitoisuus oli korkea. Rautapitoisuus nousi tasaisesti pumppauksen aikana ja oli sen päättyessä yli 2,0 mg/l. Mangaanipitoisuudessa ei ollut todettavissa merkittäviä muutoksia (taulukko 8).

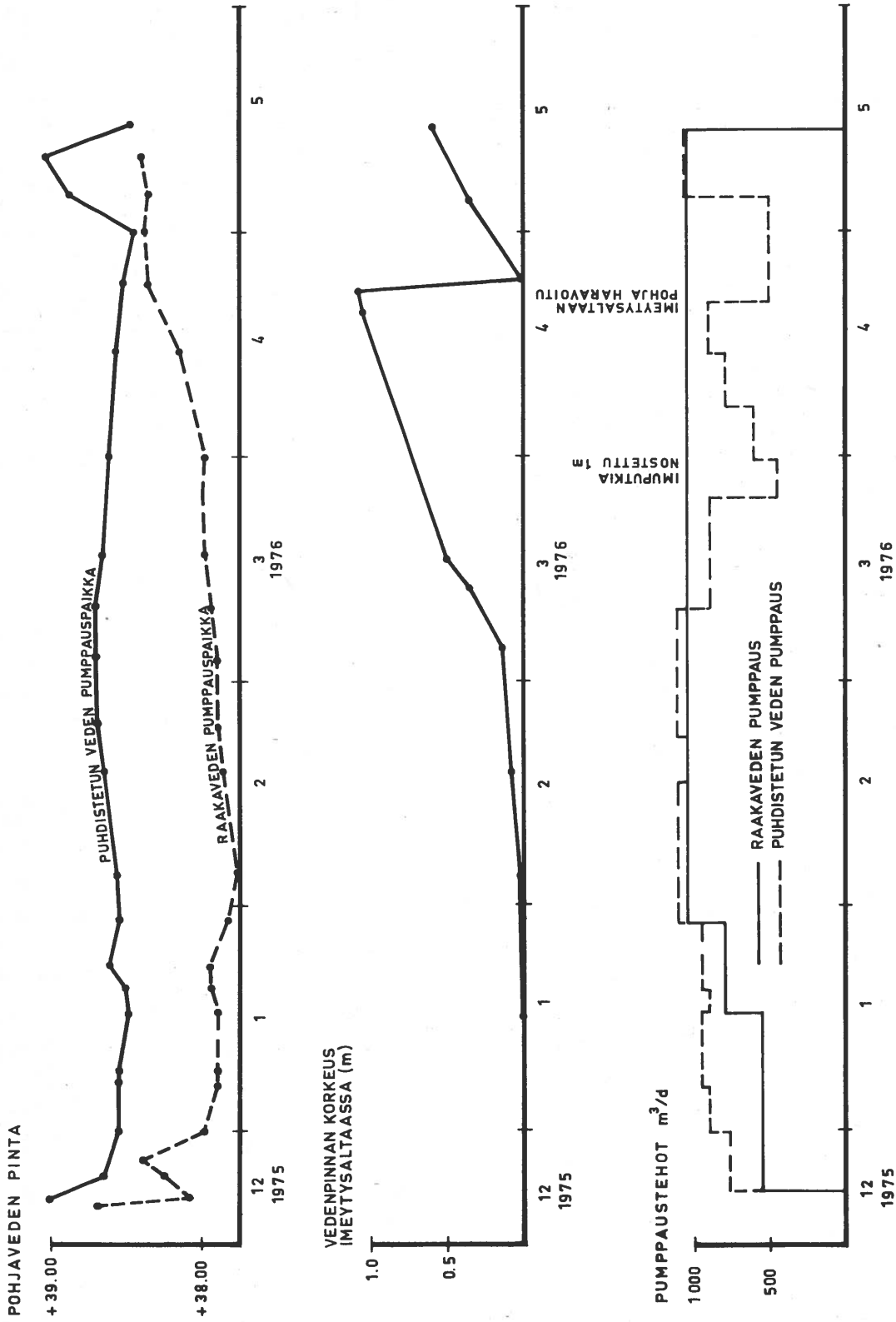
Taulukko 8. Raakaveden analyysituloksia.

		14.1.76	17.2.76	16.3.76	14.4.76	14.5.76
°C		4,8 ^x		4,4 ^x		
Väri	mg Pt/l	13	10	16	19	
pH		5,7	5,7	5,5	5,6	5,4
CO ₂	mg/l	46,6 ^x	27,6	54,6 ^x	42,8	45,2
Kok.kov.	°dH	0,8	0,7	0,7	0,7	
NH ₄	mg/l		0,04	0,04		
SO ₄	"	4,8	10,0	10,0	5,0	
Fe	"	1,14	1,63	1,67	1,97	2,1
Mn	"	0,09	0,11	0,15	0,10	0,1
Johtok.	mS/m	6,6	6,1	6,6	6,1	6,2
KMnO ₄	mg/l	11,2	12	14	16	16

^x määrittäminen tehty kentällä



Kuva 16. Esikäsittely-yksikön rakenne. Riipan pohjavedenotto. Kälviän vesiosuuskunta.



Kuva 17. Imeytyskokeiden suoritus ja vedenpintahavainnot. Riipan pohjavedenotto. Kälviän vesiosuuskunta.

4.2.5.2 Raakaveden laadun muuttuminen esikäsitelyssä

Vesi ilmastui hyvin ennen sepelisuodatinta olleessa oksigeneraattorissa. Veteen liuenneen hapen määrä kasvoi vielä jonkin verran ilmastusportaalta toiselle siirryttäessä. Veden hapettuessa hiilidioksidipitoisuus laski imeytysaltaaseen mennessä alle 20 mg/aan/l. Lasku oli nopeinta käsittelyn alkuvaiheessa. Käsittelemättömän veden hiilidioksidipitoisuus oli yli 50 mg/l (kuva 19).

Raakaveden pH:ssa oli todettavissa myös muutoksia. Taulukossa 9 on esitetty 16.3.1976 kentällä esikäsitelyyn eri vaiheista tehdyt pH-mittausten tulokset.

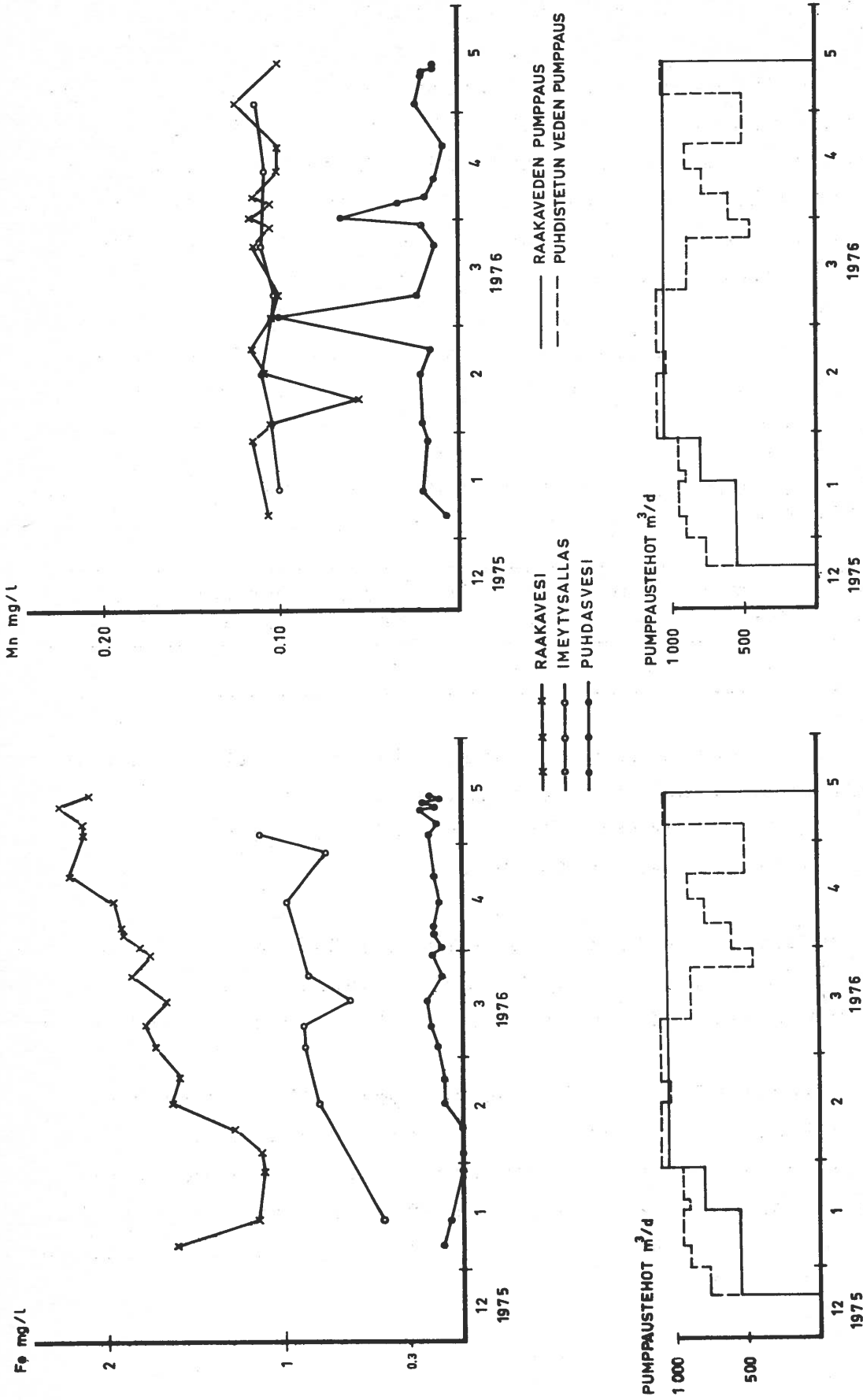
Taulukko 9. Esikäsitelyyn eri vaiheista 16.3.1976 kentällä tehdyt pH-mittausten tulokset.

Määrittys- piste	Raaka- vesi	1. por- ras	2. por- ras	3. por- ras	4. por- ras	imeytys- allas	puhdistettu vesi
pH	5,5	5,8	6,1	6,1	6,2	6,2	5,7

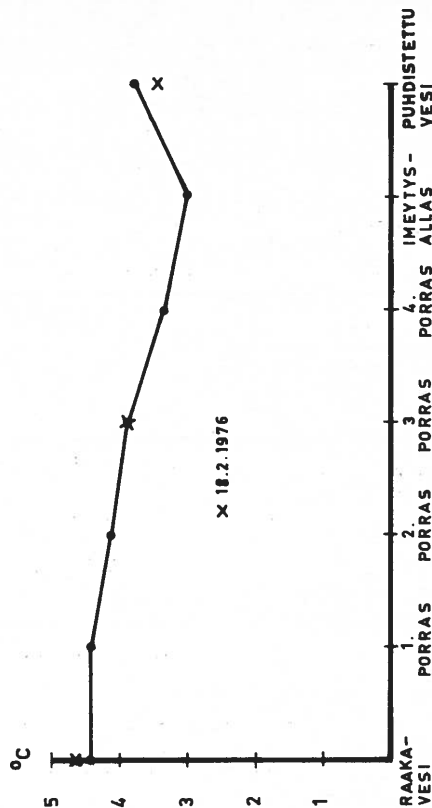
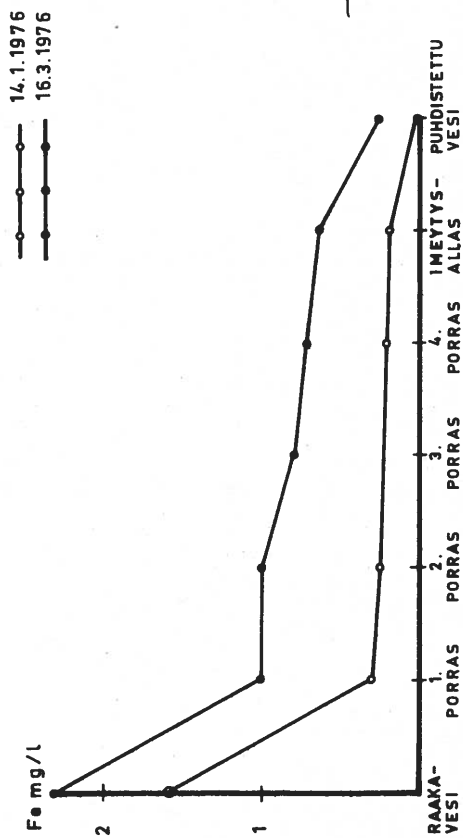
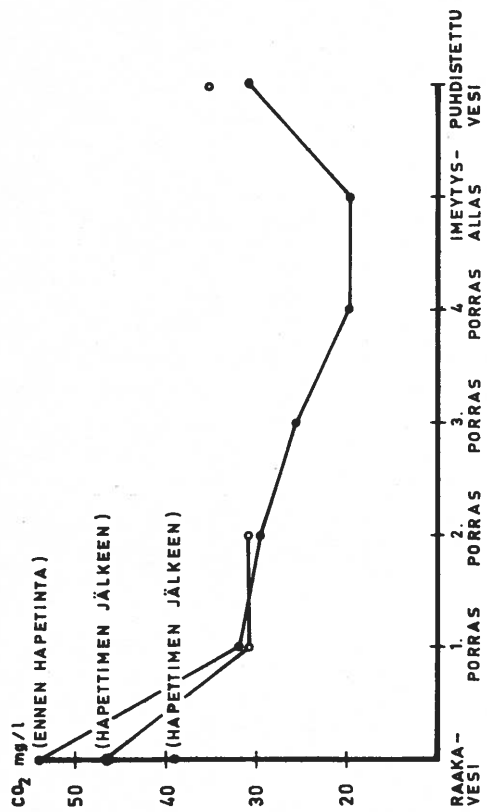
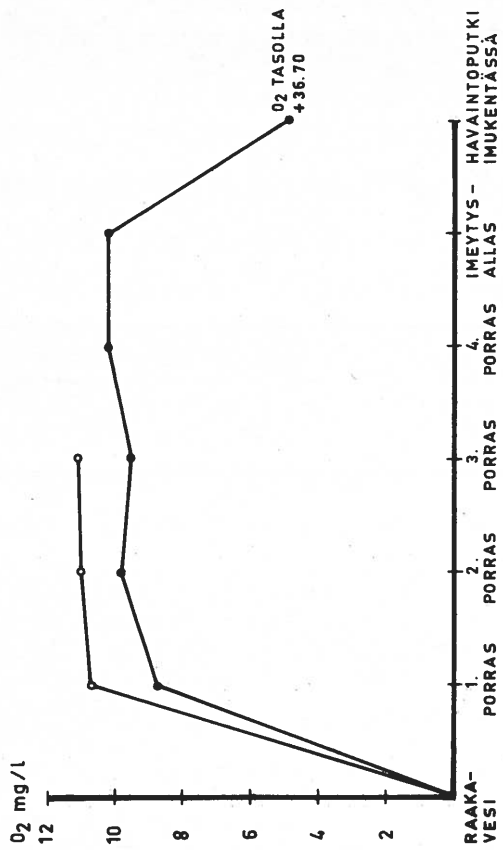
Hapetus-pelkistyspotentiaali oli raudan suhteen hapettavalla puolella jo ensimmäisen portaan selkeytysaltaassa. E_7 -potentiaaliksi mitattiin 16.3.1976 kyseisessä altaassa +427 mV. Imeytysaltaaseen mennessä E_7 -potentiaali kasvoi 40 mV.

Pohjaveden rautapitoisuus laski nopeimmin esikäsitelyyn alkuvaiheessa. Rauta saostui pääasiassa sepelisuodattimeen. Rautasakkaa oli todettavissa runsaasti myös ensimmäisen portaan selkeytysaltaassa.

Rautapitoisuus laski edelleen seuraavilla portailla. Pitoisuuden pieneneminen oli kuitenkin verraten hidasta. Rautasakkaa esiintyi kaikkien portaiden selkeytysaltaiden pohjalla. Raakaveden rautapitoisuus laski esikäsitelyvaiheessa imeytysaltaaseen mennessä noin 50 %. Mangaanipitoisuudessa ei tapahtunut esikäsitelyssä muutoksia (kuvat 18 ja 19).



Kuva 18. Imeytyskokeiden suoritus ja imeytysveden, esikäsitellyn veden ja kulutukseen pumputun veden rauta- ja mangaanipitoisuudet. Riipan pohjavedenotto. Kälviän vesiosuuskunta.



Kuva 19. Raakaveden hiilidioksidi-, happi- ja rautapitoisuuksien sekä lämpötilan muutokset esikäsittelyssä ja imeytysaltaassa 14.1. ja 16.3.1976. Riipan pohjavedenotto. Kälviän vesiosuuskunta.

4.2.5.3 Veden laatu imeytysaltaassa ja puhdasvesikaivossa

Imeytysaltaassa vesi oli runsaasti liuennutta happea sisältävää, hapanta pohjavettä, jonka hiilidioksidipitoisuus oli esikäsitteilyn jälkeen vielä verraten korkea. Veden E_7 -potentiaali oli raudan suhteen hapettavalla puolella. Veden rautapitoisuus oli alle 1,0 mg/l, mutta nousi raakaveden rautapitoisuuden noustessa (kuvat 18 ja 19 ja taulukko 10).

Imeytysaltaasta maaperään imeytynyt vesi kulkeutui lämpötilahavaintojen perusteella altaan vieressä olleisiin imuputkiin. Esimerkiksi 7.4.1976 raakaveden lämpötila oli 4,6 °C, imeytysaltaassa olevan veden 3,2 °C ja puhdistetun veden 3,6 °C.

Taulukko 10. Imeytysaltaasta otettujen näytteiden analyysituloksia.

Pvm.		14.1.76	17.2.76	16.3.76	14.4.76	3.5.76
°C				2,9 ^x		
O ₂	mg/l			10,2 ^x		
E ₇	mV			+440 ^x		
pH		5,7	6,2	6,2 ^x	5,9	6,1
Väri	mg Pt/l	19	19	23	36	28
CO ₂	mg/l		10,2	19,4 ^x	13,2	17,0
Kok.kov.	°dH	0,7	0,7	0,6	0,9	0,9
NH ₄	mg/l		0,04	0,04		0,05
SO ₄	"	6,7	3,8	10	4,0	10
Fe	"	0,44	0,80	0,85	0,99	1,13
Mn	"	0,10	0,11	0,14	0,11	0,11
Johtok.	mS/m	6,3	5,7	6,8	6,0	6,4
KMnO ₄	mg/l	9,2	12	12	12	12

^x määrittäminen tehty kentällä

Imeytysaltaasta suodatinkerroksen päällä olleesta vedestä otetuissa vesinäytteissä todetut rauta ja mangaani pidättyivät imeytysaltaan pohjaan, johon muodostui ohut sakkakerros.

Imeytysaltaan vierestä pumputtu puhdistettu pohjavesi oli imeytyksen aikana lähes raudatonta ja mangaanitonta. Puhdistettu vesi oli laadultaan erilaista imeytysaltaassa olleeseen veteen verrattuna myös muussa suhteessa (taulukot 10 ja 11). Puhdistetun veden pH oli alhaisempi ja hiilidioksidipitoisuus oli korkeampi kuin imeytysaltaassa. Hiilidioksidipitoisuus oli kuitenkin huomattavasti pienempi kuin raakavedessä ja laski imeytyksen jatkuessa alle 20 mg:aan/l (kuva 20).

Imeytysveden sisältämän orgaanisen aineksen määrä laski KMnO_4 -kulutuksen perusteella arvioituna hidassuodatuksessa 16 %. Esikäsitelyssä raakaveden KMnO_4 -kulutus laski 21 %.

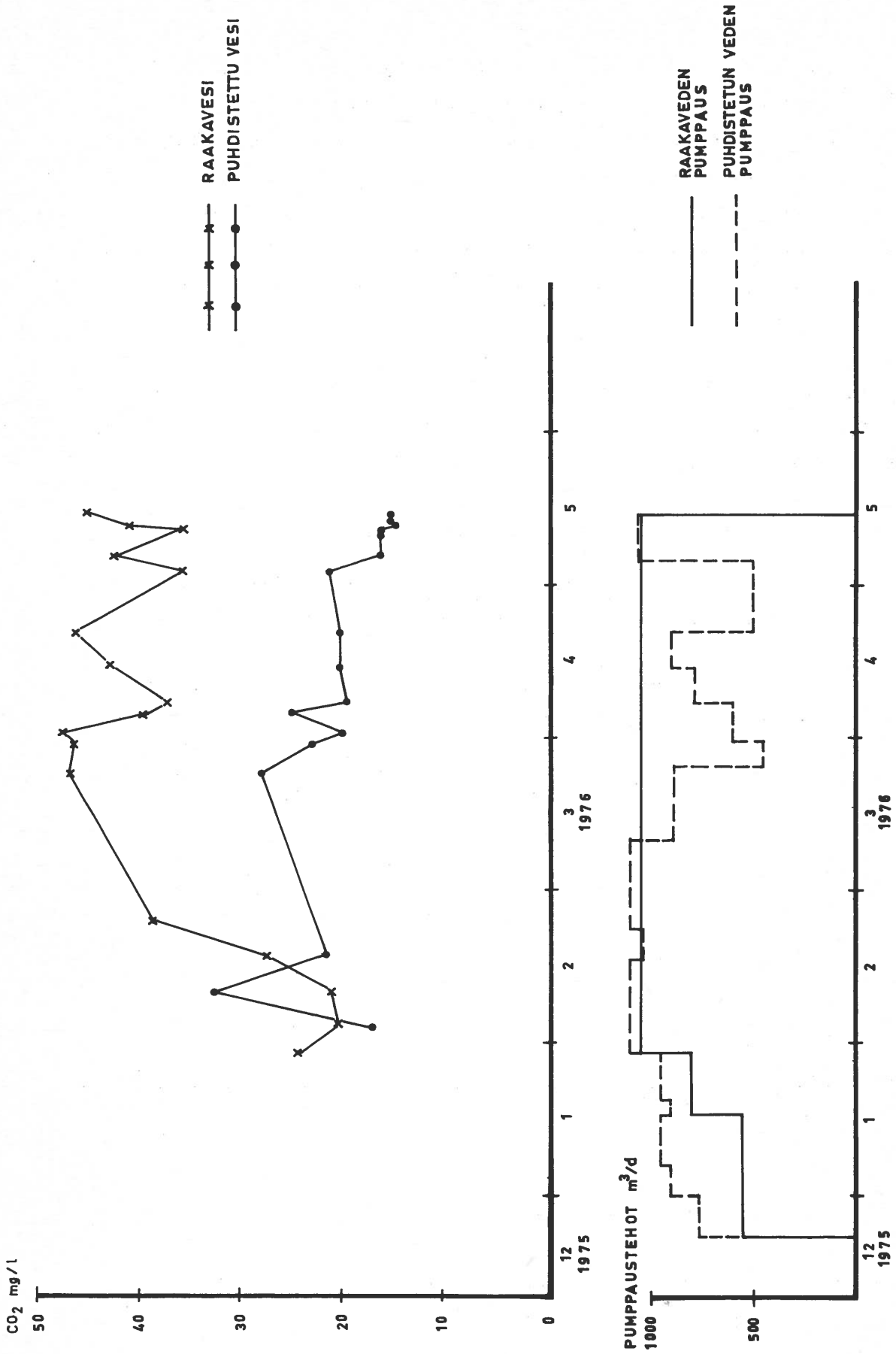
Taulukko 11. Puhdistetusta vedestä otettujen näytteiden analyysituloksia.

Pvm.		14.1.76	17.2.76	16.3.76	14.4.76	3.5.76
°C		4,2				
pH		5,7	5,7	5,7 ^x	5,6	5,7
Väri	mg Pt/l	2	0	2	9	12
CO ₂	mg/l	35,2 ^x	21,8	30,8 ^x	20,6	21,5
Kok.kov.	°dH	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7
NH ₄	mg/l		0,01	0,02		0,02
SO ₄	"	4,8	3,4	10,0	5,0	4,3
Fe	"	0,07	0,11	0,12	0,13	0,18
Mn	"	0,02	0,021	0,06	0,013	0,029
Johtok.	mS/m	7,3	4,6	8,0	4,9	4,8
KMnO ₄	mg/l	7,2	8	10,0	12	8
Koolim. termostab.						
bakteerit	kpl/100 ml	0		0		

^x määrittäminen tehty kentällä

4.2.5.4 Muut imeytyskokeen aikana tehdyt havainnot

Esikäsitely-yksiköstä imeytysaltaaseen virrannut vesi imeytyi kokeen alussa maaperään välittömästi viimeisen portaan edustalla.



Kuva 20. Raakaveden ja puhdistetun veden hiilidioksidipitoisuudet imeytyskokeen aikana. Riipan pohja-vedenotto. Kälviän vesiosuuskunta.

Noin kahden kuukauden kuluessa imeytysvesi oli levinnyt koko altaaseen ja veden pinta alkoi hiljalleen nousta. Vedenpinnan nousu nopeutui noin 2 1/2 kuukauden kuluttua imeytyksen aloittamisesta, jolloin vedenpinta nousi yhden kuukauden kuluessa yli metrin. Imeytysallas tukkeutui neljässä kuukaudessa (kuva 17).

Vedenpinta imeytysaltaassa saatiin laskemaan tilapäisesti imeytystä keskeyttämättä haravoimalla altaan pohja. Vedenpinta alkoi nousta haravoinnin jälkeen kuitenkin verraten nopeasti (kuva 17).

Raakaveden lämpötila laski esikäsitteilyvaiheessa talvioloissa noin 1,0–2,0 °C. Koska raakaveden lämpötila oli 4,2–5,0 °C, vesi ei ehtinyt jäähtyä jäätymispisteeseen saakka. Ilman lämpötila laski talvella 1976 ajoittain alle -25 °C.

Pohjavedenpinta laski puhdistetun veden pumppauspaikalla imeytyksen aikana vain noin 0,3–0,5 metriä. Ennen imeytyskoetta tehdyn koe-pumppauksen aikana pohjavedenpinta laski kymmenen vuorokauden kuluessa 0,8 metriä. Raakaveden pumppauspaikalla pohjavedenpinta oli alimmillaan helmikuun alussa 1976 noin 1 1/2 kuukauden kuluttua imeyttämisen aloittamisesta. Imeytyksen jatkuessa vedenpintaerot alkoivat tasaantua (kuva 17).

Rauta- ja mangaanibakteereja esiintyi sekä esikäsitteily-yksikössä että imeytysaltaassa. Vallitsevana lajina oli *Gallionella*. Myös *Leptothrix*- ja *Siderocapsa*-lajeja esiintyi jonkin verran. Vedestä otetuissa näytteissä bakteereja esiintyi sekä rautasakan peittämänä että ilman rautasaostumia.

Selkeytysaltaan pohjalta otettu rautasakka koostui melkein kokonaisuudessaan *Gallionella*-rihmoista, joiden päällä oli runsaasti rautasaostumia.

Gallionella- ja *Siderocapsa*-bakteereja esiintyi myös sekä raakavedessä että puhdistetussa vedessä. Puhdistetussa vedessä esiintyneissä bakteereissa ei ollut rautasaostumaa, ja niiden määrä oli erittäin pieni.

4.2.5.5 Raudan ja mangaanin poistokokeet laboratoriossa

Raudan ja mangaanin poistomahdollisuuksien selvittämiseksi tavanomaisia menetelmiä käyttäen tehtiin raakavedestä 18.3.1976 otetusta näytteestä 18.-19.3.1976 raudan ja mangaanin poistokokeita laboratoriossa.

Laboratoriossa vesi ilmastettiin ensin akvaarioilmastimella. Suodatuksessa käytettiin suodatinpaperia. Ilmastus-suodatuskokeiden tulokset on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Raudan ja mangaanin poistokokeet. Ilmastus ja suodatus. Koe 1.

	Raaka- vesi	Ilmastus min		
		5	25	45
pH	6,1	6,4	7,2	7,2
CO ₂ mg/l	35			
Alkaliteetti mval/l	0,20			
Kok.kov. °dH	0,7			
Fe mg/l	1,9	1,1	0,74	0,69
Mn "	0,10	0,09	0,06	0,04
Johtok. mS/m	4,3			
KMnO ₄ -kulutus mg/l	9,5			

Huom! Näyte sameni. Ei syntynyt silminnäkyvää saostumaa.

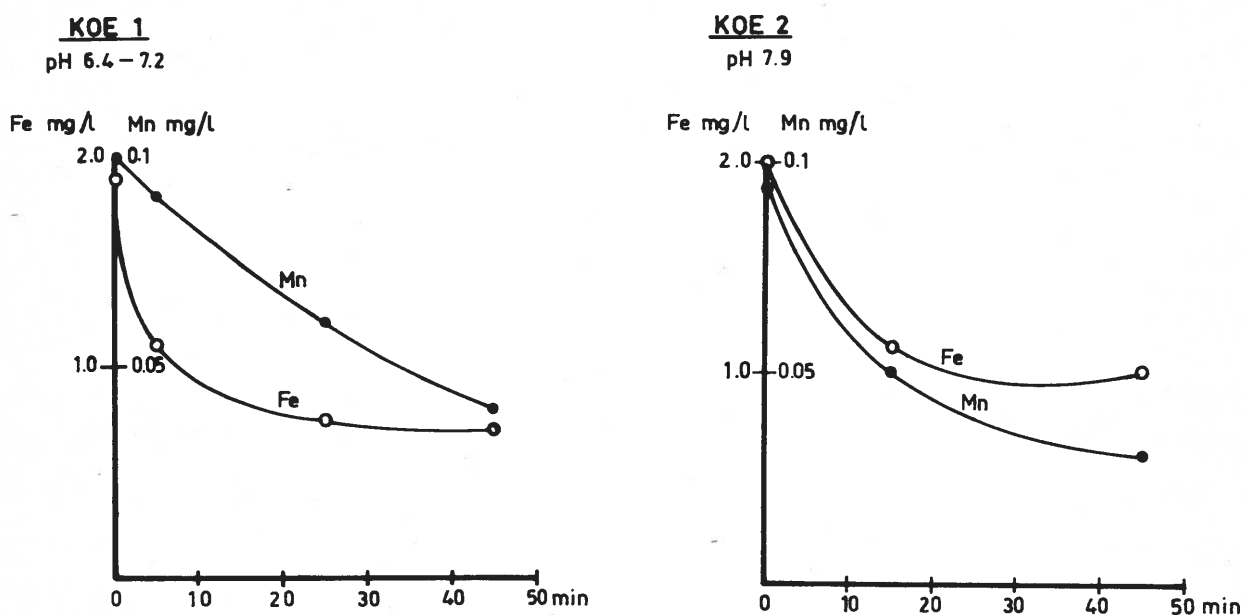
Kokeessa 2 veteen lisättiin ennen ilmastusta lipeää siten, että veden pH nousi noin 8,0:aan. Kun vesi oli ilmastunut 30 minuuttia, näyte pantiin sekoittimeen, missä vettä vielä hitaasti hämmennettiin 15 minuuttia. Tutkimustulokset on esitetty taulukossa 13 ja kuvassa 21.

Ilmastamalla ja suodattamalla veden rautapitoisuus saatiin vähenevän 50-65 % ja mangaanipitoisuus 60-70 %. Raudan jäännöspitoisuus oli kuitenkin edelleen korkea. Tämä johtuu ilmeisesti siitä, että rauta on osittain humusaineeseen kompleksisesti sitoutunut, eikä sidos hajoa pelkän ilmastuksen vaikutuksesta.

Taulukko 13. Raudan ja mangaanin poistokokeet. Ilmastus, suodatus ja pH:n nosto. Koe 2.

		Raaka- vesi	Ilmastus 15 min	Ilmastus 30 min + hämm. 15 min
pH		6,1	7,9	7,9
Fe	mg/l	1,9	1,1	1,0
Mn	"	0,10	0,05	0,03

Huom. Vesi sameni. Ei syntynyt silmännäkyvää saostumaa.



Kuva 21. Laboratoriossa tehtyjen raudan ja mangaanin poistokokeiden tulokset. Riipan pohjavedenottamo. Kälviän vesiosuuskunta.

Veden pH:n nostaminen lipeällä tehosti mangaaninpoistoa, mutta lopullinen rautajäännös jäi yhtä korkeaksi kuin kokeessa 1. Humusaineiden kyky muodostaa komplekseja raudan kanssa lisääntyy pH:n noustessa.

Kokeessa 3 tutkittiin kaliumpermanganaatin ja ferrikloridin vaikutusta raudan ja mangaanin hapetuksessa. Kuudessa dekanterilasissa tehtiin rinnakkain taulukossa 14 esitetyt kokeet. Käsitlemättömän

veden rautapitoisuus oli 1,9 mg/l ja mangaanipitoisuus 0,10 mg/l.

Taulukko 14. Raudan ja mangaanin poistokokeet. Kaliumpermanganaattihapetus ja ferrikloridin syöttö. Koe 3.

Koe	a	b	c	d	e	f
- Esi-ilmastus	x	x	x	x	x	x
- pH:n nosto lipeällä noin 8:aan		x		x		x
- KMnO_4 1 mg/l			x	x		
- Hämmennys 30 min	x	x	x	x	x	x
- Fe (I) 20 mg/l					x	x
- Hämmennys 15 min					x	x
- Suodatus suod.paperin lävitse	x	x	x	x	x	x
Huomautuksia.	Vesi sameaa.		Ei silminäkyvää		Syntyi hyvä	
	flokkeja.				flokki	
Fe mg/l	0,73	0,79	0,55	0,57	1,9	0,06
Mn "	0,06	0,05	0,26	0,27	0,08	0,09

Kokeissa a ja b tulokset olivat samansuuntaisia kuin kokeissa 1 ja 2 saadut tulokset. Kaliumpermanganaatilla hapettamalla raudan poisto tehostui jonkin verran, mutta jäännöspitoisuus oli edelleen korkea. Jäännösmangaani oli korkea (kokeet c ja d).

Kokeissa e ja f käytettiin lisäksi ferrikloridia, joka toimi koagulanttina. Ferrikloridi saosti humusaineet ja raudan hyvin laskeutuvaksi flokiksi. Flokki syntyi vain alkalisessa pH-arvossa, jolloin puhdistustulos oli hyvä.

4.3 Auran kunnan Takaliston pohjavedenottamolla tehdyt imeytyskokeet

4.3.1 Yleistä

Auran kunta otti tätä tutkimusta aloitettaessa kaikki käyttövetensä Takaliston pohjavedenottamolta. Vettä otettiin kulutukseen noin

200–250 m³/d. Esiintymän antoisuudeksi on arvioitu keskimäärin
250–300 m³/d.

Takaliston pohjavedenottamolta saatavan veden käyttö edellyttää sen korkean rauta- ja mangaanipitoisuuden vuoksi käsittelytoimia. Vanha suodatuslaitos poistettiin kulutuksen kasvaessa käytöstä v. 1971. Veden käsittelyä varten rakennettiin VYREDOX-menetelmään perustuva raudanpoistolaitos.

VYREDOX-menetelmään perustuvaa laitosta ei saatu kuitenkaan toimimaan tyydyttävästi. Vaikeudet laitoksen toiminnassa johtuivat hapatukseen käytettävissä olleen veden puutteesta ja pohjaveden laadusta. Kaivojen ympärille ei saatu muodostumaan riittävän laajalle ulottuvaa raudattoman pohjaveden vyöhykettä, jolloin kaivot pyrkivät tukkeutumaan.

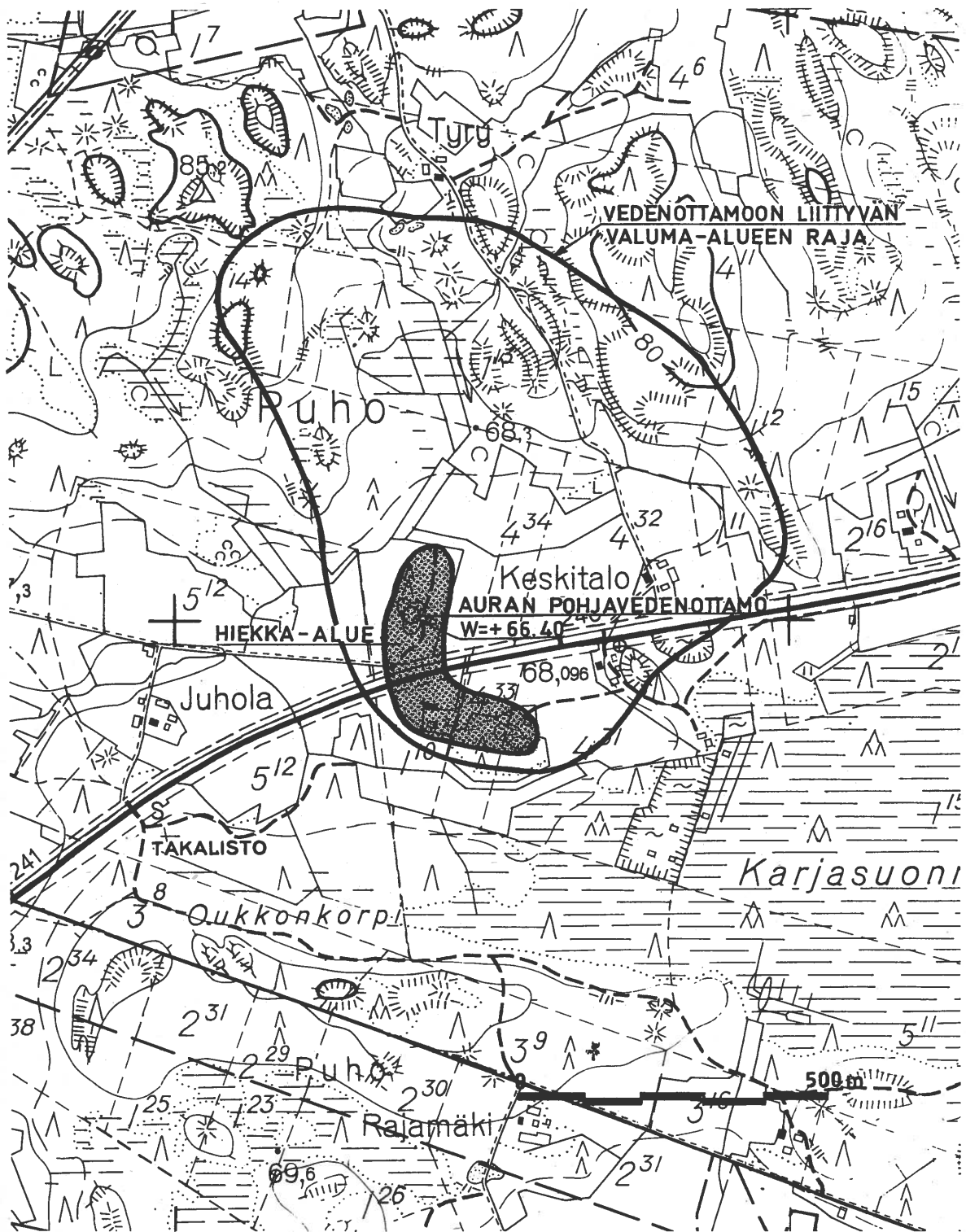
Veden saannin turvaamiseksi luovuttiin 1974 VYREDOX-laitoksen käytöstä ja aloitettiin jälleenimeytys. Jälleenimeytyksen avulla pyrittiin turvaamaan vedentarve mahdollisimman pienillä lisäkustannuksilla vuoteen 1978 saakka, jolloin vettä saataisiin Oripään harjun suunnalta.

Tämän projektin yhteydessä tehtyjen tutkimusten tavoitteeksi asetettiin vedenottamalla tehtävän imeytyksen seuraaminen ja menetelmän käyttömahdollisuuksien arvioiminen kyseisissä oloissa. Jälleenimeytyksessä käytettävä erittäin rautapitoinen raakavesi otetaan samalta vedenottamoalueelta kuin kulutukseen pumputtava puhdistettu vesi.

4.3.2 Hydrogeologiset olot

Takaliston pohjavedenottamo sijaitsee kallio- ja moreeniselänteiden väliin muodostuneella erillisellä hiekka- ja sora-alueella. Hiekka- ja sorakerrostumat rajoittuvat varsin suppealle alueelle vedenottamon pohjois- ja eteläpuolelle. Vedenottamoon liittyvän valuma-alueen suuruudeksi on arvioitu noin 1–1,2 km² (kuva 22).

Maakerrosten paksuus vaihtelee vedenottamoalueella noin 6–10 metriin.



Kuva 22. Hydrogeologinen yleiskartta. Takaliston pohjavedenottamo. Aura.

Maaperä on pinnassa hienoa hiekkaa ja hiekkaa. Vettä hyvin johtavaa karkeaa hiekkaa ja soraa on todettu vain muutamassa pisteessä noin 7–9 metrin syvyydellä maanpinnasta. Pohjavedenpinta on noin 2–3 metrin syvyydellä maanpinnasta.

4.3.3 Aikaisemmin tehdyt tutkimukset

Takaliston alueelta saatavissa oleva pohjavesi ei täytä hyvälle juoma- ja talousvedelle asetettuja vaatimuksia. Taulukossa 15 on esitetty koepumppauksen päättyessä otetuista näytteistä tehtyjä analyysieja. Koepumppaus tehtiin myöhemmin rakennetun kuilukaivon kohdalla.

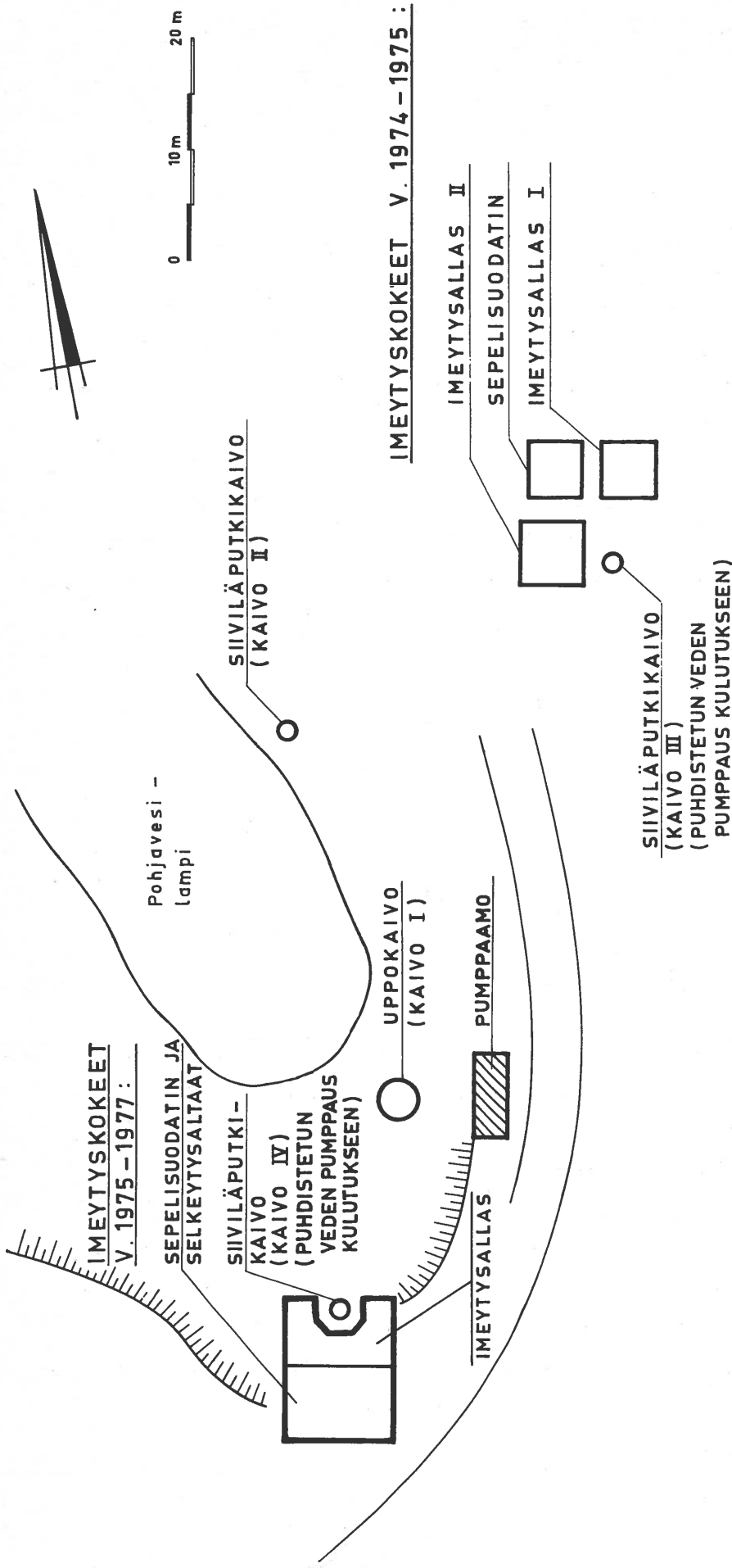
Taulukko 15. Takaliston pohjavedenotannolta koepumppauksen päättyessä 19.1.1960 otettujen näytteiden analyysituloksia.

pH	CO ₂ mg/l	Kok.kov. °dH	Fe mg/l	Mn mg/l	Johtok. mS/m	KMnO ₄ mg/l
6,4	53	3,6	7,2	0,2	14,1	21

Jälleenimeytyskokeilut aloitettiin vuonna 1974. Kuvassa 23 esitetystä vanhasta uppokaivosta otettu vesi johdettiin sepelisuodattimen kautta kaivon III viereen rakennettuihin kahteen imeytysaltaaseen. Imeytysteho oli noin 300–400 m³/d ja kulutukseen pumpatun puhdistetun veden määrä noin 150–200 m³/d.

Raakavedessä olleesta raudasta pidättyi vain pieni osa sepelisuodattimeen (taulukko 16). Mangaanipitoisuudessa ei todettu muutoksia. Sepelisuodattimen huonon raudanpidätyskyvyn arvioitiin johtuvan suodattimen pienestä koosta.

Kaivosta III kulutukseen pumpatun puhdistetun veden rauta- ja mangaanipitoisuudet laskivat imeytyksen aikana jonkin verran. Ennen imeytyskokeiden aloittamista rautapitoisuus oli kaivossa III 4,5 mg/l, mangaanipitoisuus 0,3 mg/l ja KMnO₄-kulutus 20 mg/l. Kaivosta III pumpputussa vedessä ollut rauta ja mangaani saostuivat putkistoon ja



Kuva 23. Asemapiirros imeytyskokeiden järjestelystä. Takaliston pohjavedenotto. Aura.

välisäiliön pohjalle, jolloin verraten kaukana vedenottamosta sijaitsevalla kulutusalueella vesi oli suhteellisen hyvälaatuista.

Taulukko 16. Alustavien imeytyskokeiden yhteydessä otettujen vesinäytteiden analyysituloksia.

Pvm.		Raaka- vesi (Kaivo I)	Imeytys- allas I	Imeytys- allas II	Kaivo III	Verkko
<u>25.2.75</u>						
Fe	mg/l	8,0			2,9	
Mn	"	0,23			0,15	
KMnO ₄	"	22			12	
<u>14.3.75</u>						
Fe	mg/l	6,8	7,0	6,5	2,5	
Mn	"	0,22	0,23	0,23	0,12	
KMnO ₄	"	17	20	18	10	
<u>9.4.75</u>						
Fe	mg/l	7,0	6,2	5,3		0,21
Mn	"	0,19	0,20	0,22		0,07
KMnO ₄	"	23	24	22		9,2
<u>7.5.75</u>						
Fe	"	3,5	2,0	2,1	3,5	
Mn	"	0,27	0,25	0,26	0,22	

4.3.4 Imeytyskokeiden suoritus

Kaivon III käytöstä jouduttiin kaivon antoisuuden jäädessä liian pieneksi luopumaan 1975. Imeytysallas esikäsitteily-yksikköineen rakennettiin tällöin kaivon IV viereen. Kaivosta IV oli saatavissa riittävästi vettä kulutukseen (kuva 23).

Imeytyskoe aloitettiin 6.10.1975. Uppokaivosta otettu rautapitoinen vesi johdettiin vedenottamorakennuksessa olevan oksigeneraattorin kautta sepelisuodattimeen ja edelleen kaivon IV viereen rakennettuun imeytysaltaaseen. Koska sepelisuodattimeen saostunut rauta kulkeutui veden mukana imeytysaltaaseen aiheuttaen sen nopean tukkeutumisen,

esikäsitteilyä tehostettiin marraskuun alussa. Tehostaminen toteutettiin suurentamalla sepelisuodatinta ja rakentamalla sen jälkeen kaksi ylivuotopadolla varustettua selkeytysallasta (kuva 24).

Imeytysteho oli kokeiden aikana noin $300 \text{ m}^3/\text{d}$ ja kulutukseen pumputun veden määrä $230\text{--}250 \text{ m}^3/\text{d}$.

4.3.5 Tutkimustulokset

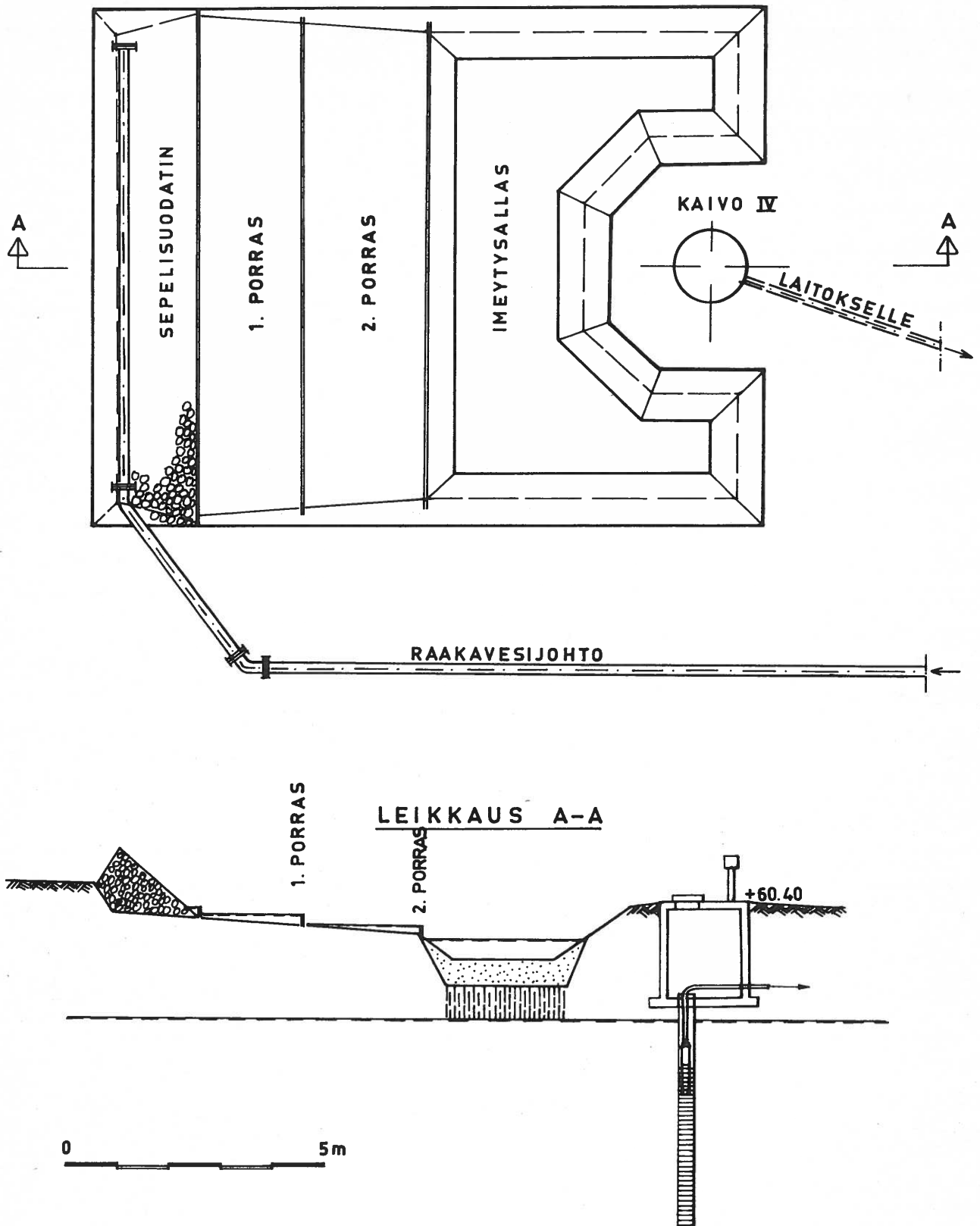
4.3.5.1 Raakaveden laatu

Uppokaivosta pumputtu raakavesi oli pehmeää, hyvin hapanta ja jonkin verran suoloja ja orgaanista ainesta sisältävää pohjavettä. Veden hiilidioksidipitoisuus oli korkea. Rautapitoisuus vaihteli pumppauksen aikana eri ajankohtina huomattavasti. Rautapitoisuus oli korkeimmillaan kuivina kausina syksyllä 1975 ja kevättalvella 1976. Mangaanipitoisuudessa ei ollut todettavissa merkittäviä muutoksia (taulukko 17). Vesi oli uppokaivossa tehtyjen mittausten perusteella hapetonta ja raudan suhteen pelkistynyttä.

Taulukko 17. Uppokaivosta pumputun raakaveden analyysituloksia.

Pvm.		27.11.75	12.12.75	12.1.76	4.3.76	7.9.76
$^{\circ}\text{C}$		$6,0^{\text{x}}$			$5,8^{\text{x}}$	
Väri	mg Pt/l				40	
pH		$5,95^{\text{x}}$	6,0	6,2	$5,15^{\text{x}}$	
E_7	mV	$+195^{\text{x}}$			$+144^{\text{x}}$	
Kok.kov.	$^{\circ}\text{dH}$	3,5	2,9	3,7	3,7	
NH_4	mg/l				0,28	
CO_2	"				$50,2^{\text{x}}$	
SO_4	"	31			29	
Fe	"	8,2	3,1	3,0	6,1	5,8
Mn	"	0,29	0,19	0,25	0,28	0,30
Johtok.	mS/m	16,6	14,6	16,1	17,0	
KMnO_4	mg/l	19	13	10	22	20

^x määrittäminen tehty kentällä



Kuva 24. Asemapiirros ja poikkileikkaus imeytyskokeiden järjestelyistä ja esikäsittely-yksikön rakenteesta. Takaliston pohjavedenotto. Aura.

4.3.5.2 Raakaveden laadun muuttuminen esikäsittelyssä

Vesi ilmastui hyvin ennen sepelisuodatinta olleessa oksigenetaatorissa. Veteen liunneen hapen määrässä ei todettu esikäsittelyvaiheessa merkittäviä muutoksia. Veden hapettuessa hiilidioksidipitoisuus laski noin 50 mg:sta/l alle 20 mg:aan/l. Veden pH vaihteli eri ajankohtina huomattavasti (taulukot 17 ja 18).

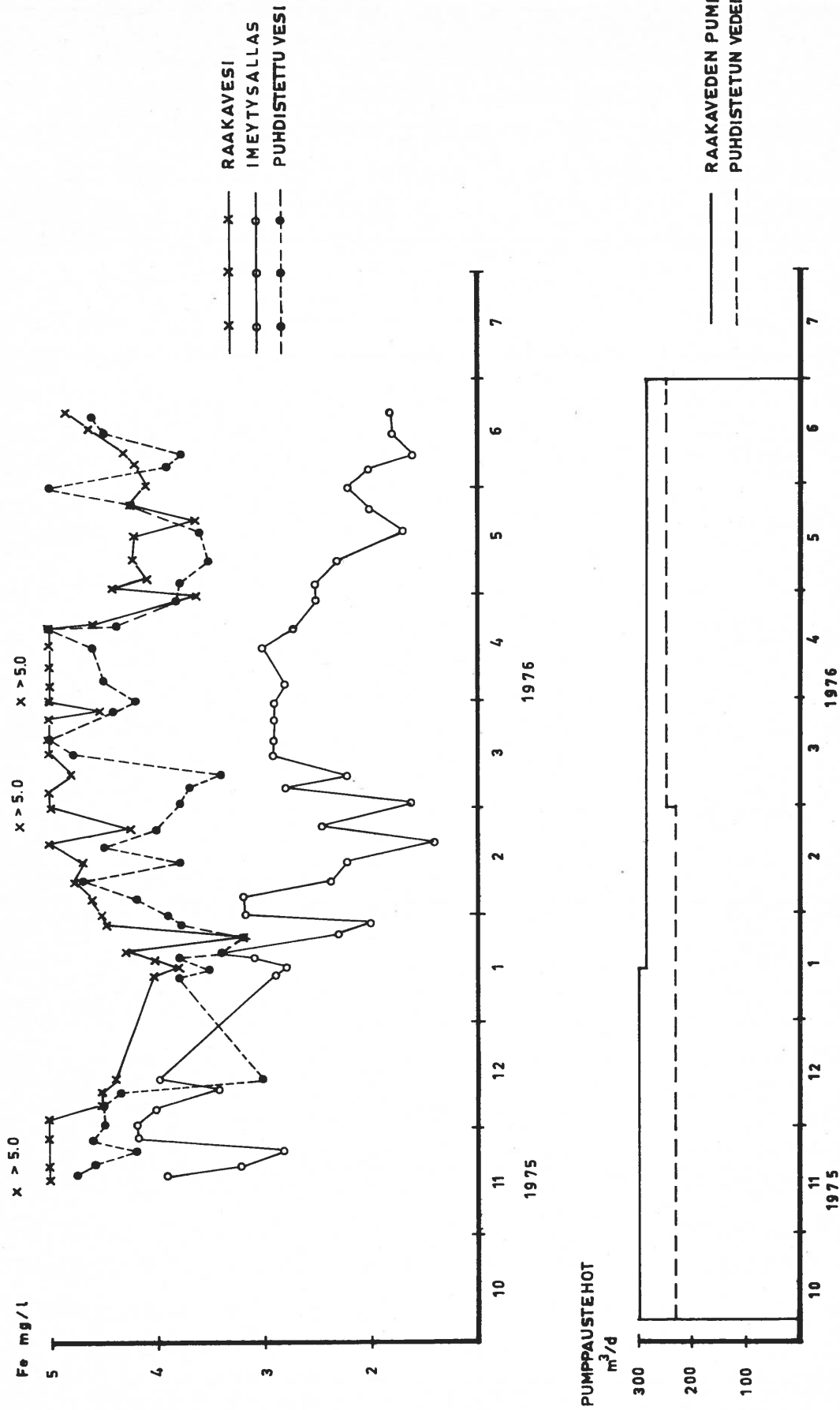
Hapetus-pelkistyspotentiaalin todettiin nousseen raudan suhteen hapatavalle puolelle jo ensimmäisen portaan selkeytysaltaassa. Tämän jälkeen E_7 -potentiaalissa ei tapahtunut enää muutoksia esikäsittelyn aikana.

Raakaveden rautapitoisuus laski nopeimmin esikäsittelyn alkuvaiheessa sepelisuodattimessa. Portaikossa rautapitoisuuden pieneneminen oli vähäistä ja imeytysaltaaseen tulevassa vedessä oli vielä verraten runsaasti rautaa (kuva 25). Raakaveden rautapitoisuuteen voidaan todeta laskeneen esikäsittelyssä kuitenkin noin 50 %. Mangaanipitoisuudessa ei tapahtunut esikäsittelyssä muutoksia.

Taulukko 18. Esikäsittely-yksiköstä ja imeytysaltaasta eri ajankohtina otettujen näytteiden analyysituloksia.

	1. porras			2. porras			3. porras		
	27.11. 1975	12.1. 1976	4.3. 1976	27.11. 1975	12.1. 1976	4.3. 1976	27.11. 1975	12.1. 1976	4.3. 1976
$^{\circ}\text{C}$	5,8 ^x		3,6 ^x	5,8 ^x		3,6 ^x			3,2 ^x
pH	7,1 ^x	6,5	5,25 ^x	7,1 ^x	6,4	5,25 ^x		6,5	4,95 ^x
O_2 mg/l	10,8 ^x		10,4 ^x			9,4 ^x			12,2 ^x
E_7 mV	+332 ^x		+290 ^x	+335 ^x		+270 ^x			+270 ^x
Väri mg Pt/l			70						70
CO_2 mg/l			21,1 ^x						19,6 ^x
Kok.kov. $^{\circ}\text{dH}$	3,5	4,2	3,6		3,7		3,4	3,4	3,9
NH_4 mg/l			0,19						0,24
SO_4 "	23		17				31		25
Fe "	8,3	3,9	4,6		3,2		8,4	3,2	3,8
Mn "	0,29	0,24	0,27		0,24		0,29	0,24	0,26
Johtok. mS/m	16,2	16,3	16,3		16,2		16,1	16,2	
KMnO_4 mg/l	21	11	25		10		19	10	23

^x määrittäminen tehty kentällä



Kuva 25. Ineytyskokeiden suoritus ja raakaveden, esikäsitellyn veden ja kulutukseen pumpputun puhdistetun veden rautapitoisuudet. Takaliston pohjavedenotto. Aura.

4.3.5.3 Veden laatu puhtasvesikaivossa

Imeytsaltaasta maaperään imeytynyt vesi kulkeutui lämpötilahavain-
tojen perusteella altaan vieressä olevaan putkikaivoon. Esimerkiksi
4.3.1976 uppokaivosta pumpputun veden lämpötila oli 5,8 °C, imeytys-
altaassa olleen veden 3,2 °C ja kaivosta IV pumpputun veden 3,9 °C.

Kaivosta IV pumpputun puhdistetun veden laadussa ei ole todettavissa
merkittäviä muutoksia uppokaivosta otetun raakaveden laatuun verrat-
tuna (taulukot 17 ja 19). Rautapitoisuus kaivossa IV oli lähes yh-
tä suuri kuin raakavedessä, vaikka esikäsitelyssä oli todettavissa
selvää laskua.

Taulukko 19. Kaivosta IV imeytyksen aikana eri ajankohtina otettujen näytteen
analyysituloksia.

Pvm.	27.11.75	12.12.75	12.1.76	4.3.76	7.9.76
°C	5,5			3,9 ^x	
pH	6,15 ^x	6,0	6,1	6,5	
Väri	mg PT/l			50	
CO ₂	mg/l			42,2 ^x	
Kok.kov.	°dH	3,3	2,9	3,9	
NH ₄	mg/l			0,21	
SO ₄	"	27		35	
Fe	"	9,0	3,05	4,1	5,3
Mn	"	0,23	0,19	0,23	0,22
Johtok.	mS/m	17,0	14,6	17,1	16,3
KMnO ₄	mg/l	19	13	8,5	18

^x määrittäminen tehty kentällä

4.3.5.4 Muut imeytyskokeen aikana tehdyt havainnot

Imeytysvesi imeytyi marraskuun alussa 1976 tehdyn esikäsitelyyn
tehostamisen jälkeen hyvin maaperään kaivon IV ympärille kaivetusta
imeytysaltaasta. Noin 1,5 kuukauden kuluttua imeyttämisen aloitta-
misesta altaassa ei ollut vielä vettä. Viiden kuukauden imeytyksen
jälkeen vedenpinta oli noussut vain 0,7 metriä.

Altaan hidas tukkeutuminen on osoitus verraten hitaasta raudan saostumisnopeudesta muihin tutkimuskohteisiin verrattuna. Sepelisuodattimessa ja selkeytys- sekä imeytysaltaissa oli todettavissa saostunutta rautaa, mutta sakan määrä oli pieni, kun otetaan huomioon imeytysveden korkea rautapitoisuus.

Raakaveden lämpötila laski esikäsitteilyvaiheessa talvioloissa 1,7 °C:sta 2,0 °C:seen. Jäätymistä ei tapahtunut kovillakaan pakkasilla.

Aurassa rautabakteerien määrät olivat suhteellisesti pienimmät. Näytteistä löytyivät seuraavat lajit: Gallionella, Leptothrix, Siderocapsa sekä Naumannia. Olosuhteet eivät ole Aurassa suotuisat voimakkaalle rautabakteerikasvulle. Tätä osoittaa jo se, että sieltä löytyi monia eri lajeja. Kaikki vedestä otetuista näytteistä löydetty bakteerit olivat ilman rautasaostumaa. Rautasakassa otetussa näytteessä esiintyi sen sijaan Gallionella-, Leptothrix- ja Siderocapsa-bakteereja, joissa oli runsaasti rautasaostumia.

Selitys heikolle biologiselle toiminnalle on vesijohtoveteen veden desinfiointia varten syötetty kalsiumhypokloriitti. Kalsiumhypokloriittia syötettiin imeytyskokeiden aikana talvella 1975-76 kerran viikossa hapetusaltaaseen, jonka kautta vesi pumputtiin sekä kulutukseen että jälleenimeytykseen. Kesällä 1976 kalsiumhypokloriittia syötettiin veteen kerran päivässä. Vesi desinfiointiin vesilaitoksen toimesta, ja tutkijat saivat siitä tiedon vasta syyskuussa 1976.

4.4 Vehkalahden Summan pohjavedenottamolla tehdyt imeytyskokeet

4.4.1 Yleistä

Vehkalahden kunnan Summan pohjavedenottamolta otetaan vettä Summan asutusalueen vedentarvetta varten. Vedenkulutus oli 1973 noin 100-130 m³/d. Vuonna 1975 vedenkulutus oli kasvanut noin 180-200

m^3 :iin/d. Ajoittain vettä oli otettu yli $250 m^3/d$. Esiintymän antoisuudeksi on arvioitu koepumppauksen perusteella keskimäärin $300-400 m^3/d$.

Veden ottoa varten on rakennettu 1960-luvun puolivälissä uppokaivo. Kaivosta saatava vesi on ollut pehmeätä, melko hapanta, vähäsuolaista, raudatonta ja mangaanitonta pohjavettä.

Kun pohjavedenpinta vedenoton kasvaessa alkoi laskea, ryhdyttiin toimiin lisäveden saamiseksi 1972. Tällöin vedenottamolta saatavan pohjaveden määrää ryhdyttiin lisäämään pumppuamalla vedenottoalueelle sen ulkopuolelta rautapitoista pohjavettä ($100 m^3/d$). Rauta poistettiin aluksi ennen maaperään imeyttämistä rinnevalutuksen avulla.

Tämän tutkimuksen tavoitteeksi asetettiin Summan vedenottamolta saatujen kokemusten kokoaminen ja jälleenimeytysmenetelmän käyttömahdollisuuksien arvioiminen kyseisissä olosuhteissa.

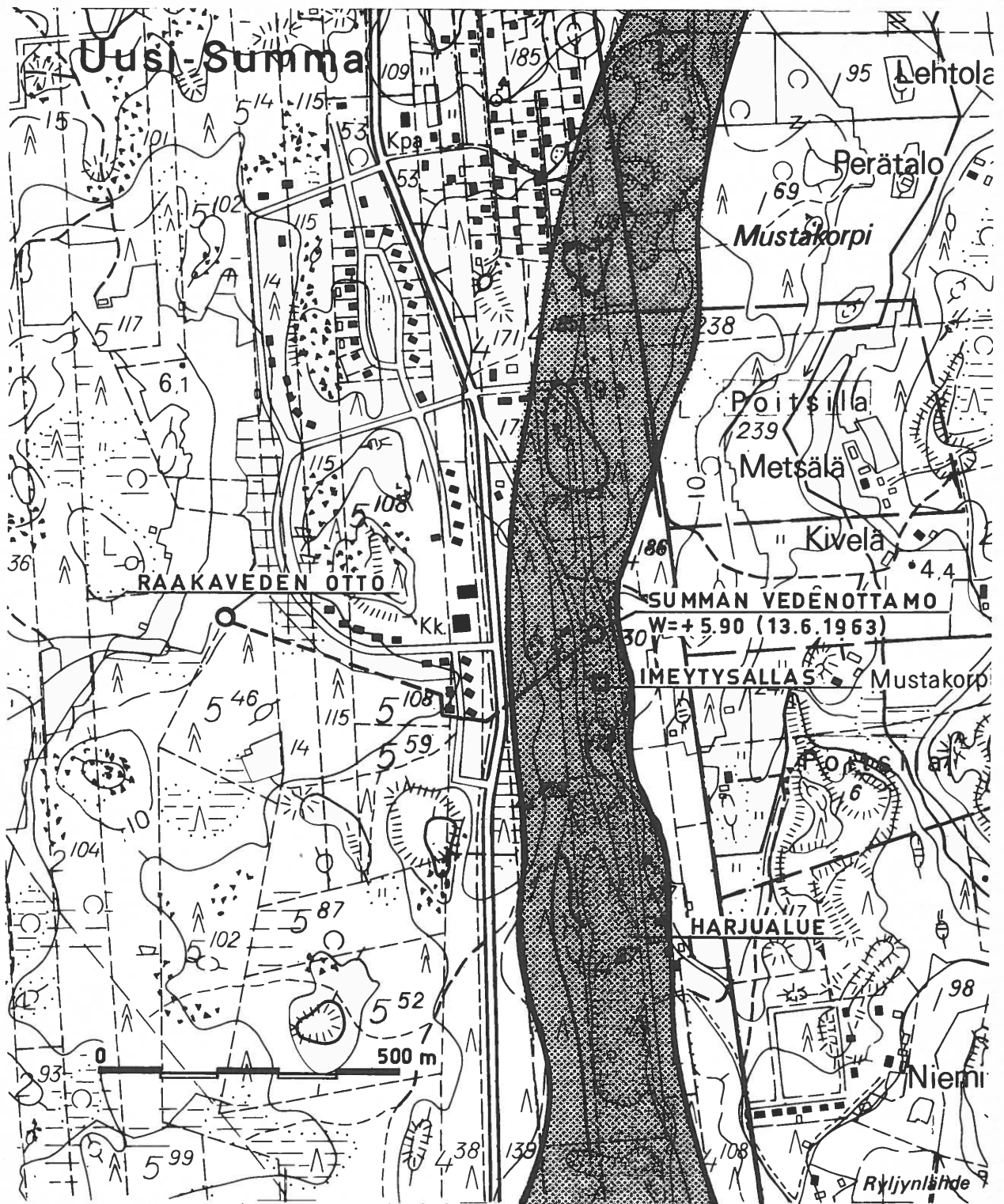
4.4.2 Hydrogeologiset olot

Summan pohjavedenottamo sijaitsee kapealla pohjois-eteläsuuntaisella pitkittäisharjujaksolla. Kallioselänteet jakavat harjujakson useisiin erillisiin pohjaveden muodostumisalueisiin (kuva 26).

Vedenottamo on rakennettu harjuselänteen reunamalle kaivettuun hiekkakuoppaan. Maaperä on kaivon kohdalla kairausten perusteella pinnassa 6,7 metrin syvyydelle vaihtelevia kerroksia hienoa hiekkaa, hiekkaa ja soraa. Yli 7 metrin syvyydellä maalajit muuttuvat karkeammiksi ja ulottuvat noin 10 metrin syvyydelle saakka.

Aikaisemmin tehtyjen imeytyskokeiden yhteydessä vedenottamoalueella todettiin noin 1,5–2,0 metrin syvyydellä hiekkakuopan pohjasta vettä käytännössä läpäisemätön silttikerros.

Pohjaveden pinta oli vedenottamoalueella ennen koepumppausta 1963 noin tasolla +5,90. Kolmen viikon pumppauksen ($580 m^3/d$) vaikutuksesta vedenpinta laski tasolle +3,60.



Kuva 26. Hydrogeologinen yleiskartta. Summan pohjavedenottamo. Vehkalahti.

4.4.3 Jälleenimeytyksen tehostaminen

Vuonna 1972 aloitettuun imeytykseen käytetty raakavesi otettiin harjualueen ulkopuolelta moreeniselänteen raunamalle rakennetusta uppokaivosta. Vesi johdettiin hiekkakuopan pohjalle tiiviin hiesukerrostuman päälle kaivetun ojan kautta imeytysaltaaseen, jonka pohja oli kaivettu hiesukerroksen alapuolelle. Rinnevalutuksesta oli luovuttu imeytysjärjestelyissä esiintyneiden vaikeuksien vuoksi. Lisäveden saamiseksi rakennettiin myös kaksi siiviläputkikaivoa.

Koska käytetty raakavesi oli erittäin rautapitoista, imeytysjärjestelyjä muutettiin tämän tutkimuksen yhteydessä imeytysaltaaseen saostuvan raudan määrän vähentämiseksi. Tällöin raakavesi ensin ilmastettiin ilmastusportaikossa ja hiekkakuopassa oleva oja varustettiin ylivuotopadoilla. Koejärjestelyt on esitetty kuvassa 27.

Imeytys keskeytyi talvella 1976 raakavesiputken jäädyttyä. Imeytys aloitettiin uudelleen toukokuussa 1976.

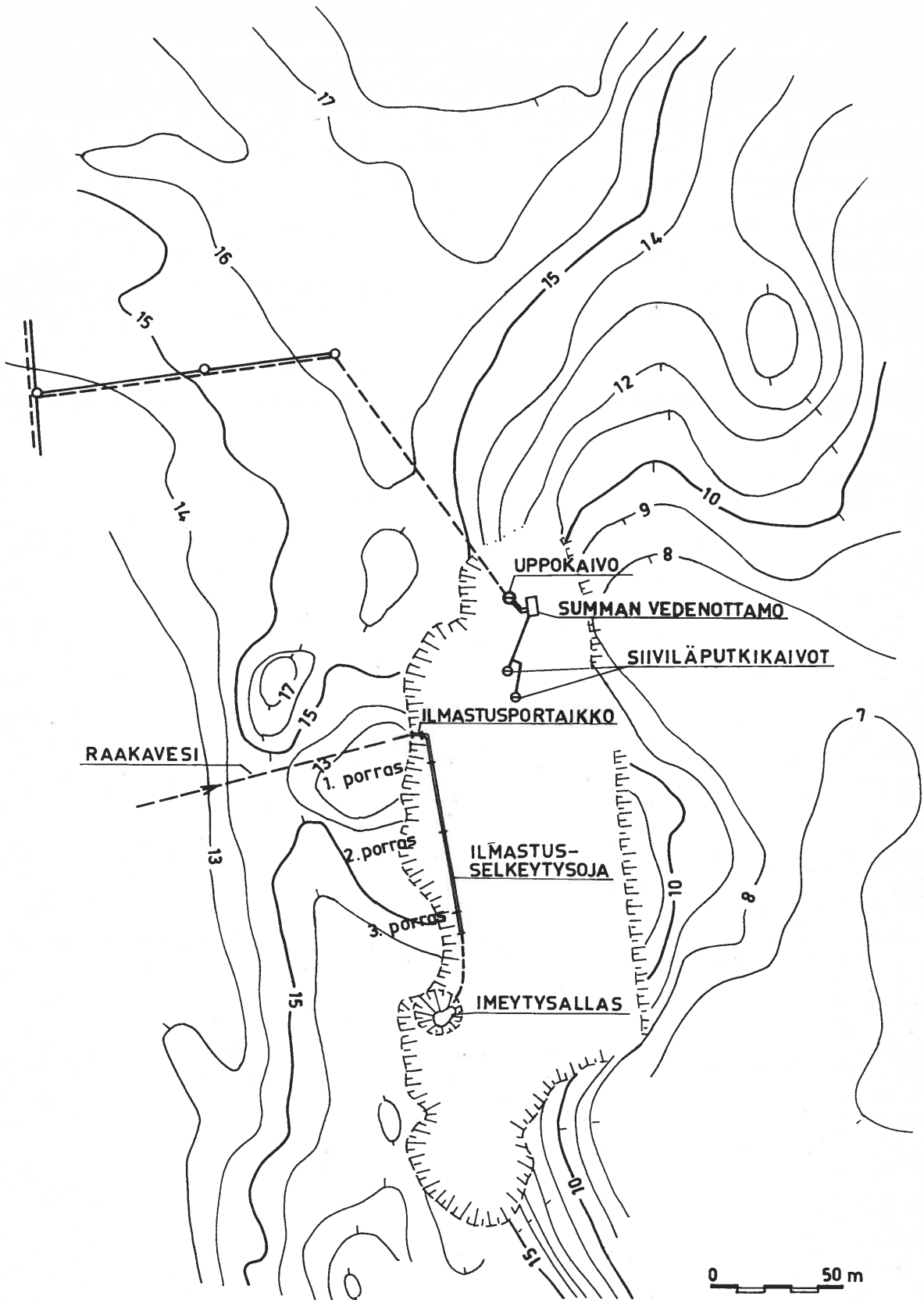
4.4.4 Tutkimustulokset

4.4.4.1 Raakaveden laatu

Summan vedenottamoalueelle pumputtu raakavesi on pehmeää, hapanta, jonkin verran suoloja ja orgaanista ainesta sisältävää pohjavettä. Veden ammonium-, hiilidioksidi-, rauta- ja mangaanipitoisuudet olivat korkeat (taulukko 20).

Taulukko 20. Summan vedenottamoalueelle pumputun raakaveden analyysituloksia.

	Väri	pH	CO ₂	Kok.-	NH ₄	SO ₄	Fe	Mn	Johtok.	KMnO ₄
	mg		mg/l	kov.	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mS/m	mg/l
	Pt/l			°dH						
15.10.75	40	6,4	79	3,0	0,25	27	8,4	0,27	18,0	11,4
1.6.76	40	6,4	92,4	3,3	0,59	31	8,6	0,27	19,6	11,4
21.6.77			66,4				9,8	0,28		10,7



Kuva 27. Asemapiirros imeytyskokeiden järjestelyistä. Summan pohjavedenottamo.

4.4.4.2 Raakaveden laadun muuttuminen esikäsitteilyssä

Raakavesi ilmastui hyvin tuloputken päässä olleessa ilmastusportaikossa ja veden hiilidioksidipitoisuus laski huomattavasti. Ilmastus-selkeytyssojassa hiilidioksidipitoisuudessa ei ollut todettavissa enää muutoksia, ja imeytysaltaaseen saapuvan veden hiilidioksidipitoisuus oli vielä varsin korkea (taulukot 20 ja 21).

Taulukko 21. Esikäsitteilyvaiheesta 1.6.1976 otettujen vesinäytteen analyysituloksia.

	O_C^x	pH^x	O_2^x	E_7^x	CO_2^x	NH_4	SO_4	Fe	Mn	KMnO_4	Koolim. bakt.
			mg/l	mV	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	kpl/100 ml
1. porras	7,2	6,3	9,0	+405	44,0	0,29	29	8,3	0,28	10,7	0
2. porras	8,5	6,2	9,4	+395	41,4	0,61	27	7,8	0,27	8,2	0
3. porras	9,5	6,7	9,4	+425	39,6	0,28	27	7,8	0,26	8,9	0

^x määrittäminen tehty kentällä

Raakaveden rauta- ja mangaanipitoisuudessa ei ollut todettavissa 1.6.1976 juuri muutoksia esikäsitteilyn aikana. Imeytysaltaassa olevasta vedestä ei voitu tehdä analyysieja veden sameuden vuoksi.

Kesäkuun alussa 1976 esikäsitteilystä saadut tulokset eivät anna kuitenkaan täysin oikeaa kuvaa veden laadun muutoksista ilmastus-selkeytyssojassa. Tämä johtunee lyhyestä koeajasta. Imeytys oli aloitettu vain kaksi viikkoa ennen näytteen ottoa ja mittausten tekoa.

Kesäkuussa 1977 otettujen näytteen perusteella voitiin todeta, että raakaveden laadussa tapahtuu huomattavia muutoksia imeytyksen jatkuessa. Raakaveden rautapitoisuus oli tällöin ensimmäisen portaan selkeytysaltaassa 8,75 mg/l, toisen portaan selkeytysaltaassa 4,47 mg/l ja imeytysaltaassa 4,22 mg/l. Vastaavat mangaanipitoisuudet olivat 0,28 mg/l, 0,18 mg/l ja 0,18 mg/l sekä hiilidioksidipitoisuudet 31,4 mg/l, 16,0 mg/l ja 10,9 mg/l.

4.4.4.3 Veden laatu vedenottamalla

Vedenottamolta pumpputussa vedessä ei havaittu imeytyksen aikana muutoksia. Tämä johtuu pienestä imeytystehosta ja imeytysaltaan sijainnista.

Vesi oli pehmeää, hapanta, jonkin verran suoloja ja erittäin vähän orgaanista ainesta sisältävää. Vesi oli lähes raudatonta ja mangaanitonta (taulukko 22).

Taulukko 22. Vedenottamon kaivosta imeytyksen aikana eri ajankohtina otettujen näytteiden analyysituloksia.

Pvm.	Väri mg Pt/l	pH	CO ₂ mg/l	Kok.- NH ₄ SO ₄ kov. °dH	NH ₄ mg/l	SO ₄ mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Johtok. mS/m	KMnO ₄ mg/l
15.10.75	3	6,1	39	2,8	0,05	25	0,01	0,03	14,7	1,3
15.6.76	5	6,0	30	2,8	0,03	31	0,03	0,02	13,3	1,0
21.6.77		6,2	22,7				0,01	0,015		<1,0

4.4.4.4 Muut imeytyksen aikana tehdyt havainnot

Imeytysvesi imeytyi hyvin maaperään imeytysaltaasta. Altaan pohjalla oli todettavissa rautasakkaa. Allas tukkeutui imeytysveden mukana altaaseen kulkeutuneen hiesun vaikutuksesta ja se jouduttiin puhdistamaan useita kertoja.

Rauta- ja mangaanibakteereja esiintyi sekä raakavedessä että ilmasutus-selkeytysojassa ja imeytysaltaassa. Bakteerit olivat *Gallionella*- ja *Leptothrix*-lajeja. Bakteerien solutupprien pinnalla esiintyi rautasaostumia. Puhdasvesikaivosta otetussa näytteessä ei esiintynyt lainkaan rauta- ja mangaanibakteereja.

5. PIENOISMALLIKOKEET

5.1 Yleistä

Pienoismallikokeiden tavoitteeksi asetettiin selvittää ja tarkistaa kontrolloiduissa oloissa laitosmittakaavaisissa tutkimuksissa esille tulleita kysymyksiä. Päähuomio kiinnitettiin tällöin raakaveden esikäsittelyyn, kuten sepelisuodattimen mitoitukseen, sepelin laatuun ja viipymän vaikutukseen. Tutkimuksia tehtiin myös imeytysaltaan tukkeutumisominaisuuksien ja maaperään imeytyvän veden laadun selvittämiseksi.

Pienoismallikokeet tehtiin Porvoon mlk:n Saksaniemessä, missä osa tarvittavista pienoismallirakenteista oli jo valmiina. Tutkimusten valmistelut tehtiin touko-kesäkuussa ja kokeet heinä-lokakuussa 1976. Tutkimukset käsittivät viisi koesarjaa.

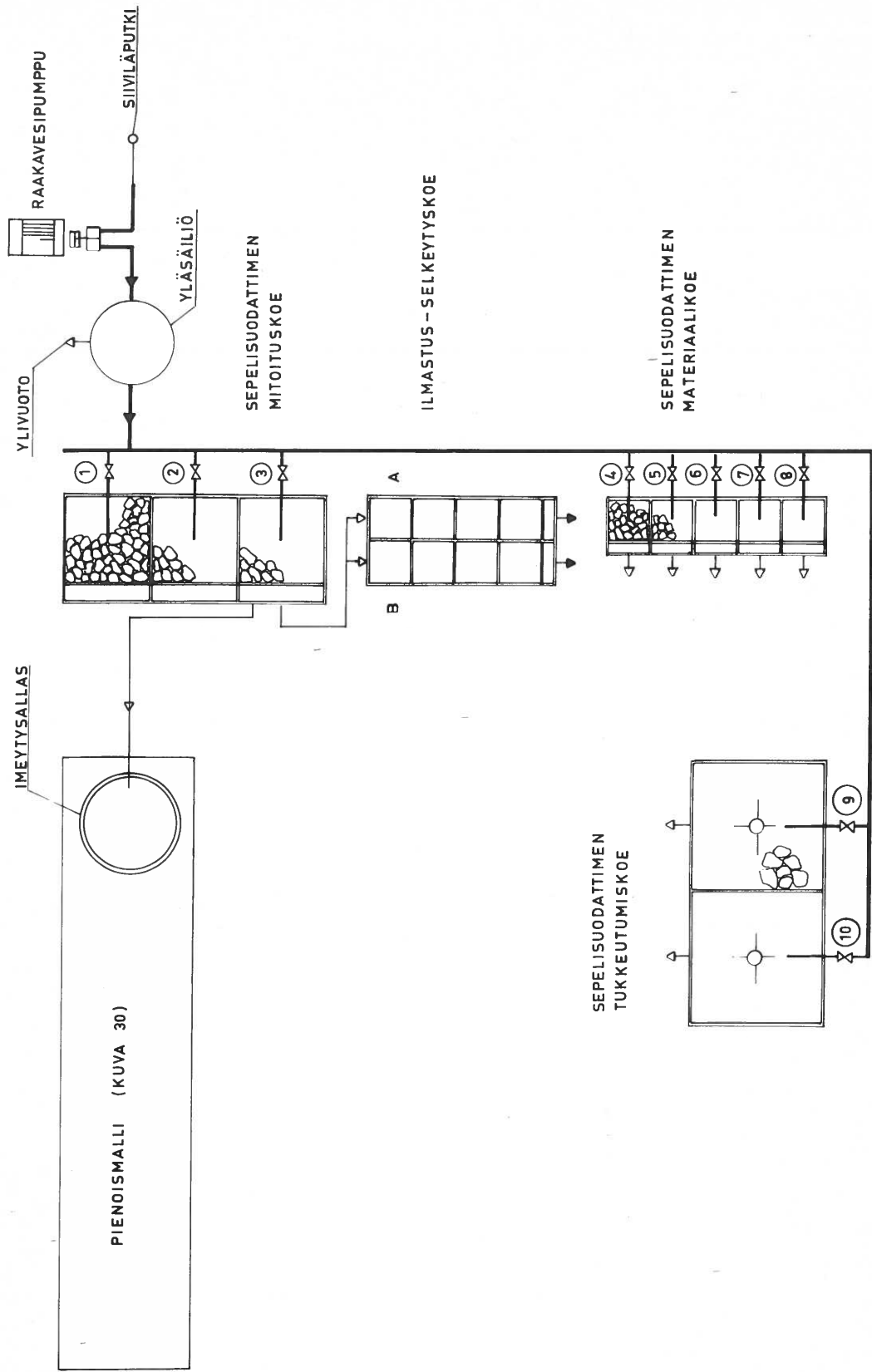
5.2 Tehdyt tutkimukset ja niiden tulokset

5.2.1 Tutkimusten valmistelut

Kokeissa käytetty rautapitoinen raakavesi otettiin harjun reunamalla sijainneen koealueen kohdalta savikerrostumien alta, vettä johdetaan hiekkakerrostumaan lyödystä imuputkesta. Imuputken siiviläosa oli 12-14 metrin syvyydellä maanpinnasta.

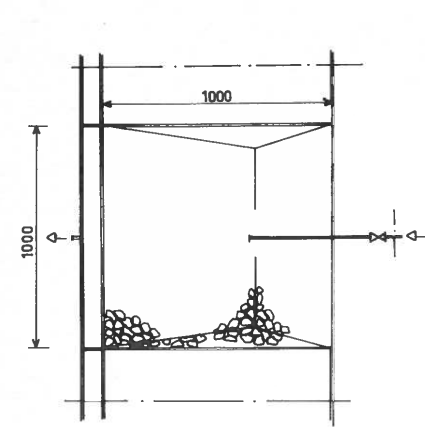
Vesi pumputtiin ensin vakiotehon saamiseksi noin kolmen metrin korkeudelle nostettuun, ylivuotoputkella varustettuun välisäiliöön ja siitä edelleen sepelisuodattimiin. Tehot eri suodattimissa säädettiin pääputkeen asennettujen hanojen avulla. Tehot pidettiin sepelisuodattimissa koko tutkimuksen ajan yhtä suurina. Koejärjestelyt on esitetty kuvissa 28 ja 29.

Imeytyskokeissa käytettiin aikaisemmin YVY-projektin tekopohjavesitutkimuksia varten rakennettua pienoismallia (kuva 30). Hiekkasuodattimien tukkeutumisominaisuuksia tutkittiin kolmessa rakeisuudeltaan erilaisella hiekalla täytetyssä 10 litran muovisankossa.

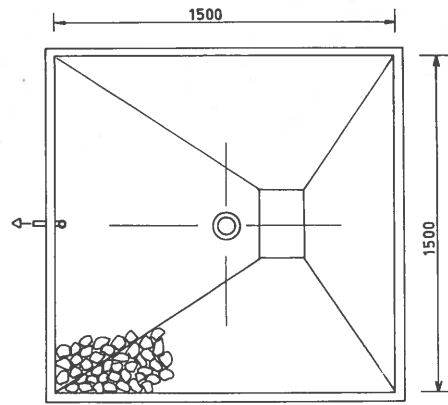


Kuva 28. Pienoismallikokeet. Koejärjestelyt ja suodattimien rakenne.

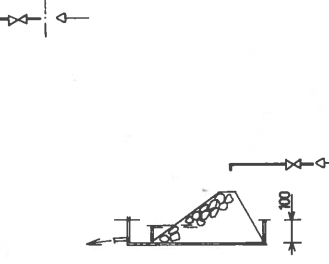
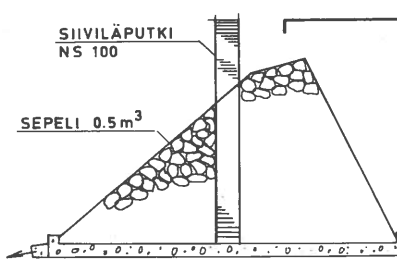
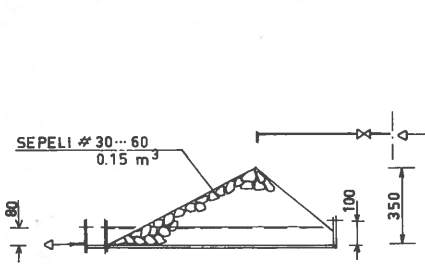
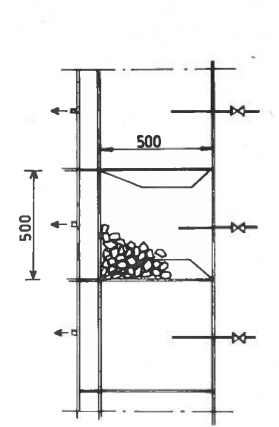
SEPELISUODATTIMET 1-3



SEPELISUODATTIMET 9-10



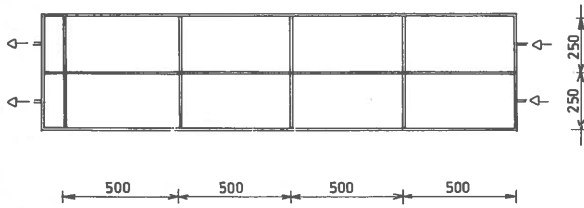
SEPELISUODATTIMET 4-8



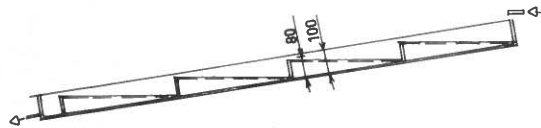
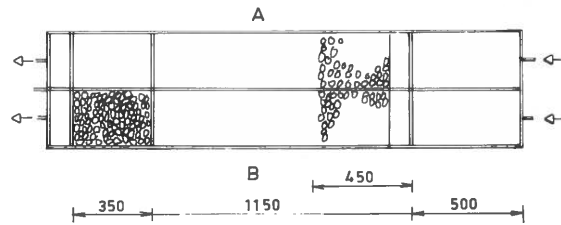
SUODATIN 9 SEP. 30...60
10 " 10...30

SUODATIN 4 SEP. #10...30, GABRO
" 5 " 10...30, GRANIITTI
" 6 " 10...30, KVARTSI
" 7 " 10...30, DOLOMIITTI
" 8 " 5...20, --

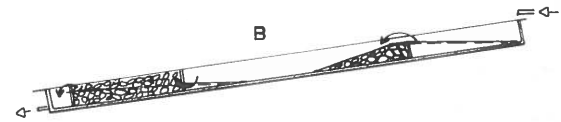
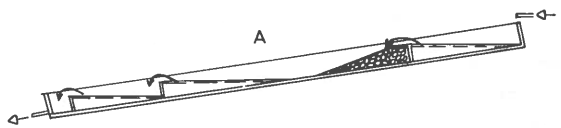
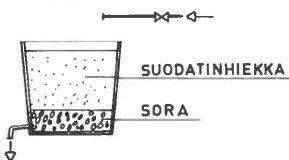
ILMASTUSSELKEYTYSPORTAIKKO



SEPELISUODATUKSELLA TEHOSTETTU
ILMASTUSSELKEYTYSPORTAIKKO

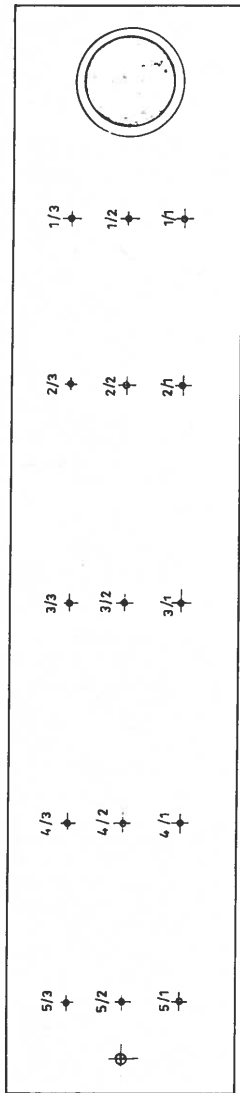


HIEKKASUODATIN

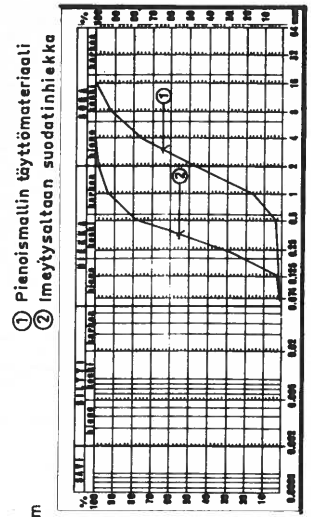
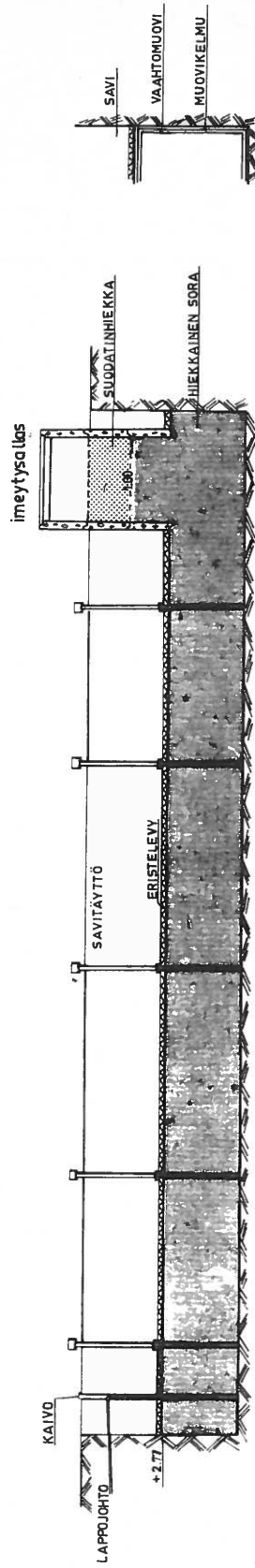


PIENOISMALLIKOKEEN RAKENTEET

Kuva 29. Pienois mallikokeet. Sepelisuodattimien ja ilmastusselkeytysportaiikon rakenne.



havaintoputket: $\phi 2''$ siivilöosan rakojen leveys 0.5 mm
 kaivo: $\phi 4''$



Kuva 30. Pienoismaallikokeet. Imeytyskokeissa käytetyn pienoismaallin rakenne.

5.2.2 Raakavesi

Raakaveden pumppaus aloitettiin veden laadun selvittämiseksi kesäkuun puolivälissä 1976. Vettä pumputtiin keskimäärin 124,7 m³/d.

Pumputtu vesi oli pehmeää, hapanta, vähän orgaanista ainesta, mutta melko runsaasti suoloja sisältävää pohjavettä. Veden rautapitoisuudessa esiintyi vesianalyysituloksien perusteella huomattavaa vaihtelua (1,45–3,8 mg/l). Korkeimmat analyysituloksissa esiintyvät rautapitoisuudet johtuvat kuitenkin näytteessä olleesta, putkista irronneesta rautasakasta (taulukko 23).

Taulukko 23. Suodattimeen n:o 2 tulevasta raakavedestä eri ajankohtina otettujen näytteiden analyysituloksia.

Pvm.		21.6.76	8.7.76	17.8.76	1.9.76	16.9.76	2.10.76
°C			7,3	8,5			
Väri	mg Pt/l	15	20	15			10
pH		6,8	6,2 ^x	6,4 ^x	6,4 ^x	6,8	
CO ₂	mg/l		24,6 ^x	26,4 ^x	29,9 ^x	22	
Kok.kov.	°dH	3,8	3,9	3,9		4,4	4,4
NH ₄	mg/l	0,08	0,14	0,14		0,09	0,05
SO ₄	"			38			33
Fe		1,6	3,8	1,6	1,5	1,5	1,45
Mn		0,26	0,25	0,12	0,11	0,11	0,10
Johtok.	mS/m	227	179	271		290	301
KMnO ₄		4,4	1,6	3,2	4,4	2,5	4,1

^x määrittäminen tehty kentällä

Oikeiden analyysitulosten saamiseksi kaikki raudan ja mangaanin määrittäystä varten otetut näytteet suodatettiin 10.8.1976 lähtien kentällä näytteenoton yhteydessä. Rautamäärittäystä tehtiin sekä kentällä HACH-komparaattoreilla että laboratoriossa.

Raakaveden rautapitoisuus vaihteli eri ajankohtina 10.8.1976 jälkeen 1,45–2,6 mg/l ja oli keskimäärin 2,0 mg/l. Mangaanipitoisuus vaih-

teli 0,10–0,26 mg/l. Pitoisuus väheni pumppauksen aikana.

5.2.3 Sepelisuodattimen mitoituskoe

Sepelisuodattimen mitoitusta varten tehtiin kokeita kolmessa yhtä suuressa sepelisuodattimessa, joissa oli sepeliä noin 0,15 m³ (kuva 29). Sepelin raekoko oli 30–70 mm. Suodattimiin pumputut vesimäärät olivat seuraavat:

Suodatin 1:	7,2 m ³ /d, yhteensä	619 m ³
Suodatin 2:	20,16 " "	1 734 m ³
Suodatin 3:	37,44 " "	3 220 m ³

Suodatuskokeet aloitettiin 8.7.1976 ja niitä jatkettiin samalla teholla 2.10.1976 saakka. Suodattimia ei puhdistettu kokeen kestäessä.

Raakaveden laatu muuttui suodattimissa monessa suhteessa. Suodattimista lähtevä vesi oli happipitoista ja raudan suhteen hapettavaa. Veden hiilidioksidi- ja rautapitoisuudet pienenevät selvästi. Sen sijaan mangaanipitoisuudessa ei ollut todettavissa muutoksia. Organisen aineksen määrän kasvu johtunee loppukesällä suodattimiin ilmestyneestä U l o t h r i x-viherlevästä.

Taulukko 24. Raakavedestä ja sepelisuodattimista 1–3 lähtevästä vedestä eri ajan-kohtina tehtyjen analyysien ja mittausten keskiarvotuloksia (määritysten määrä ilmoitettu sulkeissa).

		Raakavesi	Suodatin 1	Suodatin 2	Suodatin 3
O ₂	mg/l ^x		7,4 (8)	6,5 (8)	5,7 (8)
E ₇	mV ^x	+55 (1)	+378 (7)	+384 (7)	+385 (7)
pH	^x	6,35 (5)	6,62 (7)	6,45 (7)	6,51 (7)
CO ₂	mg/l ^x	22,7 (10)	14,3 (14)	16,2 (10)	16,2 (10)
Fe	" ^l	2,0 (10)	1,03 (10)	1,21 (10)	1,32 (10)
Mn	"	0,11 (4)	0,11 (4)	0,11 (4)	0,11 (4)
KMnO ₄	"	3,16 (5)	8,6 (4)	8,5 (4)	6,8 (4)

^x määrittäminen tehty kentällä

^l määrittäminen tehty kentällä ja laboratoriossa

Eri suodattimissa on todettavissa olennaisia eroja lähinnä niiden raudan pidättämiskyvyn, hapen kulumisen ja hiilidioksidin laskun suhteen. Rauta pidättyi parhaiten suodattimeen 1, missä suodatusnopeus oli pienin. Raakaveden rautapitoisuus pieneni noin 50 %. Suodatusnopeuden kasvaessa pidätyskyky heikkeni.

Tehtyjen havaintojen perusteella oli todettavissa, että suodatusnopeus oli suodattimessa 3, suodattimeen kerääntyneen rautasakan määrän alkaessa kasvaa, liian suuri. Rautasakkaa irtosi vesivirran vaikutuksesta suodattimesta ja kulkeutui veden mukana pois. Suodattimessa 1, missä suodatusnopeus oli pienin, suodattimeen kerääntynyt rautasakka ei kulkeutunut veden mukana vielä noin kolmen kuukauden imeytyksen jälkeen. Suodattimesta 2 rautasakkaa irtosi jonkin verran veden mukana.

Suodattimissa esiintyi elokuussa ja syyskuussa rihmamaista U l o t h r i x-viherlevää. Levää oli eniten suodattimessa 3, missä se aiheutti kokeen päättyessä tukkeutumista. Suodattimessa 1 levää esiintyi vain muutamia rihmoja.

5.2.4 Sepelisuodattimen materiaalikoe

Sepelin laadun vaikutuksen selvittämiseksi sepelisuodattimen toimintaan tehtiin kokeita viidessä yhtä suuressa sepelisuodattimessa, joissa oli sepeliä noin $0,01 \text{ m}^3$. Suodatinmateriaalina käytettiin gabroa, punaista graniittia, kvartssia ja kahta rakeisuudeltaan erilaista dolomiittia. Sepelin raekoko oli noin 10–30 mm. Rakeisuudeltaan hienoimman dolomiittisepelin raekoko oli noin 5–20 mm (suodatin 8).

Suodatuskokeet aloitettiin suodattimissa 4–6 8.7.1976 ja suodattimissa 7 ja 8 16.7.1976. Kokeita jatkettiin samalla teholla ($2,88 \text{ m}^3/\text{d}$) 2.10.1976 saakka. Suodattimia ei puhdistettu kokeen kestäessä.

Taulukko 25. Sepelisuodattimista 4–8 lähtevästä vedestä eri ajankohtina tehtyjen analyysien ja mittausten keskiarvotuloksia (määritysten määrä ilmoitettu sulkeissa).

		Suodatin 4	Suodatin 5	Suodatin 6	Suodatin 7	Suodatin 8
O ₂	mg/l ^x	6,6 (8)	5,4 (8)	5,7 (8)	5,2 (6)	4,8 (6)
E ₇	mV ^x	+401 (7)	+400 (7)	+403 (7)	+406 (5)	+401 (5)
pH	^x	6,69 (7)	6,61 (7)	6,63 (7)	6,59 (5)	6,54 (5)
CO ₂	mg/l ^x	15,1 (10)	16,0 (10)	15,5 (10)	16,7 (8)	17,4 (10)
Fe	" ¹	1,06 (10)	0,91 (10)	1,00 (10)	1,03 (9)	0,97 (9)
Mn	"	0,10 (4)	0,10 (4)	0,10 (4)	0,11 (4)	0,11 (4)
KMnO ₄	"	6,2 (4)	11,5 (4)	8,9 (4)	5,3 (4)	8,2 (4)

^x määrittely tehty kentällä

¹ määrittelyä tehty kentällä ja laboratoriossa

Erot eri suodattimien välillä olivat pieniä. Raudan voidaan todeta pidättyneen kuitenkin jonkin verran tehokkaammin suodattimeen 5, missä materiaalina oli punaista graniittia. Suodattimissa 7 ja 8 veden laatu poikkesi jonkin verran happi- ja hiilidioksidipitoisuuden ja pH:n suhteen.

Suodattimissa 4, 5, 7 ja 8 esiintyi elokuun lopulla ja syyskuussa rihmamaista U l o t h r i x-viherlevää. Kvartsisuodattimessa levää ei sen sijaan todettu. Eniten levää esiintyi dolomiittisuodattimissa (suodattimet 7 ja 8).

Suodattimet tukkeutuivat joko kokonaan tai osittain imeytyksen aikana. Suodattimen 8 todettiin tukkeutuneen jo vajaassa kahdessa kuukaudessa. Muissa suodattimissa tukkeutumista oli havaittavissa vedenpinnan alkaessa nousta suodatuslaatikossa noin 2,5–3 kuukauden suodatuksen jälkeen.

5.2.5 Sepelisuodattimen tukkeutumiskoe

Tukkeutuneen sepelisuodattimen huuhtelumahdollisuuksien selvittämiseksi tehtiin kokeita kahdessa rakeisuudeltaan erilaisessa suo-

dattimessa, joissa oli sepeliä noin $0,5 \text{ m}^3$.

Sepelisuodattimiin pumputut vesimäärät olivat seuraavat:

Suodatin 9:	22,75 m^3/d	yhteensä	1 888 m^3
Suodatin 10:	22,75 "	"	1 774 m^3

Suodatuksen yhteydessä tehdyt vesianalyysit on esitetty taulukossa 26.

Taulukko 26. Sepelisuodattimista 9 ja 10 lähtevästä vedestä eri ajankohtina tehtyjen analyysien ja mittausten keskiarvotuloksia (määrittysten määrä ilmoitettu sulkeissa).

	O_2^x mg/l	E_7^x mV	pH^x	CO_2^x mg/l	Fe^1 mg/l	Mn mg/l	KMnO_4 mg/l
Suodatin 9	8,4 (8)	+405 (7)	6,72 (7)	10,7(10)	0,82 (9)	0,11 (4)	7,5 (4)
Suodatin 10	8,6 (6)	+408 (5)	6,67 (5)	13,0 (8)	0,87(10)	0,11 (4)	6,4 (4)

^x määrittys tehty kentällä

¹ määrittys tehty kentällä ja laboratoriossa

Raakaveden laadun muutokset olivat suurimmat kaikista käytetyistä sepelisuodattimista suodattimissa 9 ja 10. Happipitoisuus oli korkeampi, hiilidioksidipitoisuus alhaisempi ja pH korkeampi kuin suodattimissa 1-8. Myös rauta pidättyi tehokkaammin. Mangaanin pidentymisessä ei ollut sen sijaan havaittavissa eroja.

Suodattimissa ei todettu niiden päällä koko imeytyksen aikana rautasakkaa lukuun ottamatta kivien pinnoille muodostunutta ruskeaa väriä. Rautasakkaa muodostui pääasiassa suodattimen pohjalle kerrokseen, missä oli vettä. Sama ilmiö oli todettavissa myös muissa suodattimissa ennen niiden tukkeutumista. Suodattimet 9 ja 10 eivät tukkeutuneet imeytyksen aikana.

Imeytyksen päättyessä tehtiin suodattimien huuhtelukoe. Suodattimia yritettiin huuhdella ensin johtamalla niiden päälle vettä noin teholla $144 \text{ m}^3/\text{d}$. Rautasakka ei irronnut tällä teholla suodattimien pohjalta.

Seuraavaksi vesi johdettiin suodattimien keskellä oleviin \emptyset 100 mm:n siiviläputkiin. Aluksi rautasakkaa irtosi suodattimesta huomattavia määriä. Rautasakan irtoaminen loppui kuitenkin jo muutamien minuuttien huuhtelun jälkeen. Kun suodattimet aukaistiin, voitiin todeta, että niissä oli vielä runsaasti rautasakkaa. Huuhdeltaessa suodattimen pohjaa aukaistulta kohdalta päästiin samaan tulokseen kuin siiviläputkesta huuhdeltaessa.

5.2.6 Ilmastus - selkeytyskoe

Ilmastus-selkeytysportaikolla veden käsittelyssä saavutettavan hyödyn selvittämiseksi tehtiin kolme koesarjaa. Koesarjojen avulla pyrittiin selvittämään viipymän ja sepelisuodatuksen vaikutusta portaikon toimintaan. Koejärjestelyt ja portaikon rakenne on esitetty kuvassa 29.

Viipymän vaikutusta tutkittiin ensin johtamalla sepelisuodattimesta 3 rautapitoista pohjavettä rakenteeltaan samanlaisiin portaikkoihin A ja B tehoilla 11,5 ja 5,8 m³/d (koesarja 1). Portaikoissa veteen liunneen hapen määrä kasvoi ja hiilidioksidipitoisuus laski. Myös rautapitoisuus laski jonkin verran. Mangaanipitoisuudessa ei tapahtunut sen sijaan muutoksia (taulukko 27).

Kun veden viipymää portaikoissa A ja B lisättiin pienentämällä tehot 1,44 ja 2,88 m³/d (koesarja 2), parani portaikosta lähtevän veden laatu lähinnä veden happamuuden ja hiilidioksidipitoisuuden osalta. Rautapitoisuus laski pienimmällä teholla (1,44 m³/d) noin 24 % (taulukko 27).

Rautapitoisuus pieneni nopeimmin portaikon yläpäässä. Hiilidioksidipitoisuus laski ja pH nousi sen sijaan verraten tasaisesti portaalta toiselle siirryttäessä.

Portaikoon toimintaa tehostettiin lisäämällä ensin 1. portaikon alapuolelle portaikkoon A hienoa sepeliä (rakeisuus 10–30 mm) ja portaikkoon B karkeaa sepeliä (rakeisuus 30–60 mm). Suodatusnopeus oli 5,8 m³/d. Sepelin lisäys portaikkoon ei vaikuttanut merkittä-

västi portaikosta lähtevän veden rautapitoisuuteen. Eri portai-koissa ei ollut todettavissa eroja.

Taulukko 27. Ilmastus-selkeytysportaikosta lähtevästä vedestä viipymäkokeen aikana tehtyjen analyysien ja mittausten keskiarvotuloksia (mää-ritysten määrä ilmoitettu sulkeissa).

Näytteenotto- ja mittaus- paikka	O ₂ ^x mg/l	E ₇ ^x mV	pH ^x	CO ₂ ^x mg/l	Fe ¹ mg/l	Mn mg/l	KMnO ₄ mg/l
----------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	-----------------	--------------------------------------	-------------------------	------------	---------------------------

Koesarja 1 (37 d)

Suodatin 3	5,5 (5)	+384 (4)	6,50	17,6 (4)	1,63 (3)	0,11 (1)	3,5 (1)
Portaikko A	7,6 (6)	+408 (5)	6,74 (5)	13,1 (6)	1,25 (2)	0,11 (1)	2,5 (1)
Portaikko B	7,4 (6)	+401 (5)	6,53 (5)	13,8 (6)	1,40 (3)	0,12 (1)	3,2 (1)

Koesarja 2 (4 d)

Suodatin 3	5,2 (1)	+400 (2)	6,65 (2)	17,2 (2)	1,26 (2)	0,11 (1)	0,6 (1)
Portaikko A	7,5 (1)	+421 (2)	6,9 (2)	9,7 (2)	0,95 (2)	0,12 (1)	4,1 (1)
Portaikko B	7,3 (1)	+430 (2)	6,9 (2)	12,8 (2)	1,05 (2)	0,11 (1)	6,0 (1)

^x määrittäminen tehty kentällä

¹ määrittäminen tehty kentällä ja laboratoriossa

Taulukko 28. Sepelisuodatuksella tehostetusta ilmastus-selkeytysportaikosta suodatuksen aikana tehtyjen rautamääritysten (mg/l) tuloksia.

Kokeen kesto-aika	2 d	12 d	16 d
Portaikkoon suodattimesta 3 tuleva vesi	0,8	0,8	1,24
1. sepelisuodattimen jälkeen (Portaikko A)	0,8	0,78	1,00
2. sepelisuodattimen jälkeen (Portaikko B)	0,78	0,64	0,67

Sepelisuodatusta portaikossa tehostettiin vielä järjestämällä ve- den virtaus siten, että sepelisuodattimen koko tilavuus tulisi käy- tetyksi mahdollisimman tehokkaasti hyväksi (kuva 29). Koesarjan alussa rautapitoisuudessa ei ollut todettavissa muutoksia. Koe- sarjan jatkuessa sepelisuodattimien raudanpidätyskyky kasvoi. Rauta pidättyi tehokkaimmin 2. sepelisuodattimeen, missä vesi kulki koko suodattimen läpi (taulukko 28).

5.2.7 Imeytysaltaan tukkeutumiskoe

5.2.7.1 Hiekkasuodattimen tukkeutumisenopeus ja veden laadun muutokset suodattimessa

Pohjaveden laadussa allasimeytyksessä tapahtuvien muutoksien ja imeytysaltaan tukkeutumisenopeuden selvittämiseksi tehtiin kokeita kuvassa 30 esitetyssä pienoismallissa. Suodatinmateriaalina käytettiin keskirakeista hiekkaa.

Imeytys aloitettiin teholla $6,34 \text{ m}^3/\text{d}$ eli $8,08 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$. Merkkejä tukkeutumisesta todettiin jo noin kahden viikon imeytyksen jälkeen, jolloin altaan pohjalla oli vettä 4 cm. Kuuden vuorokauden kuluttua tästä vettä oli jo 24 cm. Allas tukkeutui (vettä yli 0,5 metriä) 25 vuorokaudessa.

Imeytystä jatkettiin teholla $3,17 \text{ m}^3/\text{d}$ eli $4,04 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$. Ensimmäiset merkit tukkeutumisesta todettiin noin 3,5 viikon kuluttua imeytyksen aloittamisesta. Allas tukkeutui kokonaan 35 vuorokaudessa.

Imeytysaltaan kautta ennen sen tukkeutumista imeytetty vesimäärä oli imeytysnopeudella $8,08 \text{ m}^3/\text{d}$ 202 kuutiometriä neliometriä kohden. Kun imeytysnopeus pieneni puoleen, pieneni vesimäärä 141 kuutiometriin neliometriä kohden. Jälkimmäinen koesarja tehtiin syyskuun alussa, jolloin sepelisuodattimissa todettu levän kasvu nopeutti imeytysaltaan tukkeutumista.

Vesi imeytysaltaaseen otettiin sepelisuodattimesta 3 lähtevästä vedestä. Vesi johdettiin ohuella muoviletkulla imeytysaltaan pinnalle asetetun puupalan päälle, jolloin vesi vielä ilmastui. Tämä on todettavissa havaintoputkessa 1/2 pH:n ja E_7 -potentiaalnin nousuna ja hiilidioksidipitoisuuden laskuna (taulukko 29).

Imeytysvedessä sepelisuodatuksen jälkeen vielä ollut rauta pidättyi hiekkasuodattimen pintaan. Myös mangaanipitoisuus pieneni tässä vaiheessa selvästi. Suodatinkerroksen läpi imeytyneessä vedessä oli vielä runsaasti veteen liuennutta happea. Kun otetaan huomioon

imeytysvaiheessa tapahtunut ilmastuminen, happea on kulunut imeytysvaiheessa todennäköisesti muutamia milligrammoja litraa kohden.

Taulukko 29. Imeytyskokeiden aikana pienoismalliin tulevasta, sen eri osista otetusta ja lähtevästä vedestä tehtyjen analyysien ja mittausten keskiarvotuloksia (määritysten määrä ilmoitettu sulkeissa).

		Suodatin 3	hp 1/2	hp 2/2	hp 3/2	hp 4/2	hp 5/2	kaivo	lähtevä vesi
O ₂	mg/l	5,7(7)	5,6(7)	5,1(4)	5,0(4)	4,5(4)	4,3(4)	4,3(4)	
E ₇	mV	+383(6)	+494(6)	+500(4)	+500(4)	+505(4)	+508(4)	+514(4)	
pH		6,51(6)	6,58(6)	6,48(4)	6,53(4)	6,56(4)	6,51(4)	6,48(4)	6,53(4)
CO ₂	mg/l	16,3(7)	11,8(7)	12,6(4)	13,4(4)	13,4(4)	1,50(4)	15,4(4)	17,2(7)
Fe	"	1,4(4)	0,09(7)	0,07(3)	0,07(4)	0,07(3)	0,07(3)	0,06(4)	0,08(3)
Mn	"	0,12(2)	0,03(2)	0,02(1)	0,04(2)				
KMnO ₄	"	5,4(1)	1,6(1)		2,2(1)			1,6(1)	

Viipymän kasvaessa pienoismallissa veden happipitoisuus ja KMnO₄-kulutus laskivat ja hiilidioksidipitoisuus nousi. Veden pH:ssa ja E₇-potentiaalissa ei ollut todettavissa merkittäviä muutoksia.

Koesarjan eri vaiheissa analyysi- ja mittaustuloksissa esiintyi jonkin verran vaihtelua, jossa ei ollut todettavissa selvää tendenssiä. Eri ajankohtina saadut tulokset olivat samansuuntaisia kuin keskiarvotulokset osoittavat.

5.2.7.2 Suodatinhiekan rakeisuuden vaikutus imeytysaltaan tukkeutumiseen

Suodatinhiekan rakeisuuden vaikutuksen selvittämiseksi imeytysaltaan tukkeutumiseen tehtiin imeytyskokeita kolmessa hiekkasuodattimessa. Suodatin II oli täytetty samalla suodatinhiekkalla kuin pienoismallin imeytysallas (kuva 30). Suodattimessa I käytettiin hienoa hiekkaa ja suodattimessa III karkeaa hiekkaa.

Imeytys aloitettiin varsin suurella teholla 1,44 m³/d, joka vastaa suodattimissa imeytysnopeutta 27,2 m/d. Suodatin I tukkeutui

seitsemässä ja suodattimet II ja III kymmenessä vuorokaudessa. Imeytysveden rautapitoisuus oli koesarjan aikana keskimäärin 1,67 mg/l. Suodatetun veden rautapitoisuudet olivat koesarjan päättyessä suodattimissa I, II ja III 0,08, 0,08 ja 0,06 mg/l.

Imeytystä jatkettiin teholla $0,72 \text{ m}^3/\text{d}$, joka vastaa suodattimissa imeytysnopeutta 13,6 m/d. Tällä teholla imeytettäessä eri suodattimissa oli todettavissa tukkeutumisajassa selviä eroja. Suodatin I tukkeutui jälleen nopeasti seitsemässä vuorokaudessa. Suodattimet II ja III tukkeutuivat sen sijaan hitaasti. Tukkeutumiseen kului aikaa suodattimessa II 26 vrk ja suodattimessa III 31 vrk.

Imeytysveden keskimääräinen rautapitoisuus oli koesarjan aikana huomattavasti pienempi kuin suuremmalla teholla imeytettäessä. Rautapitoisuus oli keskimäärin vain 1,08 mg/l.

Taulukossa 30 on esitetty koesarjan alussa ja noin kahden viikon imeytyksen jälkeen suodatetusta vedestä tehtyjen vesianalyysien tuloksia. Taulukosta voidaan todeta, että hiilidioksidipitoisuus laski eniten karkealla hiekalla täytetyssä suodattimessa. Rauta pidättyi lähes kokonaan suodattimien pinnalle. Eri suodattimissa ei ollut merkittäviä eroja. Analyyseissa esiintyvät pienet erot voivat johtua näytteenotosta. Sen sijaan mangaani ei pidättynyt suodattimiin. Orgaanisen aineksen määrä oli suodatetussa vedessä suhteellisen korkea.

Taulukko 30. Hiekkasuodattimiin I-III tulevasta ja lähtevästä vedestä tehtyjen vesianalyysien tuloksia. Imeytysnopeus 13,6 m/d.

		Tuleva vesi (sepelisuod. 3)		Suodatin I		Suodatin II		Suodatin III	
		1 d	15 d	1 d	15 d	1 d	15 d	1 d	15 d
CO ₂	mg/l	17,6	18,5	13,2		11,4		10,6	
Fe	"	1,32	1,40	0,1		0,12	0,12	0,12	0,03
Mn	"	0,11	0,11				0,10		0,10
KMnO ₄	"	0,6	12,0				7,6		16,0

Pinta-alayksikköä kohden imeytetyn veden määrä ennen suodattimen tukkeutumista vaihteli eri suodattimissa ja eri nopeuksilla huomattavasti (taulukko 31).

Taulukko 31. Pinta-alayksikköä kohden imeytetyn veden määrä ennen tukkeutumista hiekkasuodattimissa I-III.

	Imeytysteho m^3/d	Imeytysnopeus m/h	Tukkeutumisaika d	Imeytetyn veden määrä m^3/m^2
Suodatin I	1,44	27,1	7	190
(hHk)	0,72	13,6	7	95
Suodatin II	1,44	27,1	10	271
(Hk)	0,72	13,6	26	353
Suodatin III	1,44	27,1	10	271
(kHk)	0,72	13,6	31	420

Pinta-alayksikköä kohden imeytetyn veden määrä oli pienin suodattimessa I, missä suodatinmateriaali oli hienoa hiekkaa, ja suurin suodattimessa III, missä suodatinmateriaali oli karkeaa hiekkaa. Erot eri nopeuksilla imeytettäessä johtuvat imeytysveden rautapitoisuudessa esiintyvistä eroista. Pinta-alayksikköä kohden saostuneen raudan määrä oli suodattimessa III lähes yhtä suuri molemmilla imeytysnopeuksilla. Nopeudella 27,1 m/d imeytettäessä suodattimen pinnalle saostuneen raudan määrä oli noin 452,6 g ja nopeudella 13,6 m/d imeytettäessä 453,6 g. Suodattimessa II vastaavat rautamäärät olivat 452,6 g ja 381,2 g.

6. KUSTANNUSVERTAILU

6.1 Yleistä

Jälleenimeytysmenetelmällä raudan ja mangaanin poistolaitoksen vaatimien investointi- ja käyttökustannusten yleinen arviointi on vaikeaa, koska kustannukset ovat täysin riippuvaisia kohteen olosuhteista. Tavanomaisista raudanpoistolaitoksista poiketen veden laatu ei sen sijaan vaikuta kuin pieneen osaan jälleenimeytysmenetelmän kustannuksista.

Suomen pohjavedet vaativat käyttöön otettaessa lähes poikkeuksetta alkaloinnin. Alkaloinnin vaatimat tilat ja laitteistot pysyvät jälleenimeytysmenetelmää käytettäessä lähes samoina kuin ilman raudanpoistoa. Tästä syystä kustannusvertailussa on käytetty pohjana YVY-projektin loppuraportissa, SITRA B 35, Yhdyskuntien vesihuollon tutkimukset, Vesihuollon kustannukset /24/, esitettyä alkaloinnin käsittävän pohjavedenottamon kustannuksia ja tähän on lisätty jälleenimeytysmenetelmän vaatimat lisäinvestoinnit.

6.2 Rakennuskustannukset

Jälleenimeytysmenetelmän soveltamisesta aiheutuvat investointikustannukset riippuvat seuraavista kohteesta johtuvista tekijöistä:

- raakavedenottokohdan etäisyys käsittelypaikasta (raakavesijohto)
- sepelisuodattimen ja imeytysaltaiden rakenteilta vaadittava laatutaso
- käsittelykohteen maaperäolot

Muut investointikustannukset ovat riippuvaisia käsiteltävästä vesimäärästä, ja ne voidaan riittävällä tarkkuudella ennakoida.

Sepelisuodattimen rakenteet on kustannusvertailussa oletettu tehtäviksi betonista. Imeytysallas on oletettu tehtäväksi betoni-laatoilla verhoilluilla kaltevuuteen 1:1 kaivetuilla maaluisilla.

Kustannuslaskelmassa on käytetty seuraavia yksikköhintoja:

maan kaivuu ja siirto	15 mk/m ³
suodatinhiekan hankinta ja levitys	30 "
luiskien betonilaatoitus	60 mk/m ²
sepelisuodattimen betonirakenteet	500 mk/m ³
sepelin hankinta ja asennus	50 "
raakavesijohto (200 m), altaan putkisto, vesimittari ja lisäkaivon perushinta	30 000 mk
vesimäärästä aiheutuva lisäkaivon kustannus	50 mk/m ³ /d

Edellä esitetyillä perusteilla lasketut kustannukset vedenkäsittelylaitoksen tuoton suhteen on esitetty kuvassa 31.

Esimerkkinä rakennuskustannuksista voidaan mainita Kälviän vesi-
osuuskunnan Riipan jälleenimeytyslaitos. Laitoksen mitoitustuotto
on 1 000 m³/d. Laitos otettiin käyttöön toukokuussa 1977. Laitos
rakennettiin pääosin omana työnä ja sen rakennuskustannukset olivat
yhteensä 350 000.

Raudan ja mangaanin poiston aiheuttamat lisäkustannukset olivat
45 000 mk eli n. 13 % kokonaiskustannuksista. Lisäkustannukset
jakautuivat seuraavasti:

Raakavesikaivo

- rakennustekniset työt	17 000,-
- pumppu- ja koneistotyöt	10 000,-

Raakavesijohto 200 m á 35 mk/m	7 000,-
--------------------------------	---------

Sepelisuodatin

- rakennustekniset työt	8 000,-
- putkitus	1 500,-

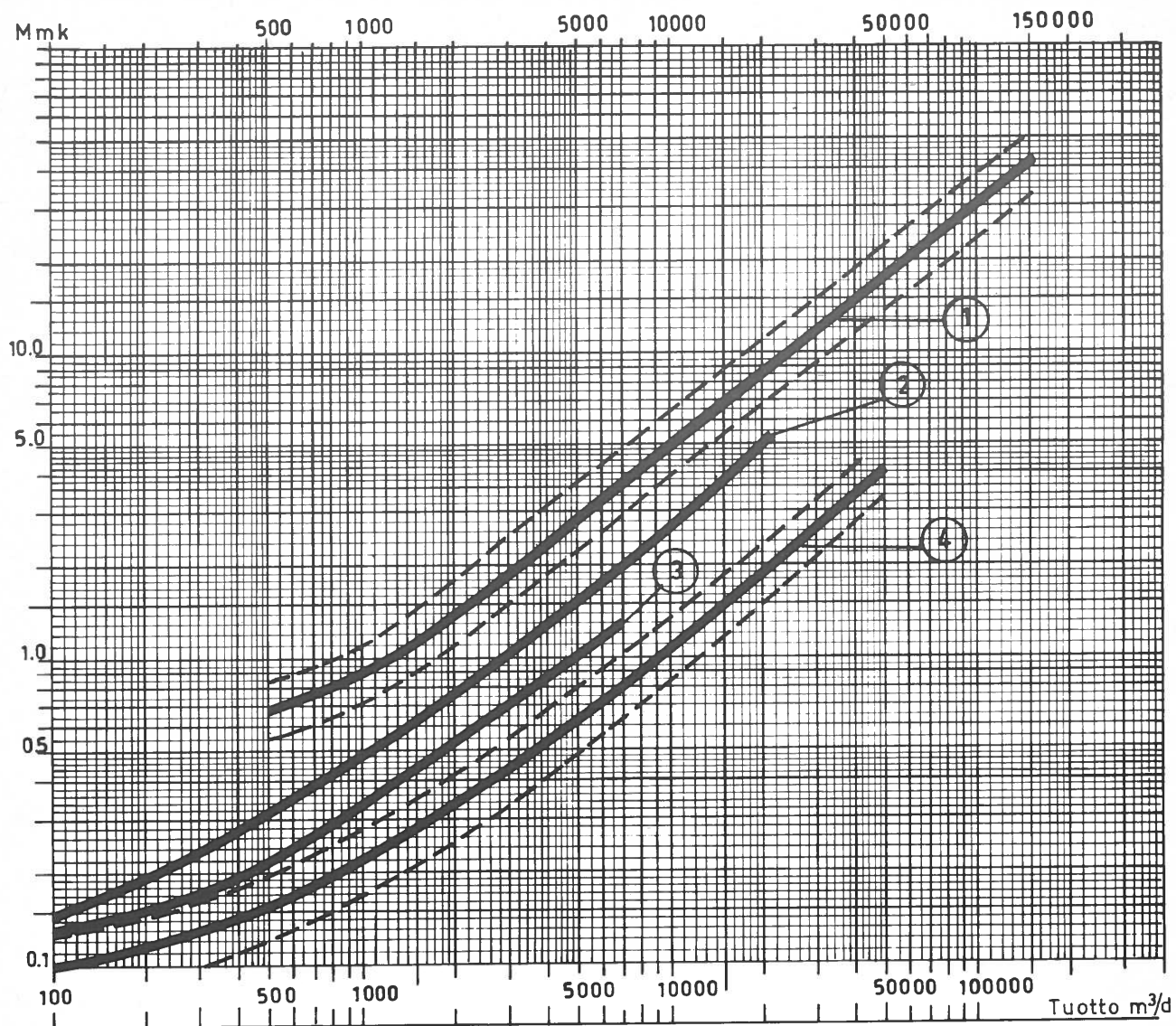
Imeytysallas

- maan kaivu 500 m ³ á 6,- mk/m ³	3 000,-
---	---------

Raudanpoistosta aiheutuva koneiston ja
sähkötöiden lisähinta

	3 500,-
Yht.	45 000,-
	=====

(ILMAN TONTTI-, SUUNNITTELU-, JA RAKENNUSTAMIS KUSTANNUKSIA)



- ① POHJAVESI, TAI PINTAVESI, LUOKKA V2
KEMIALLINEN KÄSITTELY
- ② POHJAVESI, ILMASTUS JA SUODATUS
- ③ POHJAVESI, JÄLLEENIMEYTYSMENETELMÄ
- ④ POHJAVESI, ALKALOINTI

LÄHTEET:

SITRA B 35 VYV-PROJEKTIN LOPPURAPORTTI, OSA 2,
YHDYSKUNTIEN VESIHUOLLON TUTKIMUKSET, VESIHUOLLON KUSTANNUKSET
SUUNNITTELUKESKUS OY, KAHDEKSAN KUNNAN
VEDENHANKINNAN YLEISSUUNNITELMA

Kuva 31. Pohjavedenottamoiden ja vedenkäsittelylaitosten rakennuskustannukset.
Heinäkuu 1976.

Laitoksen edulliseen hintaan vaikuttavat mm. seuraavat seikat:

- rakennustöihin osallistuneen oman henkilökunnan palkkakulut eivät sisälly kokonaiskustannuksiin
- imeytysaltaassa ei ole luiskaverhousta
- maaperästä johtuen ei imeytysaltaassa tarvita suodatinhiekkää.

6.3 Käyttökustannukset

Jälleenimeytysmenetelmällä toteutettava raudan ja mangaanin poistolaitos vaatii pelkkään alkalointilaitokseen verrattuna lisäkustannuksia seuraavista syistä:

- sepelinsuodattimen ja imeytysaltaan puhdistus
- kaksinkertaisesta pumppauksesta aiheutuva energiakustannus
- suodatinhiekan lisäys

Jälleenimeytysmenetelmä vähentää veden alkalointitarvetta, mutta näin syntyneitä kemikaalikustannusten alenemista ei laskelmissa ole otettu huomioon.

Käyttökustannukset on laskettu käsittelylaitokselle, jonka tuotto on n. $500 \text{ m}^3/\text{d}$ seuraavia lähtöarvoja käyttäen:

- sepelisuodattimen ja imeytysaltaan puhdistus 20 miestyöpäivää/a (2 900 mk/a)
- suodatinhiekan hankinta $25 \text{ m}^3/\text{a}$ (800 mk/a)
- raakaveden pumppaus 1 baarin vastapaineella, sähkön hinta 17 p/kWh.

Näin laskien nostaa raudanpoisto jälleenimeytysmenetelmää käyttäen veden hintaa n. $2,8 \text{ p}/\text{m}^3$ suoranaisina käyttökustannuksina.

Menetelmän käyttö aiheuttaa pääomakustannuksina vastaavankokoisena laitoksena veden hintaan n. $5 \text{ p}/\text{m}^3$.

7. TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

7.1 Jälleenimeytysmenetelmän toimintaperiaate

Jälleenimeytykseen perustuva raudan ja mangaanin poistolaitos käsittää yleensä raakavesikaivon, esikäsittely-yksikön, imeytysaltaan ja puhdasvesikaivon.

Imeytyksen avulla saadaan aikaan puhdasvesikaivon ympärille pohjavesivarasto, jossa pohjavesi on laadultaan hyvää. Jos pohjavesi on alueella hyvälaatuista jo ennen imeytystä, on kysymyksessä puhdasvesivaraston täydentäminen esiintymän ulkopuolelta tuodun rautapitoisen pohjaveden avulla.

Raakavesi ilmastetaan ja johdetaan esikäsittely-yksikköön, joka käsittää yleensä yhden tai useampia sepelisuodattimia. Ilmastettaessa veden E_h -potentiaali nousee raudan suhteen hapettavalle puolelle, jolloin ferromuodossa oleva veteen liuennut rauta saostuu hydroksina.

Osa raakavedessä olevasta raudasta pidättyy sepelisuodattimiin, jotka toimivat kontaktisuodattimina. Vedessä ilmastuksen ja sepelisuodatuksen jälkeen vielä oleva rauta esiintyy ferrimuodossa joko kolloidisena hydroksina tai kompleksi-ioneina. Rauta saostuu imeytysaltaan hiekkasuodattimen pinnalle.

Vedessä liuenneena oleva mangaani saostuu huomattavasti korkeammalla E_h -tasolla kuin rauta. Esikäsittelyvaiheessa E_h -potentiaali ei yleensä nouse riittävän korkealle, ja sen tähden raudan alkaessa saostua mangaani jää vielä liuenneena veteen. Mangaani saostuu kuitenkin imeytysaltaan suodatinkerroksen pinnalle.

Raudan ja mangaanin saostuminen jälleenimeytysprosessissa näyttäisi perustuvan pääasiassa biologiseen toimintaan. Rauta ja mangaani saostuvat rauta- ja mangaanibakteerien solutuppien pinnalle, missä ympäristö on alkalinen. Biologisen toiminnan ansiosta jälleenimeytysmenetelmällä voidaan poistaa pohjavedestä rauta ja mangaani myös

olosuhteissa, jotka edellyttäisivät tavanomaisia menetelmiä käytettäessä täydellistä kemiallista käsittelyä.

7.2 Hydrogeologisten olojen ja imeytysjärjestelyiden vaikutus jälleenimeytysmenetelmän käyttöön

Laitosmittakaavassa tehdyt kokeet ovat osoittaneet sen, että jälleenimeytysmenetelmää voidaan soveltaa monilla eri tavoilla hydrogeologisten olojen tarjoamien mahdollisuuksien mukaan. Kohdealueet voidaan ryhmitellä paikallisten olojen ja imeytysjärjestelyiden perusteella seuraavasti:

1. Raakavesi tuodaan imeytyspaikalle eri pohjavesiesiintymistä. Imeytysallas voi olla puhdasvesikaivon läheisyydessä tai vedenottamoalueen ulkopuolella. Pohjavesi on käsittelyalueella hyvälaatuista.

Peltosalmen pohjavedenottamo Iisalmessa edustaa olosuhteita, joissa pitkittäisharjun reunalta saatavan hyvälaatuisen pohjaveden määrää lisätään johtamalla alueelle sen ulkopuolelta rautapitoista pohjavettä. Vesi voidaan imeyttää esikäsittelyn jälkeen maaperään joko vedenottamoalueella puhdasvesikaivojen vieressä olevan tai vedenottamoalueen ulkopuolella harjun päällä olevan imeytysaltaan kautta.

Hydrogeologiset olot Summan pohjavedenottamolla Vehkalahdella ovat periaatteessa samanlaiset kuin Iisalmessa. Laitokset poikkeavat toisistaan lähinnä raakaveden laadun ja imeytysjärjestelyiden osalta.

2. Raakaveden otto ja imeytys maaperään tehdään saman pohjavesiesiintymän alueella. Imeytysallas on puhdasvesikaivon vieressä. Pohjavesi on käsittelyalueella rautapitoista.

Riipan pohjavedenottamo Kälviällä edustaa oloja, joissa raakaveden otto, imeytys ja puhdistetun veden otto tehdään kapealla harjuselänteellä olevalla vedenottamoalueella. Raakavesikaivo

on sijoitettu harjun suunnassa noin 200 metrin etäisyydelle imeytysaltaasta. Puhdasvesikaivo sijaitsee imeytysaltaan vieressä. Puhdistettu vesi otetaan aivan pohjavesikerroksen pintaosista. Imeytyskokeissa saatujen tuloksien perusteella voidaan todeta, että vedenottopisteet ovat kyseisissä oloissa riittävän kaukana toisistaan.

Liian lähelle toisiaan sijoitetut vedenottopisteet aiheuttavat sen, että imeytysvesi kiertää maaperässä ja puhdistustulos tai laitoksen hyötysuhde on huono. Tämä johtaa usein siihen, että raakavesi joudutaan ottamaan verraten kaukaa puhdasvesikaivoista.

Takaliston pohjavedenottamo Aurassa kuuluu koejärjestelyiden perusteella samaan ryhmään kuin Riipan pohjavedenottamo. Raakaveden otto, imeytys ja puhdistetun veden otto tehdään samalla vedenottamoalueella. Vedenottopisteet ovat tässä tapauksessa liian lähellä toisiaan.

3. Raakavesi tuodaan imeytyspaikalle eri pohjavesiesiintymästä. Imeytysallas on puhdasvesikaivon vieressä. Pohjavesi on käsittelyalueella rautapitoista.

Tutkimuksissa ei ollut ryhmään 3 kuuluvaa vedenottamoita. Olosuhteiden ryhmässä 3 voidaan katsoa olevan jälleenimeytysmenetelmän käytön kannalta kuitenkin paremmat kuin ryhmässä 2. Olosuhteet ovat menetelmän käytön kannalta edullisimmat ryhmässä 1.

Jälleenimeytyslaitosten tilantarve riippuu paitsi laitoksen koosta myös siitä, mihin ryhmään laitos kuuluu. Ryhmissä 1 ja 3 raakavesikaivo on eri alueella kuin varsinainen jälleenimeytyslaitos. Tällöin varsinaisen jälleenimeytyslaitoksen tilantarve on pienempi kuin ryhmässä 2, missä raakavesikaivo, imeytysallas ja puhdasvesikaivo on edullisinta sijoittaa samalle vedenottamoalueelle.

Ryhmään 2 kuuluvista laitoksista voidaan mainita esimerkkinä Kälviän

vesiosuuskunnan Riipan pohjavedenottamo, missä jälleenimeytyslaitoksen vaatima tilantarve on kolmen harjun pituussuunnassa noin 250 m. Koko vedenottamoalueen vaatima tilantarve on noin 1,25 ha.

Laitoksen koko ei ole periaatteessa rajoittava tekijä jälleenimeytysmenetelmää käytettäessä. Kysymykseen voivat tulla sekä pienet teholtaan alle $50 \text{ m}^3/\text{d}$ ja suuret teholtaan yli $5\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ olevat laitokset. Paikalliset olot voivat kuitenkin rajoittaa menetelmän käyttömahdollisuuksia. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi sopivan imeytysaltaan puute sekä maanhankinnan aiheuttamat lisäku-
tannukset.

Imeytysaltaiden maaperälle asettamat vaatimukset ovat samat kuin tekopohjavettä muodostettaessa. Perusedellytyksenä ovat tällöin imeytysveden määrään nähden riittävä alue ja maaperän hyvä vedenläpäisykyky.

Jälleenimeytyslaitokset lisäävät jonkin verran pohjaveden suojaamistarvetta. Yksinomaan pohjaveden ottoon ja käsittelyyn varattavan alueen koko voi olla suurempi kuin tavanomaisia käsittelymenetelmiä käytettäessä.

Jälleenimeytysmenetelmän käyttömahdollisuus ja -tapa riippuvat ratkaisevasti kohteen hydrogeologisista oloista. Sen johdosta menetelmän käyttöönotto edellyttää riittäviä perustietoja ja tutkimuksia laitosmittakaavassa tehtävine imeytys- ja esikäsittelyko-
keineen.

7.3 Raakaveden esikäsittelytarve ja -menetelmät

Jos raakavedessä on runsaasti rautaa ja mangaania, joudutaan vesi esikäsittelemään ennen imeytysaltaaseen johtamista. Esikäsittelyn avulla pyritään vähentämään veden rauta- ja mangaanipitoisuutta imeytysaltaan tukkeutumisen hidastamiseksi.

Esikäsittely on syytä tehdä, jos raakaveden rautapitoisuus ylittää 1 mg/l . Raakaveden mangaanipitoisuuteen ei voida juuri vaikuttaa

yksinkertaisella esikäsitteilyllä. Kokemukset osoittavat kuitenkin, että esikäsitteilyä tehostamalla saadaan myös mangaanipitoisuus laskemaan.

Laitosmittakaavaisissa imeytyskokeissa ja pienoismallissa kokeiltiin erilaisia esikäsitteilymenetelmiä, jotka olivat sepelisuodatus, ilmastusselkeytysportaikko ja rinnevalutus.

Sepelisuodatuksessa ilmastettu raakavesi johdettiin karkearakeisesta sepelistä rakennettuun yksinkertaiseen suodattimeen. Raakaveden rautapitoisuus laskee yhdessä suodattimessa noin 50 %. Mikäli raakaveden rautapitoisuus on korkea tai vedessä on mangaania, suodatusta voidaan tehostaa rakentamalla suodattimia kaksi tai useampia peräkkäin. Suodattimien mitoitusta on käsitelty luvussa 7.6.

Sepelisuodatuksen jälkeen rakennetun ilmastus-selkeytysportaikon vaikutus raakaveden rauta- ja mangaanipitoisuuksiin on suhteellisen pieni. Veden happamuus pienenee ja hiilidioksidipitoisuus laskee sen sijaan tasaisesti portaikossa. Pienoismallikokeiden perusteella näyttäisi, että veden viipymää lisäämällä ei voida paljonkaan tehostaa portaikon toimintaa.

Rinnevalutusta esikäsitteilymenetelmänä kokeiltiin Peltosalmen vedenottamalla Iisalmessa. Valutusta tehostettiin sepelisuodatuksen avulla. Valutuksessa päästiin kesäoloissa varsin hyvään tulokseen. Talvioloissa rinne jäätyn koejärjestelyissä sattuneen virheen vuoksi. Kokeissa käytetty rinne oli osittain liian jyrkkä, mikä aiheutti purojen muodostumista ja eroosiota.

Rinnevalutusta voidaan saatujen kokemusten perusteella käyttää sopivissa oloissa esimerkiksi harjualueiden reunamilla esikäsitteilyssä. Osa vedestä imeytyy maaperään jo rinteellä. Maaperän tukkeutuessa pääosa vedestä kulkeutuu imeytysaltaaseen tai -ojiin. Rinnevalutuksen käyttömahdollisuuksia rajoittaa kuitenkin usein tarkoitukseen sopivan alueen puute.

7.4 Raakaveden laadunmuutokset jälleenimeytyksessä

Eri tutkimuskohteissa käytetyt raakavedet poikkesivat laadultaan toisistaan. Muutoksia raakaveden laadussa tapahtui myös eri kohteissa imeytyskokeiden aikana.

Kaikki käytetyt raakavedet olivat pehmeitä tai erittäin pehmeitä, happamia ja runsaasti hiilidioksidia sisältäviä pohjavesiä. Orgaanista ainesta esiintyi jonkin verran Kälviällä, Aurassa ja Vehkalahdella. Iisalmessa ja Porvoossa orgaanisen aineksen määrä oli sen sijaan erittäin pieni.

Rautaa esiintyi runsaasti kaikissa raakavesissä. Rautapitoisuus oli korkein Aurassa, Vehkalahdella ja Iisalmessa. Näissä tutkimuskohteissa todettiin myös korkeimmat mangaanipitoisuudet.

Yhdeksi tutkimuksen tavoitteeksi oli asetettu runsaasti rautaa sisältävän raakaveden esikäsittelemahdollisuuksien tutkiminen. Eri tutkimuskohteissa kokeiltiin tällöin erilaisia esikäsitteletapoja.

Iisalmessa raakaveden rautapitoisuus laski rinnevalutuksessa noin 82 %. Myös mangaanipitoisuus pieneni jonkin verran. Ilmastus-selkeytysportaikossa rautapitoisuus laski noin 55 %. Lasku tapahtui kuitenkin pääasiassa portaikon yläpäässä olleessa sepelisuodattimessa. Hiilidioksidipitoisuus laski yli 70 % sekä rinnevalutuksessa että portaikossa.

Imeytysveden vaikutus oli havaittavissa imeytysaltaan vieressä olevassa puhdasvesikaivossa lähinnä lämpötilassa ja hiilidioksidipitoisuuden laskuna. Vesi oli raudan ja mangaanin suhteen hyvälaatuista.

Kälviällä raakaveden rautapitoisuus laski esikäsitteilyssä, joka käsitti sepelisuodatuksen ja ilmastus-selkeytysportaikon, noin 47 %. Ilmastus-selkeytysportaikon vaikutus rautapitoisuuden pienenemiseen oli verraten vähäistä. Hiilidioksidipitoisuus laski

sen sijaan verraten tasaisesti imeytysaltaaseen päin siirryttäessä noin 60 %.

Taulukko 32. Eri tutkimuskohteissa raakavedestä, esikäsitellystä vedestä ja puhdistetusta vedestä tehtyjen vesianalyysien keskiarvotuloksia (määritysten määrä ilmoitettu sulkeissa).

	CO ₂ mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	KMnO ₄ mg/l	Imeytysteho/ ottoteho, m ³ /d
<u>Peltosalmi, Iisalmi</u>					
raakavesi	31,6(3)	3,3(8)	0,21(8)	1,6(8)	
esikäsit. (rinneval.)	8,2(1)	0,6(4)	0,13(3)	1,7(3)	
esikäsit. (portaikko)	6,4(3)	1,5(5)	0,22(4)	1,0(4)	
puhdistettu vesi	16,5(3)	0,08(9)	0,018(8)	1,0(8)	1 000/1 800
<u>Riippa, Kälviä</u>					
raakavesi	35,8(15)	1,7(18)	0,10(17)	14,7(17)	
esikäsitelty vesi	14,5(6)	0,9(9)	0,11(8)	11,6(7)	
puhdistettu vesi	23,1(13)	0,12(18)	0,02(17)	9,7(17)	1 000/1 000
<u>Summa, Vehkalahti</u>					
raakavesi	79,3(3)	8,9(3)	0,27(3)	11,2(3)	
esikäsitelty vesi	25,3(2)	4,2(1)	0,18(1)	6,7(2)	
puhdistettu vesi	30,6(3)	0,01(3)	0,02(3)	0,01(3)	100/250
<u>Takalisto, Aura</u>					
raakavesi	50,2(1)	5,5(5)	0,27(5)	18,2(5)	
esikäsitelty vesi	19,6(1)	4,8(5)	0,24(5)	18,6(5)	
puhdistettu vesi	42,2(1)	5,5(5)	0,21(5)	16,4(5)	300/250
<u>Pienoismallikoe</u>					
raakavesi	27,7(10)	2,0(10)	0,11(4)	3,2(5)	
esikäsitelty vesi	14,3(10)	1,03(10)	0,11(4)	8,6(4)	
puhdistettu vesi	11,8(7)	0,09(7)	0,03(2)	1,6(1)	

Imeytysveden vaikutus oli havaittavissa Kälviällä imeytysaltaan vieressä olleen vedenottopisteen lämpötilana ja hiilidioksidipitoi-

suuden laskuna. Myös KMnO_4 -kulutuksessa oli todettavissa laskua. Vesi oli lähes raudatonta ja mangaanitonta ja täytti myös tässä suhteessa hyvälle juoma- ja talousvedelle asetetut vaatimukset.

Laboratoriokokeiden perusteella osa raakavedessä olleesta raudasta on Kälviällä humukseen sitoutunutta. Tavanomaisia menetelmiä käytettäessä raudan poisto edellyttäisi täydellistä kemiallista käsittelyä.

Vehkalahdella raakaveden rautapitoisuus laski esikäsittelyssä noin 50 %. Imeytysaltaaseen tulevassa vedessä oli kuitenkin vielä rautaa 4,2 mg/l. Hiilidioksidipitoisuus laski noin 68 %. Imeytyksen vaikutus ei ollut havaittavissa puhtasvesikaivon veden laadussa. Esikäsittelyssä päästäneen hyvään tulokseen tehostamalla imeytystä sepelisuodatuksella.

Aurassa raakaveden rautapitoisuus laski sepelisuodatuksen ja lyhyen ilmastus-selkeytysportaikon käsittävässä esikäsittelyssä keskimäärin noin 50 %. Imeytysaltaaseen tulevassa vedessä oli kuitenkin vielä runsaasti rautaa ja mangaania. Hiilidioksidipitoisuus laski myös Aurassa huomattavasti (61 %).

Imeytyksellä ei ollut kuitenkaan sanottavaa vaikutusta imeytysaltaan vieressä olevasta puhtasvesikaivosta pumputun veden laatuun. Vesi oli kaivossa laadultaan lähes yhtä huonoa kuin käsittelemätön raakavesi.

Huono puhdistustulos johtuu todennäköisesti pääasiassa heikosta biologisesta toiminnasta. Tämä johtuu imeytykseen käytetyn raakaveden desinfioinnista vedenottamorakennuksessa tehdyn hapetuksen yhteydessä. Osasyinä ovat myös liian lähellä toisiaan sijainneet raakaveden ja puhtaan veden ottopisteet, pohjavesikerroksen mataluus, jonka johdosta rautapitoinen vesi kulkeutuu kaivon sivuilta vettä otettaessa helposti kaivoon, sekä sepelisuodattimen liian pieni koko.

Pienoismallikokeissa raakaveden rautapitoisuus laski n. 50 % sepe-

lisuodattimessa, jonka mitoitus vastaa lähinnä Kälviällä käytettyä.

Tulokset vastaavat Kälviällä saatuja kokemuksia. Mangaanipitoisuuden yksinkertaisella sepelisuodatuksella ei ole vaikutusta. Hiilidioksidipitoisuus laski 48 %. Hiekkasuodatuksessa rauta ja mangaani pidättyivät suodatinhiekan pintaan.

Esikäsittelyssä raudan voidaan todeta pidättyvän kaikissa tutkimuskohteissa parhaiten yksinkertaiseen sepelisuodattimeen. Puhdistustehoa voidaan lisätä huomattavasti suodattimien sijoittamisella peräkkäin, jolloin voidaan vaikuttaa myös mangaanipitoisuuteen. Tehokas esikäsittelymenetelmä on myös sepelisuodatus ja sitä seuraava rinnevalutus.

Imeytysaltaasta maaperään ja edelleen pohjaveteen suotautuvavesi on raudatonta ja mangaanitonta. Myös veden muissa laatuominaisuuksissa voi tapahtua muutoksia. Näistä ovat merkittävimpiä orgaanisen aineksen ja hiilidioksidin pitoisuuden pieneneminen.

Vedessä ilmastuksen johdosta liuenneena oleva happi ei kulu kaikki esikäsittely-yksikössä ja imeytysaltaassa tapahtuvissa veden puhdistusprosesseissa, joten maaperään imeytyvässä vedessä on vielä runsaasti happea.

7.5 Jälleenimeytyslaitosten mitoitus ja käyttö

Jälleenimeytyslaitokset tulisi mitoittaa ja suunnitella siten, että imeytystä voidaan tehdä ilman keskeytyksiä läpi talven eli noin neljän kuukauden ajan. Mikäli imeytys keskeytyy talvella, voi siitä olla seurauksena imeytysaltaan jäätyminen, jolloin imeytysaltaan puhdistaminen ja imeytyksen jatkaminen on vaikeaa.

Imeytysaltaan mitoituksen määräävät vaadittava noin 4 kuukauden puhdistusväli, imeytettävä vesimäärä ja veden rautapitoisuus. Tarvittava imeytysaltaan tai -altaiden pinta-ala voidaan tutkimuksen perusteella laskea likimääräisesti seuraavan kaavan avulla:

$$A = k \cdot Q \cdot Fe$$

$$A = \text{imeytysaltaan pinta-ala } m^2$$

$$Q = \text{imeytettävä vesimäärä } m^3/d$$

$$Fe = \text{veden rautapitoisuus } mg/l$$

$$k = \text{kokemusperäinen kerroin}$$

$$\text{yleensä } 0,4-0,5$$

Edellä olevassa kaavassa ei ole otettu huomioon korkean (yli 0,2 mg/l) mangaanipitoisuuden aiheuttamaa tukkeutumista, joka on tutkittava tapauskohtaisesti.

Imeytysaltaan pohjalla käytettävän suodatinkerroksen tulee olla rakeisuudeltaan hidassuodatushiekkaan verrattavaa.

Sepelisuodatin on mitoitettava siten, että myös sitä voidaan keskeytyksettä käyttää yli talven. Sepelisuodatin puhdistetaan tällöin välittömästi ennen imeytysaltaan puhdistamista.

Tutkimuksen antamien tietojen mukaan sepelisuodattimiin tarvittavan sepelin määrä voidaan laskea likimäärin seuraavasti:

$$V = K \cdot Q$$

$$V = \text{sepelin määrä } m^3$$

$$Q = \text{imeytettävä vesimäärä } m^3/d$$

$$K = \text{kokemusperäinen kerroin, jonka suuruus on noin } 0,015-0,025. \text{ Kertoimen suuruus riippuu veden rauta- ja mangaanipitoisuudesta.}$$

Käytettävän sepelin raekoon tulisi tutkimuksen perusteella olla noin 30–70 mm. Hienomman sepelin käyttö saattaa eräissä tapauksissa parantaa käsittelytulosta, mutta suodatin tukkeutuu nopeasti ja on vaikeammin puhdistettavissa.

Edellä esitetyt mitoitusarvot perustuvat kokemuksiin, joita on saatu veden rautapitoisuuden vaihdella noin 1,5–2,0 mg/l. Kä-

siteltäessä vettä, jonka rautapitoisuus on huomattavasti näitä arvoja suurempi, joudutaan mitoitus tekemään käsittelykokeen avulla. Myös menetelmän soveltuvuuden selvittäminen paikallisiin oloihin vaatii yleensä käsittelykokeiden tekemistä.

Käsittelykokeet on edullisinta tehdä talvella, jolloin pohjaveden happipitoisuus on pienin ja laatu siksi huonoita. Tällöin saadaan myös kokemuksia laitoksen toiminnasta talvioloissa, jolloin lämpötila voi laskea hyvinkin alas ja biologinen toiminta on hidasta.

Sepelisuodattimien puhdistus tehdään huuhtelemalla. Käsityönä tehty huuhtelu edellyttää, että sepeli samanaikaisesti käännetään esimerkiksi traktorikaivurilla. Suodattimen sisään asennetusta huuhteluputkistosta ei ole käyttökokemuksia. Imeytysaltaiden puhdistaminen tehdään käsityönä. Puskutraktorin käytöstä voi olla seurauksena suodatinkerroksen tiivistyminen, mikä nopeuttaa altaan tukkeutumista.

7.6 Kustannukset

Jälleenimeytysmenetelmän vaatimat investointikustannukset ovat riippuvaisia kohteen olosuhteista. Rakennuskustannuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat mm. raakavedenottokohdan etäisyys käsittelypisteestä, imeytysalueen maaperäolot, rakenteilta vaadittava laatu-taso ja veden laatu.

Olosuhteiden ollessa suotuisat ovat jälleenimeytysmenetelmän aiheuttamat investointikustannukset huomattavasti pienemmät kuin tavanomaisten raudanpoistolaitosten.

Jälleenimeytysmenetelmän käyttökustannukset koostuvat pääasiassa kaksinkertaisen pumppauksen aiheuttamasta energiakustannuksesta ja sepelisuodattimen sekä imeytysaltaan puhdistuskustannuksista. Toisaalta käyttökustannuksia alentaa veden alkalointitarpeen pienentyminen. Pienillä laitoksilla voivat kemikaali- ja hoitokustannukset alentua niin paljon, että raudanpoisto ei aiheuta käyttö-

kustannusten nousua pelkkään alkalointiin verrattuna.

7.7. Jatkotutkimustarve

Jälleenimeytykseen perustuvia raudan ja mangaanin poistolaitoksia voidaan suunnitella ja rakentaa laitosmittakaavassa tehtävien imeytyskokeiden, aikaisempien kokemusten ja tämän tutkimuksen antamien tietojen perusteella. Tätä tutkimusta tehtäessä on ilmennyt kuitenkin tarve seuraavien jatkotutkimusten tekemiseen:

- käytössä olevilta jälleenimeytyslaitoksilta saatavien käyttökokemusten kokoaminen (raakaveden laatu ja sen muuttuminen esikäsitellyssä, puhdistetun veden laatu, sepelisuodattimien toiminta, sepelisuodattimien ja imeytysaltaiden puhdistamistarve)
- sepelisuodattimien mitoituksen tarkistaminen erilaisilla raakavesillä saatujen kokemusten perusteella
- sepelisuodattimien huuhtelumenetelmien kehittäminen
- rakentamis- ja käyttökustannustietojen kokoaminen niiltä laitoksilta, joissa ne ovat selvästi eriteltävissä muista kustannuksista.

LÄHDEVIITTEITÄ

1. Lahermo P., Pohjaveden laatu ja siihen vaikuttavat tekijät. INSKO, Pohjavesien hyväksikäyttö ja suojele, julkaisu 125-75, VII. Helsinki 1975, s. 1-23.
2. Hatva, T., Niemistö L. & Seppänen H., Näkökohtia pohjaveden raudan pidätyksestä maaperään. Vesitalous (1972) 5, s. 1-7.
3. Eriksson E. & Khunakasem V., Grundvattnets kemi. Grundvatten, redigerad E. Eriksson, Y. Gustafsson & K. Nilsson. Stockholm 1970, s. 110-146.
4. Hem J.D., Chemistry of iron in natural water. U.S. Geol. Survey Water-Supply Paper 1459-B. Washington 1960.
5. Hem J.D., Chemical equilibria and rates of manganese oxidation. U.S. Geol. Survey Water-Supply Paper 1667-A. Washington 1963, s. 1-64.
6. Sahama Th.G., Geokemia. Helsinki 1947, s. 362-368.
7. Hem J.D. & Cropper W.H., Survey of ferrous-ferric chemical equilibria and redoxpotentials. U.S. Geol. Survey Water-Supply Paper 1959-A. Washington 1959, s. 1-31.
8. Morris J.C. & Stum W., Redox equilibria and measurements of potentials in the aquatic environment. Equilibrium Concepts in Natural Water Systems, Advances in Chemistry Series 67. Washington 1967, s. 270-285.
9. Hemm J.D., Stability field diagrams as aids in iron chemistry studies. Jour. AWWA, Feb. 1961, s. 211-228.
10. Mortimer C.H., The exchange of dissolved substance between mud and water in lakes. J. Ecol. (1942) 30, s. 147-201.
11. Kusnezow S.I., Die Rolle der Mikroorganismen im Stoffkreislauf der Seen. Berlin 1959, 301 s.
12. Beger, H., Leitfaden der Trink- und Brauchwasserbiologie. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1966, 360 s.
13. Wolfe R.S., Iron and manganese bacteria. Principles and applications in aquatic microbiology (ed. by Heukelekian H. & Dondero N.C.). John Wiley & Sons, New York 1964, s. 82-97.
14. Pringsheim E.G., The filamentous bacteria *Sphaerotilus*, *Leptothrix*-, *Gladolithrix* and their relation to the iron and manganese. Phil. Trans. Roy. Soc. Ser. B 233, London 1949, s. 453-462.
15. Liebman H., Handbuch der Frischwasser- und Abwasserbiologie, Bd. I, 1. R. Oldenbourg, München 1962, 588 s.

16. Liebman H., Handbuch der Frischwasser- und Abwasserbiologie. Bd. II, 2. R. Oldenbourg, München 1959, s. 161-320.
17. Schweisfurth R., Eisen- und Mangan-Mikroben im Wasserwerksbetrieb. Institut für Gastechnik, Feuerungstechnik und Wasserchemie der Technischen Hochschule Karlsruhe, Veröffentlichungen der Abteilung und dess Lehrstuhl für Wasserchemie. Heft I. Karlsruhe 1966, s. 199-217.
18. Kurera S. & Wolfe R.S., A selective enrichment methods for *Gallionella ferruginea*. J. Bacteriol. (1957) 74, s. 344-349.
19. Preobrazheskaia M.R., On the ecology and biology of iron bacteria (orig. Russ.). Mikrobiology IV (1937) 3, s. 339-349.
20. Wolfe R.S., Cultivation, morphology and classification of the iron bacteria. Jour. AWWA 50 (1958) 9, s. 1241-1249.
21. Hopkins E.S. & Bean E.L., Iron and manganese. Water purification control. Williams & Wilkins Co., Baltimore 1966, 332 s.
22. Wetzel A., Technische Hydrobiologie, Trink-, Brauch-, Abwasser. Leipzig 1969, 407 s.
23. Glathe H. & Ottow J.C.G., Ökologische und physiologische Aspekte zum Mechanismus der Eisenoxidation und Ockerbildung, Eine Übersicht. Zbl. Bakt. II Abt. 127, 1972, s. 750-769.
24. Tiainen V-M., Yhdyskuntien vesihuollon tutkimukset, Vesihuollon kustannukset, YVY-projektin loppuraportti, osa 2. SITRA B 35, Helsinki 1977.

YVY-julkaisusarja

1. Vesihuollon taloudellisuus
2. Vedenkulutuksen vaihtelut
3. Vesijohtoverkon toiminnan luotettavuus
4. Jätevedenpuhdistamojen allastilojen kattaminen
5. Ammoniakin poisto pohjavedestä
6. Teurastamojen ja lihanjalostuslaitosten jätevesikuormitus ja jätevesien käsittelymahdollisuudet
7. Maidonjalostusteollisuuden jätevesikuormitus ja jätevesien käsittelymahdollisuudet
8. Vesi- ja jätehuollon laitteiden julkinen testaus
9. Jätehuollon esimerkkisuunnitelman laatiminen keskiuurille kunnille
10. Yhdyskuntien jätehuollon nykytilanne ja tulevaisuuden näkymät
11. Menetelmä taajamien vesihuollon toteuttamisasteen ja kehityksen arvioimiseksi
12. Kaatopaikat 1974
13. Viemärlaitoksen systeemanalyysi
14. Vesihuollon edellyttämä vesistötutkimus
15. Jäteveden puhdistamojen hydrauliiikan ja dynamiikan tutkiminen merkkialanetekniikalla
16. Vedenjakelujärjestelmän toiminnallinen suunnittelu
17. Vedenjakelujärjestelmän simulointimalli
18. Bandsedimentator
19. Sekaviemäröintiverkoston tehonlisäys ja simulointimalli suunnittelumenetelmänä
20. Haja-asutuksen viemäröinti ja jätehuolto
21. Jätevesilietteen hyödyntämisen perusteet
22. Patogeenisten mikro-organismien määrittäminen kalkkilietteestä
23. Kaatopaikan valinta ja kunnossapito
24. Maaseutuyhdyskunnan jätehuolto
25. Viemäriverkoston suunnittelumalli
 - A — Yleisosa
 - B — Käyttäjän ohjekirja
 - C — Mallin testaus
 - D — Ohjelman listaus
26. Juomaveden haju- ja makuhäiriöt ja niiden torjunta
27. Erillisviemäröintiverkon runkoviemärien tehonlisäys ja simulointimalli suunnittelumenetelmänä
28. Jäte- ja jäähdytysvesien leviämistä kuvaavien matemaattisten mallien käyttökelpoisuuden arviointi
29. Talousveden käyttötarve ja -tottomukset
30. Yhdyskuntajätteen lajittelu
31. Viemärien vuotokohdat ja niiden merkitys vuodon määrään
32. Korroosionesto jätevedenpuhdistamoissa
33. Ilmastustehon mittaus merkkialanemenetelmällä
34. Tekopohjaveden muodostaminen
35. Lammikkopuhdistamojen toiminnan tehostaminen
36. Pitkäilmasteisen rengaskanavapuhdistamon kehittäminen
37. Raudan ja mangaanin poisto pohjavedestä jälleenimeytysmenetelmällä

ISBN 951-9250-88-3
ISSN 0355-1997