

SATAKUNNAN AMMATTIKORKEAKOULU

Elina Salminen

KAIVOVESINÄYTTEIDEN LAATU JA ANALYSOINTI

KEMIANTEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMA

2006

TIIVISTELMÄ

KAIVOVESINÄYTTEIDEN LAATU JA ANALYSOINTI

Elina Salminen
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Tekniikan Porin yksikkö
Kemiantekniikan koulutusohjelma

Toimeksiantaja: Satakunnan ammattikorkeakoulu
Ohjaajat: Tuula Vanha-aho FL & Sirkka-Liisa Koskinen Ins.
Sivujen lukumäärä: 69
Luovutus: Syyskuu 2006
Avainsanat: kaivot, kaivovesi, tutkimus
UDK: 543.3; 628.1.112; 663.63

Suomessa on noin 300 000 kotitaloutta sekä saman verran vapaa-ajan asuntoja, jotka ottavat vetensä omasta kaivosta. Kuitenkin kaivot, joiden vesi olisi laadullisesti täysin juomakelpoista, ovat tänä päivänä harvinaisia. Kaivoveden laatuun vaikuttavat alueellisten erityispiirteiden lisäksi monet paikalliset tekijät, kuten esim. maa- ja kallioperän laatu, vuodenaajat ja ihmisen toiminta.

Työn tarkoituksena oli tutkia kaivovesinäytteiden puhtautta ja juomakelpoisuutta sekä tarkastella tuloksiin vaikuttavia tekijöitä. Tutkimuksessa oli mukana yhdeksän eri kaivovesinäytettä sekä yksi lampivesi. Kaivoista suurin osa sijaitsee vapaa-ajan asunnoilla, mutta osa kaivoista on kotitalouksista, joissa vettä käytetään päivittäin.

Mittaukset suoritettiin SAMK:n kemianlaboratoriossa 17.11.2005-23.01.2006 välisenä aikana. Näytteistä määritettiin tuolloin kaivovedestä käytettävät parametrit; pH, sameus, veden kemiallinen hapen kulutus (COD_{Mn}), ammoniumtyppi, rauta, mangaani, kloridi, veden kovuus ja kokonaisfosfori.

Tulosten perusteella laatusuosituksen enimmäispitoisuuksien ylityksistä suurin osa johtui korkeista sameuksista, korkeista rautapitoisuuksista tai korkeista kaliumpermanganaattiluvuista, jotka ilmenivät näytteissä myös värinmuutoksena ja hajuna. Sen sijaan kloridi- ja ammoniumtyppipitoisuudet sekä pH olivat kaikissa määritetyissä näytteissä suositusten mukaiset.

Puhdistusmenetelmistä alkalointi ja/tai suodatus ovat käyttökelpoisia raudan ja sameuden poistossa. Sen sijaan permanganaattilukuun ei aina riitä pelkkä vedenkäsittely, vaan kaivo on kunnostettava tai rakennettava uuteen paikkaan.

ABSTRACT

QUALITY AND ANALYZING OF WELL WATER SAMPLES

Elina Salminen
Satakunta University of Applied Sciences
Technology Pori
Degree Programme in Chemical Engineering

Commissioned: Satakunta University of Applied Sciences
Supervised: Tuula Vanha-aho, Lic.Tech. ja Sirkka-Liisa Koskinen, B.Sc.
Number of Pages: 69
Date: September 2006
Key words: wells, well water, survey
UDC: 543.3; 628.1.112; 663.63

In Finland there are approximately 300 000 households and as many cottages that use their own well water. These days, however it's rare to have a good quality in drinkingwater from a well. Regional features affect the quality of water and also many local factors, such as the quality of soil and rocks, seasons and human action.

The purpose of this study was to examine the purity and drinking quality of well water samples and also to observe the facts that affect the results. In this survey, there were nine well water samples and one sample of pond water. Most of these wells are situated in cottages, but some of the wells are from households, where the water is used every day.

The tests was made in the laboratory of Satakunta University of Applied Sciences during the time of 17th of November 2005-23rd of January 2006. The samples were taken to analyse pH, turbidity, chemical oxygen demand, ammonia nitrogen, iron, manganese, chlorine, the sum of calcium and magnesium and the total phosphorus.

According to these analyses, the quality recommendations were mostly exceeded by high turbidity, high ferrous or high KMnO_4 -number that also appeared in the samples by colour change and smell. Chlorine, ammonia nitrogen and pH met all the recommendations in the samples.

Alkalation and/or filtration are useful purification methods with iron and turbidity. Instead of KMnO_4 -number, there might not be any other way to purify the water than to repair the well or construct a new well in a different place.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
1 JOHDANTO	6
2 POHJAVESI	7
2.1 Pohjaveden muodostuminen	7
2.2 Pohjaveden varastoituminen ja siihen vaikuttavat tekijät	8
2.2.1 Akviferit	9
2.2.2 Pohjaveden muodostumisalue	10
2.3 Pohjaveden pinta	11
3 KAIVOT	12
3.1 Rengaskaivo	12
3.2 Kallioporakaivo	14
3.3 Siiviläputkikaivo	16
3.4 Lähdekaivo	17
3.5 Muut kaivot	18
3.6 Kaivon paikka	19
4 KAIVOVESI JA KAIVOVEDEN LAATU	21
4.1 Kaivovesi	21
4.2 Kaivoveden laatu ja siihen vaikuttavat tekijät	21
4.2.1 pH	22
4.2.2 Sameus, väri ja haju	23
4.2.3 Veden kovuus	24
4.2.4 Rauta (Fe)	25
4.2.5 Mangaani (Mn)	25
4.2.6 Kloridi (Cl)	26
4.2.7 KMnO ₄ -luku	26
4.2.8 Typpiyhdisteet	27
4.2.9 Kallioperästä johtuvat tekijät	28
4.3 Kaivoveden tutkiminen	29
4.4 Veden käsittely	29
4.5 Kaivoveden likaantuminen	30
5 VESIANALYYSSIT	31
5.1 Näytekaivot	31
5.2 Näytteiden esikäsittely	34
5.3 Määritykset	34
5.3.1 Veden kemiallinen hapen kulutus	35
5.3.2 Ammoniumtyppi	37
5.3.3 Raudan ja mangaanin määrittäminen	38
5.3.4 Veden kloridipitoisuuden määrittäminen	39
5.3.5 Veden kalsiumin ja magnesiumin summan määrittäminen	40

5.3.6 Veden kokonaisfosforin määrittäminen	41
5.3.7 Sameus, pH, väri ja haju	42
5.4 Työn tulokset.....	43
5.4.1 Kemiallinen hapen kulutus (COD _{Mn}).....	43
5.4.2 Ammoniumtyppi	44
5.4.3 Kloridipitoisuus.....	44
5.4.4 Kalsiumin ja magnesiumin summa	45
5.4.5 Kokonaisfosfori.....	45
5.5 Tulosten tarkastelu	46
5.5.1 Veden kemiallinen hapen kulutus	46
5.5.2 Ammoniumtyppi	47
5.5.3 Rauta	48
5.5.4 Mangaani.....	48
5.5.5 Kloridi	49
5.5.6 Kalsiumin ja magnesiumin summa	49
5.5.7 Kokonaisfosfori.....	50
5.5.8 Sameus, pH, väri ja haju	51
5.5.9 Yhteenveto	51
6 LÄHDELUETTELO.....	53

LIITTEET

1 JOHDANTO

Maassamme arvioidaan olevan yhteensä noin 600 000 kotitaloutta ja vapaa-ajan asuntoa, jotka ottavat talousvetensä omasta kaivosta /1/. Kaivoista suurin osa on rengaskaivoja ja noin 150 000 kaivoa on porakaivoja /2/. Myös uusia kaivoja rakennetaan jatkuvasti, ja siksi on hyvin tärkeää tietää pohjaveden esiintymisestä maa- ja kallioperässä sekä minkälaisia toimenpiteitä tarvitaan sen käyttöönottamiseksi /1/.

Yksityisen kiinteistön vedentarve riippuu paljolti talouden koosta ja maatiloilla lisäksi eläinten määrästä. Ihminen juo keskimäärin kaksi litraa vettä päivässä ja muihin kotitaloustoimintoihin vettä kuluu noin 100-200 litraa vuorokaudessa asukasta kohden. Taloudesta riippuen nelihenkinen perhe voi helposti käyttää nykyaikaisine kodinkoneineen jopa 500-750 litraa vettä vuorokaudessa. Tällaiset vesimäärät on mahdollista saada oikeaan paikkaan sijoitetusta, hyväkuntoisesta kaivosta. /2/

Yksittäiset kaivot, joiden vesi olisi laadultaan täysin moitteetonta, ovat tänä päivänä valitettavan harvinaisia /3/. Valtakunnallisen kaivovesitutkimuksen mukaan voidaan sanoa, että arviolta puolet yksityisistä kaivoista on heikkokuntoisia ja joka neljännen kaivon vesi saattaa aiheuttaa terveydellistä haittaa /2/. Yleisimmät syyt kaivoveden huonoon laatuun löytyvät maa- ja kallioperästä sekä puutteista kaivon rakenteissa ja ihmisen toiminnasta /1, 2/.

Kunnallisten vesijohtovesien laatu on hyvä. Kunnallisen veden käyttäminen on kuitenkin oman kaivoveden käyttöön verrattuna yleisesti ottaen melko kallista, usein jopa mahdotonta. Useimmat kaivoista voidaan kunnostaa ja varustaa sellaisilla suodattimilla, että talousveden laatuvaatimukset täyttyvät./3/

2 POHJAVESI

2.1 Pohjaveden muodostuminen

Kaivovesi on pohjavettä, jota muodostuu maanpinnan alle imeytyvästä, pohjavesivyöhykkeeseen joutuvasta vedestä. Muodostumisen päätekijä on sadevesi, mutta yhtäläillä vesistöt ja lumen sulamisvedet lisäävät pohjavesivarastoja./4/

Suomessa on pohjaveden muodostumisen kannalta suotuisa ilmasto, sillä Suomessa ei ole pitkiä sateettomia kausia, vaan vettä saadaan yleensä kaikkina vuodenaikoina /4/. Vuodessa sataa keskimäärin noin 300-400 mm vettä, josta noin puolet imeytyy maaperään, ja josta vain pieni osa muodostaa pohjavettä /5/.

Kesällä kasvit kuluttavat maan pintakerroksen kosteusvarastoa tehokkaasti, jonka johdosta sateet eivät tahdo päästä imeytymään pohjaveteen saakka. Tästä syystä pohjaveden pinta yleensä laskee kesäisin. Syksyisin, kun haihdunta on pientä, syyssateet taas lisäävät pohjavesivarantoa. Talvisin maa on jäässä ja vesi sataa lumena alas. Tällöin ei keräänny uutta pohjavettä ja näin ollen pohjaveden pinta alenee. Toisaalta pitkät lauhat jaksot voivat aiheuttaa pohjaveden muodostumista myös talvella etenkin rannikkoseuduilla./4/

Pohjavedeksi imeytyvän veden määrään vaikuttavat sateen lisäksi maa- ja kallio-perän vedenjohtavuus, kasvillisuus, lämpötila, maanpinnan muoto ja kaltevuus sekä maaperän laatu. Irtaimet maakerrokset eivät ole kovin paksuja ja runsaslukuiset harjualueet tarjoavat hyvät edellytykset pohjaveden synnylle./5/

Pohjaveden muodostuminen vaihtelee suuresti maalajin mukaan. Moreenimailla pohjaveden muodostuminen riippuu mm. moreenin rakenteesta, tiivyydestä ja kasvipeitteestä. Ylevillä, karkearakeisilla moreenimailla voidaan pohjavedeksi suotautuvan vesimäärän arvioida ylittävän jopa 50 % sadannasta. Yleisesti moreenimailla suotautuminen on kuitenkin välillä 10-30 %./5/

Hienorakeisilla vettä huonosti läpäisevien maalajien alueilla sade- ja sulamisvedet poistuvat pääosin pintakerrosvaluntana ojien kautta suoraan vesistöihin /4/. Silttiin ja kerralliseen saveen vesi kuitenkin imeytyy jonkin verran. Näiden maalajien suuresta kapillaarisuudesta johtuen maahan jo imeytynyt vesi palautuu kuitenkin suurimmaksi osaksi takaisin maan pinnalle ja edelleen haihtumalla takaisin ilma-kehään. Hienorakeisilla mailla varsinainen pohjaveden syntyminen on vähäistä. Sitä kuitenkin tapahtuu jonkin verran vettä paremmin johtavien kerrosten, halkeamien ja onteloiden välityksellä. /5/

Turvekerrostumiin imeytyy kaikista eniten sadevettä, keskimäärin noin 80-90 %, koska pintavalunnan osuus jää vähäiseksi. Haihtuminen on sen sijaan suurta suo-alueilla, jolloin pohjavesivalunnan lopulliseksi suuruudeksi jää noin 30-40 %./5/

Kalliopaljastumat edistävät pohjaveden muodostumista, vaikka Suomessa esiintyvät kivilajit eivät varsinaisesti ole vettä johtavia. Kallion pinnalle satava ja virtaava vesi joutuu osittain suoraan kallion rakosysteemeihin, osa taas valuu paljastumaa reunustaviin maakerroksiin ja osa haihtuu kallion pinnalta./5/

2.2 Pohjaveden varastoituminen ja siihen vaikuttavat tekijät

Maanpinnan alle imeytynyt vesi vajoaa painovoiman vaikutuksesta alaspäin kunnes kohtaa pohjaveden pinnan tai tiiviin vettä läpäisemättömän alustan. Varastoitunut pohjavesi ymmärretään yleensä horisontaalisuuntaisena kerrostumana./6/

Pohjavesivaraston laajuus, paksuus ja sen jaksolliset vaihtelut ovat riippuvaisia sadannasta sekä muista hydrologisista tekijöistä, kuten geologisesta ympäristöstä ja valuma-alueella olevien kerrosten hydraulisesta johtavuudesta. Lisäksi ne ovat riippuvaisia maanpinnan tai pohjaveden purkuvesistön pinnan korkeustasosta./6/

Jos pohjavesivarastoa tarkastellaan riittävän pitkällä aikavälillä, se on tasapainossa eli tulovirtaama ja pohjaveden purkautuminen ovat yhtä suuret /5/. Muodostuvan pohjaveden määrä ja kerrosten vedenjohtokyky määräävät, mihin kaltevuuteen pohjaveden pinta asettuu purkautumistasojen yläpuolelle /6/. Suomen

olosuhteissa purkautumistasojen yläpuolelle varastoituneen pohjavesikerroksen paksuus on yleensä sitä suurempi, mitä paksumpi muodostuma on, mitä pienempi sen vedenjohtavuus on, ja mitä suurempi on pohjavettä muodostavan alueen pinta-ala /6/. Karkearakeisissa maalajeissa on vedellä kyllästyneen vyöhykkeen paksuus vähintään 5-10 m, kun ohutkerroksisilla moreenimailla se on muutaman metrin. Savi- ja siltti sekä turvemailla pääosa maaperästä on kyllästynyt vedellä. ”Kallioalueilla kyllästynyt vyöhyke on kallioperän rakosysteemeissä ja kallioperän kokonaistilavuudesta on yleensä noin 0,1-0,5 % vettä.”/5/

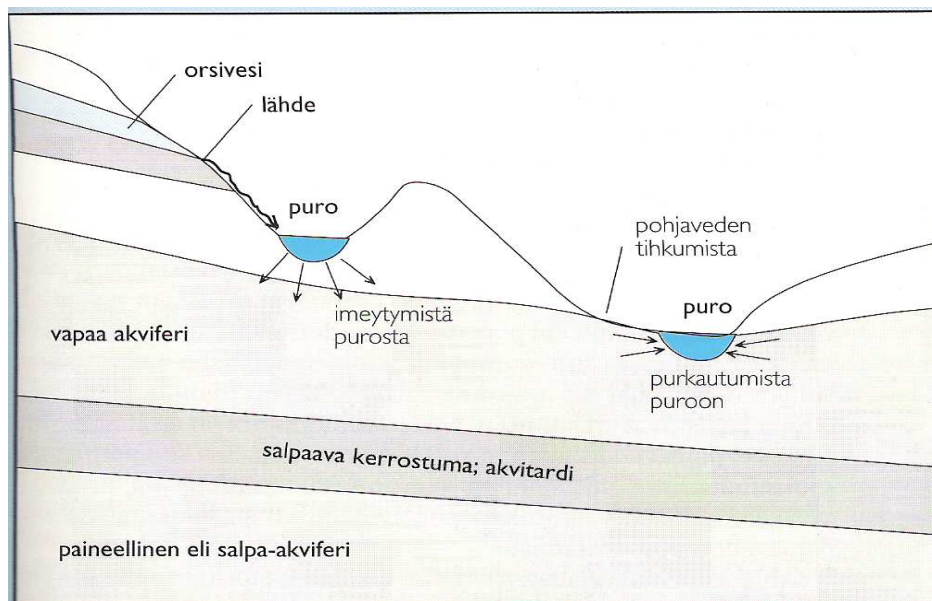
2.2.1 Akviferit

Akviferit ovat pohjavesiesiintymiä, jotka johtavat hyvin vettä maa- tai kivilajiyksiköissä /5/. Se on hydraulisesti yhtenäinen muodostuma, jonka edellytetään pysyvän johtamaan taloudellisia määriä vettä kaivoon tai lähteeseen /7/. Tällaisia ovat muun muassa yhtenäiset hiekka- ja savikerrostumat sekä ruhjeinen kallioalue /5/.

Suomen pohjavesivaroista huomattavin osa (95 %) yhdistyy huokoisiin, karkearakeisiin sora- ja hiekka-akvifereihin. Niiden vedentuotto vaihtelee antoisuuden mukaan 200-10 000 m³/ vrk. Kallioakviferit ovat ruhjeakvifereita, joiden antoisuus voi parhaimmillaan olla jopa muutaman sadan kuutiometrin luokkaa vuorokaudessa./5/

Akviferit voidaan jakaa kahteen pääryhmään. On olemassa niin sanottuja vapaita akvifereja, joissa vedenpinta rajoittuu ilman täyttämään vettä johtavaan kerrokseen ja paine on vedenpinnassa sama kuin vallitseva ilmakehän paine. Tällaisen akviferin sisältämää vettä kutsutaan vapaaksi vedeksi. Akviferi on paineellinen, kun sen pohjavedenpinta rajoittuu tiiviiseen kerrostumaan. Sitä voidaan kutsua myös salpa-akviferiksi ja sen vettä salpavedeksi. Tällöin veden pinnalla vallitseva paine on suurempi, kuin ilmakehän paine. Kun paineelliseen akviferiin laitetaan havaintoputki tai tehdään kaivo, vedenpinta nousee vettä läpäisemättömän kerroksen yläpuolelle akviferin veden paine- eli pietsometriselle tasolle. Jos vedenpaine

on niin suuri, että pietsometrinen taso nousee maanpinnan yläpuolelle, kutsutaan akviferia ja sen vettä arteesiseksi./5/



Kuva 1. Vapaa ja paineellinen pohjavesi /5/

Suomessa akviferit ovat melko pienimuotoisia sekä kalliokynnysten rajaamia. Suurimmat vapaat akviferit löytyvät pitkittäisharjuista sekä Salpausselän deltakerrostumista. Paineellista pohjavettä ilmenee pääasiassa harjujen lähetyvillä saven salpaamana ja Pohjanmaan savipeitteisissä harjuissa eritoten jokilaaksoissa. /5/

2.2.2 Pohjaveden muodostumisalue

Pohjaveden muodostumisalue on se alue, jolta sade- ja sulamisvedet kerääntyvät ja muodostavat pohjavesialtaan. Pohjaveden muodostumisalueita erottavat toisistaan pohjaveden jakajat. Niiden sijainti voi poiketa pintavedenjakajien sijainnista ja ne saattavat muuttua esim. pumppauksen ja imeytyksen vaikutuksesta. /5/

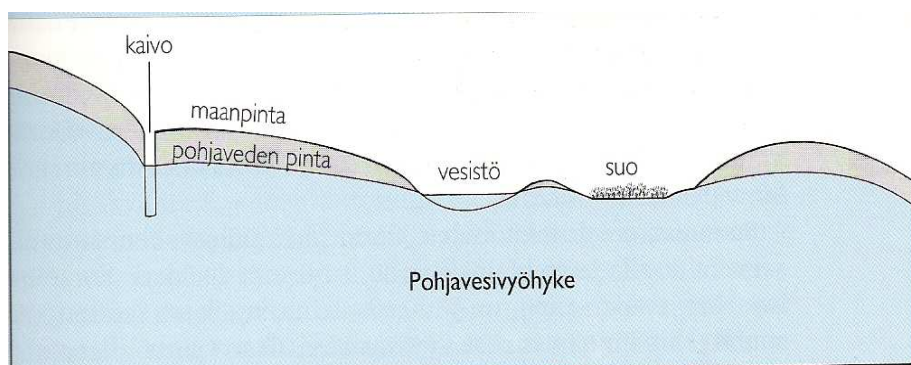
Toisin sanoen pohjaveden jakajat osoittavat rajan, jonka eri puolilla pohjaveden pinnat kallistuvat eri suuntiin. Niiden tunteminen on tärkeää, kun suunnitellaan pohjavedenottamon paikkaa ja arvioidaan sen antoisuutta sekä suunnitellaan pohjaveden muodostumisalueen suojelua ja tutkitaan likaantumisen vaikutuksia pohjaveden tai suunnitellaan tekopohjaveden muodostamista./5/

Samassa pohjavesialtaassa voi olla useita toisiinsa yhteydessä olevia akvifereja. Pohjavesialtaan vedenpinnan korkeuden määräävät kalliot tai huonosti vettä johtavat maakynnykset sekä soiden ja vesistöjen pinnat. Vedenpinnan kaltevuus on riippuvainen kerroksen vedenjohtokyvystä sekä virtaamasta. Sitä suurempi on kaltevuus, mitä huonommin kerros johtaa vettä./5/

2.3 Pohjaveden pinta

Pohjaveden pinnankorkeus vaihtelee siis vuodenaikojen mukaan. Vaihtelu on erilaista eripuolilla maata johtuen vuodenaikojen pituuksista. Esimerkiksi Lapissa kesä on huomattavasti lyhyempi kuin Etelä-Suomessa./4/ Yleisesti voidaan olettaa, että kesäisin Lapissa pohjavesien pinnankorkeudet ovat alhaisempia kuin Etelä-Suomessa.

Pohjaveden pinta myötäilee yleensä loivasti maanpinnan korkokuvaa (Kuva 2). Se on yhteydessä maanpintaan lähteiden, soiden, vesijättöjen ja vesistöjen välityksellä. Pohjaveden pinta on nähtävissä kaivoveden pintana. Suomessa pohjaveden pinta on yleensä 2-4 metrin syvyydellä maanpinnasta. Poikkeuksena on kuitenkin ympäristöstään kohoavat harjualueet, missä pohjavesi voi olla jopa 30-50 metrin syvyydessä./5/



Kuva 2. Pohjaveden pinta noudattaa väljästi maaston muotoja /5/

Eniten pohjaveden pinnan korkeutta ja pohjavesivesivarastoja muuttavat sadanta ja haihdunta. Vähäinen merkitys on myös vedenotolla, rakentamisella, ojittamisella, vuorovesi-ilmiöllä ja tuulilla pinnan tasoon. Suomessa veden vuotuinen kierto pitää kuitenkin pohjaveden pinnan kutakuinkin samalla tasolla ja vaihtelut ovat luokkaa 0,1-1,0 m /vuosi./5/

3 KAIVOT

Kaivotyyppejä voi olla maaperästä riippuen hyvin erilaisia /1/. Suomen olosuhteissa pohjavesikaivot voidaan jakaa rakennustavan ja –aineiden perusteella omiin ryhmiinsä. Jaottelu tapahtuu seuraavasti:

- kuilukaivot
 - kivi- tai puukehyksiset kaivot
 - betonirengaskaivot
 - teräsbetonikaivot
- putkikaivot
 - huuhtelumenetelmällä valmistetut kaivot
 - suodatinkerroksella varustetut kaivot
- muut kaivot
 - yhdistetyt kuilu- ja putkikaivot
 - vaakasuorat putkikaivot
 - kalliokaivot /6/

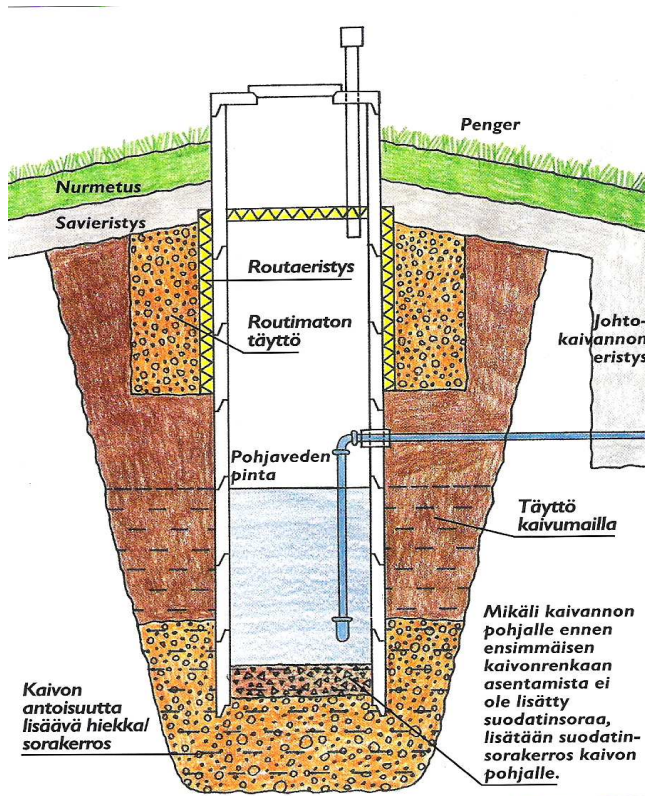
3.1 Rengaskaivo

Suomessa yleisimmin käytetty kaivotyyppi on kuilu- eli rengaskaivo, joka soveltuu hyvin hiekka-, sora- ja moreenialueille, silloin kun pohjavesi on lähellä maanpintaa (alle 4 m). Aikaisemmin kaivon rakennusmateriaalina käytettiin puuta tai kiveä. Nykyisin kaivot tehdään yleensä betonirenkaista tai valetaan paikalla./8/

Kaivon rakenteissa tärkeitä asioita ovat riittävän korkealle maan pinnalle ulottuvat kaivorakenteet, riittävä pengerrys, hyvä renkaiden ja läpivientien tiivistys ja ehjä kansi /9/. Kaivojen sisähalkaisija vaihtelee yhdestä metrillä viiteen metriin ja syvyydet vaihtelevat pohjaveden pinnan tasosta riippuen parista metrillä yli 20 metriin /8/.

Kaivon kuiluosa tulee rakentaa mahdollisimman tiiviiksi, ettei pintavesi pääse kaivoon, vaan vesi tulee kaivoon pohjan kautta. Pohjalle laitetaan yleensä suodatinsoraa, jolla estetään maaperässä olevan hienoaineksen pääsy pohjan kautta kaivoon./2/ Jos vesi on hapanta, voidaan osa suodatinkerroksen sorasta korvata kalkkikivellä (CaCO_3), joka neutralisoi happamuutta. Käytettävien tiivistysaineiden valintaan tulee kuitenkin kiinnittää huomiota, etteivät ne aiheuta kaivoveden laadun heikkenemistä./9/ Kaivon pohjan ympärille tehdään yleensä varastotilavuutta ja suodatusvaikutusta lisäävä sora- tai hiekkapesä, jota kutsutaan vesipesäksi /2/.

Savi- ja moreenimaahan rakennetuissa, toimivissa kaivoissa on varauduttava vedenpinnan vaihteluihin, joka voi olla muutamia metrejä. Varastotilaa on näihin kaivoihin rakennettu joko suuremman rengashalkaisijan tai vesipesän avulla, koska maaperän kyky johtaa vettä on huono. Rengaskaivojen, jotka on rakennettu hiekka- ja sora-alueille, vesitila on usein erittäin matala. Tämä johtuu siitä, että runsaan vedentulon takia, niitä ei ole pystytty rakentamaan syvemmälle. Näiden kaivojen vedenpintojen vaihtelu on kuitenkin pientä, joten pienikin vesitila on riittävä./2/



Kuva 3. Rengaskaivo /1/

3.2 Kallioporakaivo

Kallioporakaivo, eli lyhyesti porakaivo, on kallioon porattu reikä, jonka läpimitta on yleensä 140-150 mm ja syvyys noin 20-150 metriä /2/. Tällaisella kaivotyypillä hankitaan nimensä mukaisesti kalliovettä /8/. Porakaivoja on erityisesti käytössä haja-asutusalueilla, koska ne soveltuvat hyvin maaperään, jossa on monin paikoin savea tai niin tiivistä moreenia, että maakerroksiin rakennetuista kaivoista ei saada tarpeeksi vettä tai vesi on huonolaatuista. Lisäksi porakaivoja on paljon käytössä etenkin saaristossa./2/

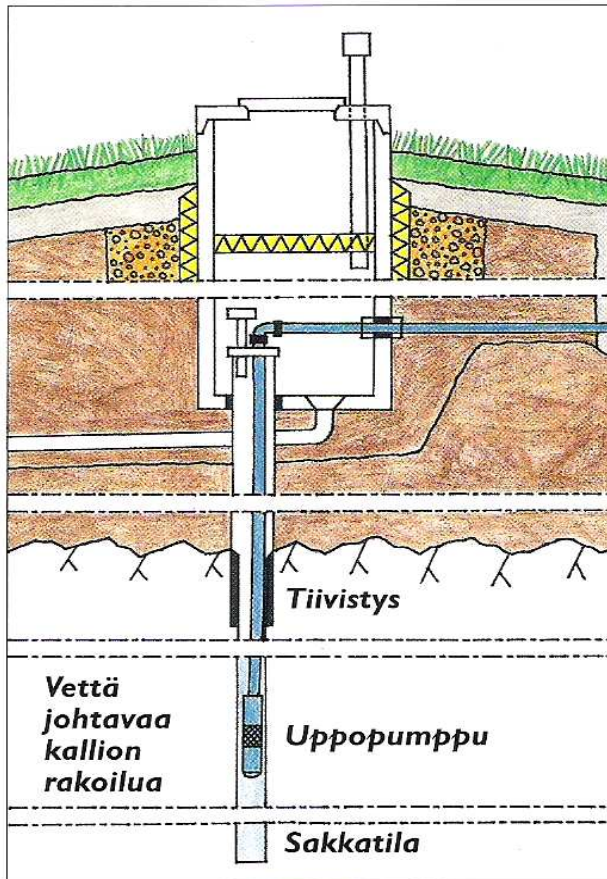
Kaivo tehdään poraamalla reikä syvälle maaperään, kunnes pohjavesi tulee vastaan /10/. Porakaivosta saatavan veden määrään vaikuttaa kuitenkin kallioperän rikkonaisuus, johon reikä porataan /2/. Vettä kuitenkin löytyy kaikkialta viimeistään 120 metrin syvyydestä. Mikäli kaivoa porattaessa vettä ei löydy riittävästi, tehdään porauksen yhteydessä vesipaineaukaisu./10/ Vesipaineaukaisussa porareikään pumpataan vettä kovalla paineella, niin että paineen vaikutuksesta kallios-

sa olevat hyvin vettä johtavat ruhjeet laajenevat ja päästävät veden kaivoon entistä paremmin./8/ Kallioporakaivojen antoisuus Suomessa on noin 40-50 m³/d, mutta se voi olla jopa 300-500 m³/d. /9/

Kallioporakaivojen rakentamisessa on usein ongelmana, että saatavaa vesimäärää ja veden laatua ei pystytä varmistamaan ennen porausreiän tekemistä. Kalliopora-kaivojen tekijät antavat kuitenkin yleensä vesitakuun. Tämä tarkoittaa, että rakentamiskustannuksia ei tarvitse maksaa, jos tarvittavaa vesimäärää ei saada vesipaineaukaisusta huolimatta./8/ Kaivon huono antoisuus voi johtua myös kaivon mataluudesta pohjaveden pintaan verrattuna, suodatinsoran tukkeutumisesta, pohjan liettymisestä tai vedenottolaitteistojen huonosta kunnosta./9/

Toinen ilmennyt ongelma on veden laatu /2/. Suomessa on porakaivovesistä löydetty kohonneita fluoridi, rauta- ja mangaanipitoisuuksia sekä muita vieraita aineita kuten humusta, arseenia, uraania ja syöpää aiheuttavaa radonia. Meren lähetyvillä sijaitsevilla kaivoissa on joskus tavattu myös kohonneita kloridipitoisuuksia. Tämä saattaa johtua liian syvästä porareistä tai siitä, että kaivosta otetaan liikaa vettä pohjaveden muodostumiseen nähden./8/

Porakaivossa tulisi olla tiivis ja lukittava kansi, joka suositellaan tehtäväksi teräs-betonista. Kaivon kanteen laitetaan yleensä tuuletusputki, johon on lisäksi kiinnitetty hyönteisverkko sekä suojahattu. Kaivon ympäristö muotoillaan siten, että kaivo tulee olemaan ympäristöönsä korkeammalla. Mikäli kaivo on rakennettu rin-teeseen, sen yläpuolelle on tehtävä oja, jonka tarkoituksena on johtaa pintavedet pois kaivon läheisyydestä./9/



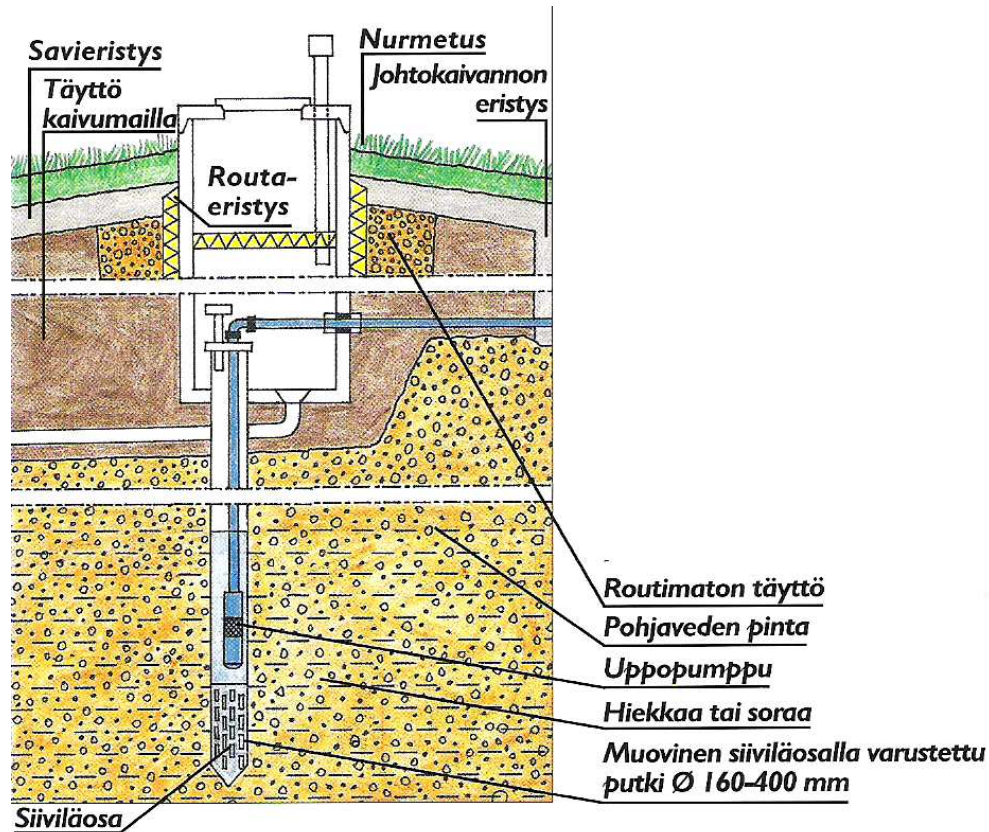
Kuva 4. Porakaivo /1/

3.3 Siiviläputkikaivo

Siiviläputkikaivoa käytetään lähinnä laajojen ja syvien pohjavesivarastojen hyödyntämiseen hiekka- ja sora-alueilla, jonka vuoksi se soveltuukin parhaiten vesilaitosten vedenottokaivoksi. Sen sijaan yksityisten maanomistajien kaivona sitä ei käytetä juuri lainkaan./8/

Kaivon läpimitta on yleensä 400 mm, mutta nykyisin voidaan tehdä pienempiäkin kaivoja, jotka soveltuvat paremmin talouskäyttöön. Näiden kaivojen syvyys vaihtelee noin kahdesta metristä 50 metriin. Siiviläputkikaivo muodostuu yleensä muovista rakennetusta nousuputkesta ja muutaman metrin pituisesta siiviläosasta./2/ Putken siiviläosa on vettä johtavassa kerroksessa ja vesi tulee kaivoon putkessa olevien reikien kautta /9/. Oikealla siivilän rakomittauksella estetään hienoineksen pääsy kaivoon ja näin ollen myös kaivon tukkeutuminen. Kaivot raken-

netaan yleensä siihen tarkoitetun laitteiston avulla, joita löytyy Suomesta vain 3-4 kappaletta. Kaivon asennus tapahtuu työputken avulla, joka upotetaan maaperään järeällä porauskalustolla./2/



Kuva 5. Putkikaivo /1/

3.4 Lähdekaivo

Lähdekaivoja on hyvin erilaisia. Toiset lähteet on katettu vain niin, että roskat ja eläimet eivät pääse lähteeseen ja osaan on upotettu rengaskaivon renkaat siten, että ”lähteensilmä” on jäänyt kaivon sisäpuolelle ja ylimenevä vesi johdetaan putkella ulos. On olemassa myös lähdekaivoja, jotka on tehty rengas- tai siiviläputkikaivoiksi ja rakennettu lähteen yläpuolelle. Näin on saatu lähteeseen johtuva vesi käyttöön./2/



Kuva 6. Lähdekaivo /4/

3.5 Muut kaivot

Muista kaivotyypeistä saattaa tulla kyseeseen ns. lirikaivo, joka on yleisin yksittäisten talouksien kaivotyyppi. Lirikaivossa käytetään hyödyksi paineellista pohjavettä, jota esiintyy pääasiassa suurten harjualueiden liepeillä. Kaivo on käytännössä maakerroksen läpi työnnettävä putki, jossa vesi nousee paineen vaikutuksesta suoraan maanpinnalle. /2/

Paineellisen pohjaveden käyttö on yleensä halpa ratkaisu, mutta se on myös hyvin herkkä pohjaveden pinnan vaihteluille. Jos pohjaveden pinta laskee, se vähentää myös purkautuvan pohjaveden määrää vedenpaineen laskiessa. /2/

Yhdistetty kierukkaputkikaivo-kuilukaivo rakentuu siten, että yläosa voi olla normaalia rengaskaivoa ja alaosa umpiputkea. Rei'ittämättömän putken alaosaan on yhdistetty salaojaputki, joka kerää vettä kaivoon. Tällaisen kaivotyyppin etuna on, että se voidaan tehdä melko nopeasti. Sitä on myös hyvä käyttää silloin, jos on vaarana, että kaivantto voi sortua. /8/

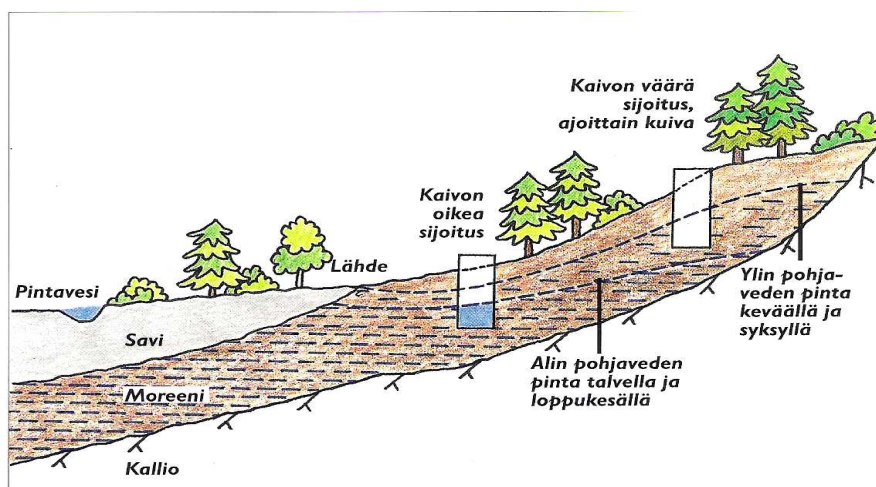
Rakentaminen tapahtuu laskemalla salaojaputki laajahkon kaivannon pohjalle yhdessä umpinaisen putken kanssa ja täytetään maa-aineksella, joka on helposti

vettä läpäisevää. Rei'ittämätön putki laitetaan kaivantoon pystyasentoon ja salaojaputki asetetaan kiertämään umpiputken ympärille. Salaojaputki ei kuitenkaan saa koskettaa rei'ittämätöntä putkea, vaan sen pitää kulkea etäämpänä umpinaisesta putkesta. Tämä sen takia, että salaojaputki kerää paremmin vettä, kun se on levitetty laajemmalle alalle./8/

3.6 Kaivon paikka

Paras mahdollinen kaivon rakennuspaikka on vettä hyvin läpäisevässä hiekka- ja soramuodostumassa, jossa hyvälaatuista pohjavettä on runsaasti saatavilla ja se kelpaa sellaisenaan käytettäväksi juoma- ja talousvetenä. Pohjavettä löytyy myös moreenikerrostumista, josta saatavan veden määrä ja laatu riippuvat moreenikerrosten paksuudesta, laadusta ja rakenteesta. Pohjavettä saadaan melko hyvin löyhistä, osittain lujittuneista moreeneista, joita esiintyy etenkin rannikkoalueilla. Tiiviit ja kiviset moreenit ovat huonoja paikkoja kaivolle./1/

Kallioperästä saatavan pohjaveden määrään vaikuttaa kallioperän laatu ja rakenne /1/. Antoisuudeltaan parhaimmat porakaivot sijaitsevat kallioperän runsaasti rakoilleissa vyöhykkeissä, jotka sijaitsevat usein maaston alavimmissa osissa, ja joita löytyy kaikkialta Suomesta /2/. Porakaivo tulisi sijoittaa lähinnä kallioperän rakoiluvyöhykkeeseen. Kalliopohjavettä saadaan yleensä yhden talouden veden tarvetta vastaavia määriä myös kallioista, joissa on vain vähän rakoja./1/



Kuva 7. Kaivo tulisi sijoittaa mahdollisimman luonnontilaiselle alueelle rinteiden alaosaan, missä ei ole pohjaveden likaantumisen riskiä eikä suuria pohjavedenpinnan vaihteluita /1/.

Tärkein valintaperuste kaivon sijoituspaikaksi on riittävän ja laadullisesti hyvän veden saaminen. Siksi hyvää kaivon sijoituspaikkaa kannattaa etsiä kohtalaisen kaukaakin mahdollisimman luonnontilaiselta alueelta, missä ei ole likaantumisriskiä./1/ Hyviä rengaskaivon paikkoja ovat rinteiden alaosat, joissa pohjavesi purkautuu joko lähteinä maanpinnalle tai tihkuu soille, puroihin, jokiin tai järviin /2/.

Pohjaveden pinnan vaihtelu on otettava huomioon kaivon sijoituksessa, sillä se vaikuttaa kaivoveden saantiin /2/. Vähäsateisina vuosina pohjaveden pinta voi laskea hyvinkin alhaiselle tasolle /1/. Pohjaveden pinta vaihtelee erityisesti moreenimaassa, jossa vaihtelu voi olla jopa useita metrejä, kun hiekka- ja sora-alueilla vaihtelu on noin metrin. Kaivo on siis tehtävä niin syväksi, että siitä on mahdollista saada vettä myös silloin, kun pohjavesi on alimmillaan. Paras vuodenaika kaivon rakentamiselle on loppukesä tai kevättalvi, jolloin pohjaveden pinta on kaikista alimmalla tasolla. Tällöin kaivosta saa varmimmin vettä läpi vuoden. Sen sijaan porakaivon rakentamisessa ei vuodenajoilla ole niinkään merkitystä./2/

Maakerrokseen sijoitettavien kaivojen paikkoja voidaan tarkastella monella eritavalla. Paikkaa voidaan arvioida silmämääräisesti maastotarkastelun avulla. Esimerkiksi rinteiden alaosien rehevä kasvillisuus ja lähteet kertovat, että pohjavettä esiintyy kyseisellä alueella. Veden saanti rengaskaivoa varten voidaan varmistaa myös tekemällä koekuoppa kaivinkoneella. Maakerrosten rakennetta, laatua ja syvyyttä voidaan tarkastella myös erillisillä kairauksilla./2/

Kallioporakaivon paikkaa voidaan arvioida silmämääräisesti maastoa tarkastelemalla ja peruskarttaa apuna käyttäen. Peruskartalta ja geologisilta kartoilta pystyy maan pinnanmuotojen ja kalliopaljastumien perusteella tulkitsemaan kallioperän suuntausta ja rikkonaisuutta. Sekä kartalla että maastossa yhtenäisinä jatkuvat kallioperän alimman pinnan vyöhykkeet ovat useimmiten hyviä kallioporakaivon paikkoja. Syvään rapautuneet kalliokohdat kertovat kallioperän rikkonaisuusvyöhykkeistä, joissa yleensä esiintyy kalliopohjavettä./2/

4 KAIVOVESI JA KAIVOVEDEN LAATU

4.1 Kaivovesi

Kaivovesi on pohjavettä, jota syntyy sade- ja sulamisvesien imeytyessä maakerrosten läpi. Vesi kulkeutuu maaperän huokosissa ja kallioperän raoissa painovoiman vaikutuksesta syvälle maaperään. Samalla, kun vesi suodattuu maakerrosten läpi, se puhdistuu ja siihen liukenee ihmiselle tärkeitä hivenaineita./11/

Kaivosta saatava pohjavesi on yleensä raikasta ja terveellistä, ja näin ollen se sopii erinomaisesti talousvesikäyttöön /11/. Pohjavettä käyttää talousvetenä noin kolme neljäsosaa suomalaisista /9/. Vaikka kaivosta otettaessa pohjavesi vaikuttaisi kirkaalta ja puhtaalta, se voi kuitenkin sisältää terveydelle haitallisia epäpuhtauksia. Tämän vuoksi kaivovesi tulisi tutkituttaa noin kolmen vuoden välein /11/.

4.2 Kaivoveden laatu ja siihen vaikuttavat tekijät

Pohjaveden, ja näin ollen myös kaivoveden laatuun vaikuttavat alueellisten erityispiirteiden lisäksi monet paikalliset tekijät. Tällaisia ovat muun muassa pohjavesiesiintymän geologinen rakenne, pohjaveden virtausolosuhteet, maa- ja kallioperän laatu, vuodenajat, meren läheisyys sekä ihmisen toiminta. Erityyppisillä kaivorakenteilla hyödynnettävän pohjaveden laatu vaihtelee olosuhteista johtuen huomattavasti./1/

Tarkastelemalla taulukkoa 1, nähdään, että pohjavesi on rengas- ja porakaivoissa yleensä hyvän laatuista (mediaaniarvot). Mediaaniarvoja suuremmat keskiarvot osoittavat sen sijaan, että kaivovesissä voi esiintyä hyvinkin korkeita pitoisuuksia rautaa, mangaania, orgaanista ainesta, klorideja, nitraatteja ja fluoridia./1/

		RENGASKAIVOT				PORA-KAIVOT	
		Hiekka ja sora		Moreeni		Kallioperä	
Parametri	Yksikkö	X	Md	X	Md	X	Md
Happamuus	pH	6,35	6,30	6,34	6,30	6,87	6,60
Rauta	mg/l	0,43	0,06	0,37	0,07	0,69	0,07
Mangaani	mg/l	0,08	0,02	0,09	0,02	0,18	0,04
Johtokyky	mS/m	20,50	15,10	22,80	18,50	36,70	27,40
KMnO ₄ - kulutus	mg/l	11,50	6,50	14,60	9,20	9,30	4,00
Kloridi	mg/l	15,20	7,50	16,30	8,80	24,10	12,00
Nitraatti	mg/l	13,20	3,80	14,60	6,30	9,80	1,50
Kokonaisko- vuus	°dH	3,30	2,50	3,90	3,10	5,70	4,30
Fluoridi	mg/l	0,23	0,10	0,19	0,10	0,54	0,21

Taulukko 1. Pohjaveden laadun mediaani- (Md) ja keskiarvoja (X) rengas- ja porakaivoissa /1/.

Kaivoveden hyvän laadun varmistamiseksi, on yksittäisten kotitalouksien käyttämän veden täytettävä tietyt laatukriteerit. Tätä varten Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö on laatinut asetuksen (401/2001), jossa esitetään pienten yksiköiden talousveden laatuvaatimukset ja -suositukset. Laatuvaatimukset koskevat vahingollisimpia aineita tai bakteereja ja laatusuositukset vähemmän haitallisia tekijöitä. Suositusten ylityksistä ei seuraa niinkään terveydellistä haittaa, vaan yleisimmin teknistä tai esteettistä harmia./12/ Asetuksen mukaiset talousveden laatuvaatimukset ja -suositukset on esitetty liitteissä 1.1-1.2.

4.2.1 pH

Suomessa rengaskaivojen vesi on yleensä lievästi hapanta ja hyvin pehmeää /1/. Pohjaveden pH on korkeampi syvällä kallioperässä, kuin lähempänä pintaa. Rengaskaivojen pH vaihtelee yleensä noin 6,2 ja 6,6 välillä, kun taas kallio-

porakaivoissa pH on korkeampi, usein yli 7./2/ Laatusuositusten mukaan talousveden pH:n tulisi olla välillä 6,5-9,5 /1/.

Talousveden happamuuteen vaikuttavat muun muassa hiilidioksidi, karbonaatit ja bikarbonaatit sekä lämpötila. pH -arvo on hyvin tärkeä, sillä matala pH voi aiheuttaa vedenjakelulaitteiden syöpymistä. Lievästi hapan vesi syövyttää muun muassa kuparisia, valurautaisia, betonisia ja sinkitetystä teräksestä valmistettuja vedenjakelulaitteita./8/ Pahimmassa tapauksessa hapan vesi voi aiheuttaa vesivahinkoja /3/. Veden alhainen pH voi aiheuttaa ihmiselle ihoärsytystä. Sen sijaan, jos vesi on emäksistä, se voi aiheuttaa veden ”liukkautta” sekä vaahtoamista. Emäksisyys voi olla peräisin esim. pesuaineista./8/

Veden alhaiseen happamuuteen voidaan vaikuttaa alkaloinnilla tai tekemällä kalkkikivisepelistä kerros kaivon pohjalle. Kaivoveden ollessa emäksistä, kaivo on kunnostettava tai etsittävä uusi kaivon paikka./8/

4.2.2 Sameus, väri ja haju

Ulkoisesti havaittavissa olevia veden laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat veden väri, sameus, haju ja maku. Hyvälaatuisen veden tulee olla hajutonta, mautonta, väritöntä ja kirkasta./5/

Veden sameutta voivat aiheuttaa korkeat rauta-, alumiini- ja sinkkipitoisuuksien lisäksi myös savi, orgaaninen aines ja ilmakuplat /1, 8/. Etenkin uusien porakaivojen vesi voi olla pitkäänkin sameata ennen kuin tilanne tasaantuu ja vesi kirkastuu /12/. Yleisin syy kaivovesien sameuteen on pintavesien pääsy kaivoon /8/. Sameutta voidaan poistaa joko alkaloinnilla ja/tai suodatuksen avulla /1/.

Veden väriin vaikuttavat veden sisältämät aineet, joista yleisimpiä ovat rauta, mangaani, kupari ja humus. Nämä aiheuttavat veteen ruskeaa, harmaata tai sini-vihreää väriä, joka on mahdollista poistaa alkaloinnilla ja/tai suodatuksella./1/ Sen sijaan veden vieras haju merkitsee jonkinasteista häiriötä veden laadussa. Hajua

aiheuttavat yleisimmin jätevedet, orgaaniset aineet sekä pelkistyneissä vesissä rikkivety./9/

4.2.3 Veden kovuus

Kovuus on vanhin ominaisuus, jolla veden laatua on yleisesti kuvattu. Kokonaiskovuudella tarkoitetaan vedessä olevien maa-alkalien, kalsiumin (Ca) ja magnesiumin (Mg) pitoisuutta. Kalsium on hallitsevampi tekijä kokonaiskovuudessa, koska sitä esiintyy pohjavedessä reilusti enemmän kuin magnesiumia./8/ Kalsium ja magnesium liukenevat veteen maaperästä, joten maaperän laatu vaikuttaa veden kovuuteen /9/.

Veden kovuuden mukaan vesi voidaan jakaa erittäin pehmeään (0-0,378 mmol/l), pehmeään (0,378-0,882 mmol/l), keskikovaan (0,882-1,764 mmol/l), kovaan (1,764-3,780 mmol/l) ja hyvin kovaan (>3,780 mmol/l). Suomen pohjavedet ovat yleisluonteisesti pehmeitä./5/ ”Kaivovesistä noin 63 % on erittäin pehmeitä, 28 % pehmeitä ja 8 % hieman tai melko kovia ja vain yksi prosentti luokitellaan koviksi /8/.”

Yleensä porakaivojen vesi on vielä kovempaa kuin rengaskaivojen /1/. Porakaivoihin tuleva vesi on yleensä ollut pitkään kallio- ja kiviaineksen kanssa kosketuksissa, jonka vuoksi vesi sisältää enemmän liuenneita aineita kuin maaperässä olevan rengaskaivon vesi /2/. Porakaivot, jotka sijaitsevat runsaasti luonnon omia mineraaleja sisältävässä kallioperässä, on usein liennut myös haitallisia määriä mineraaleja ja alkuaineita /13/.

Kaivoveden korkeasta kovuudesta on haittaa, koska se aiheuttaa saostumia lämmivesijärjestelmiin sekä ns. kattilakiveä esim. höyrykattiloihin /8/. Sen sijaan alhainen kovuus aiheuttaa putkistojen ja muiden laitteiden syöpymistä. Alhaista kovuutta voidaan poistaa alkaloinnilla ja korkeaa kovuutta neutraloinnilla./1/

4.2.4 Rauta (Fe)

Suomen maaperässä yleisesti esiintyvä rauta on usein ongelmana yksittäisessä kaivossa /2/. Pohjaveden rautapitoisuuteen vaikuttavat monet tekijät, kuten esim. maa- ja kallioperän mineraalikoostumus, pohjaveden vallitseva happiolosuhte ja mikrobiologinen toiminta. Rautaa on kuitenkin niin yleisesti maa- ja kallioperässä, että sitä voi liueta veteen lähes kaikkialta. Kaivovedessä rauta esiintyy yleensä kahdenarvoisena ionina (Fe^{2+}), mutta se voi olla myös kolmenarvoisena ionina (Fe^{3+}). Kahdenarvoinen rauta on veteen helposti liukeneva, kun taas kolmenarvoinen rauta saostuu kaivon pohjalle tai on hiutaleina vedessä./5/

Hyvin vettä johtavissa karkearakeisissa maalajeissa pohjaveden rautapitoisuus on yleensä pieni /5/. Paikallisesti pohjavesien rautapitoisuus voi olla korkea hiekka- ja sora-alueilla sijaitsevissa rengaskaivoissa, mutta tässäkin kohtaa porakaivojen rautapitoisuudet ovat usein vielä selvästi korkeampia /1/.

Rautapitoinen vesi on väriltään keltaista tai ruskeaa sekä pitoisuuden ylittäessä 1 mg/l esiintyy vedessä pistävää, metallista makua sekä mahdollisesti myös sakkaa /3/. Tämä ei kuitenkaan aiheuta varsinaista terveyshaittaa. Lisäksi korkea rautapitoisuus aiheuttaa värjäytymiä pesualtaissa ja muissa vesikalusteissa sekä kerrostuu putkistoihin aiheuttaen tukoksia. Raudan poistaminen vedestä tapahtuu hapettamalla tai alkaloinnilla ja suodatuksella./8/

4.2.5 Mangaani (Mn)

Raudan lisäksi pohjavesissä esiintyy usein myös mangaania (Mn) /8/. Mangaanin geokemia onkin hyvin samanlainen kuin raudan, ja siksi ne esiintyvät usein samassa suhteessa pohjavedessä. Mangaania on normaalisti kuitenkin ainakin puolet vähemmän./5/ Myös mangaanin kohdalla porakaivoista löytyy korkeampia mangaanipitoisuuksia kuin muista kaivotyypeistä. Pohjavedessä esiintyviin korkeisiin rauta- ja mangaanipitoisuuksiin syy löytyy yleensä veden alhaisesta happipitoisuudesta sekä rannikkoalueilla savisesta maaperästä./1/

Mangaanin haittavaikutukset näkyvät vedessä harmaana värinä ja mustana sakkana, joka on hieman öljymäinen ja haiseva. Mangaani aiheuttaa veteen epämiellyttävää makua, saostumia saniteettikalusteisiin sekä pyykkien värjäytymistä. Mangaanin aiheuttamista terveyshaitoista ei ole selvää näyttöä, mutta joidenkin tutkimusten mukaan se saattaa aiheuttaa neurotoksisia oireita suurina pitoisuuksina./12/ Mangaanin poistaminen vedestä tapahtuu samoin kuin raudankin eli joko hapettamalla tai alkaloinnilla ja suodatuksella /1/.

4.2.6 Kloridi (Cl)

Suomessa kallioperän kloridipitoisuus on hyvin pieni, yleensä alle 4mg/l. Pohjaveden suuri kloridipitoisuus johtuu useimmiten meriveden tai itse asiassa sen sisältämän natriumkloridin vaikutuksesta. Näin ollen klorideja esiintyy yleisesti rannikkoalueilla, vanhoilla merenpohja-alueilla tai alueilla, joille tuuli on kuljettanut suolaa. Suolaa voi löytyä paikallisesti myös sisämaassa olevista porakaivoista. Tällöin suolapitoisuus johtuu vanhoista pohjavesiesiintymistä. Kloridipitoisuus kaivossa voi nousta myös tiesuolauksen, jätevesien tai teollisuuden vaikutuksesta./1/

Kloridilla ei tiettävästi ole terveydellisiä haittavaikutuksia, mutta kloridi pitoisuuden ylittäessä arvon 200 mg/l, se aiheuttaa veteen makua. Kloridi aiheuttaa myös vesilaitteiden syöpymistä, kun pitoisuus ylittää arvon 50 mg/l. Kloridipitoinen vesi syövyttää sitä helpommin putkistoja mitä pehmeämpää vesi on./8/ Jos kaivoveden kloridipitoisuus ylittää sallitun raja-arvon (100 mg/l), sitä ei saada puhdistettua millään keinoin. Tällöin ainoaksi vaihtoehdoksi jää uuden kaivon rakentaminen./1/

4.2.7 KMnO_4 -luku

Kaliumpermanganaatin (KMnO_4) kulutus kuvaa lähinnä orgaanisten yhdisteiden (humuksen) ja muiden hapettuvien yhdisteiden määrää vedessä /9/. Orgaanisen

aineksen määrä pohjavedessä on tavallisesti varsin pieni ja ne ovat porakaivoissa vielä alhaisempia kuin rengaskaivoissa /1, 9/.

Kaivovesissä luku kuvaa kaivon kuntoa /12/. Kaliumpermanganaatin kohonnut arvo merkitsee yleensä pintavesien pääsyä kaivoon tai jätevesien vaikutusta /9/. Kaliumpermanganaatin kulutuksen lisääntyminen näkyy usein veden keltaisena tai ruskeana värinä sekä maamaisena hajuna /8, 3/. Lisäksi se voi aiheuttaa saostumia /3/. Nämä haitat on mahdollista poistaa kaivon kunnostuksella tai uuden kaivon rakentamisen avulla /1/.

4.2.8 Typpiyhdisteet

Kallioperässä esiintyy hyvin vähän typpiyhdisteitä, kuten ammoniumia (NH_4), nitraattia (NO_3) ja nitriittiä (NO_2). Luonnontilaisen pohjaveden nitraattipitoisuus on yleensä alle 5 mg/l, mutta yksittäisissä kaivoissa pitoisuudet 30-100 mg/l ovat kuitenkin yleisiä./5/

Sisä-Suomen, Pohjois-Karjalan ja Pohjois-Suomen pohjavesille on tyypillistä Etelä-Suomen rannikkoalueita selvästi korkeammat nitraattipitoisuudet. Tämä johtuu muun muassa maaperän paremmasta veden läpäisykyvystä sekä kaivojen huonosta kunnosta. Nitraattipitoisuus on sitä korkeampi mitä lähempänä kaivo sijaitsee likaavia kohteita./1/ Kohonneet nitraattipitoisuudet johtuvat pääasiassa lannoitteiden käytöstä, jätevesistä, sadevedestä ja orgaanisen aineksen hajoamisesta maaperässä /5/.

Nitraatti ei näy vedessä paljain silmin, eikä se aiheuta veteen minkäänlaista hajua, makua, sameutta tai veden värin muutosta /12, 8/. Nitraatin terveysriskit kohdistuvat lähinnä imeväisikäisiin sekä raskaana oleviin naisiin, koska se heikentää lapsen ja sikiön hapen saantia /8/. Nitriitin on myös epäilty aiheuttavan mahalaukun ja virtsarakon syöpää /12/. Raja-arvona pidetään 25 mg/l. Jos veden nitraattipitoisuus on yli 50 mg/l, vettä ei tulisi käyttää talousvetenä./8/

Pohjavedessä nitriittipitoisuus on hyvin pieni, koska se hapettuu helposti nitraatiksi. Mikäli talousvedessä kuitenkin ilmenee suuria määriä nitriittiä, se on osoitus siitä, että kaivossa ja/tai vedenjakelulaitteessa esiintyy runsaasti bakteereja. Nitriittiä on tavattu kaivoissa usein yhdessä rautabakteerien kanssa. Kohonneet nitriittipitoisuudet johtuvat samoista syistä kuin kohonneet nitraattipitoisuudetkin eli pohjaveteen kulkeutuvista lannoitteista ja jätevesistä. /8/ Veden nitriittipitoisuus on vain poikkeustapauksissa niin korkea, että siitä olisi haittaa ihmisen terveydelle /9/.

Ammonium hapettuu helposti nitriitiksi. Sen esiintymistä vedessä pidetään usein veden tuoreen saastumisen merkinä./9/ Rannikon vanhoilla merenpohja-alueilla voi ammoniumia esiintyä pohjavedessä ammoniumsuoloina /5/. Ammoniumin esiintyminen vedessä viittaa usein eläinperäiseen tai likavesistä johtuvaan saastumiseen /12/.

Ammonium aiheuttaa veteen pistävää hajua ja makua sekä lisää korroosiota /3/. Ammoniumin enimmäispitoisuus yksityisessä kaivossa on 0,5 mg/l. Juomaveteen ammonium ei aiheuta sellaisenaan terveysriskiä ja sitä saadaan itse asiassa huomattavasti enemmän ravinnon mukana kuin mitä veden kautta on edes mahdollista saada /9/.

Mikäli kaivosta löydetään typpiyhdisteitä, on kaivo kunnostettava. Ellei tämä auta on vaihtoehtoina desinfiointi tai uuden kaivopaikan etsiminen./1/

4.2.9 Kallioperästä johtuvat tekijät

Pohjavedessä esiintyvistä luonnon aineista arseeni, uraani, fluoridi ja radon muodostavat suurimman terveysriskin, erityisesti porakaivovedessä. Tällaisia alueita löytyy Suomesta kuitenkin suhteellisen vähän./13/ Arseenia on löydetty eniten tummissa kivilajeissa, gabrossa ja kiilleliuskeissa sijaitsevista porakaivoista. Fluoridia esiintyy eniten Kaakkois-Suomen ja Varsinais-Suomen rapakivialueilla. Porakaivoissa on tyypillisesti suurimmat fluoridipitoisuudet, joissa kuitenkin vain

paikallisesti ylitetään enimmäispitoisuus 1,5 mg/l. Fluoridin optimipitoisuuden (1,0 mg/l) alapuolelle jää noin 93 % kaivovesistämme./1/

Pohjavesissä saattaa esiintyä myös syöpää aiheuttavia aineita, joita ovat uraani ja sen hajoamisesta syntyvä radon. Suomessa porakaivovesien radonpitoisuudet ovat suurimpia maailmassa /13/. Korkeita radioaktiivisuus pitoisuuksia on tavattu eniten Etelä-Suomen graniittialueiden porakaivovesissä, mutta myös muualla Suomessa mitatut korkeat pitoisuudet sijoittuvat pääosin graniittisten kivilajien alueille /1/.

4.3 Kaivoveden tutkiminen

Kaivoveden laatu tulisi tutkia aina ennen uuden kaivon käyttöönottoa, tai jos veden epäillä aiheuttavan terveysoireita tai huomataan, että veden väri, maku tai haju on muuttunut. Veden laadun selvittäminen on tärkeää myös, jos kiinteistöä ollaan ostamassa tai myymässä sekä ennen lähellä tehtävien maanrakennustöiden aloittamista ja niiden lopettamisen jälkeen. Lisäksi vesi tulisi tutkia, jos perheeseen on syntymässä vauva./2/

Kaivoveden laatu tulisi tutkituttaa säännöllisesti kolmen vuoden välein, koska kaikkia veden laatuun vaikuttavia tekijöitä ei huomata veden käytön yhteydessä. Vesi voi näyttää kirkkaalta ja maistua hyvältä, vaikka siinä olisi terveydelle haitallisia aineita. Säännöllisten tutkimusten avulla voidaan selvittää mikä muutoksen on aiheuttanut ja milloin muutos on mahdollisesti tapahtunut./2/

4.4 Veden käsittely

Kaivoveden laatua voidaan useimmiten parantaa käsittelemällä vesi. Veden käsittelyä kannattaa miettiä silloin, kun vesi on huonolaatuista eikä parempaa kaivopaikkaa löydy, ja jos ei ole mahdollista liittyä vesijohtoverkoston. Yleisimpiin ongelmiin, kuten korkeisiin rauta- ja mangaanipitoisuuksiin sekä veden happamuuteen, löytyy yksityiskäyttöön sopivia menetelmiä./2/ Joillakin alueilla käsitte-

lytarvetta aiheuttaa kallioperän laadusta johtuva pohjaveden korkea fluoridi-, arseeni-, radon- tai uraanipitoisuus. Sen sijaan, jos likaantuminen on kaivon huonosta rakenteesta johtuvaa, on kaivo ensin korjattava tai harkittava uuden rakentamista./1/

Käsittelymenetelmiä on olemassa erilaisia ja eri tarkoituksiin sopivia. Menetelmän valintaan vaikuttaa veden laatu sekä käytettävissä olevan laitteen sijoitustila. On myös muistettava, että yhdellä laitteella ei välttämättä pystytä vaikuttamaan kaikkiin ongelmiin./2/

4.5 Kaivoveden likaantuminen

Ihminen on toiminnallaan aiheuttanut kaivoveden likaantumista, mikä on vielä yleistynyt asutuksen tiivistyessä ja maankäytön muuttuessa /2/. Suomen haja-asutusalueilla pienkaivot ovat paikka paikoin huonossa kunnossa ja kaivoympäristöt likaisia. Myös mikrobiologiset haitat ovat yleisiä. Kaikista haitallisinta likaantuminen on kuitenkin pohjavesialueilla, josta lika-aineet voivat kulkeutua maa-aineksessa pohjaveden mukana pitkiäkin matkoja /7, 2/. Likaantumisriskiä lisää vielä yli puolessa kaivoista niiden huono kunto /14/.

Kaivoveden likaantumisen tutkiminen on monesti hyvin hankalaa, koska aina ei löydetä syytä, mistä lika-aineet tulevat. Ensin on selvitettävä todennäköisin likaaja ja mitkä ovat mahdolliset pohjaveden virtaussuunnat. Myös saastelähteiden paikallistaminen ja kunto on tarkistettava huolella sekä mahdollisesti kaivon läheisyydessä olevien järvien, jokien tai purojen vedenkorkeudessa tapahtuvat muutokset, koska nämä vaikuttavat yhtäläillä kaivoveden laatuun./2/

Haja-asutuksen yksittäisten kaivojen ympäristössä voi olla useita tekijöitä, jotka aiheuttavat pohjaveden likaantumista. Vuotavista jätevesien saostus- tai umpikaivoista, likaojista, lannoitetuilta pelloilta ja puutarhasta voi kulkeutua etenkin tyyppiyhdisteitä kaivoon, mikäli kaivo sijaitsee lähellä. Myös karjasuojista valuvat lantavedet ja virtsa sekä säiliörehun puristenesteet pilaavat pohjavesiä ja likaavat kaivoja. Muita kaivoa saastuttavia tekijöitä ovat tunkiot, käymälät, väärin toteutet-

tu jäteveden maahan imeytys ja vuotavat öljysäiliöt. Lisäksi, jos kaivo sijaitsee maantien varrella, voi pohjaveden kloridipitoisuus olla poikkeuksellisen korkea, koska tien liukkauden torjumiseksi tai pölyämisen estämiseksi tie on voitu suolata./1/

Mikäli kaivo on huonokuntoinen, on mahdollista, että sinne pääsee kulkeutumaan pintavesiä kaivon rakenteiden halkeamien kautta. Valumavedet sisältävät bakteereja, orgaanisia aineksia, typpiyhdisteitä, kloridia ja torjunta-aineita, jotka aiheuttavat kaivoveden likaantumista. Pintavesien mukana voi kulkeutua myös kiintoainetta kaivoon, mikä aiheuttaa veden sameutta. Myös pieneläimet voivat päästä kaivoon halkeamien ja rakojen kautta, ja aiheuttaa osaltaan veden saastumista./1/

5 VESIANALYYSIT

Opinnäytetyö perustui erilaisten kaivojen veden tutkimiseen. Työ sai alkunsa, kun osa Satakunnan ammattikorkeakoulun opettajista olivat halukkaita tutkituttamaan kaivovetensä. Tarkoituksena oli tutkia lähinnä kaivovesien puhtautta ja juomakelpoisuutta sekä selvittää tuloksiin vaikuttavia tekijöitä, kuten esimerkiksi vesinäytteen ikä.

5.1 Näytekaivot

Tutkittavana oli yhteensä yhdeksän kaivovesinäytettä sekä yksi lampivesi. Kaivoista viisi on porakaivoja, kolme rengaskaivoja ja yksi lähdekaivo, joka on tehty rengaskaivoksi. Kaivot sijaitsevat pääasiassa Länsi-, Lounais- ja Etelä-Suomen rannikkoalueilla. Tiedot kaivoista on saatu kaivon omistajilta.

Porakaivot sijaitsevat Säkylässä, Vihdissä, Uusikaupungissa, Jorvaksessa ja Kirkkonummella. Säkylän Harjunkylässä oleva kaivo on porattu 1950-60 -luvun tait-

teessa ja sen vettä on käytetty siitä lähtien juomavetenä. Kaivo sijaitsee maatilan pihassa lähellä peltoa ja tilalla on ollut karjaa aina vuoteen 2002 saakka.

Vihdissä olevan kaivon vettä käytetään juomavetenä, mutta vesi ei ole jokapäiväisessä käytössä, sillä kaivo sijaitsee vapaa-ajan asunnolla. Kaivo on melko uusi, savimaahan porattu kaivo, joka on ollut käytössä muutaman vuoden.

Uusikaupungissa sijaitseva kaivo on myös ns. mökkikaivo, joka sijaitsee noin 15 km päässä kaupungista, Lokalahden alueella. Porakaivo on vajaa 10 vuotta vanha, ja sen vettä käytetään juomavetenä ympärivuotisesti, kuitenkin talviaikaan harvakseltaan. Kaivo sijaitsee noin 50 metrin päässä meren rannasta, kallioisella niemellä, kuusimetsässä.

Jorvaksesta tuotu kaivovesinäyte on otettu 120 metriä syvästä porakaivosta. Porakaivo on porattu vuoden 2004 elokuussa, mutta otettu käyttöön vasta toukokuussa 2005. Kirkkonummella sijaitseva kaivo on suunnilleen yhtä syvä ja se on rakennettu vuonna 2005.

Rengaskaivot sijaitsevat Uusikaupungissa, Merikarviolla ja Porissa. Uusikaupungin rengaskaivo on rakennettu saman mökin pihamaalle, kuin porakaivokin. Kaivot sijaitsevat lähekkäin, ehkä noin 100 metrin päässä toisistaan. Rengaskaivo on noin 40 vuotta vanha ja sen vettä ei käytetä juuri lainkaan.

Merikarvian Käärtilään rakennettu kaivo sijaitsee vapaa-ajan asunnolla noin 40 metrin päässä meren rannasta. Kaivon ympärillä on metsäpohja, mutta se ei kuitenkaan sijaitse varsinaisesti metsässä. Vettä ei käytetä juomavetenä.

Porin Pormestarinmäessä olevan 6 metriä syvän rengaskaivon vettä käytetään päivittäin. Kaivo on rakennettu omakotitalon pihaan aivan 80 –luvun alussa. Kaivo sijaitsee peltojen ja maatalouden sekä suurten havupuiden läheisyydessä.

Yksi kaivovesinäytteistä on otettu keskellä rinnepeltoa olevasta luonnonlähteesen rakennetusta rengaskaivosta. Näytteenottopaikka sijaitsee vajaan kilometrin päässä Kiskon rajalta Suomusjärvelle päin, kahden metsärinteiden välissä olevalla

peltoaukealla. Kaivossa on kolme betonirengasta sekä betonikansi, joka on alle 10 cm korkeudella maanpinnasta. Kansiluukkuna on hieman epätiivis betonilaatta, jonka vuoksi sade- ja sulamisvedet pääsevät kaivoon. Kaivo on rakennettu noin 2,5 vuotta sitten. Kaivo ei ole käytössä, vaan sen vesi johdetaan salaojaputkesta tehtyyn tyhjennysputkeen.

Lampivesinäyte on tuotu samasta paikasta kuin edellä mainittu kaivovesinäyte. Lampi on kooltaan noin 40 m x 70 m ja sen keskisyvyys on noin 1,5 metriä. Se on kaivettu pellon alareunaan ja metsärinteen erottavaan veto-ojaan. Veto-oja jatkuu yläjuoksulla noin 600 m, josta noin 400 m on peltojen ympäröimää. Yläjuoksulle, noin 50 metrin päähän, on kaivettu ojaan syvennys sekä noin 4 m x 8 m kokoinen laskeuma-allas.



Kuva 8. Kaivojen sijainnit kartalla

5.2 Näytteiden esikäsittely

Vesinäytteissä saattaa tapahtua fysikaalisia, kemiallisia ja biologisia muutoksia näytteiden oton, kuljetuksen, säilytyksen ja määrittysten aikana. Tällaisia muutoksen aiheuttajia ovat muun muassa bakteerit ja levät, kolloidiset ja liuenneet metallit, polymeroituneet ja orgaaniset yhdisteet sekä yhdisteet, jotka voivat saostua tai hapettua liuenneen hapen kanssa. Lisäksi näytteen pH, sähkönjohtavuus ja hiilidioksidin määrä voivat muuttua ilmassa olevan hiilidioksidin vaikutuksesta. Muutosten laatu ja määrä ovat riippuvaisia myös näytteen kemiallisista ja biologisista ominaisuuksista, lämpötilasta, valon määrästä, näyteastian tyypistä sekä näytteenoton ja määrittelyn välisestä ajasta./15/

Yleisesti, kun näyte on otettu, näyte tulee säilyttää pimeässä ja viileässä (4 ± 2 °C). Jos säilytysaika on hyvin pitkä, saattaa siitä aiheutua muutoksia näytteen pitoisuudessa ja tällöin määrittelykset on tehtävä joko heti maastossa tai sitten näyte on kestävä. Yleisiä käytössä olevia kestäväintimenetelmiä ovat pH -arvon säätö, kemikaalilisäykset ja pakastus. Kestäväinnin tarkoituksena on hidastaa näytteessä tapahtuvia kemiallisia ja biologisia muutoksia./15/

Kaivovesinäytteet kestävästi rikkipollalla. Jokainen näytteen tuoja sai kaksi 500 ml näytepulloa yhtä vesinäytettä kohden, joista toiseen oli lisätty 5 ml 4 mol/l rikkipollaa. Näytepullot tuli täyttää siten, että ilmaa ei jäisi pulloihin. Näytepullot pidettiin tiiviisti suljettuina kuljetuksen ja säilytyksen aikana.

5.3 Määrittelykset

Kaivovesinäytteistä tutkittiin yleisiä kaivovesissä esiintyviä tekijöitä, joita ovat pH, sameus, veden kemiallinen hapen kulutus eli permanganaattiluku, ammoniumtyppi, rauta, mangaani, kovuus, kloridi ja kokonaisfosfori. Lisäksi tutkittiin veden väri ja haju. Koska näytteitä saapui analysoitavaksi eri aikoihin, kaikki eivät ehtineet mukaan jokaiseen määrittelykseen.

5.3.1 Veden kemiallinen hapen kulutus

Kemiallisella hapen kulutuksella (Chemical Oxygen Demand, COD) tarkoitetaan vedessä olevien kemiallisesti hapettuvien orgaanisten aineiden määrää. Se määritetään kaliumpermanganaatin kulutuksena happamassa liuoksessa. Permanganaatti hapettaa vain osan orgaanisista aineista, eivätkä esim. aminohapot hapetu./16/

Ruskeiden vesien COD- arvo on korkeampi kuin kirkkaiden vesien /16/. Tämä johtuu siitä, että ruskeiden vesien värin aiheuttajana toimiva humus reagoi kaliumpermanganaatin kanssa. Kaliumpermanganaatin kulutus on veden humuksen mitta.

Näytteiden kemiallinen hapen kulutus (COD_{Mn} -arvo) määritettiin Suomen standardisoimisliiton laatiman SFS 3036 standardin mukaan, hapettamalla näytettä kaliumpermanganaatilla. Tätä menetelmää käytetään enimmäkseen niin sanottujen puhtaiden vesien tutkimiseen, jotka sisältävät melko vähän orgaanisia aineksia./17/

Määrityksen onnistumisen edellytyksenä oli, että orgaanisia epäpuhtauksia ei ole läsnä. Tästä syystä määrityksessä tarvittavat koeputket puhdistettiin ennen käyttöä keittämällä niitä permanganaattiliuoksessa, johon oli lisätty rikkihappoa 1:1. Koeputket laitettiin vesihauteeseen noin 15 minuutiksi, jonka jälkeen putket huuhdeltiin hyvin ionivaihdetulla vedellä./17/

Määritykseen käytettiin kestäväitä näytteitä ja näytteiden, joiden COD_{Mn} -arvo oli suurempi kuin 10 mg/l, laimennettiin vedellä. Laimennus oli suoritettava niin, että laimennetun liuoksen COD_{Mn} -arvon tuli olla 2,5...10 mg/l./17/

Näytepulloja ravisteltiin ja kustakin pullosta otettiin 10 ml näytettä tai sen laimennosta koeputkeen. Samalla valmistettiin myös nollanäyte ionivaihdetusta vedestä ja sitä käsiteltiin aivan samalla tavalla kuin näytteitäkin. Seuraavaksi jokaiseen putkeen lisättiin 0,5 ml 4 mol/l rikkihappoa ja 2,0 ml 0,002 mol/l kaliumpermanganaattiliuosta ($KMnO_4$). Koeputket peitettiin foliolla ja upotettiin vesi-

hauteeseen, jossa niiden annettiin kiehua 20 minuuttia. Tämän jälkeen putket siirrettiin välittömästi jäähtymään, asettamalla ne hetkeksi kylmään veteen./17/

Kun koeputket olivat jäähtyneet huoneenlämpöiseksi, lisättiin näytteisiin 1ml 0,1 mol/l kaliumjodidiliuosta sekä 0,25 ml tärkkelysliuosta. Tuloksena saatiin tumman sinisiä liuoksia, joita titrattiin natriumtiosulfaattiliuoksella niin kauan, kunnes sininen väri katosi./17/

Näytteiden COD_{Mn} -arvon laskemiseksi oli selvittävä titrauksessa käytetyn natriumtiosulfaattiliuoksen tarkka konsentraatio, joka saatiin kaavasta (3.1) /17/.

$$c_1 = \frac{30 \cdot c_2}{V} \quad (3.1)$$

, jossa

c_1 = natriumtiosulfaattiliuoksen konsentraatio, mol/l

V = määrittämissä kuluneen natriumtiosulfaattiliuoksen tilavuus, ml

c_2 = kaliumjodaattiliuoksen konsentraatio, mol/l

kerroin 30 = kaliumjodaattiliuoksen tilavuus (5 ml) kertaa 6 (1 mooli jodaattia vastaa 6 moolia tiosulfaattia)

Kun tiedettiin natriumtiosulfaattiliuoksen konsentraatio, voitiin näytteiden kemiallinen hapen kulutus laskea kaavalla (3.2) /17/.

$$COD_{Mn} = (V_2 - V_1) \cdot c_1 \cdot 800 \cdot f \quad (3.2)$$

, jossa

COD_{Mn} = näytteen kemiallinen hapen kulutus, mg/l

V_1 = näytteen titraukseen kulunut natriumtiosulfaattiliuoksen tilavuus, ml

V_2 = nollanäytteen titraukseen kulunut natriumtiosulfaattiliuoksen tilavuus, ml

c_1 = natriumtiosulfaattiliuoksen konsentraatio, mol/l

kerroin 800 = puolet hapen (O) moolimassasta milligrammoiksi muutettuna jaettuna näytetilavuudella $\left(\frac{16}{2} \cdot \frac{1000}{10}\right)$

f = laimennuskerroin; laimennetun näytteen tilavuus jaettuna laimentamattoman näytteen tilavuudella

Kun näytteiden kemiallinen hapen kulutus oli selvitetty, laskettiin vielä permanganaattiluku (KMnO_4), joka on itse asiassa sama asia kuin COD_{Mn} -arvo, mutta vain toisin ilmoitettuna. Permanganaattiluvun ja COD_{Mn} -arvon välillä on voimassa yhtälö (3.3):

$$\text{Permanganaattiluku} = 3,95 \cdot \text{COD}_{Mn} \quad (3.3)$$

Kerroin 3,95 tulee lausekkeesta $\frac{158}{16 \cdot 2,5}$

,jossa 158 on kaliumpermanganaatin ja 16 hapen moolimassa sekä 1 mooli permanganaattia vastaa 2,5 moolia happea./17/

5.3.2 Ammoniumtyppi

Vesinäytteiden ammoniumtyppipitoisuus määritettiin soveltamalla Suomen standardisoimisliiton SFS 5505 standardia. Standardi on tarkoitettu kokonaistyyppipitoisuuden määrittämiseen Kjeldahl-menetelmällä, jossa kaikki typpiyhdisteet muutetaan ammoniummuotoon. Tässä kohtaa jätettiin näytteen poltto kokonaan pois, jolloin tuli määritettyä vain ammoniumtyppi./18/

Ammoniumtyypen määrittäminen suoritettiin erillisellä siihen tarkoitettulla tisluslaitteella. Kuitenkin ennen varsinaista näytteiden tislauksia, tislauksia suoritettiin sekä tarkistusliuoksen (ammoniumkloridin työliuos 5 mg/ 1N) että nollanäytteen (ionivaihdettu vesi) avulla, joiden tarkoituksena oli varmistaa tislauksen onnistuminen. ”Tarkistusliuoksen saannon tuli olla 96...100 %.”/18/

Tislausta varten siirrettiin 50 ml vesinäytettä tislaukolviin, johon annosteltiin lisäksi noin 15 ml 40 % natriumhydroksidia. Etuastiaan mitattiin 20 ml 4 % boorihappoa sekä 0,25 ml indikaattoriseosta. Vesinäytteen annettiin tislautua noin 4 minuutin ajan, jonka aikana tislaukslaitteen ulostuloputki tuli pitää boorihappoliuoksen pinnan alapuolella. 4 minuutin jälkeen tislausta jatkettiin vielä 0,5 minuuttia siten, että etuastiassa olevan ulostuloputken suu nostettiin nestepinnan yläpuolelle./18/

Tislauksen jälkeen tisleen sisältämä ammoniumioni titrattiin 0,1 M suolahapolla, kunnes havaittiin värin muutos vihreästä vaaleanpunaiseen. Ensimmäinen punavihde oli titrauksen päätepiste./18/

Näytteiden ammoniumtyppipitoisuus laskettiin kaavalla (3.4) /19/.

$$m = M \cdot c \cdot V \quad (3.4)$$

, jossa

m = typen määrä, mg

M = typen atomimassa, 14 g/mol

c = suolahapon konsentraatio, mol/l

V = (näytteen kulutus – nollanäytteen kulutus), ml

5.3.3 Raudan ja mangaanin määrittäminen

Raudan määrittäminen suoritettiin atomiabsorptiospektrofotometrillä (AAS), jota käytetään yleisesti mittaamaan liuosten metallipitoisuuksia. Määrittäystä varten tehtiin neljä eri standardiliuosta, joiden rautapitoisuudet tunnettiin. Liuokset valmistettiin 1000 ml mittapulloihin 1000 ppm:n perusliuoksesta, josta saatiin laimentamalla 0,5, 1, 1,5 ja 2 ppm liuokset.

AAS:llä ajettiin ensin standardiliuokset, joita seurasi vesinäytteet. Analysoitaessa standardiliuoksia, niille saatiin tietyt absorbanssi-arvot. Standardiliuosten absor-

bansseja verrattiin analysoitavien vesinäytteiden absorbanssiarvoihin ja näin saatiin selville näytteiden sisältämä rautapitoisuus.

Mangaanin määrittäminen tehtiin myös AAS:lla. Tätä määrittämistä varten valmistettiin neljä eri mangaanipitoisuuden omaavaa standardiliuosta, joiden mangaanipitoisuudet olivat 0,25, 0,50, 0,75 ja 1 ppm mangaania. Vesinäytteiden määrittäminen suoritettiin aivan kuten raudan määrittäminen.

5.3.4 Veden kloridipitoisuuden määrittäminen

Kloridipitoisuus näytteissä määritettiin Suomen standardisoimisliiton laatiman SFS 3002 standardin mukaan, jossa titraus suoritetaan ns. Mohrin menetelmän avulla. Standardi on käyttökelpoinen, kun vedessä olevan kloridin määrä on alueella 10...250 mg/l./20/

Määrittämiseen käytettiin kestäväimättömiä näytteitä, koska vesinäytteen pH:n tuli olla 7-10 välillä. Ennen jokaista määrittämistä pH tarkistettiin vielä pH-mittarin avulla ja mikäli pH ei ollut 7...10, säädettiin se joko natriumhydroksidin (<7) tai rikkihapon (>10) avulla oikeaksi./20/

Jokaista näytettä pipetoitiin 100 ml titrausastiaan. Samalla valmistettiin nollanäyte 100 millilitrasta ionivaihdettua vettä, jota käsiteltiin aivan kuten näytettäkin. Näytteisiin lisättiin 1 ml kaliumkromaatti-indikaattoria ja titrattiin hopeanitraattiliuoksella. Titrausta jatkettiin niin kauan, kunnes saavutettiin ekvivalenttikohta, jossa punainen hopeakromaatti saostui. Värimuutos oli hyvin vaikea erottaa, ja siksi apuna käytettiin valkoista alustaa, joka helpotti värimuutoksen havaitsemista vaalean keltaisesta kellertävän punaiseen./20/

Näytteiden kloridipitoisuus laskettiin kaavan (3.5) avulla /20/.

$$p_{Cl} = (V_3 - V_4) \cdot c \cdot 35,45 \cdot \frac{1000}{V_5} \quad (3.5)$$

, jossa

p_{Cl} = näytteen kloridipitoisuus, mg/l

V_3 = näytteen titraukseen kulunut hopeanitraattiliuoksen tilavuus, ml

V_4 = nollanäytteen titraukseen kulunut hopeanitraattiliuoksen tilavuus, ml

c = hopeanitraattiliuoksen konsentraatio, mol/l

V_5 = määrittämiseen käytetty näytetilavuus, ml

35,45 = kloridin moolimassa, g/mol

1000 = muuntokerroin, mg/g

5.3.5 Veden kalsiumin ja magnesiumin summan määrittäminen

Kalsiumin ja magnesiumin summa määritettiin Suomen standardisoimisliiton laatiman SFS 3003 standardin avulla. Standardia käytetään yleisesti veden kovuuden määrittämiseen. Veden kovuus aiheutuu veteen liuenneesta kalsiumista ja magnesiumista. Määrittäminen perustuu titrimetriseen menetelmään, jossa ”kalsiumin ja magnesiumin summa määritettiin kompleksometrisesti titraamalla EDTA (etyleenidi-amiinitetraetikkahapon dinatriumsuola) -liuoksella eriokromimusta T:n ollessa indikaattorina.”/21/

Määrittämistä varten otettiin 50 ml jokaista näytettä (kestävyä) erlenmeyerkolviin. Kolviin lisättiin 4 ml puskuriliuosta, jonka pH:n tuli olla 10, ja noin 100 mg kiinteää indikaattoria, joka sitoi kalsiumin ja magnesiumin. Muodostuneiden yhdisteiden väri vaihteli viininpunaisesta violettiin. Liuosten pH tarkistettiin vielä ennen titrausta, koska pH -arvon oli oltava $10 \pm 0,1$./21/

Näytteet titrattiin 0,0100 mol/l EDTA -liuoksella. Titrauksen edetessä näytteissä oli havaittavissa värinmuutosta punaviolettista siniseen. Tässä vaiheessa EDTA -liuosta lisättiin rauhallisesti tipoitain, kunnes punainen värisävy saatiin kokonaan häviämään./21/

Näytteissä olevan kalsiumin ja magnesiumin summa laskettiin kaavasta (3.6) /21/.

$$x = \frac{1000 \cdot c \cdot V_1}{V} \quad (3.6)$$

, jossa

x = kalsiumin ja magnesiumin summa, mmol/l

c = EDTA -liuoksen konsentraatio, mol/l

V_1 = titraukseen kuluneen EDTA -liuoksen tilavuus, ml

V = näytteen tilavuus, ml

1000 = muuntokerroin, mmol/ mol

5.3.6 Veden kokonaisfosforin määrittäminen

Näytteiden kokonaisfosfori määritettiin Suomen standardisoimisliiton laatiman SFS 3026 standardin mukaisesti. Standardin mukaisella määrittelyllä saadaan määritettyä sellaisten näytteiden fosforipitoisuus, jotka sisältävät fosforia 2...800 μ g/l. Jotta näytteissä oleva kokonaisfosfori voidaan määrittää, on kaikki fosfori saatava reaktiiviseen muotoon./22/

Ennen näytteiden fosforipitoisuuden mittaamista, määritettiin kalibrointikäyrä. Kalibrointikäyrä tehtiin vertailuliuosten avulla, jotka sisälsivät 10, 20, 50, 100, 250, 500 ja 750 μ g/l fosforia. Liuokset valmistettiin 100 ml mittapulloihin, joihin pipetoitiin 1,0, 2,0, 5,0, 10,0, 25,0, 50,0 ja 75,0 ml fosfaatin työliuosta, jonka pitoisuus oli 50 mg/l fosforia. Pullot täytettiin ionivaihdetulla vedellä merkkiin ja lisättiin 1,0 ml 4 mol/l rikkihappoa./22/

Jokaista vertailuliuosta pipetoitiin 25,0 ml autoklavointipulloihin. Nollanäyte tehtiin 0,04 mol/l rikkihaposta, jota pipetoitiin 25,0 ml. Kaikkiin pulloihin lisättiin lisäksi 5,0 ml peroksidisulfaattiliuosta ja sekoitettiin./22/

Seuraavaksi vertailuliuokset ja nollanäyte laitettiin autoklaaviin, jossa niitä autoklavoitiin 200 kPa paineessa 30 minuuttia. Tämän jälkeen liuokset jäähdytettiin

huoneen lämpöisiksi asettamalla pullot hetkeksi kylmään veteen. Jäähtyneisiin liuoksiin lisättiin 1,0 ml askorbiinihappoliuosta sekä puolen minuutin kuluttua 1,0 ml molybdaattireagenssia ja sekoitettiin./22/

Vertailuliuosten ja nollanäytteen absorbanssi mitattiin 880 nm aallonpituudella, 10 minuutin kuluttua viimeisestä reagenssilisäyksestä. Absorbanssi tuli mitata aikaisintaan 10 minuutin kuluttua, mutta kuitenkin viimeistään 30 minuutin kuluttua viimeisestä reagenssilisäyksestä./22/

Näytteiden fosforipitoisuus määritettiin kestävyödyistä näytteistä. Jokaisesta vesinäytteestä otettiin 25,0 ml autoklavointipulloihin ja niitä käsiteltiin kuten vertailuliuoksiakin. Näytteiden fosforipitoisuudet saatiin tietää kalibrointikäyrältä, katsomalla näytteen antaman absorbanssiarvon kohdalta, sitä vastaava fosforin konsentraatio./22/ (Liitteet 8 ja 9)

5.3.7 Sameus, pH, väri ja haju

Vesinäytteiden sameudet selvitettiin SAMK:n kemian laboratoriossa olevan sameusmittarin avulla. Ennen näytteiden mittausta laite kalibroitiin 1000 NTU, 10 NTU ja 0,2 NTU liuosten avulla. Seuraavaksi kaadettiin korkilliseen lasipulloon näytevetä ja asetettiin pullo laitteeseen, jolloin laite mittasi sameuden. Vesinäytteen sameus oli sitä suurempi mitä enemmän vesi sisälsi pieniä hiukkasia. Nämä hiukkaset ovat yleensä kasviplanktonia, mineraaleja ja/tai kuollutta orgaanista ainesta.

pH:t mitattiin kemian laboratoriossa olevalla pH-mittarilla. Mittaus tapahtui asettamalla pH-mittarin elektrodi näytteeseen, jolloin mittari mittasi suoraan pH:n ja antoi sen näytölle luettavaksi. Mittaus oli suoritettava melko nopeasti, sillä ilmassa oleva happi reagoi veden kanssa ja voi vääristää tulosta. Sen sijaan näytteiden väri ja haju tutkittiin aistinvaraisesti.

5.4 Työn tulokset

5.4.1 Kemiallinen hapen kulutus (COD_{Mn})

Veden kemiallinen hapen kulutus määritettiin yhteensä neljä kertaa, koska tarkoituksena oli tutkia myös ajan vaikutusta hapen kulutukseen. Määritykset suoritettiin 21.11.-, 28.11.-, 8.12.2005 ja 18.01.2006.

Titrauksessa käytettävän natriumtiosulfaattiliuoksen konsentraatio oli tunnettava 0,0001 mol/l tarkkuudella, joten oli suoritettava ns. tarkistustitraus. Titrausta varten valmistettiin liuos, joka sisälsi 25 ml ionivaihdettua vettä, 2 ml 4 mol/l rikkihappoa ja 1 ml kaliumjodidiliuosta sekä 5 ml kaliumjodaattiliuosta. Liuos titrattiin välittömästi natriumtiosulfaattiliuoksella, kunnes nähtiin värin muutos vaalean kellanruskeaksi. Tämän jälkeen titrausastiaan lisättiin 0,25 ml tärkkelysluosta ja jatkettiin titrausta, kunnes sininen väri katosi.

Määritys oli tarkoitus toistaa kolme kertaa, jolloin saatujen tulosten tilavuudet saivat poiketa suurimman ja pienimmän kulutuksen kohdalla korkeintaan 0,05 ml. Tämä ei aivan toteutunut, vaikka määritys toistettiin itse asiassa useammankin kerran, vaan parhaimmillaan päästiin 0,08 ml erotukseen.

Natriumtiosulfaattiliuoksen konsentraatio laskettiin kaavalla (3.1).

$$c_1 = \frac{30 \cdot 0,002 \text{ mol/l}}{2,97 \text{ ml}} = 0,0202 \text{ mol/l}$$

Saatujen tulosten pohjalta voitiin laskea näytteen kemiallinen hapen kulutus (COD_{Mn} - arvo) kaavan (3.2) avulla. Esimerkkinä on käytetty Säkylän kaivovedelle saatua arvoa, jossa natriumtiosulfaatin kulutus oli 1,81 ml. (Liitteet 2.1-2.4)

$$\text{COD}_{Mn} = (2,03 \text{ ml} - 1,81 \text{ ml}) \cdot 0,0202 \text{ mol/l} \cdot 800 \cdot 1 = 3,555 \text{ mg/l} \approx 3,56 \text{ mg/l}$$

Permanganaattiluku on saatu kaavasta (3.3)

$$\text{Permanganaattiluku} = 3,95 \cdot 3,555 \text{ mg/l} = 14,0423 \approx 14,04$$

5.4.2 Ammoniumtyppi

Ammoniumtyypen määrä näytteessä saatiin selville, kun tislattu näyte titrattiin 0,1 M suolahapolla. Tyypen määrä saatiin laskettua suolahapon kulutuksen perusteella kaavan (3.4) avulla. Esimerkiksi Merikarvialta tuodun kaivovesinäytteen tyypipitoisuudeksi saatiin: (Liite 3)

$$m = 14 \text{ g/mol} \cdot 0,1 \text{ mol/l} \cdot (0,12 \text{ ml} - 0,07 \text{ ml}) = 0,07 \text{ mg/l}$$

5.4.3 Kloridipitoisuus

Kloridipitoisuuden laskemiseksi oli tunnettava hopeanitraattiliuoksen konsentraatio sekä näytteen ja nollanäytteen titraukseen kulunut hopeanitraattiliuoksen tilavuus. Tässä kohtaa käytettiin kuitenkin tehdyn hopeanitraattiliuoksen konsentraatiota ilman, että sitä enää erikseen määritettiin.

Näytteiden kloridipitoisuudet laskettiin kaavalla (3.5). Esimerkkinä on käytetty Jorvakselta tuotua kaivovesinäytettä, jonka hopeanitraattikulutus oli 1,39 ml. (Liite 6)

$$p_{Cl} = (1,39 \text{ ml} - 0,40 \text{ ml}) \cdot 0,028 \text{ mol/l} \cdot 35,45 \cdot \frac{1000}{100 \text{ ml}} = 9,826 \text{ mg/l} \approx 9,83 \text{ mg/l}$$

5.4.4 Kalsiumin ja magnesiumin summa

Vesinäytteiden kovuus laskettiin kalsiumin ja magnesiumin summan avulla. Jotta kovuus saatiin selville, oli tiedettävä EDTA -liuoksen konsentraatio sekä titraukseen kulunut liuostilavuus.

Esimerkiksi Kiskolta otetun kaivoveden kovuus saatiin laskettua kaavan (3.6) avulla. (Liite 7)

$$x = \frac{1000 \cdot 0,0100 \text{ mol/l} \cdot 2,01 \text{ ml}}{50 \text{ ml}} = 0,406 \text{ mmol/l}$$

5.4.5 Kokonaisfosfori

Kokonaisfosforipitoisuuden määrittämiseen tarvittiin ns. kalibrointikäyrä, joka saatiin mittaamalla tunnettujen fosforipitoisuuden omaavien liuosten absorbanssit. Kalibrointikäyrä tehtiin spektrofotometrillä piirtämällä absorbanssi konsentraation funktiona.

Kaivovesistä otettujen näytteiden kokonaisfosforipitoisuus saatiin mittaamalla näytteiden absorbanssit ja katsomalla kalibrointikäyrältä sitä vastaava konsentraatio. Esimerkiksi Kirkkonummelta tuodun kaivoveden absorbanssiksi mitattiin 0,015, joten kalibrointikäyrältä saatiin tätä absorbanssia vastaavaksi konsentraatioksi 26,9 ppb. (Liitteet 7 ja 8)

5.5 Tulosten tarkastelu

5.5.1 Veden kemiallinen hapen kulutus

Yksityisten kaivojen COD –arvon suositettu enimmäispitoisuus on 5,0 mg/l ja permanganaattiluvun 20 mg/l. Hyvissä porakaivovesissä permanganaattiluvun tulisi jäädä alle 6 mg/l ja vastaavasti hyvissä rengaskaivovesissä alle 15 mg/l.

Tarkastelemalla näytteiden COD –arvoja ja permanganaattilukuja nähdään, että kaivovesien välillä on selkeitä eroja. Erityisesti Merikarvialta otetun vesinäytteen mittaustulokset ovat huomattavasti suurempia kuin yhdenkään muun näytteen, jopa suurempia kuin Kiskolla sijaitsevan lampiveden. Uusikaupungista tuotujen näytteiden analysointitulokset ylittävät myös reilusti asetetut enimmäispitoisuudet. Näytteiden korkeat permanganaattiluvut kertovat, että kaivot eivät ole hyvässä kunnossa. Tulosten perusteella voidaan todeta, että kyseisiin kaivoihin pääsee mahdollisesti pintavettä. Toinen hyvin todennäköinen tekijä on maaperästä liuke-neva humus. (Liitteet 2.1-2.4)

Pora- ja rengaskaivovesien välillä voidaan havaita myös pieniä eroja. Tulokset osoittavat, että porakaivojen vesissä hapettuvuus ja permanganaattiluku ovat hieman pienempiä kuin rengaskaivojen vastaavat. Tosin aika näytteen otosta, mahdolliset alueelliset erot sekä näytteen ottaja ja käsittelijä ovat voineet vaikuttaa tuloksiin.

Porakaivovesistä vain Säskylästä tuotu oli mukana kaikissa neljässä määrittäyksessä. Tarkastelemalla, miten aika on vaikuttanut kyseiseen näytteeseen, voidaan todeta, että mitään selvää järjestelmällistä eroa ei tuloksissa ole havaittavissa. Ensimmäinen määrittäminen suoritettiin 21.11.2005, jolloin permanganaattiluvuksi saatiin 14,04 mg/l. Toinen mittaus tehtiin 28.11.2005 eli viikkoa myöhemmin. Tällöin permanganaattiluku oli pienentynyt puoleen (7,02 mg/l). Kolmas määrittäminen toteutettiin 8.12.2005, jolloin permanganaattiluku oli hieman kohonnut (7,66 mg/l). Kun viimeinen mittaus suoritettiin 18.1.2005, aikaa oli kulunut yli kuukausi, ja pitoisuus-

det nousseet selvästi. Permanganaattiluvuksi saatiin tällöin 19,79 mg/l, joka oli yli kaksinkertainen verrattuna ensimmäiseen mittaukseen.

Syynä näin suuriin eroihin pitoisuuksissa voisi olla hapen vaikutus suljetussa näytepullossa. Ensimmäisessä analyysissä näytepullo oli vielä täynnä eikä sisältänyt tyhjää ilmatilaa, kun myöhemmissä mittauksissa ilmatila pullossa vain kasvoi. Happi on ajan kuluessa mahdollisesti edesauttanut kemiallista hapen kulutusta.

Jorvaksesta, Kirkkonummelta ja Porista tuotujen näytteiden arvot ylittävät suositellut raja-arvot. Toisaalta näiden näytteiden kohdalla ei tiedetä, mitä tulokset olisivat, jos määritykset olisi suoritettu heti, kun näytteet saapuivat. Aika on siis voinut vaikuttaa tuloksiin.

Kiskon ja Vihdin kaivovesinäytteille saatiin parhaimmat tulokset. Näiden kaivovesien arvot eivät nousseet yhdessäkään mittauksessa yli sallittujen rajojen. Ensimmäisessä mittauksessa pitoisuudet jäivät jopa alle määrittämissä raja-arvoissa. Tulokset osoittavat kuitenkin sen, että yksikään kaivovesinäyte ei saavuta hyvälle kaivovedelle asetettuja raja-arvoja. (Liitteet 2.1-2.4)

5.5.2 Ammoniumtyppi

Ammoniumtyypeä määritettäessä kaivovesinäytteitä oli saapunut neljä kappaletta. Mukana olivat Säkylän, Merikarvian ja Kiskon kaivovedet sekä Kiskolta tuotu lampivesi. Jokaiselle näytteelle saatiin hyvin alhainen kokonaistyyppipitoisuus, korkeimmillaan vain 0,07 mg/l, kun yksityisissä kaivoissa pitoisuudet voivat hyvin olla 30-100 mg/l. (Liite 3)

Tarkistusliuosten perusteella ammoniumtyypianalyysin tulokset ovat luotettavia. Tulokset ovat kuitenkin hieman yllättäviä siinä mielessä, että Säkylässä oleva kaivo sijaitsee keskellä maatilaa lähellä pellon reunaa. Samoin Kiskolla oleva kaivo sijaitsee keskellä peltoa. Olisi siis voinut olettaa, että esim. lannoitteiden käyttö olisi näkynyt vesinäytteissä kohonneina tyyppipitoisuuksina.

5.5.3 Rauta

Raudan enimmäispitoisuus yksityistalouden kaivovedessä on alle 0,4 mg/l. Seitsemästä vesinäytteestä kaksi (Säkylä, Kisko) jäi alle määritysrajan ja yksi (Vihti) ylitti hieman enimmäispitoisuuden (0,414 mg/l), kun sen sijaan muut näytteistä ylittivät raja-arvon reilusti (>1,8 mg/l).

Suurimmat pitoisuudet löytyivät Merikarvialta ja Uusikaupungista tuoduista näytteistä (2,6 mg/l - 3,8 mg/l). Näiden näytteiden vesi oli jo mittaushetkellä silmin nähdyn ruskehtavaa, joten oli odotettavissa, että näytteet sisältävät jonkin verran rautaa. Samojen näytteiden permanganaattiluvut olivat myös korkeat ja, koska rauta on sitoutunut humusyhdisteisiin, rautapitoisuus on huomattavasti korkeampi humusvesissä. Näytteiden korkea rautapitoisuus selittyy osaksi myös sillä, että kaivot sijaitsevat rannikkoalueilla, joissa esiintyy runsaasti vähähappisia pelkistäviä pohjavesiä. (Liite 4)

5.5.4 Mangaani

Mangaanin enimmäispitoisuus kaivovedessä tulisi olla alle 0,1 mg/l. Mangaani määritettiin samoista näytteistä kuin rautakin. Analysointitulokset osoittavat, että suurin osa mangaanipitoisuuksista oli pieniä (0,02-0,07 mg/l), mutta Merikarvian ja Uusikaupungin näytteissä todettiin kohonneita mangaanipitoisuuksia (>0,7 mg/l).

Hapellisissa olosuhteissa mangaanipitoisuudet ovat varsin pieniä, mutta hapettomissa oloissa mangaania vapautuu nopeasti pohjalietteestä. Mangaani esiintyy tavallisesti yhdessä raudan kanssa, joka on nähtävissä myös tuloksissa. Tulokset osoittavat, että näytteissä, joissa oli korkeat rautapitoisuudet, oli myös korkeammat mangaanipitoisuudet. (Liite 5)

5.5.5 Kloridi

Kloridin enimmäispitoisuus kaivovedessä on 100 mg/l. Pitoisuuden tulisi kuitenkin olla mielellään alle 25 mg/l, koska korroosiovaikutukset lisääntyvät jo kymmenien milligrammojen pitoisuuksissa.

Kloridi määritettiin 10 vesinäytteestä, joista yksikään ei ylittänyt asetettua raja-arvoa eikä myöskään suositeltua 25 mg/l pitoisuutta. Tulosten tarkastelussa on huomioitava, että määrittämisen titrausvaiheessa tapahtuva värinmuutos oli vaikeasti havaittavissa. Tämä on voinut osaltaan vaikuttaa analysointituloksiin.

Korkeimmat kloridipitoisuudet löytyivät Uusikaupungin vesinäytteistä, joista porakaivo sisälsi 23,13 mg/l ja rengaskaivo 22,93 mg/l kloridia. Näytteiden lievästi kohonneet kloridipitoisuudet johtuvat todennäköisesti kaivojen sijainnista meren läheisyydessä. (Liite 6)

5.5.6 Kalsiumin ja magnesiumin summa

Veden kovuuden määrittäminen osoittautui varsin haasteelliseksi tehtäväksi. Kaivovesinäytteistä viisi (Säkylä, Kisko, Vihti, Jorvas ja Kirkkonummi) onnistuttiin määrittämään ensimmäisellä kerralla. Lopuilla näytteillä oli tehtävä uusi titraus, koska niiden kohdalla ei saatu haluttua värinmuutosta aikaiseksi. Osalla näytteistä EDTA –kulutus oli yli 20 ml. Tällöin oli käytettävä titraukseen pienempää näytilavuutta, joka saatiin laimentamalla vesinäytettä ionivaihdetulla vedellä.

Merikarvian kaivovesi ja Kiskon lampivesi saatiin määritettyä toisella yrittämällä. Merikarvian näyte antoi ensimmäisellä kerralla punertavan ruskean värin. Toisella kerralla onnistuttiin saamaan sininen liuos, kun näytilavuus muutettiin puoleen ja lisättiin indikaattoria kaksinkertainen määrä. Kiskon kaivovedelle saatiin ensin ruskehtavan harmaa sävy. Näytilavuutta ei tarvinnut pienentää, sillä riitti kun lisättiin kaksinkertainen määrä indikaattoria.

Osalla näytteistä ei päästy vieläkkään oikeaan lopputulokseen. Porista tuotu kaivo-vesinäyte vaati kolme määrittystä. Ensimmäisellä kerralla punainen väri ei kadonnut. Toisella yrittämällä kokeiltiin pienempää näytetilavuutta, mutta tuloksena oli ruskehtavan harmaa sävy. Kolmannella kerralla onnistuttiin, kun käytettiin samaa näytetilavuutta kuin edellä sekä kaksinkertainen määrä indikaattoria.

Merikarvian ja Kiskon näytteissä toimi mahdollisena häiritsevä tekijänä ainakin vesinäytteen sameus ja väri. Kummatkin näytteet olivat nimittäin hieman sameita sekä väriltään ruskehtavia. Sen sijaan Porista tuotu näyte oli väritön, eikä selvää sameuttakaan ollut havaittavissa. Näyte sisälsi mahdollisesti jotain metallia, joka aiheutti epätarkan värinmuutoksen. Metalleista esim. rauta ja mangaani häiritsevät määrittystä muodostaen kompleksiyhdisteen EDTA:n kanssa.

Kaikista ongelmallisimmaksi paljastuivat Uusikaupungista tuodut näytteet. Näiden näytteiden kohdalla ei päästy lopultakaan selvään tulokseen, sillä titrauksessa punaista väriä ei saatu täysin häviämään. Syynä oli mahdollisesti se, että näytteet sisälsivät niin paljon humusta sekä rautaa, jotka häiritsivät määrittystä. (Liite 7)

5.5.7 Kokonaisfosfori

Näytteille saatuja kokonaisfosforipitoisuuksia voidaan pitää luotettavina, sillä määrittäykseen käytetty kalibrointikäyrä näyttää lineaariselta. Kalibrointikäyrältä puuttuu ensimmäisen vertailuluoksen absorbanssi ja pitoisuus kokonaan, koska vertailuliuos oli muuttunut kovin siniseksi autoklaavissa ollessaan. Epäiltiin, että siihen on mahdollisesti liuennut näytepurkin korkista väriä tai purkkiin on jäänyt epäpuhtauksia puhdistuksesta huolimatta.

Kaivo-vesien kokonaisfosforipitoisuudet jäivät suurimmalla osalla alle suositetun raja-arvon (0,1 mg/l) /23/. Ainoastaan Uusikaupungin kaivovedet ylittävät hieman sallitun ylärajan (0,114 mg/l ja 0,127 mg/l). Lisäksi Porin ja Kirkkonummen kaivo-vesien fosforipitoisuudet ovat hieman kohonneet, jääden kuitenkin alle suositusten. (Liite 8)

5.5.8 Sameus, pH, väri ja haju

Pientalouksien talousveden sameudelle on asetettu enimmäispitoisuus 1,0 NTU. Määritettävistä kaivovesistä, vain neljä jäi alle suositusrajan (0,32-0,78 NTU). Suurimmat arvot löytyivät Merikarvian (14,7 NTU) ja Uusikaupungin (20,2 ja 17,4 NTU) kaivoista. Myös Porin ja Vihdin vesinäytteissä tavattiin kohonneita arvoja (9,06 ja 3,95 NTU). Luonnollisesti Kiskon lampivesi edustaa suurinta sameuden arvoa (32,5 NTU).

Talousveden pH-arvon suositustaso on 6,5-9,5. Mittausten mukaan kaikki kaivovesinäytteet sijoittuivat tälle pH välille. Kaivovedet jakaantuivat puoliksi, sillä viisi näytettä oli lievästi happamia (<7) ja toiset viisi hieman emäksisiä (>7). Toisaalta Vihdin näytettä voitiin pitää neutraalina – pH -arvolla 7,2. Sen sijaan kaivotyypillä ei huomattu näissä mittauksissa olevan merkitystä. (Liite 10)

Aistinvaraisessa arvioinnissa osassa kaivonäytteistä huomattiin vieras haju. Vihdistä tuodussa näytteessä oli havaittavissa lievä ummehtunut haju, jonka mahdollinen syy voi selittyä sillä, että vesinäyte oli toimitettu poikkeuksellisesti lasipurkissa. Purkki oli myös täytetty vain puolilleen eikä näyteveteen oltu lisätty rikkihappoa näytteen kestäväimmiseksi. Sen sijaan Merikarvian ja Uusikaupungin kaivovesissä oli havaittavissa raudan hajua. Merikarvian näyte oli myös silmännähdessä kaivovesistä kaikista ruskeinta ja Uusikaupungin vedet taasen hieman kelleräviä. Sekä Merikarvian että Uusikaupungin kaivovesien haju ja väri selittyivät korkealla rautapitoisuudella sekä kohonneena hapen kulutuksena.

5.5.9 Yhteenveto

Analysoiduista kaivovesinäytteistä kloridi- ja ammoniumtyyppipitoisuudet olivat kaikissa näytteissä alle määritysrajan, samoin pH- arvot olivat suositusten mukaiset. Kokonaisfosforin kohdalla laatusuosituksen ylityksiä todettiin kahdessa näytteessä yhdeksästä. Sen sijaan mangaanipitoisuuksissa oli enimmäispitoisuuden ylityksiä kahdessa näytteessä seitsemästä. Laatusuosituksen enimmäispitoisuuksi-

en ylityksistä suurin osa johtui korkeista sameuksista, korkeista rautapitoisuuksista tai korkeista kaliumpermanganaattiluvuista.

Suurimmasta osasta kaivoja löytyi siis jonkin asteisia saastumiseen viittaavia merkkejä. Veden saastumista osoittavia aineita (KMnO_4 -luku, kloridi, typpiyhdisteet) sisältävät kaivot tulisi tiivistää ja puhdistaa. Lisäksi mahdollinen saastuslähde tulisi pyrkiä selvittämään ja poistamaan. Vedessä olevaa rautaa, mangaania ja sameutta voidaan poistaa. KMnO_4 - ja pH -lukuun voidaan jonkin verran vaikuttaa vedenkäsittelyllä, mutta aina se ei riitä, vaan voi joutua etsimään myös täysin uuden kaivon paikan.

6 LÄHDELUETTELO

1. Suomen ympäristökeskus, Ympäristöopas, Kaivo-opas. Helsinki: Oy Edita Ab, 1996.
2. Suomen ympäristökeskus, Ympäristöopas, Kysymyksiä kaivoista. Helsinki: Edita Oyj, 2001.
3. Oy Wat Man Ab. Yksityistaloudet [online]. [Viitattu 20.2.2006]. Sivujen toteutus: Mediakeidas. Saatavissa: <http://www.watman.fi>
4. Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu. Ympäristön tila [verkkodokumentti]. [viitattu 25.2.2006]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=6359&lan=fi>
5. Korkka-Niemi, K. & Salonen, V-P. Maanalaiset vedet – pohjavesigeologian perusteet. I painos. Turku: Turun yliopiston täydennyskoulutuskeskus, 1996. 181 s.
6. Kuusisto, E. & Mälkki, E. RIL 141 Yleinen vesitekniikka-hydrologia. II painos. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto r.y., 1982. 433 s.
7. Mälkki, E. Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi, 1999. 295 s.
8. Varsinais-Suomen Agenda 21. 2000. Kaivotietoa –materiaalipaketti, II osio [verkkodokumentti]. [viitattu 1.3.2006]. Saatavissa: http://www.vsagendatoimisto.fi/vesiensuojelu/haja-asutuksen_vedenhankinta/kaivo/kaivotietoa_paketti_kaivoisuus.htm#tyypit
9. Kivikoski, L., 2001. Vantaan kaupungin haja-asutusalueiden vesihuolto 2001 [verkkodokumentti]. Vantaan kaupungin ympäristökeskus. [viitattu 1.3.2006] Saatavissa: http://www.vantaa.fi/i_liitetiedosto.asp?path=1;135;137;221;224;2112;2192
10. Etelä-Suomen Kaivonporaus- ja Maalämpötekniikka Oy. Tietoa kaivonporauksesta. [online]. [Viitattu 23.3. 2006]. Saatavissa: <http://www.kaivonporaus.fi>
11. Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu. Kaivot [verkkodokumentti]. [viitattu 23.3.2006]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=178276&lan=FI>
12. Vantaan kaupunki, Vesi- ja ympäristötutkimukset [verkkodokumentti]. [viitattu 1.4.2006]. Saatavissa: http://www.vantaa.fi/i_perusdokumentti.asp?path=1;6120;2114;17837;18412#kahdestoista
13. Kansanterveyslaitos. Tietoa terveydestä [online]. [Viitattu 1.4.2006]. Sivujen toteutus: Webmaster. Saatavissa:

http://www.ktl.fi/portal/suomi/osiot/tietoa_terveydesta/elinymparisto_ja_asumine_n/vesi/kaivovesi/

14. Hatva, R. Puhtaasti vedestä, Vesiyhdistys r.y. 25 vuotta. Forssa: Vesiyhdistys r.y., 1994.

15. Mäkelä, A., Antikainen, S., Mäkinen, I., Kivinen, J. & Leppänen, T. Vesitutkimusten näytteenottomenetelmät. Helsinki: VAPK-kustannus, 1992. 87 s. (Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja B)

16. Taloudellinen Tiedotustoimisto. Vedestä vettä [verkkodokumentti]. [viitattu 17.4.2006]. Saatavissa: <http://www.tat.fi/fi/koulut/vedesta/kortti41.pdf>

17. SFS 3036. Veden kemiallisen hapen kulutuksen (COD_{Mn} -arvon tai $KMnO_4$ -luvun) määrittäminen. Hapetus permanganaatilla. 1981. Vesihallitus. 2. p. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. 5 s.

18. SFS 5505. Jäteveden epäorgaanisen ja orgaanisen typen määrittäminen. Modifioitu Kjeldahl-menetelmä. 1988. 4 s.

19. Opetushallitus, Laboratorioanalyysit [verkkodokumentti]. [viitattu 24.11.2005]. Saatavissa: http://www.digival.fi/laboratorio/ymparistoanalyysit_kokonaistypen_maaritys_jat_evedesta.html

20. SFS 3002. Veden kloridipitoisuuden määrittäminen. Titraus Mohrin menetelmällä. 1982. Vesihallitus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. 4 s.

21. SFS 3003. Veden kalsiumin ja magnesiumin summan määrittäminen. Titrimetrinen menetelmä. 1987. Vesi- ja ympäristöhallitus. 2. p. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. 5 s.

22. SFS 3026. Veden kokonaisfosforin määrittäminen. Hajotus peroksidisulfaattilla. 1986. Vesihallitus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. 11 s.

23. Separtec Oy. Kotitalousveden kemialliset ongelmat [online]. [Viitattu 21.4.2006]. Saatavissa: http://www.separtec.fi/hoh_fin/vesikysymyksiä_kemialliset_ongelmat.html

LIITTEET

Liite 1.1: Talousveden laatuvaatimukset

Liite 1.2: Talousveden laatusuositukset

Liite 2.1: Mittauspöytäkirja 21.11.2005, kemiallinen hapen kulutus

Liite 2.2: Mittauspöytäkirja 28.11.2005, kemiallinen hapen kulutus

Liite 2.3: Mittauspöytäkirja 8.12.2005, kemiallinen hapen kulutus

Liite 2.4: Mittauspöytäkirja 18.1.2006, kemiallinen hapen kulutus

Liite 3: Mittauspöytäkirja 24.11.2005, ammoniumtyppi

Liite 4: Mittauspöytäkirja 15.12.2005, rauta

Liite 5: Mittauspöytäkirja 15.12.2005, mangaani

Liite 6: Mittauspöytäkirja 9.1.2006, kloridi

Liite 7: Mittauspöytäkirja 13.1.2006, kalsiumin ja magnesiumin summa

Liite 8: Kokonaisfosforin määrittämisen kalibrointikäyrä 23.1.2006

Liite 9: Mittauspöytäkirja 23.1.2006, kokonaisfosfori

Liite 10: Sameus ja pH

Talousveden laatuvaatimukset (enimmäispitoisuus)

<i>Osoitinmuuttuja</i>	<i>Yksityiset kaivovedet (asetus 401/2001)</i>
<i>Escherichia coli</i>	0 pmy/100 ml
Enterokokit	0 pmy/100 ml
Akryyliamidi	0,10 µg/l
Antimoni	5,0 µg/l
Arseeni	10 µg/l
Bentseeni	1,0 µg/l
Bentso(a)pyreeni	0,010 µg/l
Boori	1,0 mg/l
Bromaatti	10 µg/l
Kadmium	5,0 µg/l
Kromi	50 µg/l
Kupari	2,0 mg/l
Syanidit	50 µg/l
1,2-dikloorietaani	3,0 µg/l
Epikloorihydriini	0,10 µg/l
Fluoridi	1,5 mg/l
Lyijy	10 µg/l
Elohopea	1,0 µg/l
Nikkeli	20 µg/l
Nitraatti	50 mg/l
Nitraattityppi	11,0 mg/l
Nitriitti	0,5 mg/l
Nitriittityppi	0,15 mg/l
Torjunta-aineet	0,10 µg/l
Torjunta-aineet yht.	0,50 µg/l
Polysykliset aromaattiset hiilivedyt	0,10 µg/l
Seleeni	10 µg/l
Tetrakloorieteeni ja trikloori- rieteeni yht.	10 µg/l
Trihalometaanit yht.	100 µg/l
Vinyylikloridi	0,50 µg/l
Kloorifenolit yht.	10 µg/l

Talousveden laatusuositukset (enimmäispitoisuus)

<i>Osoitinmuuttuja</i>	<i>Yksityiset kaivo- vedet (asetus 401/2001)</i>
Alumiini	200 µg/l
Ammonium	0,50 mg/l
Ammoniumtyppi	0,50 mg/l
Kloridi	100 mg/l
Mangaani	100 µg/l
Rauta	400 µg/l
Sulfaatti	250 mg/l
Natrium	-
Koliformiset bak- teerit	100 pmy/100 ml
KMnO ₄	20 mg/l
Hapettavuus	-
Radon	1000 bq/l

Talousveden laatusuositukset (tavoitetaso)

<i>Osoitinmuuttuja</i>	<i>Yksityiset kaivove- det (asetus 401/2001)</i>
<i>Clostridium perfrin- gens</i>	-
Koliformiset baktee- rit	-
Pesäkkeiden lukum. (22°C)	-
pH	6,5 - 9,5
Sähkönjohtavuus	Alle 2500 mS/cm
Sameus	1,0 NTU
Väri	5
Haju ja maku	Ei selvää vierasta hajua ja makua
TOC	-
Radioaktiivisuus	-
Tritium	-
Viitt. kokonaisannos	

LIITE 2.1

Mittauspöytäkirja 21.11.2005**Kemiallinen hapen kulutus**

Näyte	Na ₂ S ₂ O ₃ -liuoksen kulutus, ml	COD _{Mn} , mg/l	KMnO ₄ -luku, mg/l
Säkylä	1,81	3,56	14,04
Kisko/ kaivo	1,88	2,42	9,57
Kisko/ lampi (laimennussuhde 1:1)	0,87	37,49	148,11
Merikarvia (laimennussuhde 3:7)	0,33	91,58	361,75
0-näyte	2,03		

LIITE 2.2

Mittauspöytäkirja 28.11.2005**Kemiallinen hapen kulutus**

Näyte	Na ₂ S ₂ O ₃ -liuoksen kulutus, ml	COD _{Mn} , mg/l	KMnO ₄ -luku, mg/l
Säkylä	1,92	1,78	7,02
Kisko/ kaivo	2,04	.*	.*
Kisko/ lampi (laimennussuhde 1:1)	1,25	25,21	99,59
Merikarvia (laimennussuhde 3:7)	0,20	98,56	389,41
Vihti	2,05	.*	.*

* = alle määrittämissuoran

LIITE 2.3

Mittauspöytäkirja 8.12.2005**Kemiallinen hapen kulutus**

Näyte	Na ₂ S ₂ O ₃ -liuoksen kulutus, ml	COD _{Mn} , mg/l	KMnO ₄ -luku, mg/l
Säkylä	1,91	1,94	7,66
Kisko/ kaivo	1,80	3,72	14,68
Kisko/ lampi (laimennussuhde 1:1)	0,93	35,56	140,44
Merikarvia (laimennussuhde 3:7)	0,23	96,97	383,03
Vihti	1,83	3,23	12,77
Uusikaupunki/ porakaivo	1,48	8,89	35,11
Uusikaupunki/ rengaskaivo	1,44	9,54	37,66

LIITE 2.4

Mittauspöytäkirja 18.1.2006**Kemiallinen hapen kulutus**

Näyte	Na ₂ S ₂ O ₃ -liuoksen kulutus, ml	COD _{Mn} , mg/l	KMnO ₄ -luku, mg/l
Säkylä	1,72	5,01	19,79
Kisko/ kaivo	1,90	2,10	8,30
Kisko/ lampi (laimennussuhde 1:1)	1,04	32,0	126,40
Merikarvia (laimennussuhde 3:7)	0,28	94,28	372,39
Vihti	1,86	2,75	10,85
Uusikaupunki/ porakaivo	2,03	0	0
Uusikaupunki/ rengaskaivo	1,68	5,66	22,34
Pori	1,23	12,93	51,07
Jorvas	1,57	7,43	29,37
Kirkkonummi	1,63	6,46	25,54

LIITE 3

Mittauspöytäkirja 24.11.2005**Ammoniumtyppi**

Tarkistusliuos (ammoniumkloridi)	Suolahapon (HCl) kulutus, ml	Typpipitoisuus, mg/l
1. tarkistus	0,59	0,728
2. tarkistus	0,37	0,420
3. tarkistus	0,33	0,364
4. tarkistus	0,24	0,238
5. tarkistus	0,29	0,308

Näyte	Suolahapon (HCl) kulutus, ml	Typpipitoisuus, mg/l
Säkylä	0,05	-*
Kisko/ kaivo	0,10	0,042
Kisko/ lampi	0,10	0,042
Merikarvia	0,12	0,070
0-näyte	0,07	

* = alle määrittämissrajat

LIITE 4

Mittauspöytäkirja 15.12.2005**Rauta**

Näyte	Rautapitoisuus, mg/l
Säkylä	-*
Kisko/ kaivo	-*
Kisko/ lampi	1,8
Merikarvia (laimennussuhde 1:1)	2,6
Vihti	0,4
Uusikaupunki/ porakaivo (laimennussuhde 1:1)	3,8
Uusikaupunki/ rengaskaivo (laimennussuhde 1:1)	3,5

* = alle määrittämissuoran

LIITE 5

Mittauspöytäkirja 15.12.2005**Mangaani**

Näyte	Mangaanipitoisuus, mg/ l
Säkylä	0,033
Kisko/ kaivo	0,023
Kisko/ lampi	0,069
Merikarvia	0,118
Vihti	0,038
Uusikaupunki/ porakaivo	0,689
Uusikaupunki/ rengaskaivo	0,691

LIITE 6

Mittauspöytäkirja 9.1.2006**Kloridi**

Näyte	Hopeanitraattiliuoksen kulutus, ml	Kloridipitoisuus, mg/ l
Säkylä	0,44	0,40
Kisko/ kaivo	0,78	3,77
Kisko/ lampi	1,14	7,35
Merikarvia	1,56	11,51
Vihti (näytetilavuus 50 ml)	0,64	8,34
Uusikaupunki/ porakaivo	2,73	23,13
Uusikaupunki/ rengaskaivo	2,71	22,93
Pori	1,37	9,63
Jorvas	1,39	9,83
Kirkkonummi	1,55	11,41

Mittauspöytäkirja 13.1.2006**Kalsiumin (Ca) ja magnesiumin (Mg) summa**

Näyte	EDTA -kulutus, ml	Ca+Mg, mmol/ l
Säkylä	2,08	0,416
Kisko/ kaivo	2,01	0,406
Kisko/ lampi	3,89	0,778
Merikarvia (laimennussuhde 1:1)	2,74	0,548
Vihti	5,50	1,100
Uusikaupunki/ porakaivo (laimennussuhde 1:1)	4,42*	0,884*
Uusikaupunki/ rengaskaivo (laimennussuhde 1:1)	4,11*	0,822*
Pori (laimennussuhde 1:1)	1,50	0,300
Jorvas	1,98	0,396
Kirkkonummi	1,91	0,382

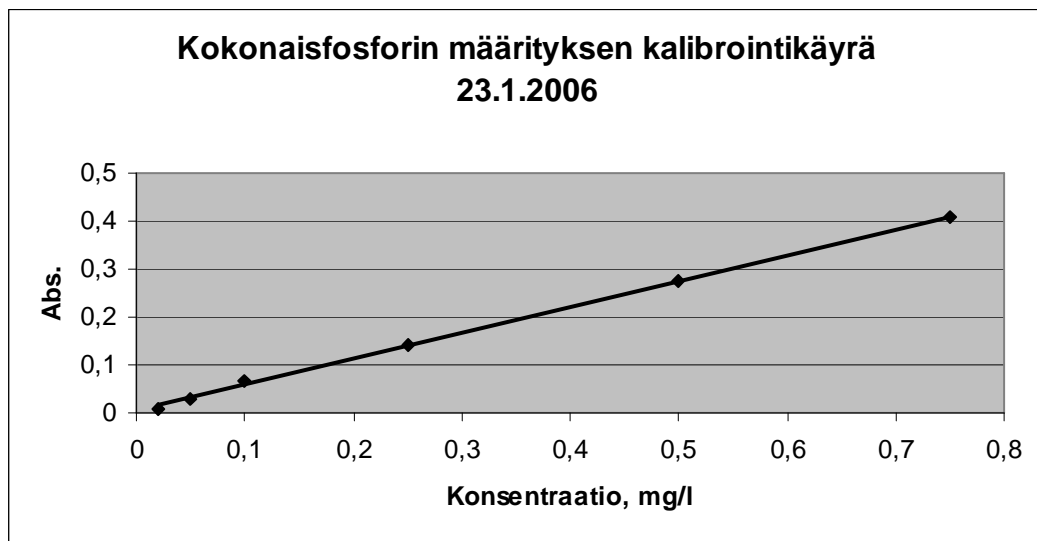
* = määrittäminen ei onnistunut, joten arvot epäluotettavia

LIITE 8

Mittauspöytäkirja 23.1.2006**Kokonaisfosfori**

Vertailunäytteet	Absorbanssi ($\lambda= 880 \text{ nm}$)	Konsentraatio, mg/ l
1.	-	0,01
2.	0,010	0,02
3.	0,029	0,05
4.	0,065	0,10
5.	0,140	0,25
6.	0,274	0,50
7.	0,409	0,75

Näyte	Absorbanssi ($\lambda= 880 \text{ nm}$)	Kokonaisfosforipitoisuus, mg/l
Säkylä	0,043	0,079
Kisko/ kaivo	0,006	0,011
Kisko/ lampi	0,003	0,006
Merikarvia	0,015	0,027
Vihti	0,030	0,054
Uusikaupunki/ porakaivo	0,070	0,127
Uusikaupunki/ rengaskaivo	0,062	0,114
Pori	0,051	0,094
Jorvas	0,004	0,008
Kirkkonummi	0,052	0,096



Sameus ja pH**Mittaukset suoritettu 28.11.2005**

Näyte	Sameus, NTU	pH
Säkylä	0,33	8,3
Kisko/ kaivo	0,71	6,6
Kisko/ lampi	32,5	6,5
Merikarvia	14,7	6,5
Vihti	3,95	7,2

Mittaukset suoritettu 8.12.2005

Näyte	Sameus, NTU	pH
Uusikaupunki/ porakaivo	20,2	6,8
Uusikaupunki/ rengaskaivo	17,4	6,9

Mittaukset suoritettu 9.1.2005

Näyte	Sameus, NTU	pH
Pori	9,06	8,1
Jorvas	0,32	8,4
Kirkkonummi	0,78	8,7