

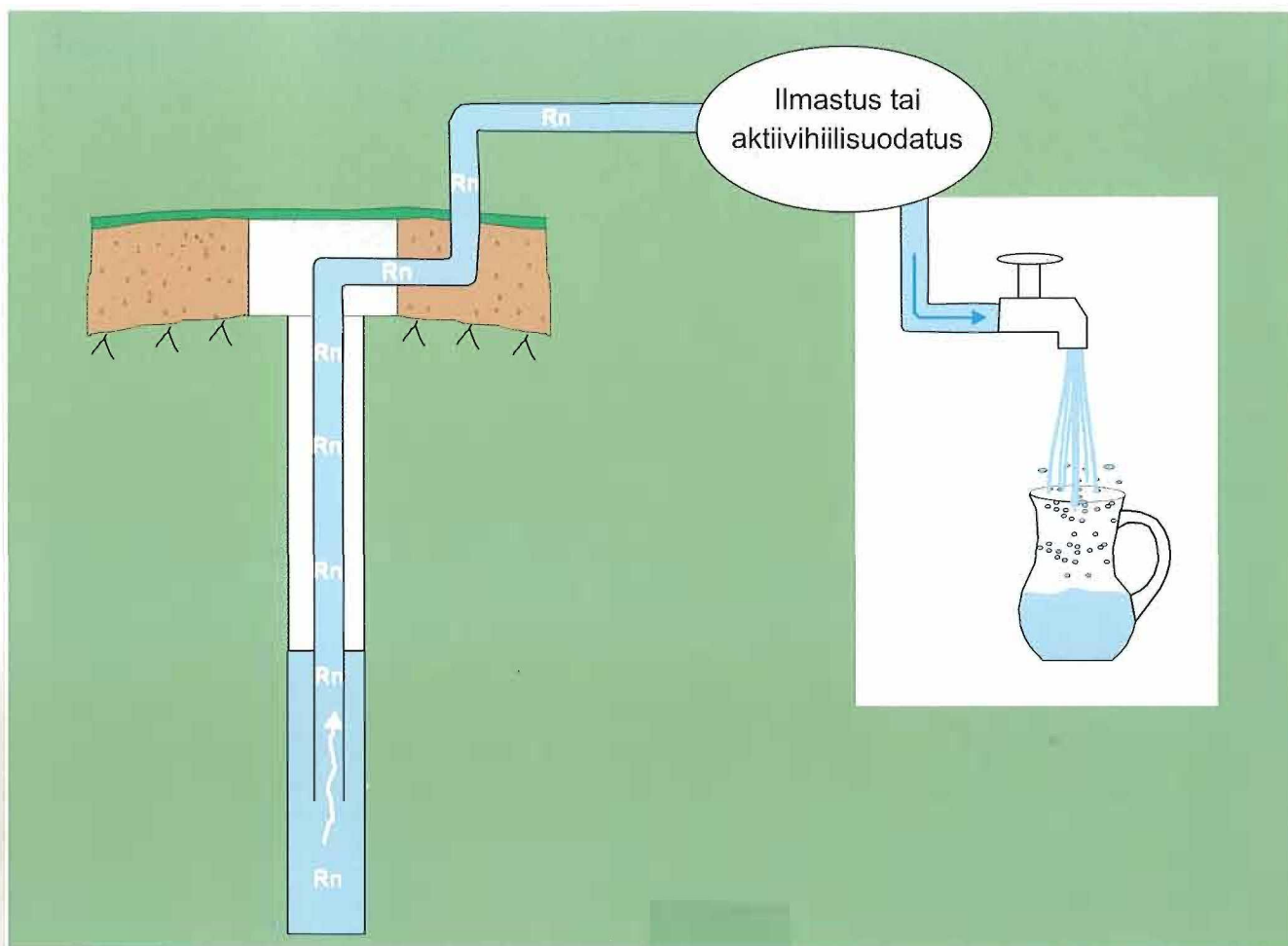


RAKENTAMINEN

Pauliina Myllymäki, Tuukka Turtiainen, Laina Salonen,  
Antti Helanterä, Juhani Kärnä, Hannu Turunen

# Radonin poisto porakaivovedestä

Uusia ilmastimia ja  
aktiivihiilisuodatuksen käyttöönotto





Pauliina Myllymäki, Tuukka Turtiainen, Laina Salonen,  
Antti Helanterä, Juhani Kärnä, Hannu Turunen

# Radonin poisto porakaivovedestä

Uusia ilmastimia ja  
aktiivihiilisuodatuksen käyttöönotto

HELSINKI | 1999



Painotuote

ISBN 952-11-0475-9  
ISSN 12387312

Oy Edita Ab  
Helsinki 1999

# Alkusanat

Tutkimus radonin poistosta porakaivovedestä aloitettiin elokuussa 1995 Suomen ympäristökeskuksen (SYKE), Säteilyturvakeskuksen (STUK) ja Teknillisen korkeakoulun (TTKK) välisenä yhteistyönä. Diplomityönä tehty ensimmäinen osa tutkimuksesta valmistui loppuvuodesta 1996. Tämän jälkeen tutkimusta jatkettiin Suomen ympäristökeskuksen, Säteilyturvakeskuksen sekä kolmen vesihuoltoalan yrityksen - Insinööritoimisto Vartiainen Oy:n, Overcraft Oy:n sekä Oy Wat Man Ab:n - välisenä yhteistyönä. Teknologian kehittämiskeskus (Tekes) on rahoittanut tutkimusta.

Jatkotutkimuksen tarkoituksena on ollut saada markkinoille toimivia ja mahdollisimman edullisia suomalaisia radoninpoistolaitteistoja, joita nimenomaan yksityisten ihmisten on mahdollista hankkia koteihinsa. Tässä onkin onnistuttu, sillä tutkimuksen tuloksena markkinoille on saatu neljä eri tyyppistä ilmastuslaitteistoa ja kahdella yrityksistä on nyt tietämys ja mahdollisuudet myydä oikean tyyppisiä aktiivihiihliäsuodattimia radonin poistoon. Viime aikoina myös eräät tutkimuksen ulkopuoliset yritykset ovat tuoneet markkinoille toimivia ilmastukseen perustuvia radoninpoistolaitteistoja.

Tässä julkaisussa raportoidaan jatkotutkimuksen aikana saadut tulokset, käytetyt menetelmät ja laitteistot sekä annetaan ohjeita laitteiden valintaan, asennukseen ja käyttöön.

Radionuklidimääritykset teetettiin Säteilyturvakeskuksen luonnonsäteilylaboratoriossa ja muut vesianalyysit Uudenmaan ympäristökeskuksen laboratoriossa sekä Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen laboratoriossa. Suomen ympäristökeskuksen Suomenojan koeaseman henkilökunta osallistui aktiivihiihliäkoekalusteiden valmistamiseen ja toiminnan seurantaan. Esitän lämpimät kiitokseni kaikille tutkimustyöhön osallistuneille henkilöille. Samoin kiitokset tutkimuksen johtoryhmän jäsenille: Tuomo Hatvalle (SYKE), Matti Valveelle (SYKE), Laina Saloselle (STUK) ja Heikki Uusi-Hongolle (Tekes). Tutkitut aktiivihiihliäytteet saimme aktiivihiihliä toimittajilta veloituksetta käyttöömmemme, mistä myös kiitokset.

Helsingissä 23.3.1999

Pauliina Myllymäki



# Sisällys

<b>Alkusanat</b> .....	<b>3</b>
<b>Johdanto</b> .....	<b>7</b>
1.1 Tutkimuksen tausta .....	7
1.2 Tutkimusongelma .....	7
1.3 Tutkimuksen tavoitteet .....	8
1.4 Tutkimuksen rajaukset .....	8
<b>Talousveden radon ja sen poistomenetelmät</b> .....	<b>9</b>
2.1 Vedessä olevan radonin raja-arvot ja esiintyminen Suomessa ja Ruotsissa ....	9
2.2 Radonin terveysriskit .....	10
2.3 Radonin poistomenetelmät .....	10
2.3.1 Ilmastus .....	10
2.3.2 Aktiivihiilisuodatus .....	11
2.3.3 Aikaisempia kokemuksia radoninpoistolaitteistoista Suomessa .....	13
2.3.4 Kokemuksia radoninpoistolaitteistoista Ruotsissa (Boox 1995 ja Lindén 1997) .....	14
<b>Kehitetyt ja testatut laitteistot, tutkimusmenetelmät</b> .....	<b>16</b>
3.1. Ilmastus .....	16
3.1.1 Oy Wat Man Ab:n ilmastimet .....	17
3.1.2. Insinööritoimisto Vartiainen Oy:n ilmastin .....	19
3.1.3 Overcraft Oy:n ilmastin .....	20
3.1.4. Muut testatut laitteistot .....	22
3.2. Aktiivihiilisuodatus .....	22
3.3 Laboratorioanalyysit ja näytteenotto .....	26
<b>Tutkimustulokset</b> .....	<b>28</b>
4.1. Ilmastus .....	28
4.1.1 Oy Wat Man Ab:n ilmastimet .....	28
4.1.2 Insinööritoimisto Vartiainen Oy:n ilmastin .....	29
4.1.3 Overcraft Oy:n ilmastin .....	30
4.1.4 Muut testatut laitteistot .....	31
4.1.5 Muut vedenlaatuparametrit ja ilmastinten ulkoisen gammasäteilyn aiheuttama annosnopeus .....	32
4.2 Aktiivihiilisuodatus .....	33
4.2.1 Kohteessa AS tehdyt kokeet eri aktiivihiililaatujen vertailemiseksi .....	33
4.2.1.1 Tulevan ja suodatetun veden radonpitoisuudet sekä suodattimien virtaamat .....	33
4.2.1.2 Eri aktiivihiililaatujen radoninpoistotehokkuus .....	35
4.2.2 Radoninpoistotulokset varsinaisissa asennuskohteissa .....	37
4.2.3 Muut vedenlaatuparametrit .....	38
4.2.4 Suodattimien ulkoisen gammasäteilyn aiheuttaman annosnopeuden mittaukset .....	39
<b>Johdopäätökset</b> .....	<b>41</b>
<b>Suosituksset ja turvallisuusohjeet</b> .....	<b>43</b>
6.1 Suositukset .....	43

6.2 Turvallisuusohjeet .....	44
<b>Kirjallisuus</b> .....	<b>47</b>
<b>Liitteet</b> .....	<b>49</b>
Liite 1. Kohteissa AI - LI seurattavat vedenlaatuparametrit .....	49
Liite 2. Kohde AS: aktiivihiilien vertailukokeissa mitatut radonpitoisuudet ....	55
Liite 3. Kohde AS: aktiivihiilien vertailukokeet, veden laadun muuttuminen .....	56
Kohde AS: veden laadun muuttuminen kuvina .....	61
Liite 4. Kohteet BS - GS: veden laadun muuttuminen aktiivihiilisuodatuksessa .....	71
Liite 5. Aktiivihiilisuodattimien ulkoisen gammasäteilyn aiheuttamat annosnopeudet .....	75



# Johdanto

---

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Radoninpoistolaitteiden kehittämistutkimus on jatkoa perustutkimukselle radonin ja uraanin poistosta pohjavedestä (Myllymäki 1996). Perustutkimuksessa selvitettiin perusteita aktiivihiihliisuodatuksen ja ilmastuksen käytölle vedessä olevan radonin poistamiseksi. Perustietojen pohjalta ryhdyttiin yhdessä kolmen vesihuoltoalan laitevalmistajan kanssa kehittämään aktiivihiihliisuodatuksen ja ilmastukseen perustuvia radoninpoistolaitteita yksityistalouksille.

Tutkimus radonin poistamiseksi talousvedestä aloitettiin, koska Säteilyturvakeskuksen yli kaksikymmentä vuotta jatkuneiden mittausten perusteella arvioitiin vuonna 1994, että 43 prosentissa Suomen porakaivoista veden radonpitoisuus ylittää 300 Bq/l (Salonen 1994). Suomessa arvioidaan epävirallisesti tällä hetkellä olevan ainakin 100 000 ympärivuotisessa käytössä olevaa porakaivoa. Näiden lisäksi myös kesäasunnoissa on porakaivoja.

Radon on radioaktiivinen kaasu, joka voi aiheuttaa keuhkosityöpää ja suurina pitoisuuksina se voi lisätä myös muiden elinten syöpäriskiä (Lidén ja Hellman 1995; Lidén ym. 1995; Collman ym. 1991).

## 1.2 Tutkimusongelma

Suomessa ei ennen tutkimuksen aloittamista ollut markkinoilla radoninpoistolaitteistoja, joita yksityiset kotitaloudet ja myös pienet vesilaitokset voisivat hankkia, jotka voitaisiin sellaisinaan asentaa paikoilleen ja jotka olisivat tutkitusti luotettavia ja helppohoitoisia.

Markkinoilla on ollut joitakin ilmastukseen perustuvia laitteistoja, mutta niiden radoninpoistokyvystä ja luotettavuudesta ei ole ollut varmaa tietoa. Myös muutamia radonin poistoon suunniteltuja, yksittäisiin kohteisiin rakennettuja ilmastuslaitteistoja on ollut käytössä, mutta niiden oikea mitoitus on etsitty tapauskohtaisesti kokeilemalla. Aikaisempaa kokemusta radonin poistoon käytetystä aktiivihiihliisuodatuksesta on ollut yhdestä kotitaloudesta.

Ilmastuksen käyttöönottamiseksi tuli jo saatujen perustietojen pohjalta kehittää ilmastuslaitteistoja, jotka sopivat yksityistalouksien käyttöön. Niiden tuli toimia tehokkaasti radonin poistossa, mutta olla myös sekä pienikokoisia että pystyä tuottamaan riittävästi puhdasta vettä myös suuren vedenkulutuksen aikana. Poistoilma, jonka radonpitoisuus on korkea, piti saada johdettua tehokkaasti ulos.

Aktiivihiihliisuodatuksen käyttöönottamiseksi tuli ensin löytää tehokas aktiivihiihliityyppi ja suodattimen mitoitus tiedot. Tämän jälkeen aktiivihiihliisuodatuksen suurin ongelma oli, että suodattimesta tulee gammasäteilyn lähde: suodatin joudutaan suojaamaan, mikäli sitä ei voida asentaa sellaisiin tiloihin, joissa ei oleksella.

Molempien menetelmien osalta tuli lisäksi varmistaa puhdistetun veden muun laadun säilyminen hyvänä.

Yhdysvalloissa on raportoitu sekä ilmastukseen että aktiivihiihluodatukseseen perustuvista radoninpoistolaitteistoista (Lowry ja Brandow 1985; Lowry ym. 1987; Lowry ja Lowry 1987; Hildebrand ym. 1988; Kinner ym. 1989; Lowry ym. 1989; Kinner ym. 1990; Paris 1993). Kuvattujen laitteistojen todellisesta toiminnasta tai sopivuudesta suomalaisiin olosuhteisiin ei kuitenkaan ollut varmuutta. Tietoja käytettiin apuna tutkimuksen laitteistojen mitoittamisessa ja tehokkaiden aktiivihiihluodattajien valinnassa.

### **1.3 Tutkimuksen tavoitteet**

Tutkimuksen päätavoite on ollut saada markkinoille luotettavia, helppokäyttöisiä ja mahdollisimman edullisia radoninpoistolaitteita, jotka on tarkoitettu nimenomaan yksityistalouksille. Laitteiden kehitystyö järjestettiin Suomen ympäristökeskuksen, Säteilyturvakeskuksen ja tutkimuksessa mukana olleiden yritysten (Oy Wat Man Ab, Insinööritoimisto Vartiainen Oy, Overcraft Oy) välisenä yhteistyönä. Tutkimuksen jälkeen yrityksillä tuli olla valmiudet myydä ja myös jatkokehittää radoninpoistolaitteistoja itsenäisesti.

Lisäksi tutkimuksen tarkoitus on ollut antaa perustietoa menetelmien toimintaperiaatteista ja antaa ohjeita laitteiden hankintaa, asentamista, käyttöä ja käytöstä poistoa varten.

### **1.4 Tutkimuksen rajaukset**

Tutkimuksessa kehitettiin radoninpoistolaitteita ja selvitettiin muiden veden laatuominaisuuksien muuttumista käsittelyn aikana ja niiden vaikutusta radonin poistoon. Radonin lyhytikäisten hajoamistuotteiden poistamista jouduttiin jossakin määrin pohtimaan ilmastuksen yhteydessä. Aiheesta on alustavaa tutkimusta tehty Ruotsissa (Swedjemark ja Lindén 1998). Tutkimuksessa oli myös mukana muutamia kohteita, joissa radonin lisäksi jouduttiin poistamaan uraania. Uraanin poistoa on tarkemmin tutkittu EU:n rahoittamassa projektissa, johon myös Säteilyturvakeskus osallistuu (Treatment Techniques for Removing Natural Radionuclides from Drinking Water), mutta tässä raportissa on lyhyesti mainittu myös tällaisten laitekokonaisuuksien toiminnasta. Aktiivihiihluodattimen suojauksen tarvetta ja suojausmahdollisuuksia käsiteltiin tässä tutkimuksessa alustavasti. Säteilyturvakeskus tutkii aihetta laajemmin mainitun EU-projektin osana ja on valmistelemasa suositusta suodattimien suojauksesta ja sijoittamisesta.

# Talousveden radon ja sen poistomenetelmät

# 2

## 2.1 Vedessä olevan radonin raja-arvot ja esiintyminen Suomessa ja Ruotsissa

Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) on radioaktiivinen jalokaasu, joka ei muodosta kemiallisia yhdisteitä. Se kuuluu luonnon uraanisarjaan ( $^{238}\text{U}$ :n hajoamistuotteet).  $^{222}\text{Rn}$  on pitkäikäisin radonin isotoopeista ja siksi säteilysuojelullisesti merkittävin. Sen puoliintumisaika on 3,8 vuorokautta. Kahden muun luonnossa esiintyvän radonisotoopin puoliintumisajat ovat alle minuutin.

Suomessa säteilyturvallisuusohjeen 12.3 mukaan vesilaitosten ja ammattimaisten juoman ja elintarvikkeiden valmistajien, jotka käyttävät omaa kaivoa tai vedenottamoita, turvallisuustavoite on määritelty: "talousveden radioaktiivisuudesta aiheutuva efektiivinen annos saa olla enintään 0,5 mSv vuodessa. Annosta laskettaessa ei oteta huomioon vedestä hengitysilmaan vapautuvasta radonista aiheutuvaa annosta." (ST-ohje 12.3 1993). Suomalaisen keskimääräinen vuotuinen säteilyannos on 3,7 mSv (Säteily- ja ydinturvallisuuskatsauksia 1998).

Käytännössä ohje tarkoittaa, että jos vedessä ei radonin lisäksi ole muita pitkäikäisiä radioaktiivisia aineita, korkein sallittu veden radonpitoisuus on 300 Bq/l. Ohjetta voidaan toistaiseksi pitää suosituksena myös yksityisille porakaivoille, niille tarkoitettu erillinen ohje on valmisteilla.

Radonia esiintyy kalliopohjavedessä luonnostaan ja sitä esiintyy varsinkin alueilla, joissa kallioperä on uraanipitoista graniittia. Säteilyturvakeskuksen vuoteen 1994 mennessä tutkimista hieman yli 4 000 porakaivosta noin 40 %:ssa veden radonpitoisuus ylitti 300 Bq/l. Löydetty maksimiarvo on ollut 77 500 Bq/l. (Salonen 1994; Juntunen ja Backman 1996). Vuoteen 1999 mennessä tutkittuja porakaivoja on noin 7 000 ja niistä 30 - 40 %:ssa radonpitoisuus ylittää 300 Bq/l. Suomen porakaivojen lukumäärää ei tiedetä tarkasti, mutta epävirallisesti on arvioitu, että ympärivuotisessa käytössä niitä olisi vähintään 100 000.

Ruotsissa on vuonna 1997 asetettu raja-arvot veden radonpitoisuudelle. Niiden mukaan niillä sekä yleisillä että yksityisillä vedenottamoilla, jotka ovat kunnallisen valvonnan alaisia, veden radonpitoisuus ei saa ylittää 100 Bq/l. Yksityiskaivoille tämä on suositus. Kun veden radonpitoisuus ylittää 1 000 Bq/l, vettä ei pidetä käyttökelpoisena, vaan radon tulisi poistaa sekä kunnallisesti valvotuista että yksityisistä kaivovesistä. Mikäli yksityiskaivojen veden radonpitoisuus ylittää 500 Bq/l mutta on alle 1 000 Bq/l ja vettä annetaan alle viisivuotiaille lapsille, vesi tulisi keittää tai sitä tulisi sekoittaa voimakkaasti ainakin kolme minuuttia radonpitoisuuden alentamiseksi. (Lindgren 1998)

Ruotsissa on arvioitu olevan 20 000 - 30 000 porakaivoa, joissa radonpitoisuus ylittää 500 Bq/l. Pitoisuuksia, jotka ylittävät 1 000 Bq/l arvioidaan esiintyvän yli 10 000 kaivossa. Näistä huomattavassa osassa pitoisuus on yli 10 000 Bq/l. Kaiken kaikkiaan ympärivuotisessa käytössä olevia porakaivoja arvioidaan Ruotsissa olevan noin 200 000 kappaletta ja loma-asunnoilla epäsäännöllisessä käytössä on arviolta 200 000 - 300 000 porakaivoa. Suurin Ruotsissa löydetty radonpitoisuus on 57 000 Bq/l. (Åkerblom ja Lindgren 1997)

Radon vapautuu vedestä ilmaan veden kuumennuksen tai suihkutuksen yhteydessä. Mikäli riittävästä tuuletuksesta ei huolehdita, vedestä vapautuva radon jää huoneilmaan. Esimerkiksi suihkun yhteydessä vedessä olevasta radonista vapautuu 50 - 70 % (Nazaroff ym. 1987)

Karkea arvio on, että huoneilman radonpitoisuus nousee 1 Bq/l eli 1 000 Bq/m<sup>3</sup> jokaista talousvedessä olevaa 10 000 Bq/l:n pitoisuutta kohden keskivertotaloudessa tavallisella veden kulutuksella ja keskimääräisellä ilmanvaihdolla (Prichard 1987). Toisin sanoen arvion mukaan jokainen 1 000 Bq/l radonpitoisuus vedessä nostaisi huoneilman radonpitoisuutta noin 100 Bq/m<sup>3</sup>. Todellisuudessa raakaveden radonpitoisuuden lisäksi myös veden kulutus, ilmanvaihto ja asunnon koko vaikuttavat huoneilman radonpitoisuuteen. Huoneilman radonpitoisuus ei saisi vanhoissa asunnoissa ylittää 400 Bq/m<sup>3</sup>:ää ja uusissa asunnoissa 200 Bq/m<sup>3</sup>:ta (Säteily- ja ydinturvallisuuskatsauksia 1998).

## 2.2 Radonin terveysriskit

Radonia ei voi haistaa eikä maistaa eikä se aiheuta välittömiä terveysvaikutuksia. Lidén ja Hellman (1995) selvittivät kirjallisuustutkimuksena vedessä olevan radonin terveyshaittoja ja löysivät riittävästi tukea sille, että radon on ihmisille karsinogeeni. Radon nostaa riskiä sairastua keuhkosityöpään ja korkeat veden radonpitoisuudet voivat lisätä myös muiden elinten syöpäriskiä. (Collman ym. 1991; Lidén ja Hellman 1995; Lidén ym.1995)

Suomessa sisäilman radonin arvioidaan aiheuttavan 100 - 600 keuhkosityöpätapausta vuodessa, todennäköisin arvio on noin 200 keuhkosityöpää (Säteily- ja ydinturvallisuuskatsauksia 1998). Riski sairastua kasvaa veden ja huoneilman radonpitoisuuden kasvaessa.

## 2.3 Radonin poistomenetelmät

Radonin poistamiseksi vedestä tutkittiin kahta vaihtoehtoista menetelmää: ilmastusta ja aktiivihiihluodatuksista. Molemmat menetelmät poistavat radonia tehokkaasti (Lowry ja Brandow 1985; Lowry ym. 1987; Lowry ja Lowry 1987; Kinner ym. 1989; Lowry ym. 1989; Jokela 1993). Ilmastuksen ja aktiivihiihluodatuksen periaatteita radonin poistossa ja mitoituksista on esitetty myös julkaisussa "Radonin ja uraanin poisto kalliopohjavedestä" (Myllymäki 1996).

Ilmastuksella voidaan vedestä poistaa radonin lisäksi muita liuenneita kaasuja, esimerkiksi rikkivetyä, hiilidioksidia, metaania ja haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. Ilmastusta käytetään myös raudan ja mangaanin hapetukseen.

Aktiivihiihluodatuksella voidaan vedestä poistaa radonin lisäksi hajua ja makua sekä vähentää mm. sameutta, kemikaaleja (esim. kloorijäämiä) ja monia orgaanisia aineita.

### 2.3.1 Ilmastus

Radonin poistuminen vedestä ilmastamalla perustuu radonin siirtymiseen vesifaasista kaasufaasiin: ilmaa ja radonpitoista vettä sekoitetaan tehokkaasti keskenään, jolloin radon siirtyy vedestä ilmaan. Mitä suurempi kontaktipinta-ala saadaan veden ja ilman välille, sitä tehokkaampaa on siirtyminen. Suuri kontaktipinta-ala voidaan saavuttaa mm. johtamalla veteen suuri määrä pieniä ilmakuplia tai suihkuttamalla vettä ilmaan pieninä pisaroina. Vesi voidaan johtaa ilmaan myös

ohuena kalvona. Ilman määrän kasvaessa suhteessa veden määrään (ilma-vesi - suhteen kasvaessa) ja kupla- tai pisarakoon pienentyessä radoninpoistotehokkuus paranee, koska kontaktipinta-ala kasvaa. Ilma-vesi -suhdetta voidaan kasvattaa pidentämällä ilmastusaikaa tai lisäämällä ilman tuottoa veteen aikayksikössä.

Kontaktipinta-alan lisäksi radonin poistumiseen vaikuttaa aika, jonka yksi ilmakupla on kontaktissa veden kanssa. Kontakti-aikaa voidaan pidentää vaikuttamalla veden ja ilman virtauksiin ilmastimessa.

Ilmastukseen käytettävän ilman tulee olla mahdollisimman puhdasta ja radonvapaata. Poistoilma, jonka radonpitoisuus on korkea, on johdettava ulos niin, että se ei joudu hengitysilmaan eikä kasvata sisäilman radonpitoisuutta.

Yhden ilmastukseen liittyvän ongelman muodostavat radonin lyhytikäiset hajoamistuotteet ( $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  ja  $^{214}\text{Po}$ ), jotka voivat jäädä veteen vielä sen jälkeen, kun radon on poistettu ilmastamalla (hajoamistuotteet voivat myös kiinnittyä seinämiin ja putkiin). Lyhytikäisten hajoamistuotteiden puoliintumisajat ovat välillä 164 mikrosekuntia - 26,8 minuuttia. Mikäli vettä nautitaan heti ilmastuksen jälkeen, nämä radonin hajoamistuotteet aiheuttavat säteilyannosta, joka on kuitenkin huomattavasti pienempi kuin vedessä olevan radonin aiheuttama annos ennen ilmastusta. Ruotsissa tehdyn tutkimuksen mukaan ilmastuksen jälkeen veteen jääneiden lyhytikäisten hajoamistuotteiden aiheuttama efektiivinen annos on alle 10 % radonin aiheuttamasta annoksesta (Swedjemark ja Lindén 1998).

Mikäli on aihetta epäillä, että vedessä on ilmastuksen jälkeen merkittäviä määriä lyhytikäisiä hajoamistuotteita (esimerkiksi kun raakaveden radonpitoisuus on erittäin suuri), voidaan hajoamistuotteiden aiheuttaman säteilyannoksen riittävä pieneminen varmistaa viipymällä ilmastuksen ja veden käyttöhetken välillä. Tarvittavan viipymän pituus riippuu raakaveden radonpitoisuudesta ja voi vaihdella esimerkiksi alle tunnista neljään tuntiin. Viipymää voidaan pidentää suurentamalla varastosäiliön kokoa sekä valitsemalla ilmastusajankohta siten, että vettä ei tarvita riittävän pitkään aikaan (esimerkiksi aamuyöstä). Koska lyhytikäiset hajoamistuotteet ovat haitallisia ainoastaan veden mukana nautittuina, voidaan viipymää pidentää myös yksinkertaisesti ottamalla ilmastettua vettä kannuun jääkaappiin ja käyttämällä päivänmittaan tätä vettä juoma- ja ruoanlaittovetenä.

Yksi mahdollisuus tarvittavan viipymääjän lyhentämiseksi voisi olla asentaa ilmastimen jälkeen pieni suodatin hajoamistuotteiden poistoon: Säteilyturvakeskus tutkii parhaillaan eri suodatinvaihtoehtoja ja niiden tehokkuuksia.

Toinen ongelma on mahdollinen bakteerien kasvu ilmastimessa. Erityisesti, jos raakaveden bakteeripitoisuus on korkea tai mikäli ilmastukseen käytettävä ilma ei ole puhdasta, käsitellyn veden bakteeripitoisuus saattaa kasvaa. Myös lämpötilalla on merkittävä vaikutus. Ilmastuksen aikana lämpötila nousee usein ja mikäli laitteisto on lisäksi asennettu lämpimiin ja valoisiin tiloihin, bakteerien ja levän kasvuun on kiinnitettävä erityistä huomiota. Lämpötilan nousu itsessäänkin on ongelma, jos vesi ei ole niin kylmää, kuin käyttäjä toivoisi.

### **2.3.2 Aktiivihiihli-suodatus**

Aktiivihiihli-suodatuksessa radonpitoinen vesi johdetaan aktiivihiihli-patjan läpi, jolloin radon pidättyy aktiivihiihliin. Mikäli vettä käytetään säännöllisesti, aktiivihiihli-suodattimeen saavutetaan noin kolmessa viikossa käyttöönoton jälkeen tasapainotila, jolloin pidättynyt radon hajoaa yhtä nopeasti kuin uutta radonia pidättyy (Lowry ja Lowry 1987). Tämän jälkeen suodattimen radoninpoistokapasiteetti ei teoriassa enää pienene. Käytännössä muut vedessä olevat aineet (esimerkiksi uraani, humus, bakteerien kasvu) saattavat heikentää poistotehokkuutta pitkällä aikavälillä.

Tasapainotilassa olevalle suodattimelle voidaan laskea adsorptio-hajoamisvakio ( $K_{ss}$ -arvo), joka kuvaa radonin pidättymisnopeutta suodattimeen (Lowry ja Lowry 1987):

$$C_t = C_0 \cdot e^{-K_{ss} \cdot t}, \quad (1)$$

jossa

$C_t$  = radonpitoisuus ajan  $t$  kuluttua

$C_0$  = raakaveden radonpitoisuus

$K_{ss}$  = tasapainotilan adsorptio-hajoamisvakio

$t$  = veden viipymä hiilipedin tilavuutta vastaavassa tyhjässä suodattimessa.

Yhtälö 1 voidaan muuttaa seuraavaan muotoon:

$$K_{ss} = -\ln(C_t / C_0) \cdot t^{-1}. \quad (2)$$

$K_{ss}$ -arvo on aktiivihiihilaadusta (tyyppi ja raekoko), virtaamien vaihtelusta sekä itse laitekoonpanosta (paineellisuus, koko) riippuvainen vakio. Mitä suurempi  $K_{ss}$ -arvo on, sitä tehokkaampaa on radonin poistuminen suodatuksessa.

Hyvin pienillä pitoisuuksilla radonin pidättymisnopeus aktiivihiiheen pienee. Lisäksi tuloksen virherajat kasvavat. Tämän vuoksi  $K_{ss}$ -arvoa ei voida laskea luotettavasti, kun suodatetun veden radonpitoisuus on lähellä 1 Bq/l:ä.

Todellisessa käyttötilanteessa suodattimeen tulevan veden virtaama vaihtelee vuorokauden aikana paljon, joten myös veden viipymä suodattimessa vaihtelee. Tasapainotilassa oleva aktiivihiihisuodatin toimii radonin pidättämisessä kuitenkin puskurin tavoin, joten päivittäiset viipymän vaihtelut eivät vaikuta tasapainotilaan merkittävästi. Veden viipymä suodattimessa voidaan laskea 2 - 3 viikon keskimääräisenä viipymänä, joka tavallisesti pysyy vakiona. (Lowry ja Lowry 1987)

Aktiivihiihilaatu vaikuttaa merkittävästi radonin pidättymiseen: eri aktiivihiihilaaduissa on eri määrä aktiivisia kohtia, joihin radon voi pidäytyä, ja mitä enemmän pidättymiskohtia on, sitä pienempi määrä hiiltä tarvitaan saman radoninpoistotehokkuuden aikaansaamiseen (Haberer ym. 1997).

Lowryn ym. (1987) mukaan myös radonin hajoamistuotteet näyttäisivät pidättävän aktiivihiiheen hyvin. Watsonin ja Crawford-Brownin (1991) tutkimuksissa osoitettiin, että lähes 100 % lyijyn isotoopista  $^{210}\text{Pb}$ , joka syntyy radonin hajoamisessa, pidättyy aktiivihiiheen. Tämä edellyttää myös  $^{210}\text{Pb}$ :ä edeltävien radonin hajoamistuotteiden pidättymistä.  $^{210}\text{Pb}$  on pitkäikäisin radonin hajoamistuotteista (puoliintumisaika 22,3 vuotta).

Lowry ym. tutkimuksessa (1988) todettiin, että vedessä oleva uraani heikentää jonkin verran aktiivihiihen radoninpoistotehokkuutta. Tutkimuksessa raakaveden radonpitoisuus oli 55 500 Bq/l ja uraanipitoisuus 10 Bq/l. Aktiivihiihen uraaninpoistokapasiteetin täytyttyä eli uraanin pidättymisen loputtua myös hiihen radoninpoistotehokkuus oli heikentynyt 99,95 %:sta 98,7 %:iin.

Aktiivihiihen radoninpoistotehokkuuden heikkeneminen, kun puhdistettavan veden uraanipitoisuus on korkea (0,2 mg/l), havaittiin myös Turtiaisen (1999) tutkimuksessa. Kun alusta alkaen kohtalaisesti radonia poistaneen (poistuma 90 %) suodattimen eteen asennettiin uraaninpoistosuodatin ja aktiivihiihi vaihdettiin, parani radoninpoistotehokkuus noin 99 prosenttiin. Seuranta-aineiston rajallisuuden vuoksi uraanin vaikutuksesta ei kuitenkaan voitu tehdä laajempia päätelmiä.

Aktiivihiihisuodatuksessa mahdollinen ongelma on bakteerien kasvu. Bakteeripitoisuuden kasvu riippuu mm. raakaveden bakteeripitoisuudesta, veden ja sijoitustilan lämpötilasta sekä siitä, kuinka pitkiä aikoja vesi seisoo suodattimessa. Suuri merkitys on myös veden orgaanisen aineksen sekä ravinteiden (typpi, fosfori) pitoisuuksilla.

Veden seisottua suodattimessa yön yli bakteeripitoisuuksien on havaittu olevan suurempia kuin iltapäivällä, kun vettä on päivän mittaan käytetty, mutta veden valutus hetken aikaa aamulla riittää usein laskemaan pitoisuudet riittävän

alas. Heterotrofisten bakteerien määrän on havaittu asettuvan tietylle tasolle pitkään käytössä olleissa suodattimissa. Aktiivihüleen lisätty hopea ei välttämättä vähennä bakteeripitoisuuksia suodatetussa vedessä. Bakteerien kasvu ei tavallisesti kuitenkaan tarkoita lisääntyviä terveysongelmia: ratkaisevaa on bakteerien tyyppi. (Reasoner ym. 1987; Regunathan ja Beauman 1987; Rozelle 1987)

Toinen ongelma on, että suodattimesta tulee säteilynlähde, koska pidättyneen radonin hajoamisessa syntyvät aineet (radonin lyhytikäiset hajoamistuotteet) aiheuttavat gammasäteilyä. Suodattimen säteilytason intensiteetti riippuu raakaveden radonpitoisuudesta ja veden päivittäisestä kulutuksesta. Säteily vaimenee nopeasti etäisyyden kasvaessa ja kahden - kolmen metrin etäisyydellä suodattimesta säteily on usein jo taustasäteilyn tasolla. Tarkka etäisyys riippuu alkuperäisestä annosnopeudesta: gammasäteilyn määrä on kääntäen verrannollinen suodattimen ja mittauspaukan välimatkan neliöön. Normaali taustasäteilyn taso Suomessa vaihtelee välillä 0,1 - 0,3  $\mu\text{Sv/h}$ .

Suodattimen aiheuttama säteilyannos on merkityksetön, kun se sijoitetaan paikkaan, missä ei oleskella paljon, esimerkiksi tekniseen tilaan tai kellariin. Suodatin voidaan myös suojata niin, että säteily ei muodostu ongelmaksi. Esimerkiksi kolmen millimetrin lyijysuojauksella saadaan annosnopeudesta teoreettisesti vaimenemaan noin kolmasosa ja viiden millimetrin levyllä noin puolet.

Lyijy on raskasmetalli eikä myrkyllisyytensä vuoksi ole paras mahdollinen suojausmateriaali. Vaihtoehtoisia materiaaleja ovat esimerkiksi betoni, tiilet ja vesi. Säteilyturvakeskuksessa tullaan tekemään ohjeet soveltuvista suojausmenetelmistä. (Turtiainen 1999)

Käytöstä poiston jälkeen kestää noin kolme viikkoa, että suodattimesta tulevan säteilyn aiheuttama annosnopeus on pienentynyt taustasäteilyn tasolle. Tämän hetkisen lainsäädännön mukaan käytöstä poistettua hiiltä voidaan käsitellä tavallisen kaatopaikkajätteen tavoin, kunhan gammasäteilyn on annettu pienentyä riittävän pitkän ajan (10 - 30 vuorokautta).

Mikäli käytetyn aktiivihüleen poistamiseen suodattimesta kuluisi aikaa parikymmentä minuuttia, hiiltä vaihtavan henkilön säteilyannokseksi tulisi korkeintaan 20  $\mu\text{Sv}$ , joka vastaa 0,5 %:a vuotuisesta normaaliannoksesta (3,7 mSv/vuosi). Mikäli vaihto epäilyttää säteilyannoksen takia, hiili voidaan vaihtaa esimerkiksi loman jälkeen, jolloin aktiivihülli on ollut käyttämättä ja sen aiheuttama säteilyannos pienentynyt. Jos vaihtoehtoina on joko vaihtaa aktiivihülli ilman tällaista seisotusaikaa tai käyttää radonpitoista vettä koko seisotusajan ja vaihtaa aktiivihülli vasta tämän jälkeen, on verrattava eri tapauksissa aiheutuvia säteilyannoksia. Radonpitoisen veden käytöstä aiheutuva säteilyannos riippuu mm. raakaveden radonpitoisuudesta, käytetyistä vesimääristä ja tuuletuksesta. Vertailun tekemiseen voi pyytää apua esimerkiksi laitteen toimittaneelta yritykseltä tai Säteilyturvakeskuksesta.

Mikäli aktiivihülli ei ole seissyt käyttämättömänä suodattimessa, poistettu hiili tulisi säilyttää noin kolmen viikon ajan esimerkiksi jätesäkissä sellaisessa paikassa, jossa ei oleskella. Näin käytetystä hiilestä aiheutuva säteily ei aiheuta asukkaille säteilyaltistusta.

### **2.3.3 Aikaisempia kokemuksia radoninpoistolaitteistoista Suomessa**

Ennen radoninpoistotutkimuksen alkamista oli ilmastusta käytetty Suomessa menestyksellisesti radonin poistoon vedestä muutamissa yksityistalouksissa ja joissakin kouluissa. Eräässä yksityistaloudessa oli betonirenkaista rakennetun valekaivon pohjalle asennettu kaksi hienokuplailmastinta ja vesi suihkutettiin valekaivon vedenpinnan yläpuolelta. Kaivossa oli vettä noin 1,5 kuutiometriä ja se riitti kahden talouden vuorokautiseen kulutukseen. Yöaikaan tehdyn puolentois-

ta tunnin mittaisen ilmastuksen aikana radon laski pitoisuudesta 5 500 Bq/l pitoisuuteen 30 Bq/l. Kerran vuodessa kaivo puhdistettiin painepesurin avulla. Ilmastuksen jälkeen vesi suodatettiin raudan poistamiseksi.

Eräällä koululla, jossa hienokuplailmastusta oli käytetty vuodesta 1977, veden radonpitoisuudet putosivat 44 000 Bq/l:stä 200 - 400 Bq/l:iin. Yhdistetyn ilmastus- ja varastoaltaan vesitilavuus oli yhteensä 4,2 kuutiometriä. Ilmastus alkoi aina, kun veden määrä altaassa oli pudonnut 3,6 kuutiometriin ja loppui, kun allas oli jälleen täynnä vettä. Ilmastusaika oli 15 - 20 minuuttia ja ilma-vesi -suhde 20:1 - 30:1.

Aktiivihiihli-suodatusta oli Suomessa aikaisemmin käytetty radonin poistoon yhdessä kotitaloudessa, jossa raakaveden radonpitoisuudeksi mitattiin ennen suodattimen asennusta 32 000 Bq/l. Taloon asennettiin 7,4 litran paineellinen aktiivihiihli-suodatin siten, että kaikki kylmä vesi kulki suodattimen kautta, ja se poistettiin käytöstä hieman yli kolmen vuoden kuluttua asennuksesta. Tuon ajan viisi-henkinen perhe käytti vettä säännöllisesti talousvetenään. Suodattimen yhteydessä ei ollut mitään muuta vedenkäsittelyä, eikä suodatinta huollettu tai hiiltä vaihdettu koko kolmen vuoden aikana. Suodattimen aktiivihiihliin laadusta ei ole tietoa. Huolimatta huomattavan pienestä koostaan suhteessa raakaveden radonpitoisuuteen suodatin poisti radonia heikoimmillaankin 47 %. Ensimmäisen puolen vuoden aikana suodattimen radoninpoistoteho vaihteli välillä 61 - 79 %.

### **2.3.4 Kokemuksia radoninpoistolaitteistoista Ruotsissa (Boox 1995 ja Lindén 1997)**

Svensk Geofysik AB vertaili kesällä 1996 Statens Strålskyddsinstitutin ja Livsmedelsverketin toimeksiannosta Ruotsin markkinoilla olevia radoninpoistolaitteistoja. Vertailussa oli mukana yhdeksän eri ilmastuslaitteita valmistavan yrityksen laitteita sekä yhdeltä yritykseltä aktiivihiihli-suodattimia. Testejä oli tehty kunkin yrityksen laitteille kahdesta viiteen kappaletta. (Lindén 1997)

Testatuista ilmastuslaitteista seitsemän yrityksen laitteiden radoninpoistoteho oli vähintään 90 % yhtä väärin tehtyä asennusta ja yhtä epäonnistunutta säätöä lukuun ottamatta. Näistä kahden yrityksen laitteilla poistoprosentti oli tavallisesti vähintään 98 %. Yhden yrityksen laitteilla testitulokset vaihtelivat välillä 73 - 98 % ja yhdellä 67 - 94 %. Korkeimmat raakaveden radonpitoisuudet olivat 27 340 Bq/l ja 24 500 Bq/l (poistoprosentit vastaavasti 99,7 ja 99,9), muuten raakaveden radonpitoisuudet vaihtelivat välillä 660 - 5 848 Bq/l.

Suurin osa ilmastimista perustui ejektoriin (veden virtauksessa putkeen syntyvä alipaine imee putken sivussa olevasta aukosta ilmaa veden sekaan). Ejektorin lisäksi laitteistoon kuului usein tuuletin ja kahdessa laitteistossa kuplien muodostus. Kaksi laitteista perustui veden suihkutukseen ja niihin oli liitetty myös tuuletin syntyvän radonpitoisen ilman poistamiseksi. Osassa ilmastuslaitteita vedenotto oli mahdollista myös kesken ilmastuksen. Toisissa oli varmistettu, että vesi on aina mahdollisimman radonvapaata, vaikka tämä saattaakin aiheuttaa satunnaisia vesikatkoksia. Yhdessä laitteista veden saanti kesken ilmastuksen oli tehty valinnaiseksi siltä varalta, että tarvitaan suuria vesimääriä esimerkiksi tulipalon sattuessa. Ilmastuslaitteiden hinnat vaihtelivat valmistajasta ja mallista riippuen välillä 9 200 - 18 750 Ruotsin kruunua.

Kolmen paineellisen aktiivihiihli-suodattimen radoninpoistotehot olivat 35 % (raakaveden radonpitoisuus 75 Bq/l), 80 % (raakaveden radonpitoisuus 610 Bq/l) ja 92 % (raakaveden radonpitoisuus 100 Bq/l). Hiiltä oli suodatinta kohden 14 litraa. Lindén (1997) toteaa, että myös radonin tytärtien ja radiumin pitoisuus pienenee suodatuksessa ja epäilee, että ajan mittaan suodattimeen pidähtynyt radium voisi toimia radoninlähteenä.



Aktiivihiihisiuodattimien yhteyteen oli asennettu myös neutralointi-, raudanpoisto- ja mangaaninpoistosuodattimia. Näiden lisäsuodattimien arveltiin osaltaan alentavan veden radonpitoisuutta 10 - 20 %. Aktiivihiihisiuodattimilla oli hyvin pieni vaikutus vedentuottoon. Niillä ei ollut negatiivista vaikutusta veden kemialliseen tai mikrobiologiseen laatuun ja niistä mitattu ulkoinen gammasäteily vaihteli välillä 0,35 - 0,6  $\mu\text{Sv/h}$ . Suodattimien hinta oli 6 000 Ruotsin kruunua.

Lindén (1997) mainitsee eräitä radoninpoistolaitteisiin (lähinnä ilmastimiin) mahdollisesti liittyviä ongelmia:

- Magneetti- ja takaiskuventtiilit saattavat aiheuttaa käyttöhäiriöitä tukkeutuessaan vedessä olevasta kalsiumista, raudasta tai mangaanista.

- Väärin säädetty paine on aiheuttanut veden pumppautumisen suoraan painesäiliöön.

- Mekaaniset uimurit voivat epäkuntoon mennessään aiheuttaa veden vuotamisen yli ilmastimesta, mikäli ilmastimessa ei ole ylivuotosuojaa. On myös vaara, että kaivo tyhjenee ja pumppu vaurioituu.

- Mikäli radonpitoisen ilman poistosta huolehditaan tuulettimella, tuulettimen mennessä epäkuntoon ja jos sitä ei huomata, saattaa sisäilman radonpitoisuus nousta korkeaksi.

- Muutamissa tapauksissa on havaittu, että tuuletuskanavaan kertyy talvisajkaan jäätä, mikä voi nostaa sisäilman radonpitoisuutta. Kosteaa ilmaa saattaa myös kerääntyä huurteeksi talon ulkoseinään.

- Monissa laitteistoissa oli harvinaisen lämpimän kesäkauden aikana veden lämpötila kohonnut jopa 10 astetta. Tämä saattaa johtaa bakteerien lisääntymiseen kasvuun. Lämpimän veden yhteydessä oli myös havaittu muovin makua vedessä.

- Useissa tapauksissa oli huomattu, että elektroniikka ei ollut toiminut oikein sähkökatkoksen sattuessa esimerkiksi ukkosella.

- Monista ilmastimista puuttui ilmansuodatin, jolloin veteen voi ilman mukana päästä likaavia aineita. Tukkeutunut ilmansuodatin puolestaan häiritsee ilmastimen toimintaa.

Statens strålskyddsinstitutin vuonna 1995 julkaisemassa raportissa oli vertailtu, kuinka hyvin eri vedenkäsittelylaitteet poistavat radonia. Tutkittuja laitteita oli useita lähtien hanaan asennettavasta veden virtaaman rajoittimesta aktiivihiihisiuodattimeen sekä raudan- ja mangaaninpoistolaitteista käänteisosmoosilaitteistoon ja radonin poistoa varten suunniteltuihin ilmastimiin. Merkittävästi radonpitoisuus aleni ainoastaan pienessä 195 g aktiivihiihisiuodattimessa (n. 25 - 82 %, lähtöpitoisuus 780 - 4000 Bq/l), tietyn tyyppisessä käänteisosmoosiin perustuvassa laitteistossa (90 - 91%, lähtöpitoisuus 111 - 260 Bq/l) sekä radonin poistoon suunnitellussa ilmastimessa (23 - 92% lähtöpitoisuus 570 - 4200 Bq/l). (Boox 1995)

# 3

## Kehitetyt ja testatut laitteistot, tutkimusmenetelmät

### 3.1. Ilmastus

Tutkimuksessa mukana olleet yritykset - Oy Wat Man Ab (Saukkola), Insinööri-toimisto Vartiainen Oy (Raisio) ja Overcraft Oy (Helsinki) - ovat kukin kehittäneet oman ilmastuslaitteistonsa radonin poistoa varten. Seuraavissa kappaleissa nämä laitteet ja niiden toimintaperiaatteet on esitelty yrityskohtaisesti. Yhteenveto eri kohteisiin (AI - MI) asennetuista ilmastuslaitteista on taulukossa 1.

Ilmastuslaitteisto käsittää itse vesisäiliön, jossa ilmastus tapahtuu, sekä laitteiston toimintaa ohjaavan automatiikan. Raakavesi pumpataan joko suoraan tai painesäiliön kautta ilmastimeen. Laitteistoon voidaan asentaa myös ohitus, jolloin raakavesi voidaan pumpata ilmastimen ohi suoraan käyttöön.

Ilmastimet toimivat lähellä normaali-ilmanpainetta, joten niiden jälkeen tarvitaan paineenkorotus veden johtamiseksi verkostoon. Osassa ilmastimia paineenkorotuspumpun jälkeen on painesäiliö, joka tällöin toimii samalla puhdistetun veden varastosäilönä. Ilmastussäiliöön kerääntyvä radonpitoinen ilma johdetaan putkea pitkin ulos. Poistoa voidaan tehostaa puhaltimella.

Laitteistojen yhteyteen voidaan asentaa muita suodattimia esimerkiksi uraani-, raudan- tai mangaaninpoistoa varten.

Taulukko 1. Yhteenveto eri kohteisiin asennetuista ilmastuslaitteista

Kohde	Ilmastintyyppi	Ilmastussäiliön tilavuus L	huom.
AI	RF150	150	kiintoainesuodatin (0,01 mm) ilmastuksen jälkeen
BI*	RF225	170	kiintoainesuodatin (0,01 mm) ennen ilmastusta
CI	RF150	150	anioninvaihdin (11 litraa) ilmastuksen jälkeen
DI	RnAI 300	225	
EI	Orwa-ilmastin	250	anioninvaihdin (11 litraa) ilmastuksen jälkeen
FI	Orwa-ilmastin	250	
GI	Orwa-ilmastin	150	anioninvaihdin ilmastuksen jälkeen
HI**	Orwa-ilmastin	3 000	anionin- ja kationinvaihto ennen ilmastusta, molemmat 200 l
II	Radox	700	ei painesäiliötä, ohitusmahdollisuus
JI	Radox	300	aktiivihilikangas suodattaa ilman, valekaivo, esisuodatus
KI	Radox	300	anioninvaihdin ilmastuksen jälkeen
LI			Radox-ilmastimen prototyypin testauspaikka
MI			Hydro-Cat Oy:n ilmastimen prototyypin testauspaikka

\* Laitoskohde, veden kulutus 10 m<sup>3</sup> vuorokaudessa. Ilmastimesta vesi siirretään varastosäiliöihin, joista se pumpataan painesäiliön kautta verkostoon.

\*\* Vesilaitos, veden kulutus keskimäärin 70 m<sup>3</sup> vuorokaudessa.

### 3.1.1 Oy Wat Man Ab:n ilmastimet

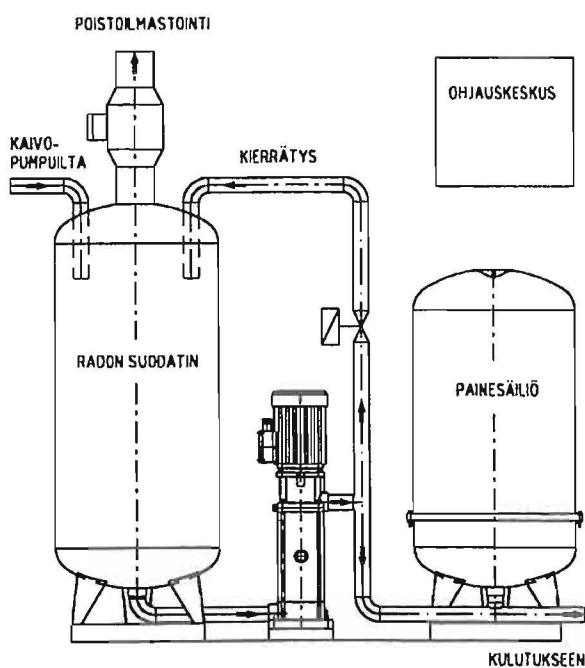
Oy Wat Man Ab on kehittänyt kaksi hieman eri tyyppistä ilmastuslaitteistoa. Ensimmäinen laitemalli (RF, "radonsuodatin") on kehitetty alunperin ruotsalaiseen patentiin perustuvasta ilmastimesta. Laitteistoa on edelleen kehitetty yhteistyössä ruotsalaisyhtiön kanssa ja laitteiston radoninpoistotehokkuus on parantunut huomattavasti. Laitteistossa muodostuu veteen suuri määrä mikrokokoisia ilmakuplia. Radonpitoisen ilman poistamista säiliöstä tehostetaan puhaltimella. (Kuva 1)

RF-laitteiston tilavuus on laitetypistä riippuen 65 - 225 litraa. Säiliö on valmistettu ruostumattomasta teräksestä, kuumasinkitystä teräksestä tai muovista. Itse laitteiston tilantarve on alle 1 m<sup>2</sup>, lisäksi tarvitaan tilaa painesäiliölle tai varastosäiliölle.

Laitteiston mukana oleva sähköohjauskeskus huolehtii koko vesihuoltojärjestelmästä täysin automaattisesti. Kaivopumpun käyntiä ohjaa säiliössä oleva pintakytkin ja kierrätys- ja paineenkorotuspumppua ohjaa painesäiliön painekytkin.

Veden käsittelyaikaa voidaan säätää välillä 1 - 12 min. Käsittelyajan pituus määritellään raakaveden radonpitoisuuden ja kierrätyspumppun tehon mukaan. Laitteen vedentuotto on koosta ja radonpitoisuudesta riippuen 15 - 40 l/min.

RF-laitteistossa on pyritty varmistamaan, että osittain käsitelty vesi ei pääse kulutukseen. Tällöin painesäiliö tai varastosäiliö tulee mitoittaa maksimikulutuksen mukaan veden riittävyuden takaamiseksi. Myöskin kierrätysajan lyhentämisellä saadaan käsiteltyä vettä jatkuvasti käyttöön, mutta tällöin radoninpoistotehokkuus heikkenee.



Kuva 1. Kaavakuva ilmastimesta RF 150. Laitteisto koostuu ilmastussäiliöstä ("radonsuodatin"), veden kierrätyksestä pumpun avulla, radonpitoisen ilman poistosta puhaltimen avulla (poistoilmastointi) ja ohjauskeskuksesta. Ilmastukseen käytettävä ilma tulee laitteistoon ilmastussäiliön sivussa olevasta aukosta sekä ejektorien läpi, jotka sijaitsevat kaivopumpulta ja kierrätyksestä tulevissa putkissa.

Laitteisto asennetaan heti kaivopumpun jälkeen ennen painesäiliötä ja asennus tehdään yksityiskohtaisten asennusohjeiden mukaan. Laitteisto tulisi asentaa tekniseen tilaan, jossa huoneen lämpötilan tulisi olla noin 3 - 10 °C.

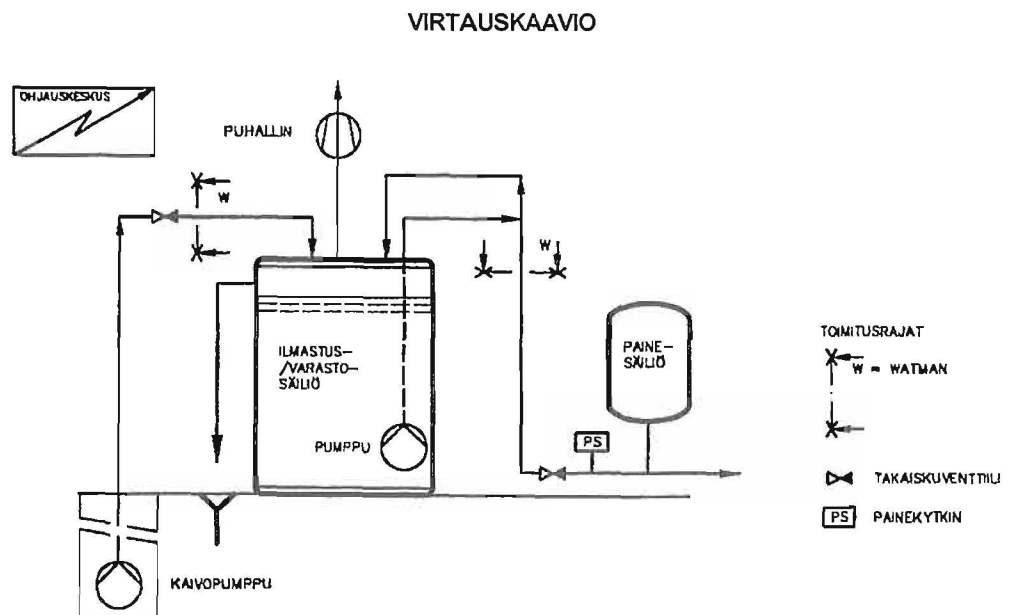
Laitteistossa ei ole vakiona veden ohitusta, joten esimerkiksi auton pesua tai nurmikon kastelua varten on asennettava erillinen veden otto kaivosta, mikäli käsiteltävä vettä ei haluta käyttää näihin tarkoituksiin. Erillinen veden otto voidaan toteuttaa ennen ilmastinta asennettavalla pienellä painesäiliöllä, magneettiventtiilillä ja painemittarilla. Toinen vaihtoehto on asettaa laitteen ilmastusajaksi 0 min, jolloin vettä saadaan katkoksitta.

Oy Wat Man Ab:n toinen ilmastuslaite (laitemalli RnAI) on jatkokehitetty edellisestä saatujen käyttökokemusten ja tutkimustulosten perusteella. Säiliön tilavuutta on lisätty, jolloin veden riittävyys ei ole ongelma jatkuvassakaan kuluksessa. Vesi varastoidaan paineettomaan ilmastussäiliöön, jolloin talon olemassaolevaa painesäiliötä ei tarvitse suurentaa. Asennus voidaan tehdä muutamassa tunnissa, koska kaikki laitteistoon liittyvät osat on tehtaalla asennettu ja koetet- tu laitteiston yhteyteen. (Kuva 2)

Laitemalli RnAI on RF-mallia hiljaisempi, koska kierrätys-/paineenkorotuspumppuna käytetään uppopumppua. Laitteesta voidaan ottaa vettä ilmastuksen aikana.

Laitteen ilmastussäiliön tilavuus on 300 - 500 litraa ja tilantarve alle 1 m<sup>3</sup>. Säiliö on valmistettu muovista. Veden käsittelyaikaa voidaan muuttaa välillä 1 - 12 min. Käsittelyajan pituus määritellään raakaveden radonpitoisuuden ja kierrätyspumppun tehon mukaan. Laitteen tuotto on koosta ja radonpitoisuudesta riippuen 15 - 40 l/min.

Laitteistojen hinnat täysin automaattisina paineenkorotuspumpulla, puhaltimella ja sähköohjauskeskuksella varustettuina ovat koosta riippuen mallilla RF 13 115 - 14 488 mk ja mallilla RnAI 11 150 - 11 956 mk (hintatiedot ovat kesäkuulta 1998 ja sisältävät arvonlisäveron). Molempien laitteistojen käyttökustannukset muodostuvat sähkön käytöstä, mahdollisista huoltotoimenpiteistä sekä veden laadun seurannasta.



Kuva 2. Kaavakuva ilmastimesta RnAI

### 3.1.2. Insinööri-toimisto Vartiainen Oy:n ilmastin

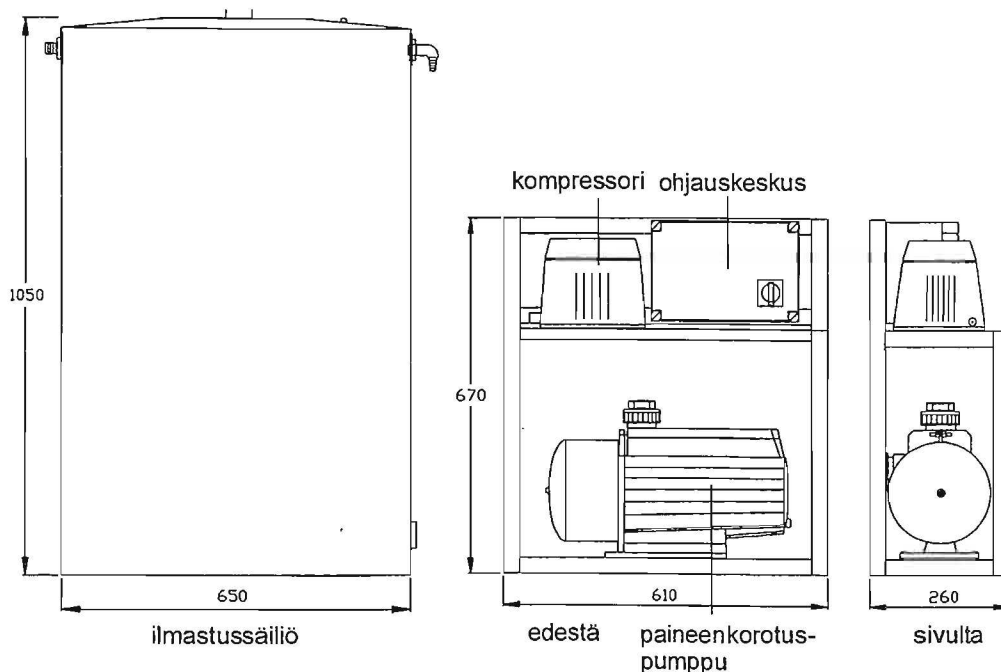
Insinööri-toimisto Vartiainen Oy:n kehittämä ORWA-ilmastin perustuu hienokuplailmastukseen ilmastussäiliön pohjalla olevan ilmastimen kautta. Ilmastusprosessia tehostetaan suihkuttamalla tuleva vesi veden pinnalle spray-suuttimilla. Ilmastusajan pituus voidaan säätää portaattomasti ja ilman syöttö ilmastimeen aloitetaan samanaikaisesti täytön kanssa, jolloin ilmastukseen tarvittavaa aikaa saadaan lyhennettyä. Ilmastimeen syntyvän pienen ylipaineen ansiosta radonpitoinen ilma poistuu poistoletkua pitkin ulkoilmaan. (Kuva 3)

Ilman tuottaa kompressori, jossa on vakiona ilmansuodatin, joka poistaa siitepölyhiukkasten kokoiset partikkelit ilmasta. Kompressoriin voidaan vaihtaa aktiivihiihluosodatin, joka suodattaa myös ilmassa olevia kaasumaisia aineita, kuten pakokaasuja. Aktiivihiihluosodatin täytyy pienuutensa vuoksi vaihtaa usein.

Ilmastin asennetaan kiinteistön vesijärjestelmään painevesisäiliön jälkeen, joten paineenkorotukseen käytetään pelkkää paineenkorotuspumppua. Ilmastimen ohjauskeskus ohjaa ilmastimen kaikkia toimintoja eli säiliön täyttöä, ilmastusta, kaivopumppua ja paineenkorotuspumppua. Automatiikka takaa tasapaineisen vedensyötön verkostoon kaikissa vedenkäyttöolosuhteissa. Verkkoon syötettävän veden paine on vapaasti valittavissa välillä 1,5 - 5 bar.

Kotitalouksiin myytyjen laitteiden PE-muovisten ilmastussäiliöiden tilavuudet ovat olleet 200 - 300 litraa, josta vesitilavuutta on 150 - 250 litraa. Ilmastimen tuotto on 35 l/min normaalikäytössä. Yrityksen kunnalliselle vesilaitokselle (kohde HII) toimittaman ilmastimen tilavuus on 3 000 litraa, josta vesitilavuutta on noin 2 500 litraa. Tämän ilmastimen tuotto on 70 m<sup>3</sup>/d.

Koska ilmastin asennetaan painesäiliön jälkeen, se voidaan helposti ohittaa, jos vettä tarvitaan runsaasti esimerkiksi auton pesuun tai nurmikon kasteluun. Ohituksen ajanakin ilmastin tuottaa säiliöön valmista vettä, joka on käytössä heti, kun ohitus käännetään pois päältä. Laitteistosta voidaan ottaa vettä myös ilmastuksen aikana, joten vesikatkoksia ei ilmene, mutta tällöin veden radonpitoisuus voi olla tavoitetasoa korkeampi.



Kuva 3. Kaavakuva ORWA RA 300/35 -ilmastimesta.

Ilmastin vaatii lattiapinta-alaa noin 1,5 m<sup>2</sup> ja korkeutta noin 1,3 m. Asennustilan optimilämpötila on 3 - 10 °C. Tilassa on oltava lattiakaivo, sähköpistorasia sekä valmius radonpitoisen poistoilman ulosjohtamista varten. Asennuksen voi tehdä joko valmistaja tai paikallinen putkiliike ilmastimen mukana tulevien asennusohjeiden mukaan.

Ilmastimien yhteyteen on asennettu ioninvaihtimet kohteissa EI, GI ja HI. Kohteessa GI ioninvaihdin on asennettu ilmastimen jälkeen kiinteistön runkolinjaan ja kohteessa EI ioninvaihtimen kautta suodattuu vain keittiössä käytetty kylmävesi. Kohteeseen HI on asennettu erilliset kationin- ja anioninvaihtimet ennen ilmastinta.

Ilmastimen sähkönsuojaluokka on IP54 ja sen melutaso on alhainen. Ilmastimelle on myönnetty Avainlippu-merkki: sen kotimaisuusaste ylittää selvästi vaaditun rajan.

Yksityistalouksille tarkoitettujen ilmastimien hinnat alkavat 13 600 mk:sta (hintatieto tammikuulta 1999, sisältää arvonnäisäveron). Laitosilmastimet suunnitellaan tapauskohtaisesti, jolloin niiden hinnat määräytyvät tarvittavan tuoton ja vallitsevien olosuhteiden mukaan. Laitteiston käyttökustannukset muodostuvat sähkön käytöstä, mahdollisista huoltotoimenpiteistä sekä veden laadun seurannasta.

### 3.1.3 Overcraft Oy:n ilmastin

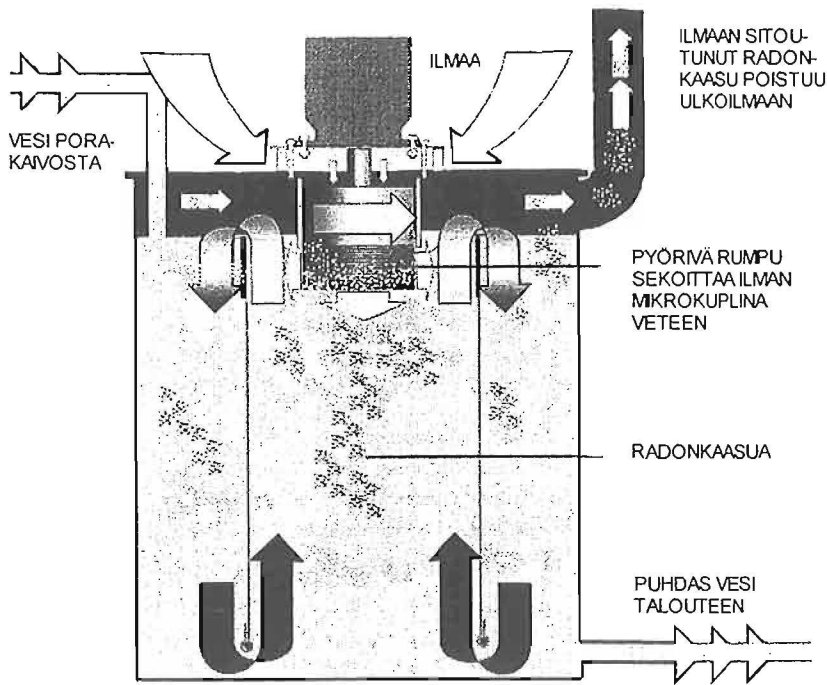
Overcraft Oy aloitti ilmastuslaitteistonsa (kauppanimi Radox) kehittämisen vuonna 1995. Laite perustuu keksintöön, jossa ilmakuplat muodostuvat, kun ilma kulkee vedessä olevan pienireikäisen, pyörivän sylinterin läpi. Ilman työntymisen sylinterin läpi perustuu pyörimisliikkeen aiheuttamaan paine-eroon sylinterin sisä- ja ulkopinnan välillä. Sylinterin pyörimisliike vedessä saa aikaan läpi kulkevan ilman leikkautumisen pieniksi ilmakupliksi. Sylinteri sijaitsee vesisäiliön yläosassa ja 1,5 kW:n sähkömoottori pyörittää sitä akselin välityksellä. Sylinterin ympärillä olevat ohjaussiivekkeet sekä sylinteristä alaspäin lähtevä nousuputki muuttavat veden vaakasuoran pyörimisliikkeen pystysuoraksi ja sen jälkeen säteittäiseksi, joten koko käsiteltävä vesimassa kiertää tehokkaasti kuplien muodostumisalueen kautta. Sisääntuleva puhdas ilma ja radonpitoinen poistoilma erotetaan toisistaan vesilukolla. (Kuva 4)

Radonpitoinen poistoilma johdetaan ulos halkaisijaltaan 110 mm:n putken kautta. Kuplien muodostumisprosessissa syntyvä ilmanpaine riittää tehokkaaseen ilman poistumiseen eikä erillistä tuuletinta tarvita. Prototyypin testausvaiheessa kokeiltiin myös kaksinkertaista ilmanpoistoaukkoa.

Ilmastukseen tuleva ilma kulkee aktiivihiihisiuodatinkankaan läpi, joka poistaa siitepölyn ja muut vastaavan kokoiset partikkelit sekä pidättää mm. pakokaasuja.

Itse ilmastinosa, joka käsittää moottorin, sylinterin, ohjaussiivekkeet ja nousuputken, voidaan asentaa eri kokosiin ilmastussäiliöihin. Prototyyppiä testattiin kahdella eri säiliöllä: suuremman tilavuus oli 700 litraa (vesitilavuus n. 690 l) ja korkeus 68 cm, pienemmän tilavuus 300 litraa (vesitilavuus n. 290 l) ja korkeus 68 cm. Kotitalouksiin myytyjen ilmastinten säiliökoot ovat olleet samat 700 ja 300 l.

Tehokkainta ilmastinosan kokoonpanoa etsittäessä testattiin sylintereitä, joiden reikäkoko vaihteli 0,5 mm:stä 1,0 mm:iin. Tässä tarkoituksessa testattiin myös kolmea eri ohjaussiiveketyppiä.



Kuva 4. Kaavakuva Radox-ilmastimesta

Prototyypin tehokkuus ja erot eri kokoonpanojen välillä saatiin selville, kun ilmastuksen aikana tietyn väliajoin otettiin radonnäytteitä ilmastettavasta vedestä. Näytteet otettiin pipetillä ilmastussäiliön yläosassa olevan pienen aukon kautta. Kotitalouksiin myytyjen laitteiden tehokkuus on saatu selville ottamalla ilmastetun veden radonnäyte hanasta. Myytyjen laitteiden kokoonpano ja ilmastusaika on suunniteltu prototyypin testauksista saatujen tulosten pohjalta.

Ilmastimen ilmantuottoa veteen tutkittiin Teknillisen korkeakoulun Aerodynaamikan laboratoriossa Overcraft Oy:n toimeksiannosta (Kilpeläinen 1997). Teknillisen korkeakoulun tutkimuksessa käytettiin ensimmäistä prototyyppiä, jonka säiliön tilavuus oli 550 litraa ja korkeus 125 cm. Sylinterin reikäkokojen ollessa 0,5, 0,7 ja 1 mm vastaavat keskimääräiset ilman tilavuusvirrat pois suodattimesta olivat 1 140 l/min, 1 284 l/min ja 1 535 l/min. Poistoputken halkaisija oli 104 mm.

Laitteiston täydellisin kokoonpano käsittää 700 litran varastosäiliön, jonka päällä on 300 litran ilmastussäiliö. Ilmastuksen jälkeen vesi päästetään varastosäiliöön, erillistä pumppua ei tarvita. Varastosäiliönä voidaan käyttää myös ulos maahan upotettua valekaivoa. Suuri varastosäiliö takaa useimmiten riittävän viipymän ilmastuksen ja veden käyttöhetken välille, jotta radonin lyhytikäiset hajoamistuotteet ehtivät vähentyä riittävästi.

Ilmastussäiliön täyttämistä, ilmastuksen alkamista, ilmastusaikaa ja varastosäiliön täyttämistä säätelee automatiikka, mutta haluttaessa laite toimii myös käsikäyttöisenä ilman automatiikkaa.

Täydellistä laitekokoonpanoa voidaan yksinkertaistaa esimerkiksi käyttämällä sekä ilmastus- että varastosäiliönä yhtä suurta 700 litran säiliötä. Tällöin ilmastus tulee ajoittaa sellaiseen hetkeen, jolloin vettä ei tarvita (yleensä aamuyöstä) ja saadaan ilmastuksen ja veden käytön välille riittävä viipymä. Laitetta toimitetaan myös ilman säiliötä, jolloin se voidaan yhdistää asiakkaan omaan säiliöön (jolle asetetaan tietyt mittarajat). Suurin laitekokoonpano tarvitsee asennusta varten

lattiapinta-alaa yhteensä noin 1,5 neliometriä ja korkeutta 168 cm. Laite on asennettava vaakasuoralle alustalle ja asennustilan on oltava mahdollisimman viileä. Laitteisto ei kuitenkaan saa jäätyä.

Laite säiliöineen on rakennettu haponkestävästä teräksestä ja elintarvikekel- poisesta mustasta muovista. Ilmastimeen voidaan helposti asentaa veden ohitus esimerkiksi auton pesua tai nurmikon kastelua varten. Ilmastuksen aikana ilmas- tussäiliöstä ei voida ottaa vettä. Ilmastimen ilmastusaika voidaan säätää portaat- tomasti.

Kohteissa II ja KI vesi pumpataan ilmastimesta suoraan verkostoon ilman välissä olevaa painesäiliötä. Myöskään kohteessa JI ei ilmastuksen jälkeen ole pai- nesäiliötä, vaan ilmastussäiliöstä vesi johdetaan vakekaivoon. Vesi voitaisiin pum- pata myös painesäiliöön, jolloin veden riittävyys kulutushuippujen aikana riippuu painesäiliön koosta. Kohteessa KI laitteiston jälkeen on kytketty anioninvaihto- suodatin uraanin poistoa varten.

Lukuun ottamatta moottorin laakereita ja magneettiventtiilejä laitteessa ei ole kuluvia osia, joten se vaatii vain vähän huoltoa. Laitteen puhdistustarpeesta ei tosin ole vielä kokemusta: esimerkiksi säiliön pohjalle mahdollisesti kerääntyvä rautasakka täytyy poistaa riittävän usein. Yritys on testannut laitteen automatiikan siten, että yhtäjaksoinen käyttö vastaa noin viiden ja puolen vuoden normaali- käyttöä. Koneistolle ja säiliölle annettava takuu on viisi vuotta, moottorille ja automatiikalle yksi vuosi. Laite on patentoitu ja sille on haussa CE-merkintä.

Ilmastuslaitteen asennus hoidetaan tavallisesti putkiliikkeen kautta, jolle an- netaan asennusohjeet, mutta asennuksen voi tehdä myös itse. Laitteen hinta ilman automatiikkaa ja yhdellä säiliöllä on noin 12 200 mk. Automaation hinta on noin 4 300 mk ja paineenkorotuspumpun hinta säätimineen 1 200 - 3 100 mk. Hintatiedot ovat huhtikuulta 1998 ja sisältävät arvonlisäveron. Laitteiston käyttökustannuk- set muodostuvat sähkön käytöstä, mahdollisista huoltotoimenpiteistä sekä veden laadun seurannasta.

### **3.1.4. Muut testatut laitteistot**

Testasimme prototyyppiä Hydro-Cat Oy:n kehittämästä ilmastuslaitteesta. Laite perustuu ns. vispilään, joka pyörii veden alla vesisäiliön yläosassa: vispilän pyöri- minen muodostaa veteen ilmakuplia, joiden koko on arviolta 0,1 - 6 mm. Vispilää pyörittää 0,75 kW:n moottori.

Laitteen radoninpoistotehokkuutta testattiin 410 litran vesisäiliöllä, jonka korkeus oli 100 cm. Säiliö täytettiin puutarhaletkun avulla siten, että siinä oli vettä 355 litraa. Raakaveden radonnäyte otettiin suoraan ilmastussäiliöstä, kun säiliö oli täynnä. Radonpitoisuuden vähenemistä ilmastuksen aikana seurattiin ottamalla vedestä radonnäytteitä eri aikoina eri syvyyksiltä. Muodostuva radonpitoinen ilma poistui säiliöstä paitsi kannessa olevan halkaisijaltaan 16 cm aukon kautta, myös tiivistämättömän kannen reunojen kautta.

## **3.2. Aktiivihiihliisuodatus**

Aktiivihiihliisuodatuksen tutkimus jakautui kahteen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa kohteessa AS selvitettiin tehokkaat aktiivihiihlytys tyypit (vertailtiin yhteensä viittä eri aktiivihiihlytys typpiä) ja mitoitus. Toisessa vaiheessa aktiivihiihliisuodattimia asennettiin kotitalouksiin (koekohteet BS - GS). Koekohteet ja laitteistot näkyvät taulukossa 2.



Taulukko 2. Asennetut aktiivihiihluodattimet. Kohteessa AS hiilten 2 ja 3 toimintaa seurattiin kahdeksan viikkoa, hiilen 4 toimintaa viisi ja puoli viikkoa, hiilen 5 toimintaa neljätoista viikkoa ja hiilen 6 toimintaa kahdeksan ja puoli viikkoa.

Kohde	Laitteisto	Aktiivihiihluen määrä L	Hiilityyppi	huom.
AS	ORWA ACR	14	2, 3, 4, 5, 6	eri aktiivihiihluatujen testauskohde
BS	RnAH	40*	2	huuhtelumahdollisuus, esisuodatus, ei ohitusta
CS	ORWA ACR	39	2	ohitusmahdollisuus
DS	ORWA ACR	39	2**	ohitusmahdollisuus
ES	ORWA ACR	39	2	ei ohitusta, ei raakaveden saantimahdollisuutta
FS	ORWA ACR	63	2***	loma-asunto, ohitusmahdollisuus
GS	RnAH	40*	2	loma-asunto, huuhtelumahdollisuus, esisuodatus, ei ohitusta

\* Suodatinsäiliön tilavuus 60 litraa

\*\* Suodattimessa on 26 litraa hiiltä 2 ja 13 litraa Bang & Bonsomerin toimittamaa erästä toista hiiltä.

\*\*\* Suodattimessa on 50 litraa hiiltä 2 ja 13 litraa Bang & Bonsomerin toimittamaa erästä toista hiiltä.

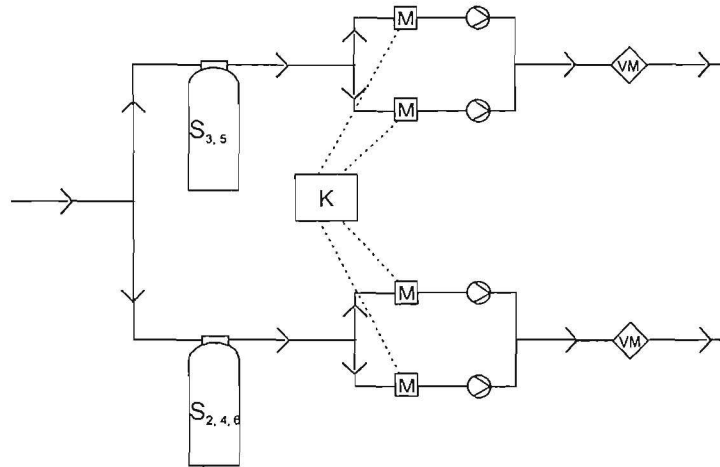
Ensimmäisessä vaiheessa kohteeseen AS asennettiin kaksi 14 litran paineelista aktiivihiihluodattinta niin, että niihin molempiin tuli samaa raakavettä. Suodatettu vesi johdettiin viemäriin. Suodattimena käytettiin Insinööri-toimisto Vartiainen Oy:n toimittamia ORWA ACR -painesuodattimia. Suodattimet jouduttiin asentamaan siten, että raakavesi kulki ensin hyvin heikkotehoisen radoninpoistolaitteen (ilmastin) läpi, ja tämän vuoksi suodattimiin tulevan raakaveden pitoisuus vaihteli paljon. Ilmastin oli asennettu kohteeseen jo aiemmin tutkimuksen ulkopuolisen yrityksen toimesta. (Kuva 5)

Aikaisemman tietämyksen perusteella arvioimme, että 14 litran koesuodattimet ovat kooltaan noin puolet siitä, mikä todellisten kotitalouskäyttöön tulevien suodattimien koko voisi olla. Tämän vuoksi kokeiden keskimääräiseksi vuorokautiseksi vedenkulutukseksi valittiin noin puolet arvioidusta todellisesta kulutuksesta. Haja-asutusalueiden kotitalouksien keskimääräiseksi vedenkulutukseksi on valtakunnallisessa kaivovesitutkimuksessa arvioitu 0,5 m<sup>3</sup>/d (Korkka-Niemi ym. 1993). Virtaaman säätelyllä jäljiteltiin todellista kotitalouden veden käyttöä (kuva 6).

Lopulliset virtaamat ja kokonaisvesimäärät määräytyivät lähinnä käytännön seikkojen sanelemina sellaisiksi, että virtaama yhden suodattimen läpi oli 4 l/min, 2 l/min tai ei virtaamaa ollenkaan, yhteensä 280 litraa vuorokaudessa. Virtausta suodattimiin säädeltiin kellokytkimillä ja ne oli ajastettu siten, että suodattimiin ei tullut vettä yhtä aikaa.

Kohteen AS suodattimissa testattiin eri aktiivihiihluiladut (hiilityypit 2 - 6). Ensin tutkittiin yhtä aikaa hiililadut 2 ja 3, sitten hiilet 4 ja 5. Koe hiilelle 4 keskeytettiin hiilen huonon tehokkuuden takia. Tilalle vaihdettiin hiili 6, jonka toimintaa tutkittiin vielä yhtä aikaa hiilen 5 kanssa.

Aktiivihiihluityyppi 2 valittiin mukaan tutkimukseen, koska se oli osoittautunut perustutkimuksessa radoninpoistoteholtaan parhaaksi (Myllymäki 1996). Hiilten 3 ja 5 valinta perustui Lowryn ja Lowryn (1987) tutkimuksiin, joissa nämä kaksi hiiltä olivat tehokkaimmat. Tosin saamamme hiili 3 oli raekooltaan astetta pienempää kuin Lowryn ja Lowryn tutkimuksissa. Hiili 5:n tuottaja ja hiilen nimi oli vaihtunut, mutta todennäköisesti hiili on samaa tai ainakin hyvin lähellä sitä hiiltä, jota Lowryt olivat tutkineet. Hiilet 4 ja 6 saimme mukaan tutkimukseen, kun pyysimme aktiivihiihluen toimittajaa toimittamaan keskustelujen pohjalta sellaista hiililadua, jonka tämä arvelisi olevan tehokasta radonin poistossa. (Taulukko 3)



$S_{2,4,6}$  = 14 litran paineellinen aktiivihiiisuodatin, jossa testattiin hiilet 2, 4 ja 6

$S_{3,5}$  = 14 litran paineellinen aktiivihiiisuodatin, jossa testattiin hiilet 3 ja 5

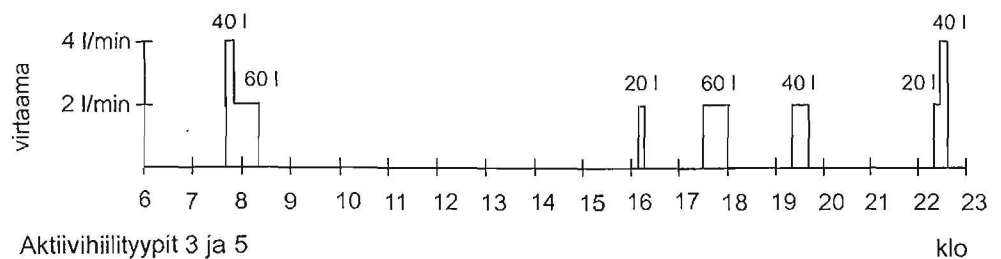
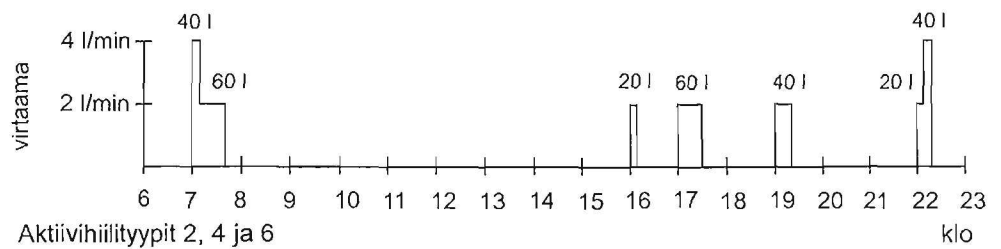
**K** = kellokytkin

**M** = kellokytkimellä ohjattu magneettiventtiili

 = venttiili, jolla letkussa kulkevan veden maksimivirtaama säädettiin 2 l/min:een

**VM** = virtaamamittari

Kuva 5. Kohteen AS koejärjestelyt. Suodattimien läpi kulkevan veden virtaamaa säädettiin kellokytkimen ja venttiilien avulla. Magneettiventtiilin ollessa auki sen läpi virtasi vettä nopeudella 2 l/min. Samaan suodattimeen kytkettyjen kahden magneettiventtiilin ollessa auki yhtä aikaa suodattimen läpi kulkevan veden virtaama oli 4 l/min.



Kuva 6. Virtaamien vaihtelu vuorokauden aikana. Virtaama yhteen suodattimeen oli yhteensä 280 litraa vuorokaudessa.

Taulukko 3. Testattujen aktiivihiihtyyppien toimittajat

Aktiivihiihi	Toimittaja
2	F.A.W Jacobi Ab
3	Bang & Bonsomer Oy
4	B. Jacobssons Emballage & Kemikalie AB
5	Sutcliffe Speakman Carbons Ltd
6	B. Jacobssons Emballage & Kemikalie AB

Kokeiden aikana suodattimista otettiin vesinäytteet radonanalyysiä varten kaksi kertaa viikossa. Näytteet otettiin sekä tulevasta vedestä että suodatetusta vedestä. Näytteet otettiin siten, että ensimmäiset kolme näytettä (tulevan veden näyte ja näyte molemmista suodattimista) otettiin ilman, että vettä valutettiin suodattimista tai tulevaa vettä juoksutettiin. Vain letkut tyhjennettiin seisoneesta vedestä. Toiset kolme näytettä otettiin sitten, kun molemmista suodattimista oli juoksutettu vettä läpi tavallisesti neljäkymmentä litraa.

Radonpitoisuuden lisäksi sekä tulevasta että suodatetusta vedestä seurattiin muiden veden laatuominaisuuksien muuttumista (liite 3). Näytteet otettiin juoksutetusta vedestä.

Aktiivihiihtisuodatuksen tutkimuksen toisessa vaiheessa Insinööritoimisto Vartiainen Oy (ORWA ACR -suodattimet) ja Oy Wat Man Ab (mallit RnH ja RnAH) asensivat kotitalouksiin yhteensä kuusi sellaista aktiivihiihtisuodatinta, joiden toiminta on tutkimuksen aikana tarkistettu hakemalla niistä vesinäytteet yhdestä kolmeen kertaan (kohteet BS - GS, taulukko 2). Säteilyturvakeskus jatkaa näiden ja muutamien muiden suodattimien seurantaa pidemmällä aikavälillä. Asennuskohteiden raakaveden ja suodatetun veden laatu näkyy liitteessä 4. Ennen näytteiden ottoa vettä valutettiin niin pitkään, että suodattimen vesi vaihtui: esimerkiksi 39 litran suodattimen kyseessä ollessa vähintään 40 litraa.

Asennettujen suodattimien koot mitoitettiin tutkimuksen ensimmäisen vaiheen tulosten perusteella, kun tiedettiin kotitalouksien päivittäinen veden kokonais- ja huippukulutus. Käytetty aktiivihiihtilaatu on valittu ensimmäisessä vaiheessa parhaiksi osoittautuneista hiilityypeistä, kun huomioon on otettu hiilen saatavuus ja hinta.

Aktiivihiihtisuodattimet asennettiin vesilinjaan painesäiliön jälkeen, joten ylimääräistä paineenkorotusta tai varastosäiliötä ei tarvittu. Vesilinjaan ennen aktiivihiihtisuodatinta asennettiin kahteen kohteeseen kiintoainesuodatin raakavedessä olevan raudan, saven, humuksen ym. partikkeleiden poistamiseksi ja näissä kohteissa aktiivihiihtisuodattimet on varustettu myös huuhtelulaitteistolla. Puolet suodattimista varustettiin ohituksella esimerkiksi aktiivihiihtien vaihdon aikaisen veden saannin varmistamiseksi.

ORWA ACR -painesäiliöt on valmistettu korkealuokkaisista lujitemuoveista ja ne on vahvistettu lasikuituseoksella. Säiliöiden rakennepaine on 10 bar ja toimintapaine 2 - 6 bar. Käsiteltävän veden paineen tulee olla vähintään 2 bar. Vakio-suodattimien koko vaihtelee välillä 11 - 104 litraa ja tuotto vaihtelee suodattimen koosta riippuen välillä 6 - 29 l/min. Suurempia suodattimia toimitetaan tilauksesta ja suodattimet voidaan varustaa myös vastavirtahuuhteluautomatiikalla. Automaattisella huuhteluventiilillä varustettujen suodattimien (ORWA AAC) tuotto on 16 - 100 l/min. Suodattimet valmistetaan Suomessa.

RnH ja RnAH -painesäiliöt on valmistettu lasikuituvahvistetusta muovista. Säiliön koko vaihtelee välillä 44 - 65 litraa. RnAH -suodattimet ovat muuten samanlaisia kuin RnH-suodattimet, mutta ne on varustettu automaattipesuventiilillä. RnAH-suodattimiin jätetään noin yksi kolmasosa tyhjää tilaa hiilen huuhtelua varten. Suodattimen koosta riippuen veden tuotto vaihtelee välillä 15 - 60 l/min.

Aktiivihiiisuodattimien hinnat vaihtelevat koosta ja laitekoonpanosta riippuen. ORWA ACR -suodattimien hinnat vaihtelevat välillä 2 380 - 6 720 mk ja ORWA AAC-suodattimien hinnat välillä 7 850 - 25 600 mk. RnH -suodattimien hinnat vaihtelevat välillä 3 450 - 8 540 mk ja automaattipesuventtiilillä varustettujen RnAH-suodattimien hinnat ovat välillä 9 800 - 13 770 mk. Hintatiedot ovat tammikuulta 1999 ja sisältävät arvonlisäveron. Suodattimien käyttökustannukset muodostuvat aktiivihiiilen vaihdoista sekä muista mahdollisista huoltotoimenpiteistä sekä veden laadun seurannasta.

### 3.3 Laboratorioanalyysit ja näytteenotto

Vesinäytteiden radonpitoisuudet määritettiin nestetuikelaskennalla Säteilyturvakuskuksen luonnonsäteilylaboratoriossa. Nestetuikelaskennassa vesinäyte (10 ml) siirretään lasiseen nestetuikepulloon, johon on etukäteen lisätty nestetuikeliuosta. Mittauksessa käytettiin kahta eri nestetuikelaskuria: Kesäkuuhun 1997 mennessä tehdyt radonmääritykset tehtiin LKB Wallacin Ultrobeta 1210 laskurilla (määritysraja 0,6 Bq/l, kun mittausaika on yksi tunti) ja tämän jälkeen käytettiin Wallacin Guardian 1414 laskuria (määritysraja 0,2 Bq/l) (Salonen ja Hukkanen 1997). Radonmäärityksen statistinen virhe on molemmilla laskureilla mitatuille näytteille  $\pm 7 - 30 \%$ , kun näytteen aktiivisuus on 0 - 10 Bq/l ja  $\pm 2 - 7 \%$ , kun näytteen aktiivisuus on yli 10 Bq/l.

Vesinäytteiden ilmoitetussa radonpitoisuudessa voi määritysvirheen lisäksi olla näytteenotosta aiheutunutta virhettä, joka on yleensä mittausvirhettä suurempi. Kun radonpitoinen vesi joutuu kosketuksiin ilman kanssa, faasien rajapinnalla tapahtuu kaasujen vaihtoa ja veteen liuennutta radonkaasua vapautuu ilmaan. Näytteenotossa on kiinnitetty erityistä huomiota siihen, että vesinäyte on mahdollisimman vähän aikaa kosketuksissa ilman kanssa. Näytteenoton aikana radonin karkaamisesta mahdollisesti aiheutuva virhe on suurin korkeilla radonpitoisuuksilla.

Näytteenotossa on noudatettu seuraavia menetelmiä luotettavan laskenta-näytteen valmistamiseksi:

Kohteiden vesilinjaan asennettujen ilmastimien ja aktiivihiiisuodattimien radoninpoistotehokkuutta tutkittiin vakiovirtaamalla ja käsitellyn veden näyte otettiin keittiön hanasta. Vesihanassa päähän laitettiin letku, joka johti putkistosta tulevan veden lasipullon pohjalle. Kun veden annetaan virrata tällaisessa systeemissä, tulee vesi ensimmäisen kerran kosketuksiin ilman kanssa vasta, kun se poistuu pullosta. Vesinäyte pipetoitiin pullon pohjalta sulkemalla ja vapauttamalla pipetin pää peukalolla ja valutettiin suoraan nestetuikepulloon.

Yksittäisiä näytteitä otettiin myös suoraan vesihanasta. Tällöin poistettiin hanassa oleva poresuutin ja veden virtaama säädettiin niin, että vesi valui hanasta kapeana nauhana. Vesinäyte valutettiin suoraan nestetuikepulloon.

Ilmastuslaitteiden prototyyppisiä testattaessa ilmastetun veden näyte otettiin ilmastusaltaasta suoraan mittapipetillä joko pumpetin avulla tai sulkemalla ja vapauttamalla pipetin pää peukalolla. Pipetin kärki työnnettiin syväälle ilmastettavaan veteen ja veden annettiin nousta pipettiin. Pipetistä näyte valutettiin suoraan nestetuikepulloon.

Ennen jokaista näytteenottoa vettä valutettiin vähintään sen verran, että putkistossa ja painesäiliöissä seisonut vesi vaihtui, koska seisoneesta vedestä radon on osittain hävinnyt radioaktiivisen hajoamisen kautta.

Radonpitoisuuden lisäksi analysoitiin muita veden laatuparametrejä. Kesäkuuhun 1997 saakka analyysit teetettiin Uudenmaan ympäristökeskuksen laboratoriossa ja tämän jälkeen pääasiassa Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen ympäristölaboratoriossa. Muut veden radioaktiiviset aineet määritettiin Säteily-

turvakeskuksen Luonnonsäteilylaboratoriossa. Näytteet otettiin yleensä radon-näytteiden jälkeen samasta näytteenottopisteestä. Näytteet, joista Uudenmaan ympäristökeskuksen laboratoriossa määritettiin happipitoisuus, kestävästi ohjeiden mukaisesti paikan päällä, muutoin näytteet toimitettiin sellaisinaan suoraan laboratorioon.

Aktiivihilisuodattimien ja ilmastinten ulkoisen gammasäteilyn aiheuttamaa annosnopeutta ( $\mu\text{Sv/h}$ ) mitattiin Kata-Electronics Oy:n DGM-Turva -säteilymittarilla. Mittarin näyttämä annosnopeuslukema vaihtelee mittauksen aikana riippuen rekisteröidystä pulssimäärästä tietyn ajanjakson sisällä. Annosnopeuden pienentyessä (pulssien harventuessa) mittarin ilmoittaman annosnopeuden epätarkkuus kasvaa, mikä johtuu mittaukseen liittyvän tilastollisen virheen kasvusta. Mittari määrittää itse sopivan integrointiajan, joka mittauksissa oli arviolta muutamien sekunnin luokkaa. Mittarin lukemia kirjattiin ylös tavallisesti vähintään neljä ja annosnopeus laskettiin lukemien keskiarvona.

Mittaustulosten tarkkuuteen vaikuttaa se, että mittaus suoritettiin käsivaraisesti. Mittari ei pysynyt aivan paikoillaan suhteessa suodattimeen varsinkaan silloin, kun mitattiin annosnopeutta jollakin tietyllä etäisyydellä suodattimesta. Osa mittauspisteistä mitattiin tarkasti mittanauhalla, osa arvioimalla etäisyys. Nämä virheet ovat kuitenkin tulosten kannalta merkityksettömiä, koska tärkeintä oli saada tietoon annosnopeuden suuruusluokka.

# 4

## Tutkimustulokset

### 4.1. Ilmastus

#### 4.1.1 Oy Wat Man Ab:n ilmastimet

Oy Wat Man Ab:n Radonsuodattimen (RF) toimintaa tutkittiin kolmessa asennuskohteessa (AI, BI ja CI) ja uudemman ilmastimen (RnAI) toimintaa yhdessä kohteessa (DI). Yhteenveto tuloksista on taulukossa 4. RF-laitteistolla kyetään poistamaan radon jopa 99,9 prosenttisesti vedestä, jonka radonpitoisuus on noin 19 500 Bq/l.

Kohteen BI kokeiden perusteella nähdään, että ilmastuksen radoninpoistotehokkuus paranee ilmastusajan pidentyessä (kuva 7).

Taulukko 4. Oy Wat Man Ab:n ilmastimien radoninpoistotehokkuus yhteensä neljässä eri asennuskohteessa.

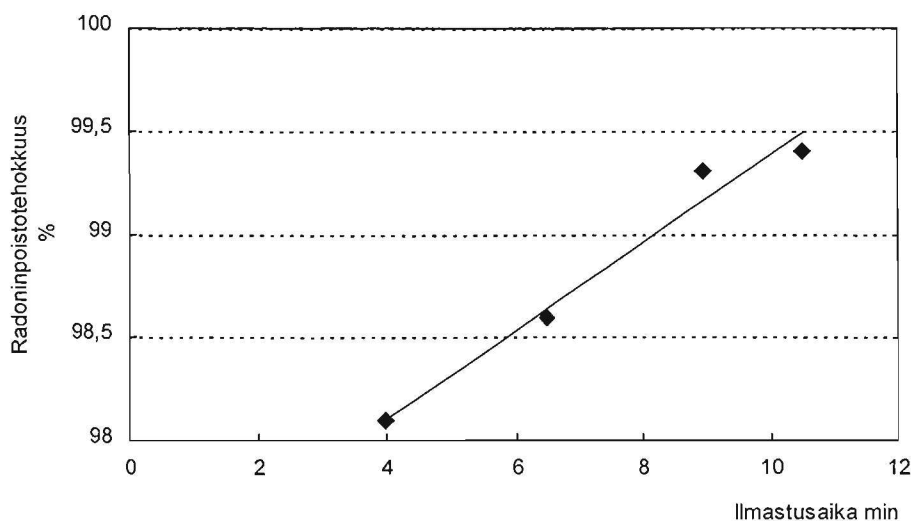
Kohde	Ilmastussäiliön tilavuus L (efekt. tilavuus n. 75%)	Varastosäiliön tilavuus L	Ilmastusaika min	Raakaveden radonpitoisuus Bq/l	Radonjäämä Bq/l	Poistuma %
AI	150	-	8	22 200	178	99,2
AI	150	-	10	19 544	29	99,9
AI	150	-	10*	22 300	50 - 1 960	99,8 - 91,2
BI	170	4 500	4	5 900**	110	98,1
BI	170	4 500	6,5	9 180**	130	98,6
BI	170	4 500	9	8 730	65	99,3
BI	170	4 500	10,5	9 150	52	99,4
CI	150	-	7	4 300	170	96,0***
DI	225	-	4	686	25	96,4
DI	225	-	4	686	120****	82,5

\* Vettä on valutettu jatkuvalla virtaamalla (12 l/min) 23 min ja ilmastetusta vedestä on otettu useita näytteitä

\*\* Pitoisuus vähintään

\*\*\* Laitteen toimintaa on seurattu vuoden 1998 loppuun saakka. Raakaveden radonpitoisuus on vaihdellut välillä 1 850 - 15 200 Bq/l ja ilmastetun veden pitoisuus on aina ollut alle 300 Bq/l.

\*\*\*\* Tulos saatu, kun on pyritty kuvaamaan huippukulutustilannetta ja näyte on otettu ilmastuksen aikana.



Kuva 7. Ilmastusajan pidentyessä radoninpoistotehokkuus paranee (kohde BI). Virhe ilmastusajoissa on  $\pm 0,5$  min.

#### 4.1.2 Insinööritoimisto Vartiainen Oy:n ilmastin

Orwa-ilmastimen toimintaa tutkittiin neljässä asennuskohteessa (EI - HI). Yhteen-  
veto tuloksista on taulukossa 5.

Laitteiston radoninpoistotehokkuus on voimakkaasti riippuvainen veden kulutuksesta. Huippukulutuksen aikana, kun säiliö täyttyy uudestaan raakavedellä ennen kuin ilmastusaika on lopussa, tehokkuus heikkenee. Vettä saadaan kuitenkin koko ajan ilman käyttökatkoksia. Kun laite ilmastaa veden rauhassa loppuun, päästään hyvään poistotulokseen (jopa yli 99 %).

Taulukko 5. Orwa-ilmastimen radoninpoistotehokkuus neljässä eri asennuskohteessa.

Kohde	Ilmastettava vesimäärä L	Varastosäiliön tilavuus L	Ilmastusaika min	Raakaveden Rn-pitoisuus Bq/l	Radonjäämä Bq/l	Poistuma %
EI	250	-	58	24 400	141	99,4
EI	250	-	11	24 400	5 610	77,0*
FI	250	-	yli 60	12 000	553	95,4
FI	250	-	11	12 000	2 800	76,7*
GI	150	150	35	7 390	930	87,0
GI	150	150	13	7 350	1 300	82,3*
GI	150	150	2	8 660	760	91,2*
GI	150	150	9	8 660	1 300	85,0*
HI	2 500	35 000	25	330	12	96,4

\* Koko laitteiston tehokkuus huippukulutuksen aikana. Ilmastusaika on laskettu siitä hetkestä, kun ilmastussäiliö alkaa täyttyä raakavedellä. Säiliö täyttyy noin 10 min, jonka jälkeen ilmastusta jatketaan tunnista pariin tuntia.

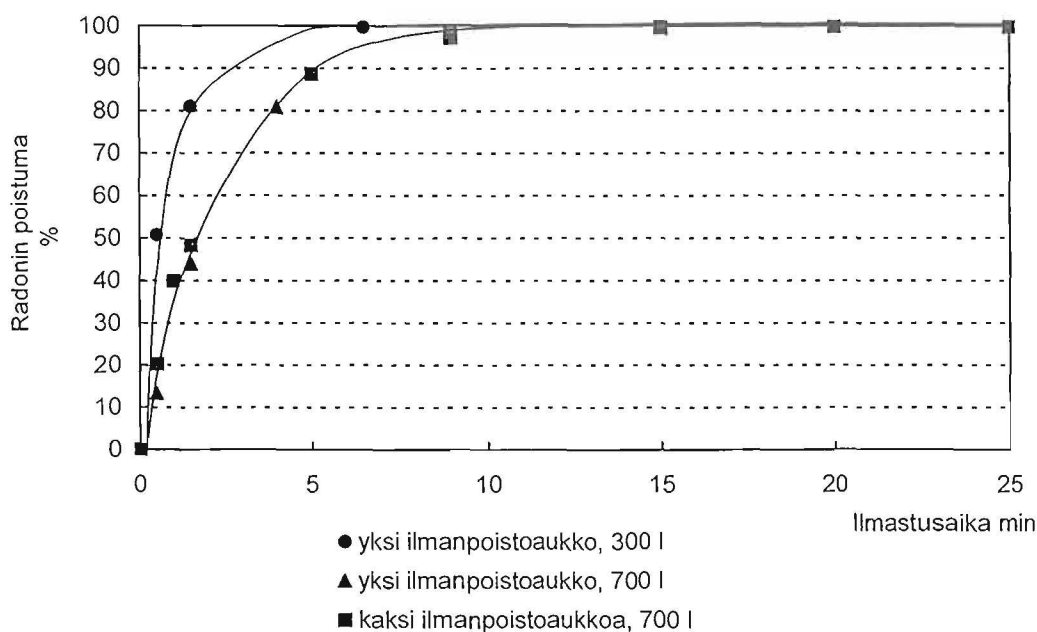
### 4.1.3 Overcraft Oy:n ilmastin

Kohteessa LI testasimme Radox-ilmastimen prototyyppiä 700 litran säiliöllä kolmella eri sylinterin reikäkoolla (0,5 mm, 0,7 mm sekä 1,0 mm). Paras ilmastustulos saatiin suurimmalla, 1 mm halkaisijaltaan olevalla reiällä. Radoninpoistotehokkuuden pitäisi kuitenkin heikentyä kuplakoon kasvaessa: tässä tapauksessa ei tiedetty muodostuvan kuplan lopullista halkaisijaa verrattuna kuplaan, joka syntyy pienemmällä sylinterin reikäkoolla. Lisäksi Teknillisen korkeakoulun Aerodynamiikan laboratoriossa tehdyn tutkimuksen perusteella ilmansyöttö Radox-ilmastimeen on suurempi reikäkoon kasvaessa (Kilpeläinen 1997).

Kun ilmanpoistoaukkoja oli kaksi, ilmastustulos oli 0,5 ja 0,7 mm:n reikäkoolla 3 - 6 prosenttia parempi kuin silloin, kun ilmanpoistoaukkoja oli vain yksi (ilmastusaika 10 - 15 minuuttia). 1 mm:n reikäkoolla ja 10 minuutin ilmastusajalla erotus oli vain 0,7 - 0,9 prosenttia. Yhdellä ilmanpoistoaukolla ja 1 mm:n reikäkoolla tehdyn kokeen tulokset ovat kuitenkin poikkeuksellisen hyvät verrattuna kaikkiin muihin tehtyihin kokeisiin ja virheen mahdollisuus on huomioitava. Tätä ei valitettavasti tulosten perusteella pystytä varmistamaan.

Testatuista eri ohjaussivekevaihtoehdoista osoittautui tehokkaimmaksi ja käytännössä helpoiten toteutettavaksi ilmastinta varten erityisesti suunniteltu käyräsiipinen malli.

Prototyypin testauksessa eri kokoisilla säiliöillä (300 ja 700 litraa) ja eri ilmastusajoilla saadut radoninpoistotulokset näkyvät kuvassa 8, kun ohjaussivekkeenä oli käyräsiipinen malli ja sylinterin reikäkoko oli 1 mm. 700 litran säiliöllä eri kokoisilla ilmanpoistoaukoilla tehtyjen kokeiden tulosten väliset erot olivat pieniä: yksinkertaisella ilmanpoistoaukolla tehty koe antoi oletettua paremmat tulokset.



Kuva 8. Eri kokoisilla säiliöillä (300 ja 700 litraa) ja eri ilmastusajoilla saadut radoninpoistotulokset, kun ohjaussivekkeenä oli käyräsiipinen malli ja sylinterin reikäkoko oli 1 mm. 700 litran säiliöllä eri kokoisilla ilmanpoistoaukoilla tehtyjen kokeiden tulosten väliset erot olivat pieniä: yksinkertaisella ilmanpoistoaukolla tehty koe antoi oletettua paremmat tulokset.



Prototyypin 700 litran säiliöllä päästiin 15 minuutin ilmastuksella vähintään 99,6 %:n radonpoistumaan, 20 minuutissa poistumaan 99,8 % ja 25 minuutissa poistumaan 99,84 %, joka oli paras saavutettu poistuma, vaikka ilmastusaikaa jatkettiin jopa 40 minuuttia. 300 litran säiliöllä päästiin 99,6 %:n poistumaan ilmastusajalla 6,5 minuuttia ja 15 minuutin ilmastuksen kuluttua poistuma oli 99,75 %. Kohteessa LI raakaveden radonpitoisuus oli korkeimmillaan 49 500 Bq/l, jolloin päästiin 99,4 %:n radonpoistumaan.

Radoxin toimintaa tutkittiin kolmessa kotitaloudessa, joihin laite asennettiin todelliseen käyttöön (II, JI ja KI). Yhteenvedo tuloksista on taulukossa 6. Laitteistolla päästiin useimmiten noin 99 %:n radoninpoistoon myös korkeilla raakaveden radonpitoisuuksilla (18 900 Bq/l). Ilmastusaika vaihteli välillä 5 - 20 min. Ainoastaan, kun raakaveden radonpitoisuus oli vain 510 Bq/l ja ilmastusaika 5 minuuttia, radonin poistuma jäi 97,1 %:iin. Tässä tapauksessa ilmastusaikaa pidentämällä olisi todennäköisesti päästy korkeintaan 98,8 %:n radoninpoistoon, sillä sekä aikaisemmissa kokeissa (Myllymäki 1996) että Radox-prototyypin testeissä on havaittu, että alle 6 - 7 Bq/l pitoisuuden alle pääseminen ilmastuksella on vaikeaa. Tämä johtuu siitä, että ilmastukseen käytettävässä ilmassa on aina hieman radonia.

Kohteessa KI ilmanpoisto asennettiin aluksi siten, että poistoletkun päätä vasten jäi ilmanvaihtoritilä. Ritilä kuitenkin riitti tukkimaan ilmanpoiston niin, että ilmastussäiliöön muodostui liian suuri paine ja laitteisto oli vähällä rikkoutua. Ritilän suurentaminen ratkaisi ongelman.

Yritys testautti VTT:n rakennustekniikan akustiikan osastolla prototyypin käyntiäänänen voimakkuuden. Testi tehtiin autotallissa laitekokoonpanolla, jossa oli yhdistetty 300 ja 700 litran säiliöt. Autotallin akustiikka vaikutti tulokseen. Tulokseksi saatiin yrityksen ilmoituksen mukaan 68 dB/2 m.

Taulukko 6. Radox-ilmastimen radoninpoistotuloksia. Säiliöön pumpattu vesi ilmastetaan yhden kerran vuorokaudessa, yleensä yöllä, jolloin saadaan mahdollisimman pitkä viipymä ilmastuksen ja veden käyttöhetken välille.

Kohde	Ilmastussäiliön tilavuus L	Varastösäiliön tilavuus L	Ilmastusaika min	Raakaveden Rn-pitoisuus Bq/l	Radonjäämä Bq/l	Poistuma %
II	700	*	20	11 937	100	99,2
II	700	*	20	15 483	98	99,4
II	700	*	20	18 900	142	99,2
JI	300	1 500**	5	3 920	39	99,0
JI	300	1 500**	7	10 200	110	98,9
KI	300	700	5	510	15	97,1

\* Ilmastussäiliö toimii varastösäiliönä

\*\* Betonirenkaista tehty vakeaivo, kaivossa aina 1 500 l vettä.

#### 4.1.4 Muut testatut laitteistot

Hydro-Cat Oy:n ilmastuslaitteen prototyypillä päästiin 13 minuutin ilmastuksella radonpitoisuudesta 35 200 Bq/l pitoisuuteen 5 Bq/l (99,99 %:n radonpoistuma).

#### **4.1.5 Muut vedenlaatuparametrit ja ilmastinten ulkoisen gammasäteilyn aiheuttama annosnopeus**

Eri kohteisiin asennetuista ilmastuslaitteista seuratut vedenlaatuparametrit näkyvät liitteessä 1.

Ilmastuksessa havaittiin lämpötilan nousseen muutamasta asteesta kymmenyksestä jopa viiteen asteeseen. Lämpötilan nousua on edesauttanut, että sekä ilmastin että painesäiliöt sijaitsevat lämpimissä tiloissa, kohteessa DI lisäksi uppopumppu lämmittää vettä. Kohteessa JI havaittu lämpötilan lasku johtuu siitä, että ilmastetun veden lämpötila mitattiin vedestä, joka oli viipynyt valekaivossa jonkin aikaa ja ehtinyt jäähtyä. Veden lämpötila on tammikuussa korkeampi syvällä porakaivossa kuin suhteellisen matalassa valekaivossa. Ilmastukseen käytetyn ilman lämpötilalla ei ole merkittävää vaikutusta veden lämpötilan muutokseen, suurin merkitys on varastoinnilla.

Veden happipitoisuuden nousu ilmastuksessa oli odotettavissa. Korkeimmillaan tuloksena oli happipitoisuus 15 mg/l (kohde CI). Normaali-ilmanpaineessa veden lämpötilan ollessa noin 8 °C veteen liuenneen hapen määrä on tasapainotilassa noin 12 mg/l (Sawyer ym. 1994). Korkeampi liuenneen hapen määrä saattaa johtua ilmastimen normaali-ilmanpainetta hieman korkeammasta paineesta, tosin myös mittaukseen liittyvä virhe on mahdollinen.

Useimmissa tapauksissa ilmastus vähensi veden sameutta, parhaimmillaan arvosta 19,6 FTU arvoon 1,91 FTU, mutta muutamissa tapauksissa sameuden oli mitattu lisääntyneen. Sameuden lisääntyminen johtuu lähinnä raudan ja mangaanin saostumisesta ilmastuksessa ja siitä, että näyte on otettu heti ilmastuksen jälkeen niin, että sakka ei ole ehtinyt laskeutua.

Ilmastus yleensä nosti veden pH-arvoa, koska ilmastuksen aikana vapautui hiilidioksidiä. Suurimmillaan muutos oli arvosta 6,9 arvoon 7,8 (kohde LI). Tavallisesti ilmastetun veden pH-arvo vaihteli välillä 7,8 ja 8,1.

Kaikissa ilmastuskohteissa raakaveden alkaliteetti oli yli 1,5 mmol/l. Puolessa mitatuista tapauksista alkaliteetti ei sanottavasti muuttunut ilmastuksessa. Suurin havaittu muutos oli alkaliteetin pieneneminen arvosta 1,78 arvoon 1,36 (kohde CI). Alkaliteetin lasku johtuu lähinnä hiilidioksidin vapautumisesta ja on nähtävissä samoissa kohteissa kuin pH:n nousu.

Selvä muutos permanganaattiluvussa havaittiin ainoastaan kohteessa CI, jossa luku nousi arvosta 23,2 mg/l arvoon 27,2 mg/l. Tämä nousu johtuneee siitä, että ilmastimeen kerääntynyt orgaaninen aine lähti liikkeelle testauksen aikana, kun ilmastinta käytettiin useaan otteeseen lyhyen ajan sisällä.

Rauta saostuu osittain ilmastuksen aikana ferrihydroksidiksi. Suurin raudan poistuma saatiin kohteessa CI, jossa rauta väheni pitoisuudesta 0,39 mg/l pitoisuuteen 0,16 mg/l. Kohteissa LI ja KI ilmastetusta vedestä tehdyt rauta-analyysit osoittaisivat raudan määrän kasvaneen, mutta tämä johtuu siitä, että näyte on otettu heti ilmastuksen jälkeen niin, että näyteveteen on päässyt saostunutta rautaa.

Mangaani voi saostua yhdessä ferrihydroksidin kanssa. Suurin poistuma myös mangaanin osalta saatiin kohteessa CI, pitoisuudesta 0,17 mg/l pitoisuuteen 0,071 mg/l.

Heterotrofisten bakteerien pesäkeluku oli ilmastetussa vedessä yleensä huomattavasti suurempi kuin raakavedessä (tavallisesti yli kymmenkertainen). Ainoastaan laitoskohteissa (BI ja HI) heterotrofisten bakteerien pesäkeluku ilmastetussa vedessä ei kasvanut merkittävästi. Kahdessa kohteessa (DI ja II) koliformisten bakteerien (35 °C) määrän oli havaittu lisääntyneen ilmastetussa vedessä. Kukaan tutkimuksen ilmastuskohteiden asukkaista ei kuitenkaan ole ilmoittanut esimerkiksi vatsavaivoista, joiden epäilisivät johtuvan vedestä.

Muutamissa kohteissa ilmastimista mitattiin ulkoisen gammasäteilyn aiheuttamaa annosnopeutta. Mitatut arvot olivat yleisesti suurinpiirtein taustasäteilyn tasolla. Ainoastaan hetkellisesti, kun ilmastussäiliö oli juuri täyttynyt radonpi-

toisella vedellä, ilmastimen kyljessä voitiin mitata kohonneita arvoja. Nämäkin arvot olivat korkeimmillaan noin 3  $\mu\text{Sv/h}$  (raakaveden radonpitoisuus 24 400 Bq/l) ja vähän yli 1  $\mu\text{Sv/h}$  (raakaveden radonpitoisuus 12 000 Bq/l).

## 4.2 Aktiivihiiisuodatus

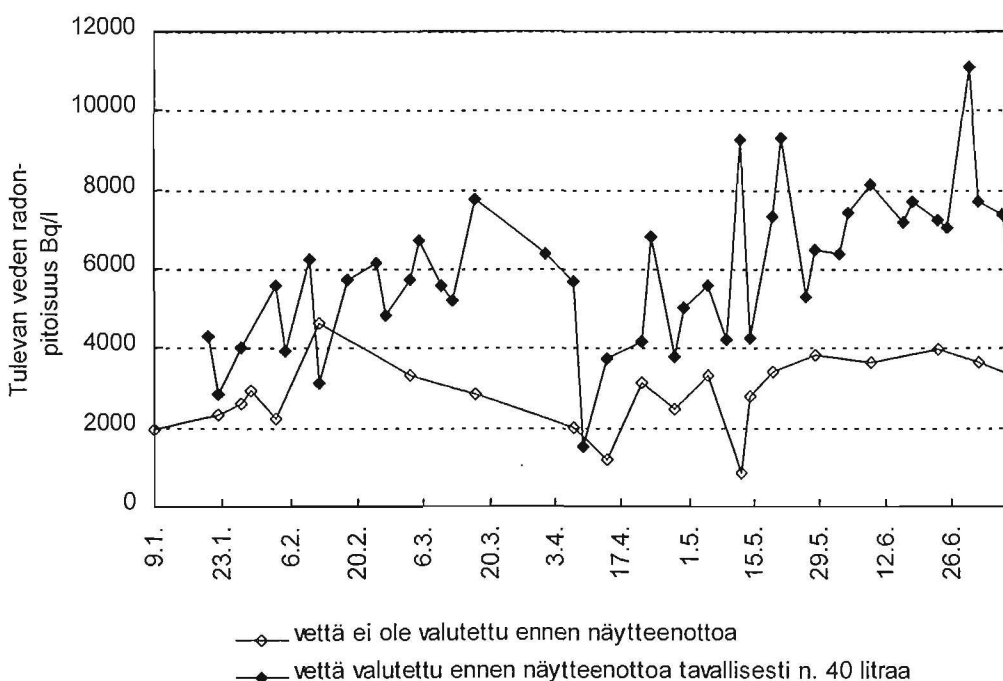
### 4.2.1 Kohteessa AS tehdyt kokeet eri aktiivihiiilaatujen vertailemiseksi

#### 4.2.1.1 Tulevan ja suodatetun veden radonpitoisuudet sekä suodattimien virtaamat

Sekä tulevasta että suodatetusta vedestä seurattiin säännöllisesti radonpitoisuuksia siten, että ensimmäinen näyte otettiin, kun vettä oli valutettu juuri sen verran, että putkistossa seisonut vesi vaihtui ja toinen näyte, kun vettä oli valutettu jonkin aikaa suodattimista. Tutkimuksen alussa ensimmäisen näytteen jälkeen yhdestä suodattimesta valutetun veden määrä vaihteli välillä 13 - 78 l, mutta vähitellen määrä tasoittui noin neljäänkymmeneen litraan suodatinta kohden. Mitatut pitoisuudet on taulukoitu liitteessä 2.

Aktiivihiiisuodattimet jouduttiin asentamaan heikkotehoisen radoninpoistolaitteen (ilmastimen) jälkeen, joten suodattimiin tulevan raakaveden radonpitoisuus nousi vettä juoksutettaessa (kuva 9). Tulevan veden radonpitoisuuteen vaikutti heikkotehoisen ilmastimen lisäksi vuodenaikaisvaihtelu ja pitoisuuksissa onkin havaittavissa kolme eri tasoa: alhaisimmat arvot saatiin huhtikuussa ja korkeimmat kesä-heinäkuussa.

Virtaamat suodattimiin pyrittiin pitämään tarkasti kahtena ja neljänä litrana minuutissa ja virtaamia täytyi silloin tällöin säätää, koska ne eivät olisi muuten pysyneet haluttuina. Säädöistä huolimatta keskimääräinen vuorokausivirtaama vaihteli halutun 280 l/d molemmin puolin (kuva 10). Keskimääräinen vuorokausi-

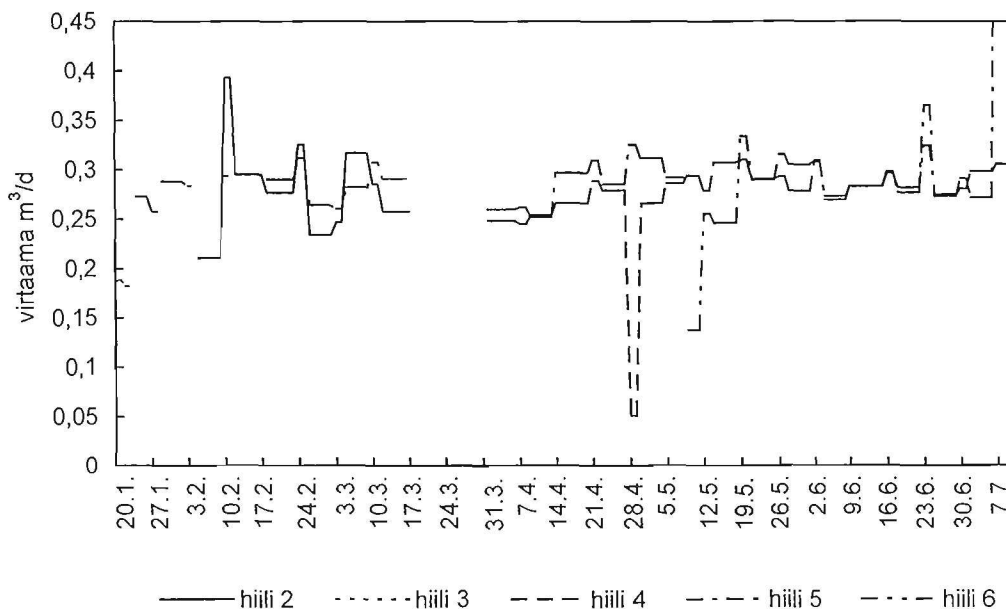


Kuva 9. Suodattimiin tulevan veden radonpitoisuuden vaihtelu.

virtaama saatiin laskettua, kun näytteenottohetkien välillä virrannut vesimäärä jaettiin kuluneiden päivien lukumäärällä. Näytteenottopäivien välillä virranneseen vesimäärään on lisätty näytteenoton yhteydessä valutettu vesimäärä.

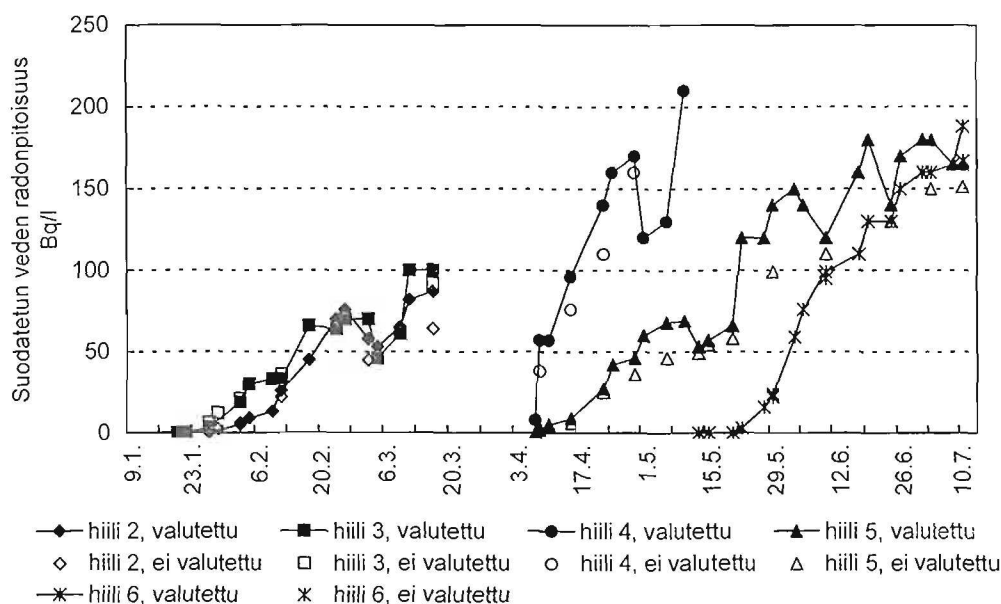
Aktiivihiiლისuodattimissa vaihdettiin hiiliä siten, että kaiken kaikkiaan testattiin viittä eri aktiivihiiლისlaatua. Suodatetun veden radonpitoisuudet vaihtelivat riippuen aktiivihiiლისityypistä ja siitä, kuinka kauan hiiltä oli käytetty (kuva 11).

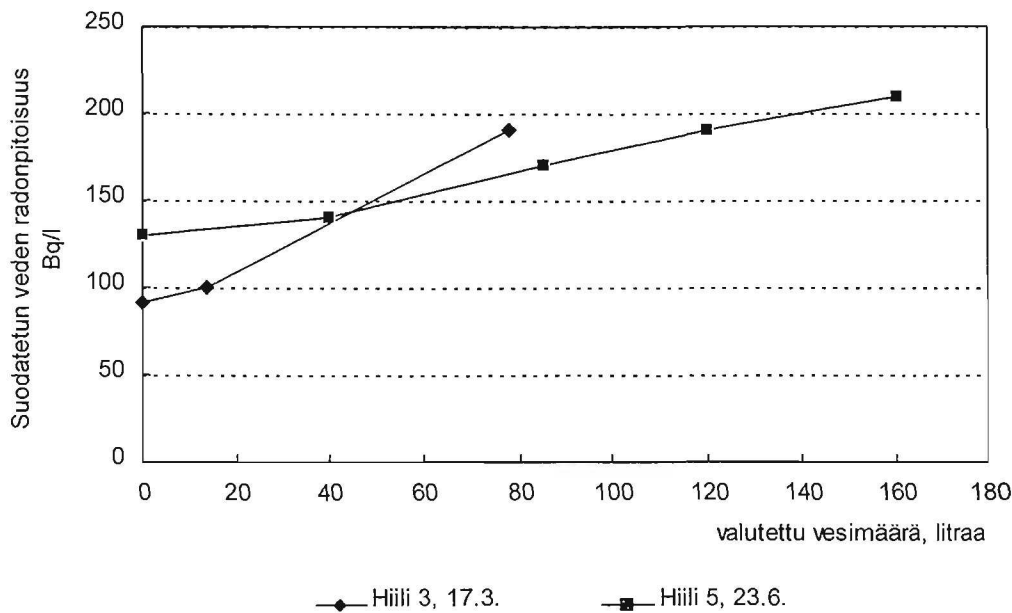
Kun aktiivihiiლისet 3 ja 5 olivat saavuttaneet tasapainotilan, niistä seurattiin suodatetun veden radonpitoisuuden muuttumista vettä valutettaessa (kuva 12). Suodatetun veden radonpitoisuus nousee melko suoraviivaisesti valutetun vesimäärän kasvaessa.



Kuva 10. Suodattimien keskimääräinen vuorokausivirtaama.

Kuva 11. Suodatetun veden radonpitoisuuden muuttuminen ajan funktiona eri aktiivihiiლისlaaduilla (2 - 6). Ennen näytteenottoa valutetun veden ja valutamattoman veden pitoisuudet seuraavat toisiaan.





Kuva 12. Suodatetun veden radonpitoisuuden nousu, kun vettä juoksetetaan 14 litran suodattimista virtaamalla 4 l/min (hiili3) ja 2 l/min (hiili 5). Raakaveden radonpitoisuus oli 17.3. (hiili 3) 7 760 Bq/l ja 23.6. (hiili 5) 7 240 Bq/l.

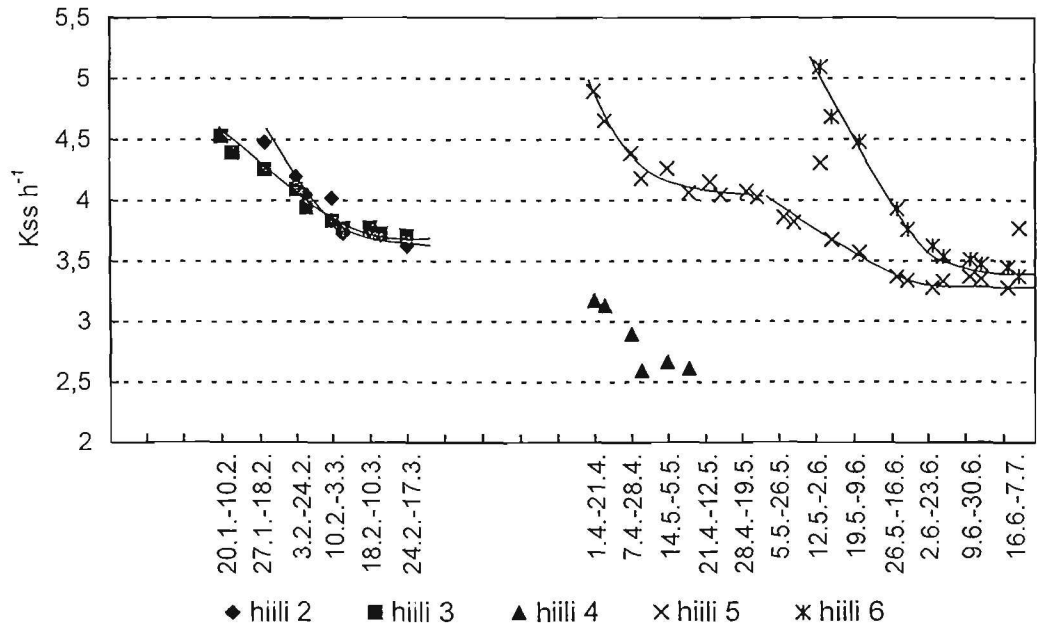
#### 4.2.1.2 Eri aktiivihiililaatujen radoninpoistotehokkuus

Mitattujen radonpitoisuuksien ja virtaamien avulla laskettiin jokaiselle aktiivihiililaadulle  $K_{ss}$ -arvo eri ajankohtina (laskuperusteet on kuvattu kohdassa 2.3.2). Laskelmissa käytettiin niitä tulevan veden arvoja, jotka saatiin, kun vettä oli valutettu suodattimista ennen näytteenottoa.  $K_{ss}$ -arvoa laskettaessa tulevan veden arvona oli joko kahden peräkkäisen näytteenottopäivän keskiarvona saatu arvo taikka kolmen viikon sisällä olleiden näytteenottopäivien arvojen keskiarvo.

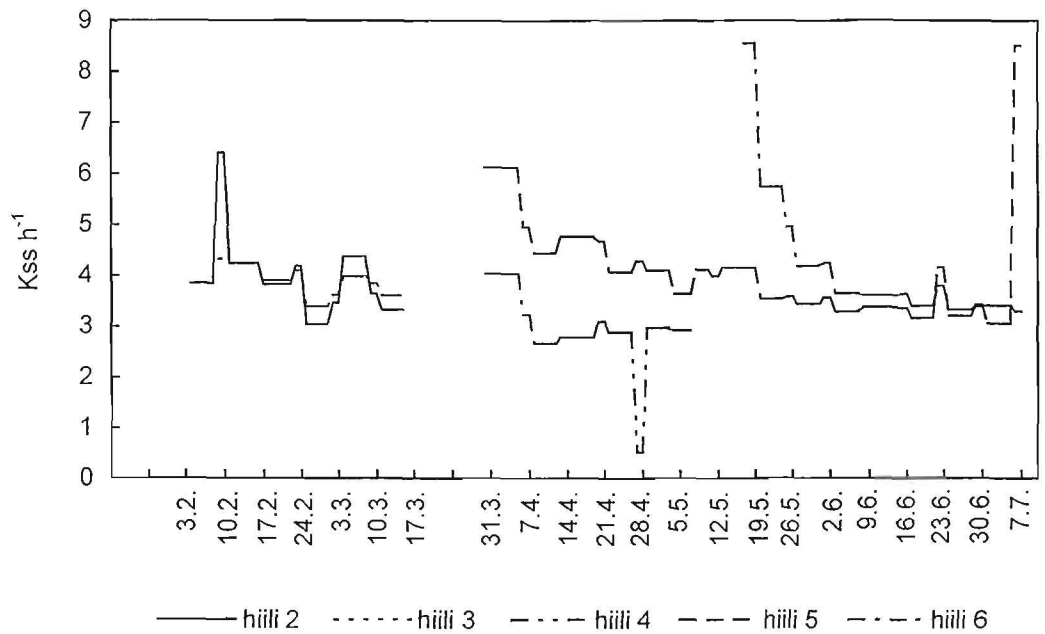
$K_{ss}$ -arvon laskemisessa periaatteena on, että lopullinen  $K_{ss}$ -arvo lasketaan tasapainotilassa olevalle suodattimelle, mutta tässä tapauksessa ensimmäiset  $K_{ss}$ -arvot laskettiin jo tilanteessa, jossa tasapainotilaa ei vielä oltu saavutettu. Tämän jälkeen jokaista näytteenotokertaa kohden laskettiin oma  $K_{ss}$ -arvonsa. (Kuvat 13 ja 14)

Kun laskelmissa käytettiin tulevan veden radonpitoisuutena kolmen viikon sisällä otettujen näytteiden pitoisuuksien keskiarvoa, lasketut  $K_{ss}$ -arvot pienenevät kunnes tasapainotila saavutettiin ja  $K_{ss}$ -arvot vakiintuivat tietylle tasolle (kuva 13). Selvimmin tämä on nähtävissä hiilen 5 kohdalla. Kun tulevan veden pitoisuutena käytettiin vain kahden peräkkäisen näytteenotokerran pitoisuuksien keskiarvoa,  $K_{ss}$ -arvojen pieneminen ei ollut yhtä säännöllistä: sekä virtaamien vaihtelu että laskelmissa käytettyjen tulevan veden radonpitoisuuksien vaihtelu näkyvät arvojen vaihteluna (kuva 14).

Lopullista aktiivihiililytyn ja suodatinkokoonpanon radoninpoistotehokkuutta kuvaa parhaiten kolmen viikon keskiarvona saatu  $K_{ss}$ -arvo. Mitä suurempi  $K_{ss}$ -arvo on, sitä parempi on hiilen radoninpoistotehokkuus. (Taulukko 7)



Kuva 13. Eri aktiivihiihilaaduille lasketut  $K_{ss}$ -arvot, kun tulevan veden radonpitoisuutena on kolmen viikon sisällä otettujen näytteiden pitoisuuksien keskiarvo.



Kuva 14. Eri aktiivihiihilaaduille lasketut  $K_{ss}$ -arvot, kun tulevan veden radonpitoisuutena on kahden peräkkäisen näytteenotokerran pitoisuuden keskiarvo.

Taulukko 7. 14 litran paineellisissa suodattimissa noin 280 litran vuorokausivirtaamalla testattujen aktiivihiiilaatujen radoninpoistoprosentit ja  $K_{ss}$ -arvot silloin, kun suodatitiin tasapainotilassa. Raakaveden radonpitoisuus kuvaa tulevan veden radonpitoisuuden vaihtelua tasapainotilassa. Poistoprosentit on laskettu näytteenottohetken pitoisuuksista.  $K_{ss}$ -arvot on laskettu kolmen viikon aikana mitattujen pitoisuuksien ja virtaamien keskiarvoilla: vaihteluväli sisältää useamman peräkkäisen kolmen viikon jakson  $K_{ss}$ -arvon.

Aktiivihii- tyyppi	Raakaveden radonpitoisuus Bq/l	Poistoprosentti näytteenottohetkellä %	$K_{ss}$ $h^{-1}$
2	5 180 - 7 760	98,4 - 99,2	3,6 - 3,8
3	5 180 - 7 760	98,1 - 99,3	3,7 - 3,8
4	4 190	95	koe keskeytettiin
5	5 890 - 11 000	97,6 - 98,4	3,3 - 3,4 (1. kerran 4,0 - 4,2, viim. arvo 3,8)
6	5 890 - 11 000	96,8 - 98,6	3,4 - 3,5 (tasapainotila ei selvä)

Aktiivihiihlä numero 5 testattiin kaikkein pisimpään, neljäntoista viikon ajan. Noin neljän viikon koeajan jälkeen hiileen havaittiin muodostuneen tasapainotila. Koetta jatkettaessa lasketut  $K_{ss}$ -arvot alkoivat kuitenkin yllättäen jälleen pienentyä ja noin seitsemän viikon kuluttua hiileen saavutettiin uusi tasapainotila. Tätä ilmiötä ei tämän kokeen perusteella voida selittää. Yksi mahdollisuus on, että hiileen on kerääntynyt huomattava määrä orgaanista ainetta. 30.6. mitattu  $COD_{Mn}$ -arvo suodatetusta vedestä oli 0,325 mg/l, kun se aikaisemmin oli ollut alle mittausrajan, mutta toisaalta arvo on edelleen pieni (liite 3). Myös tulevan veden orgaanisen aineksen määrä on pieni.

Toinen selitys saattaisi olla aktiivihiihien rakenteessa ja siinä mekanismeissa, jolla radon pidättyy hiileen. Asiaa olisi kuitenkin tutkittava tarkemmin, että voitaisiin sanoa, muodostuuko lopullinen tasapainotila useammassa kuin yhdessä vaiheessa.

Hiilet 5 ja 6 jätettiin kohteeseen vielä sen jälkeen, kun ne olivat saavuttaneet tasapainotilan. Tarkoituksena oli seurata pidemmällä aikavälillä hiilten toimintaa. Kohde kuitenkin liittyi kunnalliseen vesijohtoverkkoon ja näytteitä 22.8. haettaessa suodattimiin oli noin kahden viikon ajan virrannut radonvapaata vettä. Tällöin suodattimista otettujen vesinäytteiden radonpitoisuus oli edelleen samalla tasolla kuin aiemmin tasapainotilassa (hiili 5: 69 Bq/l ja hiili 6: 120 Bq/l). Kun mitattiin gammasäteilypitoisuuksia (liite 5, taulukko 1), havaittiin, että suodattimen alaosassa ulkoisen gammasäteilyn aiheuttama annosnopeus oli edelleen sama kuin tasapainotilassa, mutta yläosassa annosnopeus oli pudonnut lähes sadasosaan tasapainotilan luvuista. Ilmiö selittyy osittain gammasäteilyn mittausteoriasta, mutta pääasiassa suodattimen sisällä tapahtuvasta radonin irtoamisen ja uudelleen kiinnittymisen nopeudesta.

#### 4.2.2 Radoninpoistotulokset varsinaisissa asennuskohteissa

Vertailukokeessa tehokkaimmiksi osoittautuivat aktiivihiihet 2 ja 3. Hiilien saatuun vuodelle ja hinnan vuoksi yritykset valitsivat jatkossa kotitalouksiin asennettaviin suodattimiin hiilen 2. Yhteenveto kotitalouskäyttöön asennettujen aktiivihiihien suodattimien tehokkuuksista on taulukossa 8.

Taulukko 8. Kohteisiin BS - GS asennettujen aktiivihiiisuodattimien radoninpoistotehokkuus.

Kohde	Hiiilen määrä L	Suodatin ollut käytössä näyt- teenottopäivänä (viikkoa)	Keskimääräinen virtaama tasapainotilassa L/d	Raakaveden radonpitoisuus Bq/l	Radon- jäämä Bq/l	Tasa- painotilan hetkellinen poisto-%	$K_{ss}$ -arvo h <sup>-1</sup>
BS	40	7	694	3 900*	18	99,5	3,89
BS	40	17	586	4 050	21	99,5	3,21
CS	39	20	280	3 330	66	98	1,17
DS	39	7	400	2 600	162-220	91,5-93,8	1,06 - 1,19
DS	39	17	469	2 750	206	92,5	1,3
ES	39	7		2 000**	3	99,9	***
FS	63	9		1 660	2	99,9	***
GS	40	1		1 090	3	99,7	***

\* Raakavesinäytettä ei saatu. Puhdistetun veden radonpitoisuutta verrattiin huhtikuussa -97 saatuun arvoon 3 890 Bq/l.

\*\* Raakavesinäytettä ei saatu. Puhdistetun veden radonpitoisuutta verrattiin maaliskuussa -96 sekä -97 saatuihin arvoihin n. 2 000 Bq/l.

\*\*\* Radonjäämä on niin pieni, että  $K_{ss}$ -arvo ei antaisi enää luotettavaa kuvaa pidätyksenopeudesta.

Tasapainotilan hetkellinen poistoprosentti on laskettu näytteenottohetkellä mitattujen raakaveden ja suodatetun veden pitoisuuksien perusteella. Normaali hetkellinen poistotehokkuus on yli 99 prosenttia. Poistoprosentti on hieman heikompi kohteissa CS (98 %) ja DS (92 %), mutta suodatetun veden radonpitoisuus jää kuitenkin selvästi alle 300 Bq/l.

$K_{ss}$ -arvo on laskettu tasapainotilan hetkellisen poistoprosentin ja näytteenottopäivien välisen keskimääräisen vedenkulutuksen perusteella.  $K_{ss}$ -arvo kuvaa suodattimen tehokkuutta paremmin kuin poistoprosentti, sillä siinä on huomioitu veden kulutus. Kohteen AS testien perusteella hiihelle 2 saatiin  $K_{ss}$ -arvoksi 3,6 - 3,8 h<sup>-1</sup>. Kohteessa BS saatiin toisella näytteenottokerralla suurinpiirtein sama arvo ja toisella hieman pienempi.

Kohteissa CS ja DS  $K_{ss}$ -arvot osoittavat suodattimien toiminnan hieman heikommaksi kuin muissa kohteissa. Selitys näiden kohteiden heikompaan poistotehokkuuteen saattaa löytyä veden muista laatuominaisuuksista. Kohteiden vedessä on mm. uraania selvästi enemmän kuin muissa kohteissa (liite 4).

### 4.2.3 Muut vedenlaatuparametrit

Kohteessa AS seurattujen veden laatuparametrien muuttuminen näkyy liitteessä 3. Liitteessä 4 ovat vedenlaatu tiedot varsinaisista asennuskohteista.

Uuden aktiivihiiilen käyttöönoton jälkeen happipitoisuus laskee suodatetussa vedessä, mutta muutamien käyttöviikkojen jälkeen happipitoisuus näyttäisi asettuvan samalle tasolle raakaveden happipitoisuuden kanssa. Kohteessa AS tulevan veden korkea happipitoisuus johtuu edeltävästä ilmastimesta.

Juuri käyttöönoton jälkeen aktiivihiihi saattaa lisätä veden sameutta irtonaisen hiihlopölyn vuoksi, mutta tämän loputtua aktiivihiihi vähentää veden sameutta.

Vedessä olevia orgaanisia aineita (COD<sub>Mn</sub> ja KMnO<sub>4</sub> -arvot) aktiivihiihi poistaa alussa tehokkaasti, mutta viikkojen kuluessa poistotehokkuus heikkenee hiihien kapasiteetin täytyessä.

Aktiivihiiisuodattimet pienensivät veden rautapitoisuutta kohteessa AS parhaimmillaan pitoisuudesta 0,077 mg/l alle määräysrajaan (0,005 mg/l). Kohteessa CS rautapitoisuus pieneni pitoisuudesta 0,05 mg/l pitoisuuteen 0,028 mg/l ja kohteessa FS pitoisuudesta 0,019 mg/l alle määräysrajaan (0,002 mg/l, eri laboratorio).



Kohteen BS hyvä raudanpoistotehokkuus selittyy sillä, että aktiivihiihliisuodatinta edeltää kiintoainesuodatin, johon suurin osa raudasta pidättyy. Myös edeltävä painesäiliö on suuri (500 l) ja veden viipymä siinä pitkä.

Aktiivihiihliisuodattimen mangaaninpoistokapasiteetti loppuu melko nopeasti.

Kohteessa AS suodattimia huuhdeltiin suhteellisen vähän käyttöönoton jälkeen ennen ensimmäistä näytteenottoa. Näin saatiin näkyviin niitä vaikutuksia, joita riittämättömästi huuhdellulla hiilellä saattaa veden laatuun olla.

Näistä merkityksellistä oli mm. pH-arvon voimakas nousu, joka suurimmillaan oli arvosta 7,5 arvoon 9,5 (hiili 2). Hiilien 2, 4, 5 ja 6 kohdalla fosfaattifosforipitoisuus nousi heti käyttöönoton jälkeen, hiilestä 3 irtosi natriumia, hiilistä 2, 4 ja 5 kaliumia ja hiilistä 2 ja 5 magnesiumia. Hiilen 3 osalta myös  $\text{SO}_4$ -pitoisuus oli hetkellisesti noussut.

Nämä itse aktiivihiihlestä lähtevät vaikutukset veden laatuun olivat tasoittuneet tulevan veden pitoisuuksien tasolle parin viikon kuluttua otettuihin näytteisiin mennessä. Vettä oli tänä aikana suodatettu noin 240 litraa per litra aktiivihiihtä (eli 240 BV, kun BV on petitilavuus). On todennäköistä, että pitoisuudet olivat tasoittuneet jo aikaisemmin.

Bakteerien määrä suodatetussa vedessä suhteessa raakaveteen ei ollut merkittävästi noussut. Kun näyte otettiin suodattimessa seisoneesta vedestä, bakteerien määrä oli korkeampi kuin näytteissä, jotka oli otettu veden valutuksen jälkeen. Kukaan asennuskohteiden veden käyttäjistä ei ole ilmoittanut esimerkiksi vatsavaivoja, joiden epäilisivät johtuvan suodatetusta vedestä.

#### **4.2.4 Suodattimien ulkoisen gammasäteilyn aiheuttaman annosnopeuden mittaukset**

Aktiivihiihliisuodattimista mitattiin ulkoisen gammasäteilyn aiheuttamaa annosnopeutta (liite 5).

Kohteessa AS oli kaksi rinnakkaista aktiivihiihliisuodatinta noin kymmenen senttimetrin etäisyydellä toisistaan. Suodattimien tilavuus oli 14 litraa, korkeus 90 cm + korkin paksuus 4 cm ja halkaisija 15 cm. Heinäkuussa (3.7.) tehdyissä mittauksissa havaittiin tasapainotilan muodostuneen molempiin suodattimiin (hiilet 5 ja 6). Seuraavalla kerralla 22.8. tehdyissä mittauksissa suodattimiin oli kahden viikon ajan johdettu kunnallinen, radonvapaa vesi (hiilet 5 ja 6).

Suodattimien ulkoisen gammasäteilyn aiheuttama annosnopeus mitattiin kohteessa AS siten, että molempien suodattimien säteily vaikutti tuloksiin: kun mittaukset tehtiin toisen suodattimen siltä puolelta, joka on kauempana toisesta suodattimesta, mitattu arvo oli lähempänä yhden suodattimen omaa arvoa kuin silloin, kun annosnopeus mitattiin suodattimien välistä (liite 5, taulukot 1 ja 2).

Kotitalouksiin asennetuista suodattimista ulkoisen gammasäteilyn aiheuttama annosnopeutta mitattiin, kun suodattimiin oli muodostunut tasapainotila (liite 5, taulukot 3 - 7). Kohteessa FS suodatin oli juuri ennen mittauspäivää ollut käyttämättä neljä vuorokautta ja liitteen 5 taulukossa 7 on laskettu takautuvasti neljä päivää aikaisemmin ollut annosnopeus. Arvioinnissa käytettiin yhtälöä:

$$\dot{D} = \dot{D}_0 \cdot e^{(-0,693 \cdot t / 3,82)},$$

jossa

$$\dot{D} = \text{annosnopeus ajan } t \text{ kuluttua}$$

$$\dot{D}_0 = \text{annosnopeus sillä hetkellä, kun suodattimen käyttö lopetetaan}$$

$$t = \text{aika, jonka suodatin on ollut pois käytöstä} = 4 \text{ vrk.}$$

Kohteissa BS ja FS suodattimien halkaisija on 25 cm ja korkeus 137 cm. Kohteen BS suodattimessa on hiiltä 40 litraa ja kohteessa FS 63 litraa. Kohteissa CS, DS ja ES on kaikissa 39 litran aktiivihiihliisuodatin, jonka halkaisija 25 cm ja korkeus 90 cm.

Korkein annosnopeus mitattiin korkeudelta, joka oli 10 - 40 cm huilen yläpinnasta alaspäin. Tästä alaspäin siirryttäessä annosnopeus laski suurinpiirtein logaritmisesti.

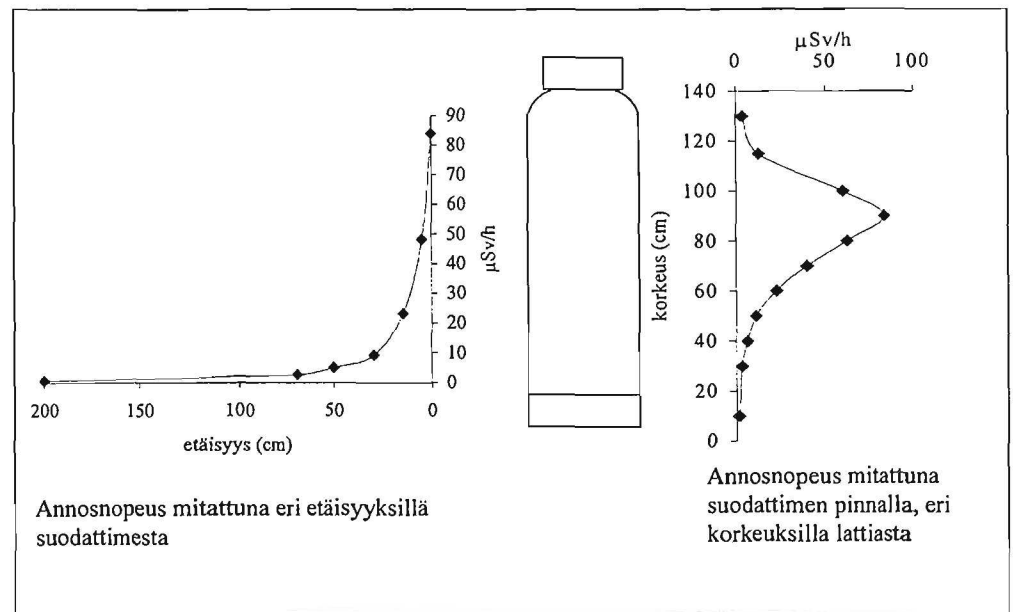
Kohteessa AS suodattimen kyljestä mitattu korkein annosnopeus (kun pyrittiin mittaamaan yhden suodattimen arvoja) oli 118  $\mu\text{Sv/h}$ . Kohteissa CS, DS ja ES (ennen suojausta) suodattimen kyljestä mitattu korkein arvo vaihteli välillä 37 - 48  $\mu\text{Sv/h}$ . Kohteessa BS korkein mitattu lukema oli 96  $\mu\text{Sv/h}$  ja kohteessa FS alle 20  $\mu\text{Sv/h}$ .

Kohteen AS korkeammat annosnopeuden lukemat johtuvat siitä, että tulevan veden radonpitoisuus oli korkeampi kuin muissa kohteissa (ajoittain jopa yli 8 000 Bq/l) ja suodattimien halkaisija oli pienempi, jolloin suodatinta itsessään (vesi, aktiivihili ja suodatinkotelo) vaimensi säteilyä heikommin.

Kohteen FS alhaisemmat lukemat kohteisiin CS, DS ja ES (ennen suojausta) nähden johtunevat siitä, että kohde on vapaa-ajan asunto, jolloin veden kulutus on vähäisempää eikä tasapainotilaa synny. Lisäksi vaimentavan väliaineen määrä on suurin, mutta raakaveden radonpitoisuus alhaisin näistä neljästä kohteesta.

Annosnopeus laskee logaritmisesti etäisyyden kasvaessa: gammasäteilyn määrä on kääntäen verrannollinen suodattimen ja mittauspäivän välimatkan neliöön. Kohteessa BS ulkoisen gammasäteilyn aiheuttama annosnopeus oli kahden metrin matkalla laskenut arvosta 84  $\mu\text{Sv/h}$  arvoon 0,5  $\mu\text{Sv/h}$ . Kuvassa 15 näkyy kohteessa BI annosnopeuden pieneneminen suhteessa etäisyyteen suodattimesta sekä annosnopeuden muuttuminen suodattimen pinnalla eri korkeuksilta mitattuna. Normaali taustasäteilyn määrä Suomessa vaihtelee välillä 0,1 - 0,3  $\mu\text{Sv/h}$ .

Kohteeseen ES asennettiin suodattimen ympärille 3 mm:n paksuinen lyijykuori. Suojaus alensi annosnopeuden noin kolmannekseen (30 - 34 %) siitä, mitä oli mitattu ilman lyijykuorta. Teorian mukaan 3 mm:n kuori alentaa annosnopeuden noin kahteen kolmasosaan alkuperäisestä. Huomattavasti pienempi mitattu tulos selittyy sironnalla sekä mittausteorian epätarkkuudella (jo 1 cm:n heitto vaikuttaa tulokseen). Lyijy ei myöskään ollut aivan sileästi suodattimen päällä.



Kuva 15. Kohde BI: annosnopeuden pieneneminen suhteessa etäisyyteen suodattimesta sekä annosnopeuden muuttuminen suodattimen pinnalla eri korkeuksilta mitattuna.

## Johtopäätökset

Vedessä olevan radonin poistoon on tutkimuksen aikana kehitetty neljä eri tyyppistä ilmastuslaitteistoa sekä otettu käyttöön aktiivihiihliuodatus. Kaikkia laite-tyyppejä on asennettu kotitalouksiin osaksi vesilinjaa siten, että kaikki taloudessa kulutettava vesi kulkee puhdistuslaitteen läpi. Joihinkin laitteisiin on asennettu ohitusmahdollisuus esimerkiksi nurmikon kastelua tai auton pesua varten ja joihinkin on lisäksi yhdistetty kiintoainesuodatin tai ioninvaihdin.

Ilmastuslaitteistoilla saavutetut radoninpoistotehokkuudet vaihtelivat laitteesta, ilmastusajasta ja raakaveden radonpitoisuudesta riippuen välillä 95,4 ja 99,9 %, tosin huippukulutustilanteessa tehokkuus toisinaan laski jopa alle 70 %:iin. Asennuskohteiden raakaveden radonpitoisuus vaihteli 330 Bq/l:stä 24 400 Bq/l:iin.

Muista ilmastuksen yhteydessä tapahtuneista vedenlaatumuutoksista merkityksellistä oli raudan saostuminen sekä bakteerien kasvu. Raakaveden kohonneet bakteeripitoisuudet, ilmastukseen käytettävän ilman huono puhdistaminen ja lämpötilan nousu (johtuu joissakin tapauksissa ilmastimen sijoittamisesta lämpimään tiloihin) edesauttavat bakteerien kasvamista. Kukaan tutkimuksen ilmastuskohteiden asukkaista ei kuitenkaan ole ilmoittanut esimerkiksi vatsavaivoista, joiden epäilisivät johtuvan vedestä.

Ilmastimen rakenteesta riippuu, voidaanko siitä ottaa vettä ilmastuksen aikana. Mikäli ilmastuksen aikana vettä ei voida ilmastimesta ottaa, on riski, että suuren veden kulutuksen aikana tulee lyhyitä vesikatkoksia, mikäli varasto- tai painesäiliöiden koko ei riitä takaamaan veden riittävyttä. Toisaalta, jos ilmastuksen aikana ilmastimesta voidaan ottaa vettä, käsitellyn veden radonpitoisuus saattaa olla suurempi kuin tavoitepitoisuus, koska ilmastus ei ole ehtinyt loppuun saakka tai ilmastettuun veteen sekoittuu ilmastamatonta vettä.

Ilmastuksen ongelma ovat myös radonin lyhytikäiset hajoamistuotteet. Mikäli vettä nautitaan heti ilmastuksen jälkeen, ne aiheuttavat säteilyannosta, joka on kuitenkin huomattavasti pienempi kuin radonin aiheuttama annos ennen ilmastusta (alle 10 %) (Swedjemark ja Lindén 1998). Tarvittava viipymä ilmastuksen ja veden käyttöhetken välillä riippuu raakaveden radonpitoisuudesta. Viipymään voidaan vaikuttaa ilmastusajankohdalla (ilmastetaan sellaiseen aikaan, jolloin vettä ei tarvita kovin pian ilmastuksen jälkeen) ja varastosäiliön koolla. Tässä tutkimuksessa ei määritetty radonin lyhytikäisten hajoamistuotteiden pitoisuuksia, joten niiden esiintymisestä ja vaikutuksista ei voida tämän tutkimuksen perusteella tehdä johtopäätöksiä.

Tutkimuksessa vertailtiin eri aktiivihiihliilatuojen radoninpoistotehokkuutta ja tältä pohjalta valittiin yksi hiilistä (hiili 2) käytettäväksi kotitalouksiin asennettavissa aktiivihiihliuodattimissa. Kotitalouksiin asennettujen aktiivihiihliuodattimien radoninpoistotehokkuus vaihteli välillä 91,5 ja 99,9 %. Raakaveden radonpitoisuus vaihteli 1 090 Bq/l:stä 4 050 Bq/l:iin. Raakaveden radonpitoisuuden lisäksi tehokkuuteen vaikuttavat virtaama, aktiivihiihlien määrä ja tyyppi, laitekokooppa- no (myös lisäsuodattimet) sekä muut vedessä olevat aineet (mm. uraani).

Aktiivihiihliuodatuksessa suurin ongelma on suodattimen muodostuminen säteilynlähteeksi. Vakituksessa asuinkäytössä olevissa kohteissa mitattu aktiivihiihliuodattimen aiheuttama ulkoinen gammasäteily oli suodattimen kyljessä tavallisesti 40 - 50  $\mu\text{Sv/h}$ , mutta korkeimmillaan lähes 100  $\mu\text{Sv/h}$ . Parin metrin etäisyy-

dellä suodattimesta annosnopeus oli pudonnut jo taustasäteilyn tasolle tai melko lähelle sitä (normaali taustasäteily on välillä 0,1 - 0,3  $\mu\text{Sv/h}$ ). Korkeilla raakaveden radonpitoisuuksilla ja vuorokautisen vedenkulutuksen ollessa suuri parin metrin etäisyys ei välttämättä kuitenkaan riitä säteilysuojaksi ja suodattimen ympärille on asennettava lisäsuoja (esimerkiksi betonista, tiilestä, vedestä tai lyijystä).

Tutkimuksessa testattiin suodattimen suojaamista lyijylevyllä. Kolmen millimetrin paksuinen lyijylevy pienensi mittausten mukaan suodattimen säteilyn aiheuttaman annosnopeuden noin kolmasosaan alkuperäisestä. Teorian mukaan 3 mm:n kuori alentaa annosnopeuden vain noin kahteen kolmasosaan alkuperäisestä: mitattu tulos oli teoreettista pienempi johtuen mm. sironnasta ja mittausgeometrian epätarkkuudesta. Lyijy ei myrkyllisyytensä vuoksi kuitenkaan ole kovin hyvä suojamateriaali. Säteilyturvakeskuksessa selvitetään parhaillaan tarkemmin sopivia suojausmenetelmiä.

Uuden aktiivihiiilen käyttöönoton jälkeen hiili saattaa jonkin aikaa laskea veden happipitoisuutta, lisätä veden sameutta ja nostaa pH:ta. Hiilestä saattaa myös jonkin aikaa irrota fosfaattifosforia, natriumia, kaliumia ja magnesiumia. Tämän vuoksi hiili tulisi huuhdella hyvin asennuksen jälkeen ennen varsinaista vedenkäytön aloittamista. Hiilen huuhtelemiseksi vettä tulisi valuttaa täydellä virtaamalla mielellään useamman tunnin ajan.

## Suosituks<sup>et</sup> ja turvallisuusohjeet

### 6.1 Suositukset

Ennen laitteiston valintaa on veden laatu analysoitava. Veden radonpitoisuuksissa on vuodenaikaisvaihteluja ja sen tähden radonnäytteitä tulisi mielellään ottaa useita eri aikoina vuodesta tai jos näin ei voida tehdä, mitoittaa laitteisto riittävällä varmuudella. Radonpitoisuuden lisäksi muita tutkittavia laatuparametrejä ovat ainakin kokonaisbakteerit, rauta, mangaani, orgaaniset aineet, sameus ja pH sekä muista radioaktiivisista aineista ainakin uraani ja radium. Lisäksi, jos vedessä on hajua, olisi tutkittava myös rikkivety ja jos vedessä on uraania tai radiumia, veden kokonaiskovuus. Veden laadun tutkimuksia tehdään kunnallisissa laboratorioissa, osassa tehdään myös radonmittauksia. Säteilyturvakeskuksessa määritetään radonin lisäksi myös muut mahdolliset radioaktiiviset aineet.

Veden laatu vaikuttaa siihen, kannattaako laitteistoksi valita aktiivihiihliuodatin vai ilmastin. Mikäli veden laatu on muuten hyvä ja raakaveden radonpitoisuus korkeintaan muutamia tuhansia Bq/l, tavallisesti paras vaihtoehto on aktiivihiihliuodatus mm. edullisuutensa ja pienuutensa vuoksi. Suojauksesta on kuitenkin huolehdittava. Mikäli raakaveden radonpitoisuus nousee kymmeniin tuhansiin Bq/l, ilmastin on yleensä ainoa vaihtoehto. Muissa tapauksissa laitteiston tyyppi on harkittava tapauskohtaisesti. Laitteiston valinnasta kannattaa keskustella laitteiden toimittajien kanssa.

Laitteiston tuottajalta tulisi vaatia takuu laitteen tavoitteen mukaisesta toimivuudesta ja sopia veden laadun tarkistamisesta kuukauden käyttöajan jälkeen. Käsitellyn veden radonpitoisuutta ja muuta laatua tulisi myöhemminkin seurata säännöllisin väliajoin.

Joissakin tapauksissa joudutaan varsinaisen radoninpoistolaitteiston yhteyteen asentamaan esimerkiksi kiintoainesuodatin, aktiivihiihliuodatin tai ioninvaihdin radonin poistoa häiritsevien tai veden laatua huonontavien aineiden poistamiseksi. Apusuodattimeen pidättyvä radium saattaa kuitenkin toimia myös radonin lähteenä.

Mikäli aktiivihiihliuodatin asennetaan loma-asuntoon, jossa asutaan vain kesäisin, hiili on huuhdeltava hyvin ennen uutta käyttöönottoa keväällä. Tällöinkin veden laatu on tarkistettava. Suodatin olisi säilytettävä talven yli viileässä paikassa, mutta se ei saa jäättyä.

Laitteistojen yhteyteen kannattaa asentaa veden ohijuoksu<sup>t</sup>ussysteemi. Tällöin laitteisto voidaan huoltaa ja aktiivihiihliuodattimien hiili vaihtaa ilman, että veden käyttöön tulee katkos. Ohitusta kannattaa käyttää myös silloin, kun tarvitaan suuria määriä vettä, jota ei ole tarpeen puhdistaa (esim. auton pesu, nurmikon kastelu). Tulipalon sattuessa veden käyttökatkos on vaarallinen.

Laitteisto kannattaa asentuttaa asiantuntijalla ja ainakin ilmastimen osalta esimerkiksi laitteiston toimittajan suosittelemalla putkiliikkeellä, joka on saanut tarkat laitekohtaiset asennusohjeet. Aktiivihiihliuodattimen asennus on yksinkertaisempaa kuin ilmastimen asennus, joten ohjeiden perusteella kaikki alan ammattilaiset kykenevät asentamaan aktiivihiihliuodattimen.

Suomessa on valtakunnallinen vesihuollon avustusjärjestelmä, josta harkinnanvaraisesti voidaan myöntää avustusta haja-asutusalueella sijaitseville kiinteistöille vesihuoltotoimenpiteitä varten. Avustusta voidaan myöntää vain pysyväään asumiseen käytetyille kiinteistöille. Lisätietoa saa alueellisista ympäristökeskuksista. On huomattava, että avustushakemus on tehtävä ennen työn aloittamista. Monilla kunnilla on lisäksi omia avustusjärjestelmiään.

## 6.2 Turvallisuusohjeet

### Ilmastus

#### Radonin lyhytikäiset hajoamistuotteet

Radonin lyhytikäiset hajoamistuotteet ( $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  ja  $^{214}\text{Po}$ ) jäävät veteen vielä sen jälkeen, kun radon on poistettu ilmastamalla. Mikäli vettä nautitaan heti ilmastuksen jälkeen, nämä radonin hajoamistuotteet aiheuttavat säteilyannosta, joka on kuitenkin huomattavasti pienempi kuin itse radonin aiheuttama annos ennen ilmastusta (alle 10 %).

Riittävä viipymä ilmastuksen ja veden käyttöhetken välillä riippuu raakaveden radonpitoisuudesta ja voi vaihdella esimerkiksi alle tunnista neljään tuntiin. Viipymän pituuteen voidaan vaikuttaa ilmastusajankohdalla (ilmastetaan sellaiseen aikaan, jolloin vettä ei tarvita kovin pian ilmastuksen jälkeen) ja varastosäiliön koolla.

Säteilyturvakeskus tutkii parhaillaan suodatinmateriaaleja, jotka pystyisivät poistamaan radonin lyhytikäiset hajoamistuotteet. Mikäli ilmastimen jälkeen voidaan asentaa suodatin poistamaan näitä hajoamistuotteita, viipymää ei tarvita.

#### Asennus

Ilmastin suositellaan asennettavaksi tilaan, jossa lämpötila on korkeintaan 10 °C. Korkeammassa lämpötiloissa kasvaa mikrobiologisen toiminnan mahdollisuus ilmastimessa. Laitteen jäätyminen on estettävä.

Ilmastin on asennettava siten, että mahdollinen kaatumisvaara on estetty, ja ilmastin on suojattava suoralta auringonvalolta.

Mikäli ilmastin asennetaan sisätiloihin, asennustilassa tulee olla lattiakaivo siltä varalta, että vian tai muun toimintahäiriön takia syntyy vesivuoto.

Ilmastuksen yhteydessä vedestä ilmaan vapautuvan radonin kulkeutuminen sisätiloihin tulee estää.

Ilmastin on suojattava ulkopuoliselta likaantumiselta ja ilmastimeen johdettavan ilman tulee olla mahdollisimman pölytöntä ja muista epäpuhtauksista vapaata. Mikäli ilmastimeen johdettavan ilman puhtautta ei muuten pystytä takaamaan, on ilmastimen yhteyteen suositeltavaa asentaa ilmansuodatin.

Ilmastimen asennukseen liittyvät sähkötyöt on tehtävä voimassa olevien säädösten mukaisesti. Sähkötyöt saa tehdä ainoastaan riittävät asennusoikeudet omaava sähköasentaja (lisätietoa: Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähköalan töistä 516/96).

#### Käyttöönotto

Ilmastimen käyttöönotto on tehtävä valmistajan antamien ohjeiden mukaisesti.

#### Käyttö

Puhdistetun veden laatua tulisi seurata säännöllisesti ottamalla vesinäytteitä ja tutkituttamalla ne asianmukaisessa laboratoriossa. Kunnan terveystarkastajalta voi pyytää apua. Vedestä on tutkittava normaalien vesianalyysien lisäksi myös radonpitoisuus. Mikäli erityisesti radon- ja bakteeripitoisuuksien havaitaan kohon-

neen, myös raakavesi olisi tutkittava. Vesinäytteiden ottotiheys riippuu raakaveden laadusta ja laitteesta ja on suunniteltava asennuspaikkakohtaisesti. Vesinäytteet tulisi ottaa kulutushuippujen aikana. Vesinäytteiden otossa on noudatettava annettuja ohjeita.

Mikäli laitteen toiminta edellyttää joitakin säännöllisiä käynnistys- tai muita vastaavia toimenpiteitä, on huolehdittava siitä, että ne tulevat tehtyä säännöllisesti ajallaan.

Ilmastuslaitteiston ja muiden siihen liitettyjen laitteiden puhdistuksesta ja kunnossapidosta on huolehdittava laitteen myyjän antamien ohjeiden mukaisesti, jotta laitteen toiminta ja veden laatu pysyvät suunnitellun mukaisina. Huoltoon kuuluu muun muassa ilmanpuhdistimen ja muiden mahdollisten suodattimien vaihdot sekä magneettiventtiilien puhdistukset.

Liitäntöjen tiiveys tulee tarkistaa silmämääräisesti aika-ajoin, jolloin mahdollisten vesivuotojen aiheuttamat kosteus- ja homeriskit pienenevät. Vettä myös tiivistyy helposti kylmien laitteistojen pintaan, jolloin kosteus- ja homevaurioiden riskit voivat kasvaa myös ympäröivissä materiaaleissa.

### **Käytöstä poisto**

Ilmastuslaitteiston yhteydessä mahdollisesti olevat radionuklideja keräävät suodattimet poistetaan Säteilyturvakeskuksen erikseen antamien ohjeiden mukaisesti. Ohjeet ovat valmisteilla.

### **Aktiivihiihisiuodatus**

#### **Asennus**

Vedessä olevan radonin poistoon käytettävä aktiivihiihisiuodatin tulee asentaa siten, että suodattimesta tuleva gammasäteily ei vaikuta niissä tiloissa, joissa oleskellaan säännöllisesti. Suodatin voidaan asentaa esimerkiksi kellaritiloihin tai erilliseen rakennukseen, jossa oleskelu on vähäistä. Mikäli aktiivihiihisiuodatin joudutaan asentamaan asuinhuoneeseen tai asuintilojen välittömään läheisyyteen, voidaan suodattimesta tulevan gammasäteilyn määrää pienentää sopivalla säteily-suojalla (esimerkiksi betoni, tiilet, vesi, lyijylevy). Lyijy ei myrkyllisyytensä vuoksi kuitenkaan ole suositeltava suojausmenetelmä. Suodattimien säteilysuojaukseen liittyviä kysymyksiä selvitetään parhaillaan Säteilyturvakeskuksessa. Suojauksen tarve tulee toistaiseksi selvittää tapauskohtaisesti mittaamalla ja samoin tarvittava suojaus suunnitellaan tapauskohtaisesti.

Aktiivihiihisiuodatin suositellaan asennettavaksi tilaan, jossa lämpötila on korkeintaan 10 °C, mutta jossa laite ei pääse jäätymään (suosituslämpötila 3 - 10 °C). Korkeammissa lämpötiloissa suodattimessa syntyvä mikrobiologinen toiminta kiihtyy.

Tilassa, johon suodatin asennetaan, tulee olla lattiakaivo siltä varalta, että vian tai muun toimintahäiriön takia syntyy vesivuoto.

Aktiivihiihisiuodatin on asennettava tasaiselle alustalle siten, että suodatin ei pääse kaatumaan.

Mikäli kyseessä on automaattiohjattu suodatin, automaatio on kytkettävä maadoitettuun pistorasiaan.

Mikäli on mahdollista, että hiileen jää ilmaa asennusvaiheessa, on ilman poistosta huolehdittava. Ilma voidaan poistaa valmistajan ohjeiden mukaisesti esimerkiksi ilmausruuvien tai korkin avulla.

### **Käyttöönotto**

Aktiivihiihisiuodattimen asennuksen jälkeen suodattimessa oleva hiili on huuhdeltava valuttamalla hanoista vettä täydellä virtaamalla mielellään vähintään muutama tunnin ajan.

## Käyttö

Puhdistetun veden laatua tulisi seurata säännöllisesti ottamalla vesinäytteitä ja tutkituttamalla ne asianmukaisessa laboratorioissa. Kunnan terveystarkastajalta voi pyytää apua. Vedestä on tutkittava normaalien vesianalyyysien lisäksi myös radonpitoisuus. Mikäli erityisesti radon- ja bakteeripitoisuuksien havaitaan kohonneen, myös raakavesi olisi tutkittava. Vesinäytteiden ottotiheys riippuu raakaveden laadusta ja laitteesta ja on suunniteltava asennuspaikkakohtaisesti. Veden laadun varmistamisen lisäksi mm. aktiivihiielen oikean vaihtovälin löytyminen edellyttää ainakin toistaiseksi suodattimen säännöllistä tarkkailua. Vesinäytteet tulisi ottaa kulutushuippujen aikana. Vesinäytteiden otossa on noudatettava annettuja ohjeita.

Kun suodatin on seissyt pidempään, esimerkiksi yön yli, tulisi vettä valuttaa hetken aikaa (vähintään puoli minuuttia, mielellään jopa muutama minuutti) ennen käyttöä, jotta mahdollinen bakteeripitoisempi vesi saadaan valutettua pois.

Aktiivihiiლისuodattimen ja muiden siihen liitettyjen laitteiden kunnossapidosta (esimerkiksi kiintoainesuodattimen vaihdosta) on huolehdittava säännöllisesti laitteiston myyjän antamien ohjeiden mukaisesti, jotta laitteen toiminta ja veden laatu pysyvät suunnitellun mukaisina. Mikäli laitteen toiminta edellyttää joitakin säännöllisiä käynnistys- tai muita vastaavia toimenpiteitä, on huolehdittava siitä, että ne tulevat tehtyä säännöllisesti ajallaan.

Liitäntöjen tiiveys tulee tarkistaa silmämääräisesti aika-ajoin, jolloin kosteus- ja homeeriskit pienenevät. Vettä myös tiivistyy helposti kylmien laitteistojen pintaan, jolloin kosteus- ja homevaurioiden riskit voivat kasvaa myös ympäröivissä materiaaleissa.

Koska suodatin on säteilynlähde, oleskelua suojaamattoman suodattimen välittömässä läheisyydessä tulee välttää. Mahdollisia annettuja ohjeita turvaetäisyydestä, suojauksesta yms. tulee noudattaa.

Aktiivihiielen vaihdon yhteydessä on huolehdittava riittävästä hygieniasta, jotta suodattimeen tai hiielen ei joudu bakteereja ja muita epäpuhtauksia. Hiielen vaihto tulee muutenkin suorittaa annettujen ohjeiden mukaisesti.

## Käytöstä poisto

Vedessä olevan radonin poistoon käytetty aktiivihiieli poistetaan Säteilyturvakeskuksen erikseen antamien ohjeiden mukaan (lisätietoa kohdassa 2.3.2). Ohjeet ovat valmisteilla.



# Kirjallisuus

- Boox, C. 1995. Orienterade undersökning av effekten av vattenbehandlingsutrustning på radonhalten i vatten från borrade brunnar. Stockholm, Statens strålskyddsinstitut. 22 s. SSI-rapport 95-14. ISSN 0282-4434.
- Collman, G.W., Loomis, D.P. ja Sandler, D.P. 1991. Childhood cancer mortality and radon concentrations in drinking water in North Carolina. *Br J Cancer*, 63, s. 626-629.
- Haberer, K., Akkermann-Kubillus, A. ja Dalheimer, A. 1997. Verhalten von Radon in Aktivkohlefiltern. Wiesbaden, ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie GmbH. 53 s.
- Hiltebrand, D.J., Dyksen, J.E., Raman, K. 1988. Radon in water supply wells: treatment facility requirements and costs. Teoksessa: Graves, B. (toim.): Radon, Radium and Other Radioactivity in Ground Water. Proceedings of the NWWA Conference, April 7-9, 1987, Somerset, New Jersey. 2nd printing. Lewis Publishers, Inc., Chelsea, Michigan, s. 521-534.
- Jokela, P. 1993. Radionuklidien poistaminen pohjavedestä. Helsinki, Vesi- ja ympäristöhallitus. 101 s. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja, Nro 461. ISBN 951-47-6726-8. ISSN 0783-3288.
- Juntunen, R. ja Backman, B. 1996. Uraani ja radon pohjavedessä. *Vesitalous* 2/1996.
- Kilpeläinen, J. 1997. Radox-puhdistimen poistoputken tilavuusvirran mittaaminen. Espoo, Teknillinen korkeakoulu, Aerodynamiikan laboratorio. 8 s. Raportti T-125.
- Kinner, N.E., Schell, G., Quern, P. ja Lessard, C. 1989. Radon removal from drinking water using granular activated carbon, packed tower aeration and diffused bubble aeration techniques. Teoksessa: Osborne, M.C. ja Harrison, J. (symposium cochairmen): Proceedings: The 1988 Symposium on radon and radon reduction technology, Vol 1, Symposium Oral Papers. U.S. Environmental Protection Agency, s. 8-23 - 8-36, March. EPA/600/9-89/006a.
- Kinner, N.E., Malley, J.P.Jr., Clement, J.A., Quern, P.A. ja Schell, G.S. 1990. Radon Removal Techniques for Small Community Public Water Supplies. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio. 270 s. EPA/600/2-90/036.
- Korkka-Nieminen, K., Sipilä, A., Hatva, T., Hiisvirta, L., Lahti, K. ja Alftan, G. 1993. Valtakunnallinen kaivosvesitutkimus: talousveden laatu ja siihen vaikuttavat tekijät. Helsinki, Vesi- ja ympäristöhallitus, Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö. 228 s. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja, sarja A, Nro 146. Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön selvityksiä, 2/93. ISSN 0786-9592, ISBN 951-47-7567-8 (Vesi- ja ympäristöhallinto). ISSN 1236-2115, ISBN 951-47-7382-9 (Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö).
- Lidén, E. ja Hellman, B. 1995. Kunskapsammanställning och värdering av hälsoeffekter av exponering för radon i dricksvatten. Yrkes- och miljömedicinska kliniken, Örebro.
- Lidén, E., Lindén A., Andersson, L., Åkerblom, G. ja Åkesson, T. 1995. Radon i vatten från bergborrade brunnar. Resultat från en undersökning i Örebro kommun. Stockholm, Statens strålskyddsinstitut. 70 s. SSI-rapport 95-18. ISSN 0282-4434.
- Lindén, A. 1997. Utvärdering av radonavskiljare. Effekt på radon i dricksvatten från bergborrade brunnar. Stockholm, Statens strålskyddsinstitut. 72 s. SSI-rapport 97:01. ISSN 0282-4434.
- Lindgren, J. 1998. Radon i vatten. Statens strålskyddsinstitut, Boverket, Livsmedelsverket, Socialstyrelsen och Sveriges Geologiska Undersökning. 19 s. SSI information i98:03. ISSN 0281-2339.
- Lowry, J.D. ja Brandow, J.E. 1985. Removal of Radon from Water Supplies. *Journal of Environmental Engineering*, vol. 111, nro 4, s. 511-527. August.
- Lowry, J.D., Brutsaert, W.F., McEnerney, T. ja Molk, C. 1987. Point-of-Entry Removal of Radon From Drinking Water. *Journal American Water Works Association*, vol. 79, nro 4, s. 162-169, April.
- Lowry, J.D. ja Lowry, S.B. 1987. Modeling Point-of-Entry Radon Removal by GAC. *Journal American Water Works Association*, vol. 79, nro 10, s. 85-88, October.

- Lowry, J.D., Hoxie, D.C. ja Moreau, E. 1988. Extreme Levels of  $^{222}\text{Rn}$  and U in a Private Water Supply. Teoksessa: Graves, B. (toim.): Radon, Radium and Other Radioactivity in Ground Water. Proceedings of the NWWA Conference, April 7-9, 1987, Somerset, New Jersey. 2nd printing. Lewis Publishers, Inc., Chelsea, Michigan, s. 363-375.
- Lowry, J.D., Lowry, S.B. ja Toppan, W.C. 1989. New developments and considerations for radon removal from water supplies. Teoksessa: Osborne, M.C. ja Harrison, J. (symposium cochairmen): Proceedings: The 1988 Symposium on radon and radon reduction technology, Vol 1, Symposium Oral Papers. U.S. Environmental Protection Agency, s. 8-9 - 8-22, March. EPA/600/9-89/006a.
- Myllymäki, P. 1996. Radonin ja uraanin poisto kalliopohjavedestä. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. 104 s. Suomen ympäristö 50, Rakentaminen. ISBN 952-11-0074-5. ISSN 1238-3712.
- Nazaroff, W.W., Doyle, S.M., Nero, A.V. ja Sexto, R.G. 1987. Potable water as a source of airborne  $^{222}\text{Rn}$  in US dwellings: A review and assesment. Health Physics, vol. 52, nro 3, s. 281-296.
- Paris, D. 1993. Radon treatment in small systems. Teoksessa: AWWA 1993 Annual conference proceedings: Engineering and operation. San Antonio, TX, Jun 6-10, s. 22-23.
- Prichard, H.M. 1987. The transfer of Radon From Domestic Water to Indoor Air. Journal American Water Works Association, vol. 79, nro 4, s. 159-161, April.
- Reasoner, D.J., Blannon, J.C. ja Geldreich, E.E. 1987. Microbiological Characteristics of Third-Faucet Point-of-Use Devices. Journal American Water Works Association, vol. 79, nro 10, s. 60-66, October.
- Regunathan, P. ja Beauman, W.H. 1987. Microbiological Characteristics of Point-of-Use Precoat Carbon Filters. Journal American Water Works Association, vol. 79, nro 10, s. 67-75, October.
- Rozelle, L.T. 1987. Point-of-Use and Point-of-Entry Drinking Water Treatment. Journal American Water Works Association, vol. 79, nro 10, s. 53-59, October.
- Salonen, L. 1994.  $^{238}\text{U}$  series radionuclides as a source of increased radioactivity in groundwater originating from Finnish bedrock. Teoksessa: Future Groundwater Resources at Risk. Proceedings of the Helsinki Conference, June 1994. IAHS Publ. nro 222.
- Salonen, L. ja Hukkanen, H. 1997. Advantages of low-background liquid scintillation alpha-spectrometry and pulse shape analysis in measuring  $^{222}\text{Rn}$  in groundwater samples. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, vol. 226, nro:t 1-2, s. 67-74.
- Sawyer, C, McCarty, P ja Parkin, G. 1994. Chemistry for environmental engineering. 4. painos. McGraw-Hill international editions. Civil engineering series. 658 s. ISBN 0-07-113908-7.
- SLV FS 1997:32. Statens livsmedelsverks kungörelse om ändring i kungörelsen (SLV FS 1989:30) med föreskrifter och allmänna råd om dricksvatten. Bibliogr data: Uppsala 1997 Statens livsmedelsverk författningssamling, 7 s.
- ST-ohje 12.3 1993. Talousveden radioaktiivisuus. Säteilyturvakeskus, Helsinki. 9 s. ISBN 951-47-7941-X. ISSN 0789-4554.
- Swedjemark, G. ja Lindén, A. 1998. Naturligt förekommande radionuklider i dricksvatten före och efter radonvaskiljare. Statens strålskyddsinstitut. SSI-rapport 98:12. 19 s. ISSN 0282-4434.
- Säteily- ja ydinturvallisuuskatsauksia 1998. Sisäilman radon. Säteilyturvakeskus (STUK), Helsinki, tammikuu.
- Turtiainen, T. 1999. Radon Removal from Different Types of Groundwater Applying Granular Activated Carbon Filtration. Helsinki, STUK-Radiation and Nuclear Safety Authority. Master's thesis University of Helsinki, Faculty of Science, Department of Chemistry, Laboratory of Radiochemistry. 91 s.
- Watson, J.E. ja Crawford-Brown, D.J. 1991. Use of Activated Carbon to Remove Radon from Drinking Water. North Carolina Water Resources Research Institute, Raleigh. Report No. 260. 33 s.
- Åkerblom, G. ja Lindgren, J. 1997. Mapping of ground water radon potential. European Geologist, no. 5, s. 13-22.

## Liite I. Kohteissa AI - LI seurattut vedenlaatuparametrit

Kohde T = tuleva vesi I = ilmastettu vesi	Al									BI*			
		T	T	I	T	I	T	I	T	I	T	T	I
parametri	yksikkö	4.3.96	22.9.97	22.9.97	1.10.97	1.10.97	15.10.97	15.10.97	2.2.98	2.2.98	16.10.96	9.10.97	9.10.97
Rn-222	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	20000	22200	178	17200	59	19500	29	22300	50-1960	5800	5900	110
U-238	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	1,61											
U-234	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	2,16											
Uraani	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	0,13											
Ra-226	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	2,2	2,63		1,77	1,6							
Po-210	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	0,91											
Pb-210	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	1,34											
lämpötila	°C		7,0	12,0			7	12			12,5		
O <sub>2</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>								2,2	11,6	5,9		
O <sub>2</sub>	kyll.-%										55		
sameus	FTU		0,19	0,09			0,34	0,2	0,11	0,06	0,39	1,88	0,21
sähkönjoht.	mSm <sup>-1</sup>		21,9	21,7							25		
pH			8,1	8,0			8,0	8,1	8,1	8,1	8	8,2	8,3
alkaliteetti	mmoll <sup>-1</sup>		1,88	1,88					1,91	1,87	2,12		
KMnO <sub>4</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		1,3	1,3					2,1	2,2	< 2	2,0	1,7
TOC	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>								0,8	0,9			
COD <sub>Hn</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>										< 0,5		
NO <sub>2</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>												
NO <sub>3</sub> + NO <sub>2</sub> -N	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>										0,039		
NO <sub>3</sub> -N	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		8	6									
NO <sub>3</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,04	0,03							0,16		
NH <sub>4</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,01	< 0,01							0,03		
NH <sub>4</sub> -N	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>										0,02		
PO <sub>4</sub> -P	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,01	< 0,005							0,02		
Fe	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,03	0,01			0,06	0	0,02	0,011	0,02	0,068	0,007
Mn	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,05	0,06			0,04	0	0,06	0,067	0,03	0,033	0,03
Na	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		16,0	17,0							31		
K	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>										3,3		
Ca	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>										15,6		
Mg	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>										4		
F	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,28	0,28							1,2		
kok.kovuus	mmoll <sup>-1</sup>		0,74	0,74			0,74	0,7	0,7	0,74	0,55	0,55	0,56
Cl	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		6,7	6,4							5,6		
SO <sub>4</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		7,4	7,3							12,5		
redox-pot.	mV						234	227	280	277		229	230
asiditeetti	mmol/l		0,03	0,03									
heterot.22°C	pmy/ml		77	> 3000			49	> 3000	8	1100		1	9
heterot.35°C	pmy/ml		31	140			30	320	12	730		1	1
alust. E.Coli	pmy/100ml								0	0			
colif.35°C	pmy/100ml								0	0			

\* 16.10.96 ja 9.10.97 raakaveden radonpitoisuudet todennäköisesti suuremmat kuin tässä ilmoitettu (näytteenotosta johtuen); 14.2.97 tuleva vesi vähintään 9180 Bq/l, ilmastettu 130 Bq/l; 3.3.97 tuleva vesi vähintään 8730 Bq/l, ilmastettu 65 Bq/l; 15.4.97 tulevan veden radonpitoisuus vähintään 9150 Bq/l, ilmastettu vesi 52 Bq/l; 11.12.97 tulevan veden radonpitoisuus vähintään 3900 Bq/l, ilmastettu vesi 272 Bq/l

\*\* 10.11.97 ilmastetun veden radonpitoisuudeksi mitattiin 235 Bq/l

Kohde	T=tuleva vesi I=ilmastettu vesi	CI***						DI***		
		T	T	T	I	T	I	T	T	I
parametri	yksikkö	6.2.95	18.12.95	5.2.96	8.10.97	11.12.97	11.12.97	8.10.97	17.12.97	17.12.97
Rn-222	Bq <sup>l-1</sup>	11600	14000	18000	250	4300	24-1430	760	740	
U-238	Bq <sup>l-1</sup>	16,3								
U-234	Bq <sup>l-1</sup>	28,6								
Uraani	mg <sup>l-1</sup>	1,32								
Ra-226	Bq <sup>l-1</sup>	0,25								
Po-210	Bq <sup>l-1</sup>	1,89								
Pb-210	Bq <sup>l-1</sup>	1,32								
lämpötila	°C				8,7			7,2	7,1	9,2
O <sub>2</sub>	mg <sup>l-1</sup>		2,6			11,8	15,0			
O <sub>2</sub>	kyll.-%									
sameus	FTU		0,21	0,03	0,27	19,6	1,91	0,81	0,75	1,1
sähkönjoht.	mS <sup>m-1</sup>		18,8	20,6					22,2	22,2
pH			7,3	7,8	7,9	7,2	7,6	8,3	8,1	8,1
alkaliteetti	mmoll <sup>-1</sup>		1,59	1,88		1,78	1,36		1,96	1,97
KMnO <sub>4</sub>	mg <sup>l-1</sup>		7,6		16,1	23,2	27,2	2	2,7	3,1
TOC	mg <sup>l-1</sup>				3,7	2,6	4,3			
COD <sub>h<sub>n</sub></sub>	mg <sup>l-1</sup>		1,9							
NO <sub>2</sub>	mg <sup>l-1</sup>		< 0,003							
NO <sub>3</sub> + NO <sub>2</sub> -N	mg <sup>l-1</sup>									
NO <sub>3</sub> -N	mg <sup>l-1</sup>		0,044	0,025						
NO <sub>3</sub>	mg <sup>l-1</sup>		0,19	0,11		< 0,5	1,02		< 0,5	< 0,5
NH <sub>4</sub>	mg <sup>l-1</sup>		0,005	0,008						
NH <sub>4</sub> -N	mg <sup>l-1</sup>		0,004	0,006						
PO <sub>4</sub> -P	mg <sup>l-1</sup>		0,026	0,031	0,029	0,036	0,032			
Fe	mg <sup>l-1</sup>		0,020	0,005	0,026	0,39	0,16	0,064	0,19	0,074
Mn	mg <sup>l-1</sup>		0,072	0,079	0,041	0,17	0,071	0,022	0,022	0,021
Na	mg <sup>l-1</sup>		22							
K	mg <sup>l-1</sup>		1,5							
Ca	mg <sup>l-1</sup>		15,4	16,4						
Mg	mg <sup>l-1</sup>		3,0	3,3						
F	mg <sup>l-1</sup>		0,18	0,23	0,19	0,18	0,09		0,3	0,31
kok.kovuus	mmoll <sup>-1</sup>		0,51	0,54	0,46				0,69	0,7
Cl	mg <sup>l-1</sup>		3,3	2,9		3,4	2,5			
SO <sub>4</sub>	mg <sup>l-1</sup>		10,1	9,6	9	9,6	9,0			
redox-pot.	mV				234	309	300			
asiditeetti	mmol/l									
heterot.22°C	pmy/ml				> 3000				1500	> 3000
heterot.35°C	pmy/ml				420				150	810
alust. E.Coli	pmy/100ml								0	0
colif. 35°C	pmy/100ml								1	96

\*\*\* 2.1.98 mitattiin tulevan veden radonpitoisuudeksi 690 Bq/l, ilmastettu vesi 25-120 Bq/l.

Kohde T=tuleva vesi I=ilmastettu vesi parametri yksikkö	EI <sup>+</sup>				FI		
	T	T	T	I	T	T	I
	13.4.83	13.8.96	18.11.97	18.11.97	18.2.94	18.11.97	18.11.97
Rn-222 Bq <sup>l-1</sup>		27500	24400	141-5610	14200	12000	553-2800
U-238 Bq <sup>l-1</sup>							
U-234 Bq <sup>l-1</sup>							
Uraani mg <sup>l-1</sup>							
Ra-226 Bq <sup>l-1</sup>		1,5			0,59		
Po-210 Bq <sup>l-1</sup>		1,23			0,10		
Pb-210 Bq <sup>l-1</sup>		1,84			0,47		
lämpötila °C			7,7	10,1		8,4	8,7
O <sub>2</sub> mg <sup>l-1</sup>							
O <sub>2</sub> kyll.-% sameus FTU			< 0,05	< 0,05		0,16	0,22
sähköjoht. mSm <sup>-1</sup>	25						
pH			8,0	7,9		7,9	7,9
alkaliteetti mmol <sup>l-1</sup>							
KMnO <sub>4</sub> mg <sup>l-1</sup>	8		2,8	2,9		1,9	1,8
TOC mg <sup>l-1</sup>			1,2	1,0		0,7	0,6
NO <sub>2</sub> mg <sup>l-1</sup>							
NO <sub>3</sub> -N mg <sup>l-1</sup>							
NO <sub>3</sub> mg <sup>l-1</sup>	< 1						
NH <sub>4</sub> mg <sup>l-1</sup>							
PO <sub>4</sub> -P mg <sup>l-1</sup>							
Fe mg <sup>l-1</sup>	0,1		0,021	0,025		0,120	0,087
Mn mg <sup>l-1</sup>			0,011	0,012		0,077	0,068
Na mg <sup>l-1</sup>							
K mg <sup>l-1</sup>							
Ca mg <sup>l-1</sup>							
Mg mg <sup>l-1</sup>							
F mg <sup>l-1</sup>	0,7						
kok.kovuus mmol <sup>l-1</sup>							
Cl mg <sup>l-1</sup>							
SO <sub>4</sub> mg <sup>l-1</sup>							
redox-pot. mV			262	275		272	280
CO <sub>2</sub> mg <sup>l-1</sup>							
asiditeetti mmol/l							
heterot.22°C pmy/ml			15	> 3000		1400	900
heterot.35°C pmy/ml			2	150		180	170
alust. E.Coli pmy/100ml							
colif. 44°C pmy/100ml	0						
colif. 35°C pmy/100ml	0		0	0		8	2

+ 28.10.97 tulevan veden radonpitoisuudeksi oli mitattu 26 800 Bq/l ja ilmastetun veden pitoisuus oli 17-310 Bq/l

+ + 30.9.97 tulevan veden radonpitoisuudeksi oli mitattu 7 750 Bq/l ja ilmastetun veden pitoisuus oli yli 400 Bq/l

Kohde T=tuleva vesi I=ilmastettu vesi	G1 <sup>++</sup>								H1	+++ ionin- vaihdin	+++ I
		T	T	I+An- ionin- vaihdin	T	I	T	I			
parametri	yksikkö	9.8.95	22.8.97	22.8.97	23.10.97	23.10.97	11.12.97	11.12.97	15.9.97	15.9.97	15.9.97
Rn-222	Bq/l <sup>-1</sup>	5800	7390	590 <sup>++++</sup>	7350	1300	8660	760-1300	330		12
U-238	Bq/l <sup>-1</sup>	12,05							1,71	0,003	0,0007
U-234	Bq/l <sup>-1</sup>	16,12							3,04	0,004	0,002
Uraani	mg/l <sup>-1</sup>	0,975							0,138	0,0002	0,0001
Ra-226	Bq/l <sup>-1</sup>	4,2									
Po-210	Bq/l <sup>-1</sup>	0,058									
Pb-210	Bq/l <sup>-1</sup>	0,319									
lämpötila	°C		9,7	16,9							
O <sub>2</sub>	mg/l <sup>-1</sup>		4,5	10,0			0,8		2	2	12
O <sub>2</sub>	kyll.-%										
sameus	FTU		0,18	0,08	< 0,05	0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
sähkönjoht.	mSm <sup>-1</sup>		31,6	33,6			31,2		41,3	44,7	45,7
pH			7,3	7,3	7,3	7,8	7,4	7,8	7,6	7,4	8,0
alkaliteetti	mmoll <sup>-1</sup>		1,96	1,05	2,03	2,01	2,04		3	2,17	2,19
KMnO <sub>4</sub>	mg/l <sup>-1</sup>				1,7	< 1	2,2	2,5	3,2	< 1	1,4
TOC	mg/l <sup>-1</sup>		1,1	0,6			1,3	1,3			
NO <sub>2</sub>	mg/l <sup>-1</sup>		0,02	< 0,01							
NO <sub>3</sub> -N	mg/l <sup>-1</sup>								0,059		
NO <sub>3</sub>	mg/l <sup>-1</sup>		8	0,6	7,5	7,09	6,9	7,0	0,26		
NH <sub>4</sub>	mg/l <sup>-1</sup>		0,01	0,02					< 0,01	< 0,01	< 0,01
PO <sub>4</sub> -P	mg/l <sup>-1</sup>		0,006	< 0,005	< 0,005		0,005		< 0,005	< 0,005	< 0,005
Fe	mg/l <sup>-1</sup>		0,004	< 0,002	0,009	0,006	0,004	0,005	0,003	< 0,002	< 0,002
Mn	mg/l <sup>-1</sup>		0,043	0,015	0,039	0,035	0,036	0,033	0,11	0,006	0,006
Na	mg/l <sup>-1</sup>		23,0				24,0		18	96	96
K	mg/l <sup>-1</sup>		2,00				1,90				
Ca	mg/l <sup>-1</sup>		35,0								
Mg	mg/l <sup>-1</sup>		5,00								
F	mg/l <sup>-1</sup>		0,39	0,38	0,42		0,43		0,3	0,3	0,29
kok.kovuus	mmoll <sup>-1</sup>		1,02	< 0,05	1,01		0,99	0,99	1,76	0,1	0,14
Cl	mg/l <sup>-1</sup>		18,1	73,2	18		18		23,6	39,4	40
SO <sub>4</sub>	mg/l <sup>-1</sup>		20,8	1,28	21		19		18,2	< 1	1,4
redox-pot.	mV				248	290	300	287			
CO <sub>2</sub>	mg/l <sup>-1</sup>		10,1	4,8							
asiditeetti	mmol/l		0,23	0,11			0,2		0,16	0,12	0,02
heterot.22°C	pmy/ml		37	350	530	1900	7	1700	10	14	31
heterot.35°C	pmy/ml				12	65	1	75	0	5	11
alust. E.Coli	pmy/100ml		0	0							
colif. 44°C	pmy/100ml										
colif. 35°C	pmy/100ml		0	0							

+++ uraanitulosten virherajat ± 40 %

++++ suodattamattoman veden radonpitoisuus 930 Bq/l

Kohde T=tuleva vesi I=ilmastettu vesi parametri yksikkö	II					JI		
	T	T	I	T	I	T	T	I
	7.10.96	22.10.97	22.10.97	17.12.97	17.12.97	26.8.97	20.1.98	20.1.98
Rn-222 Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	15700	11937	100	15500	98	3800	3920	39
U-238 Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	0,47							
U-234 Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	0,86							
Uraani mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	0,038							
kok.alfa Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>							40,9	37,7
Ra-226 Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	2,7						1,52	1,38
Po-210 Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	0,94							
Pb-210 Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	0,88							
lämpötila °C							7,4	5,5
O <sub>2</sub> mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>							0,5	11,6
O <sub>2</sub> kylil.-% sameus FTU		3,53	1,9	2,65	1,36			
sähköjoht. mSm <sup>-1</sup>		45,2		43,2	42,9			
pH		7,9	8,2	7,7	8,1		7,7	8,3
alkaliteetti mmoll <sup>-1</sup>		2,74		2,85	2,80		1,72	1,82
KMnO <sub>4</sub> mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		3,9		3,8	3,7		3,7	5,1
TOC mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>							1,9	2
COD <sub>Hn</sub> mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>								
NO <sub>3</sub> + NO <sub>2</sub> -N mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>								
NO <sub>3</sub> mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		< 0,5		< 0,5	< 0,5		< 0,5	< 0,5
NH <sub>4</sub> mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>								
NH <sub>4</sub> -N mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>								
PO <sub>4</sub> -P mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>								
Fe mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,41	0,19	0,16	0,15		0,13	0,066
Mn mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,11	0,18	0,20	0,17		0,044	0,034
F mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,52		0,55	0,55			
kok.kovuus mmoll <sup>-1</sup>		1,48	1,47	1,49	1,48		0,9	0,89
Cl mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>								
SO <sub>4</sub> mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>								
redox-pot. mV							316	306
asiditeetti mmol/l							0,06	0,01
heterot.22°C pmy/ml		70	> 3000	560	2400		1300	> 3000
heterot.35°C pmy/ml		2	420	380	700		190	1100
alust. E.Coli pmy/100ml				0	0			
colif. 44°C pmy/100ml								
colif. 35°C pmy/100ml				0	10		4	0
fek. strept. pmy/100ml								

Kohde		KI				LI	
T=tuleva vesi I=ilmastettu vesi		T	T	T	I	T	I
parametri	yksikkö	14.6.95	12.10.95	15.10.97	15.10.97	17.2.97	17.2.97
Rn-222	Bq <sup>l</sup>	170	330	510	15	28400	280
U-238	Bq <sup>l</sup>	1,59					
U-234	Bq <sup>l</sup>	2,00					
Uraani	mg <sup>l</sup>	0,129				n. 4,4	
kok.alfa	Bq <sup>l</sup>					151	
Ra-226	Bq <sup>l</sup>	0,014	0,03			6,431	
Po-210	Bq <sup>l</sup>	0,129					
Pb-210	Bq <sup>l</sup>	0,284					
lämpötila	°C					7,5	8,9
O <sub>2</sub>	mg <sup>l</sup>					3,5	11,5
O <sub>2</sub>	kyll.-%					2,9	9,9
sameus	FTU			0,27	0,57	2,7	3,8
sähköjoht.	mSm <sup>-1</sup>					43,5	43,8
pH				8,1	8,1	6,9	7,8
alkaliteetti	mmoll <sup>-1</sup>					2,62	2,49
KMnO <sub>4</sub>	mg <sup>l</sup>			2,3	2,4	8,4	8,8
TOC	mg <sup>l</sup>						
COD <sub>tn</sub>	mg <sup>l</sup>					2,1	2,2
NO <sub>3</sub> + NO <sub>2</sub> -N	mg <sup>l</sup>					1,9	1,8
NO <sub>3</sub>	mg <sup>l</sup>					8,42	7,97
NH <sub>4</sub>	mg <sup>l</sup>					0,003	0,004
NH <sub>4</sub> -N	mg <sup>l</sup>					0,002	0,003
PO <sub>4</sub> -P	mg <sup>l</sup>			0,018		0,013	0,020
Fe	mg <sup>l</sup>			0,069	0,140	0,3	0,65
Mn	mg <sup>l</sup>			0,003	0,004	0,066	0,061
F	mg <sup>l</sup>			0,77			
kok.kovuus	mmoll <sup>-1</sup>			0,59	0,62		
Cl	mg <sup>l</sup>					37,3	39,9
SO <sub>4</sub>	mg <sup>l</sup>			12		26,2	25,2
redox-pot.	mV			237	235		
asiditeetti	mmol/l						
heterot.22°C	pmy/ml			> 3000	> 3000		
heterot.35°C	pmy/ml			500	550		
alust. E.Coli	pmy/100ml						
colif. 44°C	pmy/100ml					0	0
colif. 35°C	pmy/100ml					2	0
fek. strept.	pmy/100ml					0	0



## Liite 2. Kohde AS: Aktiivihiihien vertailukokeissa mitatut radonpitoisuudet

radonpitoisuus Bq/l

näyte	1996		1997															
	4.12.	9.1.	20.1.	22.1.	27.1.	29.1.	3.2.	5.2.	10.2.	12.2.	18.2.	24.2.	26.2.	3.3.	5.3.	10.3.	12.3.	17.3.
T ei valutettu	4100	1950		2300	2580	2930	2220			4610				3300				2840
T valutettu	3500		4280	2840	4030		5590	3940	6230	3100	5720	6150	4800	5720	6690	5580	5180	7760
2 ei valutettu				0	0	2	6			22				45				64
2 valutettu			0		0		5	9	13	26	45	70	76	58	53	65	82	87
3 ei valutettu				0	6	12	21			36								92
3 valutettu			0	0	3		19	30	33	33	66	64	70	70	46	61	100	100

radonpitoisuus Bq/l

näyte	1997																										
	1.4.	7.4.	9.4.	14.4.	21.4.	23.4.	28.4.	30.4.	5.5.	9.5.	12.5.	14.5.	19.5.	21.5.	26.5.	28.5.	2.6.	4.6.	9.6.	16.6.	18.6.	23.6.	25.6.	30.6.	2.7.	7.7.	9.7.
T ei valutettu		1990		1170	3110		2460		3290		840	2800	3380			3820			3640			3990			3640		3290
T valutettu	6380	5670	1500	3720	4180	6800	3800	5010	5580	4190	9250	4260	7300	9300	5280	6490	6400	7410	8130	7200	7710	7240	7040	11100	7690	7390	5890
4 ei valutettu		38		76	110		160		130																		
4 valutettu	8	57	57	96	140	160	170	120	130	210																	
5 ei valutettu		2		6	25		36		46		49	54	58			99			110			130			150		151
5 valutettu	0	3	5	9	27	42	46	60	68	69	53	57	66	120	120	140	150	140	120	160	180	140	170	180	180	165	165
6 ei valutettu											0	0	0			22			95						160		167
6 valutettu											0	0	0	3	16	24	59	76	99	110	130	130	150	160	160	165	188

T = tuleva vesi

2 = aktiivihiihi nro 2

3 = aktiivihiihi nro 3

4 = aktiivihiihi nro 4

5 = aktiivihiihi nro 5

6 = aktiivihiihi nro 6

ei valutettu = vettä on valutettu ennen näytteenottoa vain sen verran, että putkistossa seisonut vesi vaihtui

valutettu = vettä on valutettu tavallisesti noin 40 l/suodatin (tammi-helmikuussa 13 - 78 l)

**Liite 3. Kohde AS: aktiivihillen vertailukokeet, veden laadun muuttuminen**

T = tuleva vesi; 2 = aktiivihilli nro 2; 3 = aktiivihilli nro 3; L = tulos alle määrittäjärajan

	näyte	31.8.1994	4.12.1996	20.1.1997	27.1.1997	3.2.1997	24.2.1997	10.3.1997
lämpötila °C	T		7,1	5,7	6,6	8,3	6,7	7,1
	2			6	7,9	8,6	6	5,3
	3			7,1	8,2	8,9	5	5,6
happi mg/l	T		8,9	7,4	9,4	9		8,1
	2				1,6	4,8		8,1
	3				7,3	7,4		8,3
happi-% kyll.%	T		73	59	76	76		67
	2				14	42		64
	3				62	64		66
sameus FTU	T	0,11	0,23	1,3	0,79	0,73		0,64
	2			1,8	0,58	0,23		0,64
	3			1,2	1,1	0,37		0,11
sähkönjoht. mS/m	T	69	57	58	57,5	56		
	2			65	56	56		
	3			59	57	56		
alkaliniteetti mmol/l	T		3,33	3,32	3,4	3,36	3,36	3,3
	2			4,65	3,6	3,81	3,3	3,31
	3			2,06	3,3	3,69	2,99	3,22
pH	T	8,1	7,9	7,8	8,1	8	7,9	7,9
	2			9,5	9	8,3	7,9	7,9
	3			7,6	8	8	7,9	7,9
väriluku PT mg/l	T		5	5	5	5		
	2			5	5	5		
	3			5	5	5		
COD <sub>Mn</sub> mg/l	T	0,65	L 0,5	0,8	0,7	0,8		0,8
	2			L 0,5	L 0,5	L 0,5		L 0,5
	3			L 0,5	L 0,5	L 0,5		L 0,5
NO <sub>2</sub> +NO <sub>3</sub> -N mg/l	T	90	L 2	L 2	L 2	L 2		L 2
	2			21	L 2	L 2		L 2
	3			3	L 2	L 2		L 2
NH <sub>4</sub> -N mg/l	T	10	6	5	8	6	10	8
	2			7	7	6	4	6
	3			1	8	1	2	3
PO <sub>4</sub> -P mg/l	T		L 2	4	3	L 2	3	L 2
	2			3200	195	85	9	4
	3			18	4	2	3	L 2
Fe mg/l	T	20	72	60	77	67		64
	2			14	L 5	5		7
	3			10	7	L 5		L 5
Mn mg/l	T	20	60	79	49	60		54
	2			20	24	48		51
	3			10	46	46		51
Na mg/l	T		92	94	95	94		
	2			93	95	94		
	3			110	95	95		
K mg/l	T		1,9	1,9	2	2	1,9	
	2			70	2,3	2,2	2	
	3			1,8	2,1	2,1	1,9	
Ca mg/l	T		25	25	24	25		31
	2			4,2	22	24		31
	3			9,4	24	25		31

	näyte	31.8.1994	4.12.1996	20.1.1997	27.1.1997	3.2.1997	24.2.1997	10.3.1997
Mg	mg/l							
	T		4,6	4,8	4,7	4,7		4,8
	2			6,1	4,5	4,7		4,7
	3			3,2	4,7	4,7		4,7
F	mg/l							
	T		1300	1300	1300	1300		
	2			1200	1300	1300		
	3			390	1300	1300		
kok.kovuus	mmol/l							
	T		0,81	0,82	0,79	0,82		0,97
	2			0,36	0,73	0,79		0,97
	3			0,37	0,79	0,82		0,97
Cl	mg/l							
	T		47	50,2	49,4	50		
	2			36,5	47	49,5		
	3			52	48,8	50,4		
SO <sub>4</sub>	mg/l							
	T		40	39,1	39,8	40,1	40	41
	2			25,9	32,8	38,2	41	42
	3			100	39,3	40,3	39	42

T = tuleva vesi; 4 = aktiivihilli nro 4; 5 = aktiivihilli nro 5; L = tulos alle määrittäysrajan

		näyte	1.4.1997	14.4.1997	12.5.1997	30.6.1997 *
lämpötila	°C	T	6,6	10,6	9,5	
		4	7,8	11,2		
		5	6,6	12,1	9,8	
happi	mg/l	T	7,6	7,4	6,1	7
		4	2,1	4,4		
		5	0,6	1	7,2	5,5
happi-%	kyll.%	T	62	67	53	
		4	18	40		
		5	5	9	64	
sameus	FTU	T	0,43	0,24	0,31	0,14
		4	0,53	0,13		
		5	0,75	5,4	0,26	L 0,05
sähkönjoht.	mS/m	T	53,5	56	57	58,2
		4	68	59		
		5	62	58	58	57,8
alkaliniteetti	mmol/l	T	3,4	3,22	3,18	3,37
		4	4,08	3,36		
		5	4,32	3,31	3,42	3,36
pH		T	7,9	8,2	7,9	8,09
		4	8,9	8,1		
		5	9,3	8,3	8	8,15
COD <sub>Mn</sub>	mg/l	T	0,6	0,8	0,6	0,55
		4	L 0,5	L 0,5		
		5	L 0,5	L 0,5	L 0,5	0,325
NO <sub>2</sub> +NO <sub>3</sub> -N	mg/l	T	L 2	3	L 2	L 5
		4	3	2		
		5	L 2	L 2	L 2	L 5
NH <sub>4</sub> -N	mg/l	T	10	7	9	10
		4	8	4		
		5	12	6	3	10
PO <sub>4</sub> -P	mg/l	T	3	2	3	5
		4	1200	22		
		5	630	46	7	5
Fe	mg/l	T	74	72	77	54
		4	28	L 5		
		5	43	L 5	8	4
Mn	mg/l	T	88	40	63	69
		4	40	40		
		5	59	47	48	15
Na	mg/l	T	94	95	93	94
		4	91	100		
		5	95	99	94	93
K	mg/l	T	1,9	2	1,9	1,9
		4	84	2,6		
		5	26	2,4	2	1,9
Ca	mg/l	T	25	25	25	
		4	5,8	25		
		5	20	26	25	
Mg	mg/l	T	4,7	4,9	4,8	
		4	2	5		
		5	6,2	5,1	4,8	

	näyte	1.4.1997	14.4.1997	12.5.1997	30.6.1997 *
F mg/l	T	1200	1100		
	4	1200	1100		
	5	1100	1100		
kokonaiskovuus mmol/l	T	0,82	0,82	0,82	0,81
	4	0,23	0,83		
	5	0,75	0,86	0,82	0,8
Cl mg/l	T	51	50	51	53
	4	50	53		
	5	48	52	52	53
SO <sub>4</sub> mg/l	T	40,5	39,5	38,9	41
	4	38,3	42,5		
	5	33,3	38,1	39,6	41
heterotrof. 22°C mpy/ml	T				160
	4				
	5				90
heterotrof. 35°C mpy/ml	T				16
	4				
	5				20
fek.strept. mpy/ml	T		0	0	
	4		0		
	5		0	0	
kolim. b. 44 mpy/ml	T		0	0	
	4		0		
	5		0	0	
kolim. b. 35 mpy/ml	T		0	0	
	4		0		
	5		0	0	

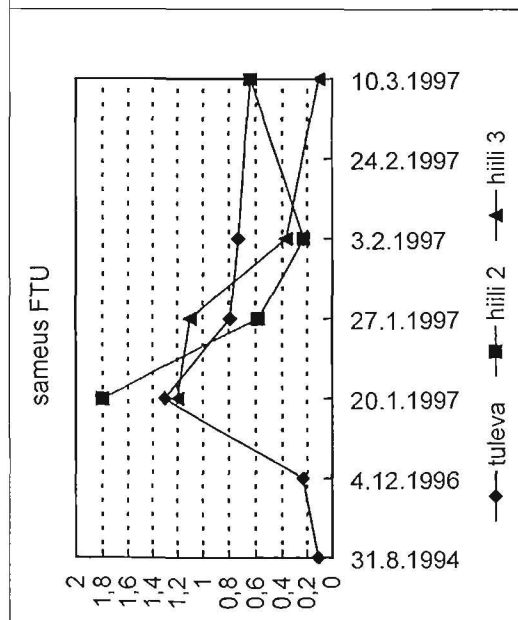
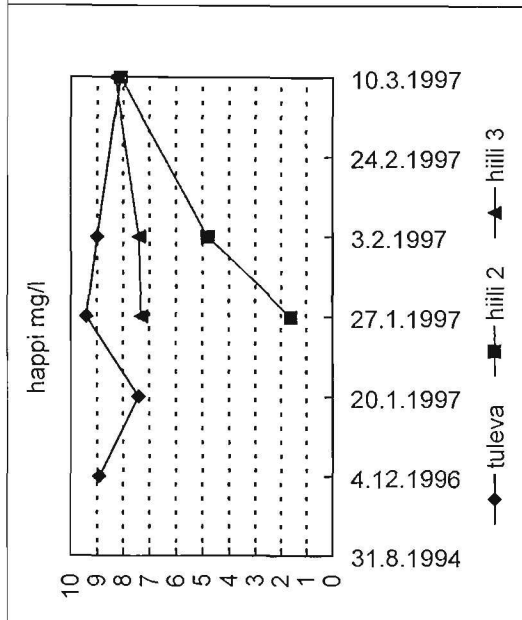
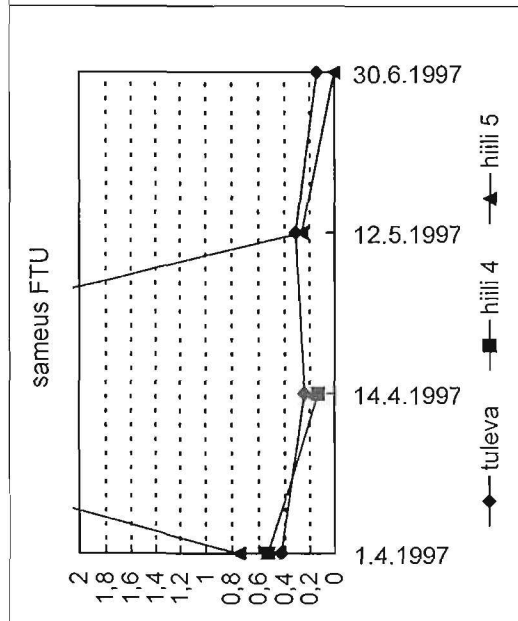
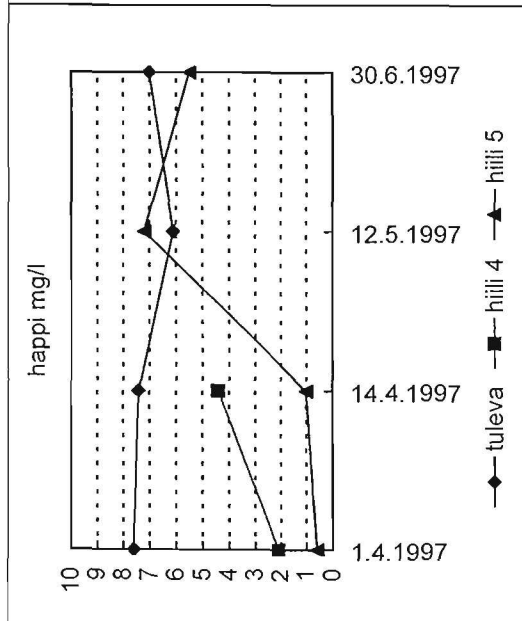
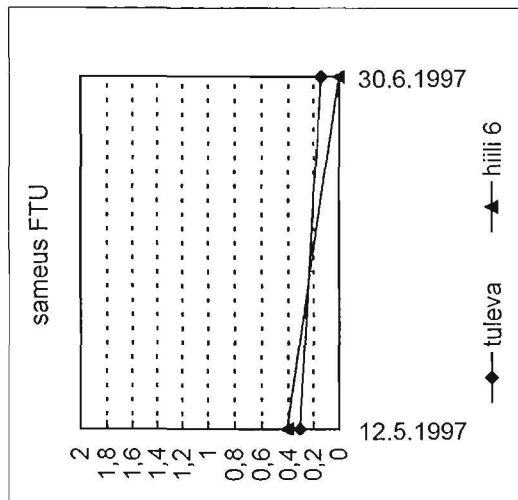
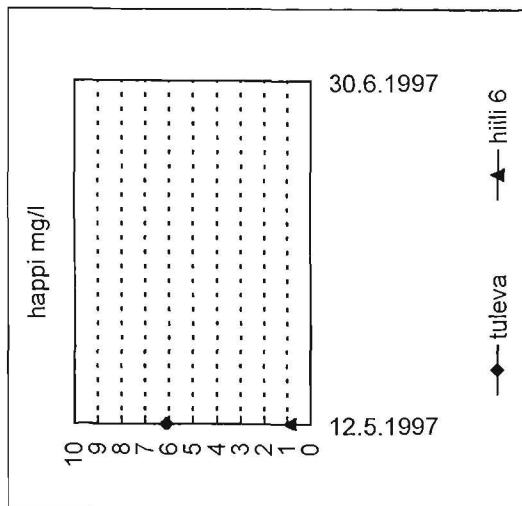
\* Analysoiva laboratorio on vaihtunut: COD<sub>Mn</sub>:n sijasta analysoitu KMnO<sub>4</sub> (muutettu).  
Nitraatti- ja nitriittitypen summan sijasta analysoitu nitraattitypen määrä.

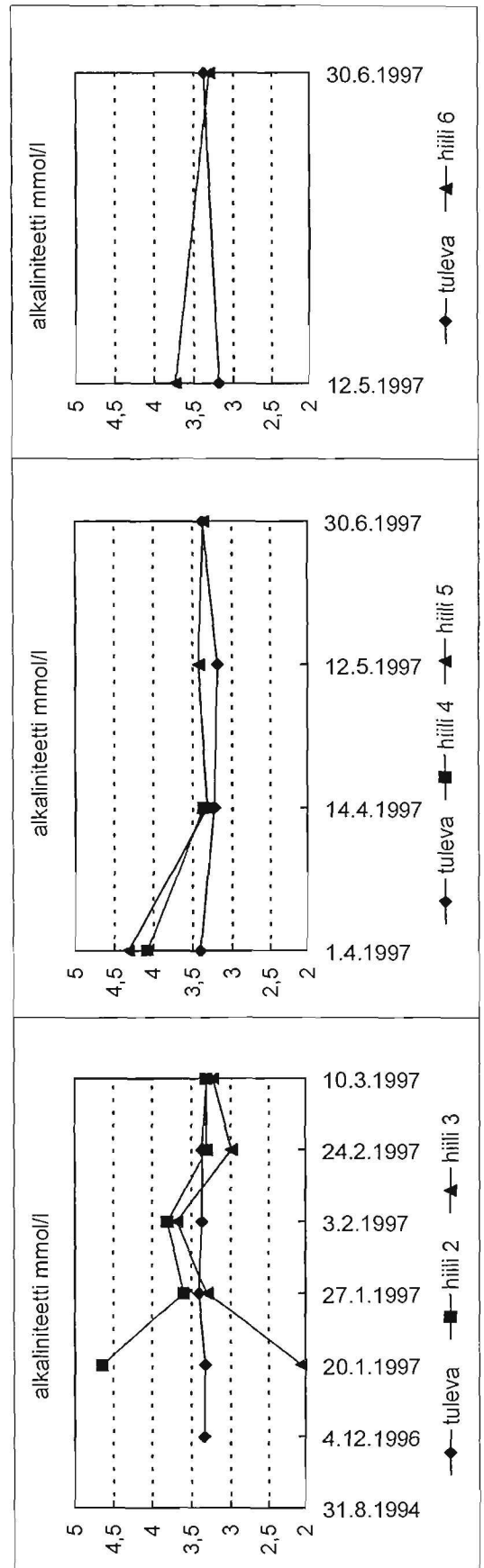
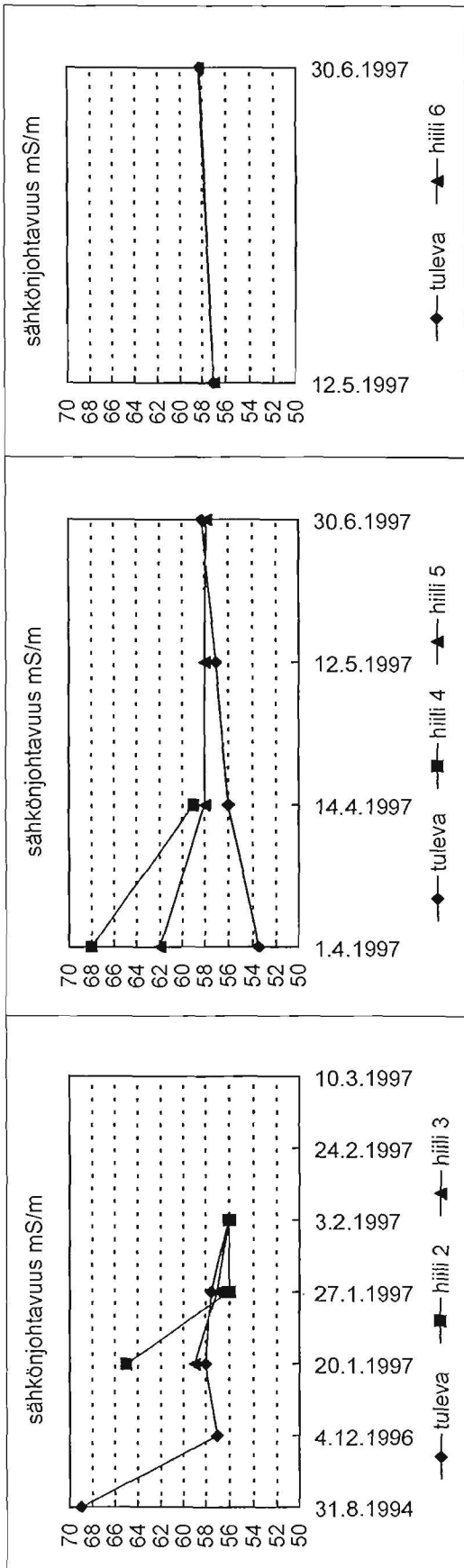
T = tuleva vesi; 6 = aktiivihilli nro 6; L = tulos alle määrittämissärajat

		näyte	12.5.1997	30.6.1997 *
lämpötila °C	T		9,5	7
	6		9,9	6,7
happi mg/l	T		6,1	
	6		0,9	
happi-% kyll.%	T		53	
	6		8	
sameus FTU	T		0,31	0,14
	6		0,41	L 0,05
sähkönjohtavuus mS/m	T		57	58,2
	6		57	58,3
alkaliniteetti mmol/l	T		3,18	3,37
	6		3,74	3,3
pH	T		7,9	8,09
	6		9,4	8,12
COD <sub>Mn</sub> mg/l	T		0,6	0,55
	6		L 0,5	0,325
NO <sub>2</sub> +NO <sub>3</sub> -N mg/l	T		L 2	L 5
	6		L 2	L 5
NH <sub>4</sub> -N mg/l	T		9	10
	6		8	10
PO <sub>4</sub> -P mg/l	T		3	5
	6		500	L 5
Fe mg/l	T		77	54
	6		L 5	L 2
Mn mg/l	T		63	69
	6		10	39
Na mg/l	T		93	94
	6		93	96
K mg/l	T		1,9	1,9
	6		2,7	1,9
Ca mg/l	T		25	
	6		26	
Mg mg/l	T		4,8	
	6		5,1	
kokonaiskovuus mmol/l	T		0,82	0,81
	6		0,86	0,81
Cl mg/l	T		51	53
	6		46	54
SO <sub>4</sub> mg/l	T		38,9	41
	6		31,5	41
heterotrof. 22°C mpy/ml	T			160
	6			170
heterotrof. 35°C mpy/ml	T			16
	6			4
fek.strept. mpy/ml	T		0	
	6		0	
kolim. b. 44 mpy/ml	T		0	
	6		0	
kolim. b. 35 mpy/ml	T		0	
	6		0	

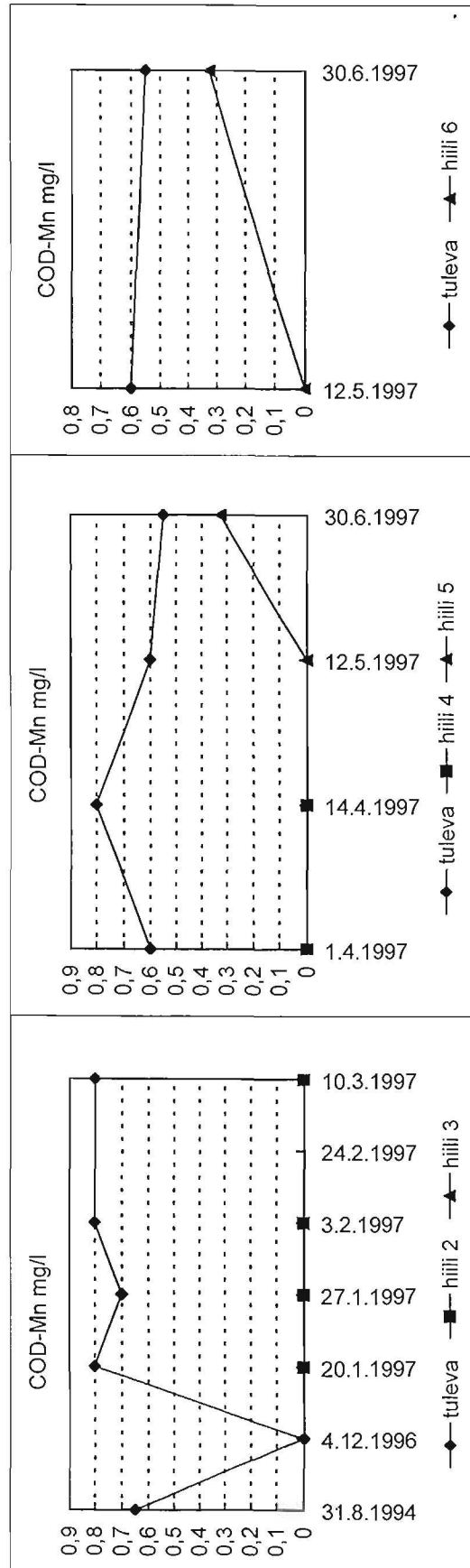
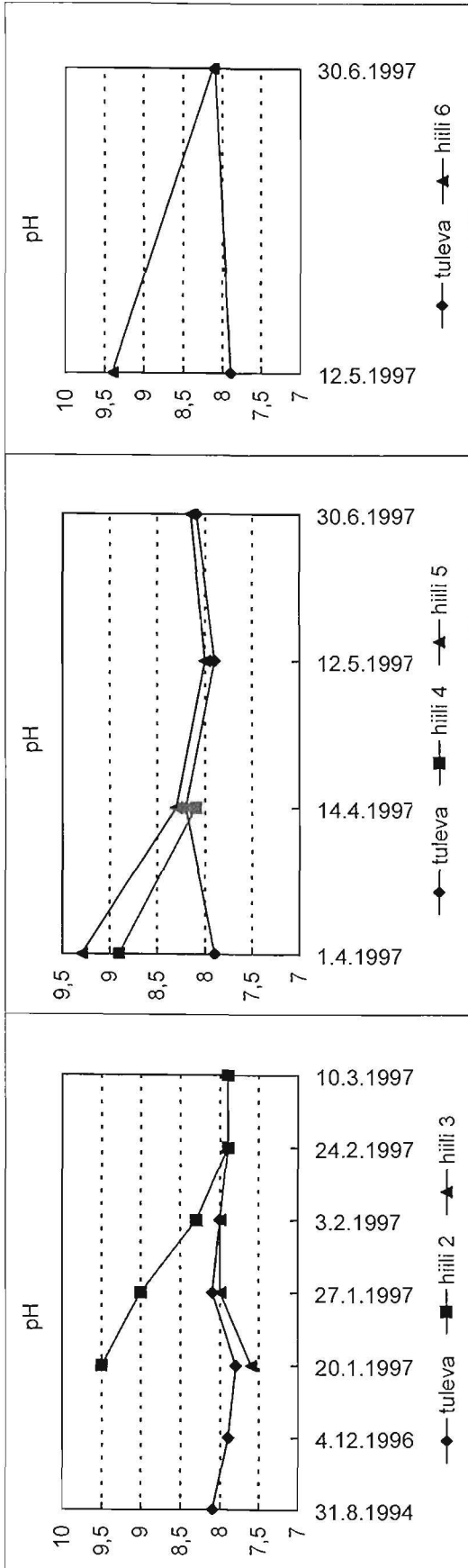
\* Analysoiva laboratorio on vaihtunut: COD<sub>Mn</sub>:n sijasta analysoitu KMnO<sub>4</sub> (muutettu). Nitraatti- ja nitriittitypen summan sijasta analysoitu nitraattitypen määrä.

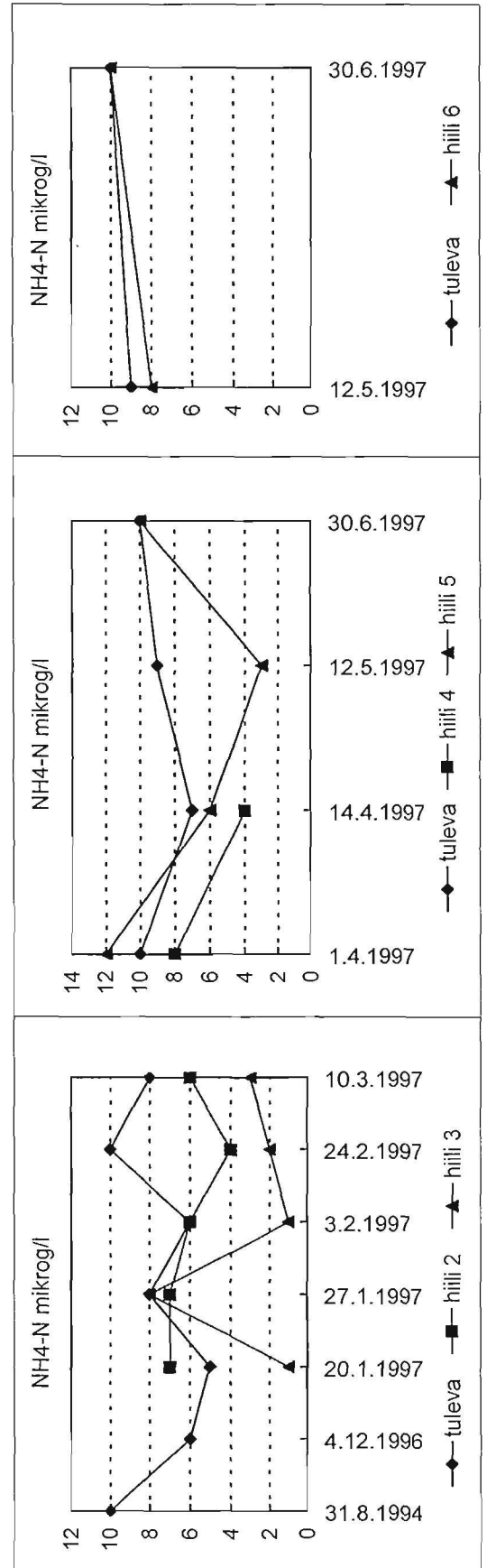
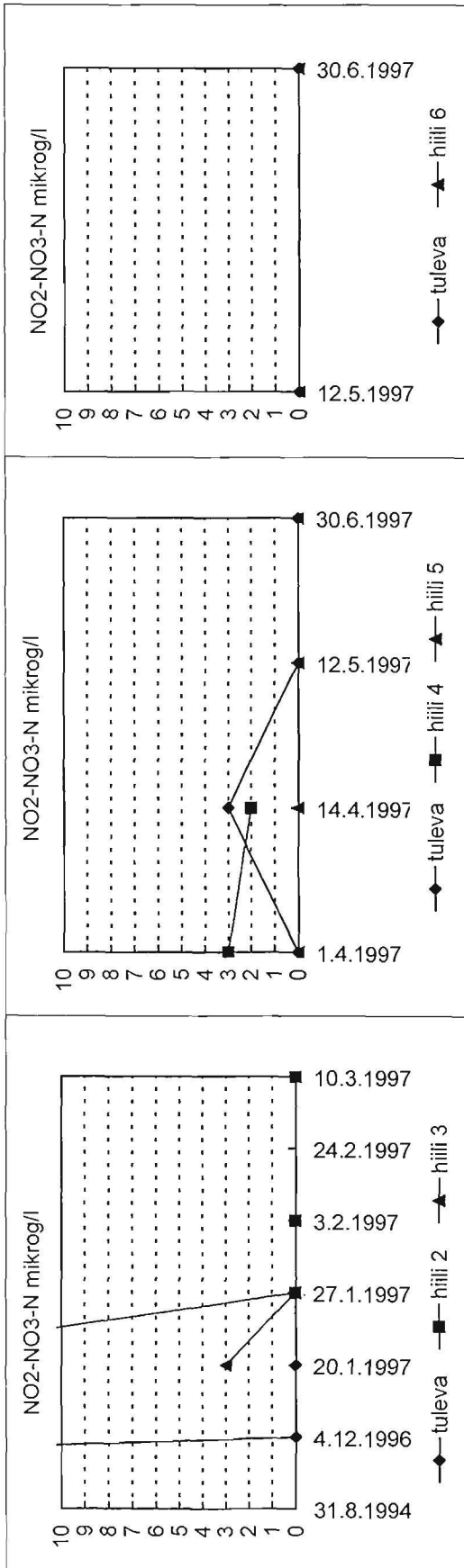
Kohde AS: veden laadun muuttuminen kuvina

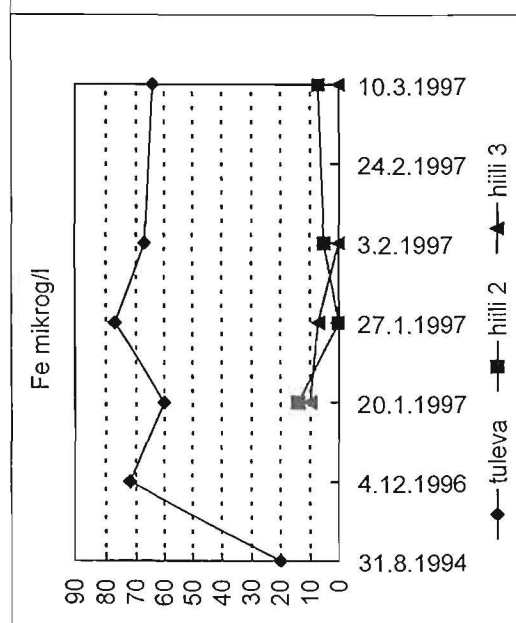
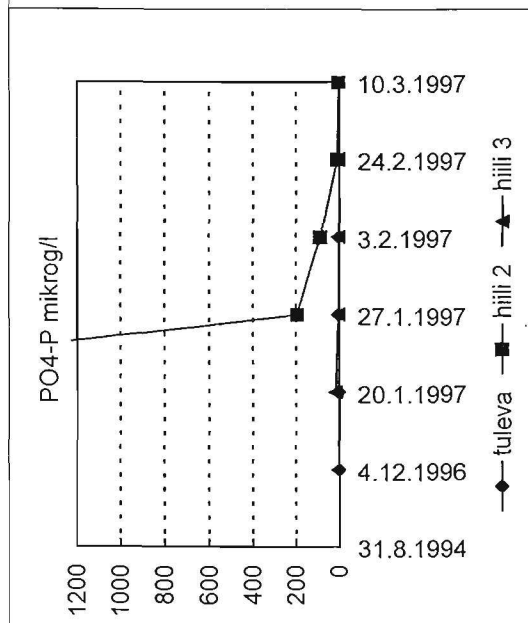
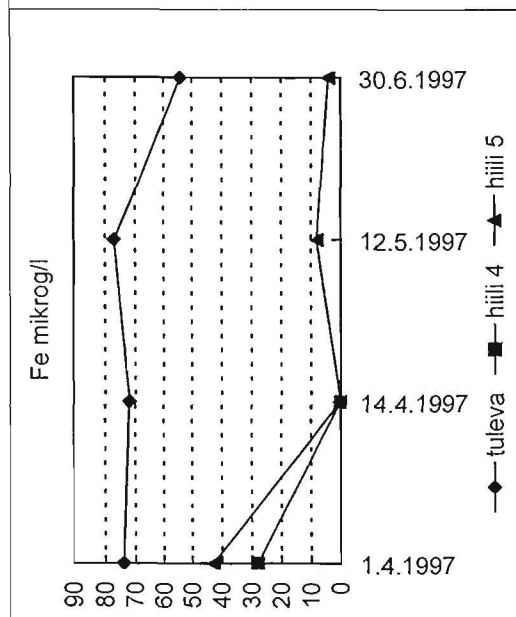
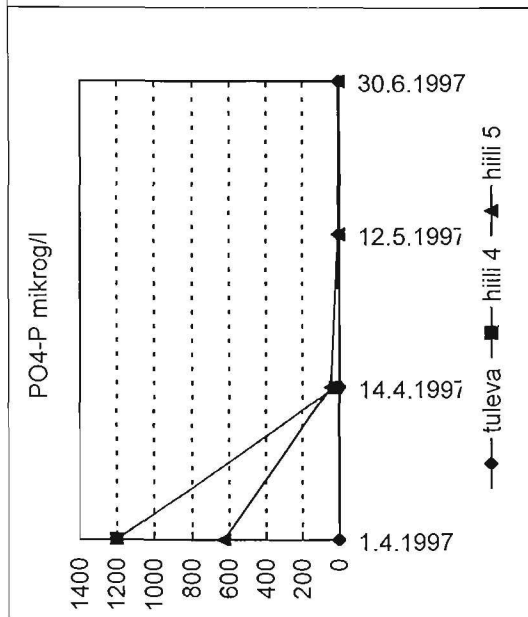
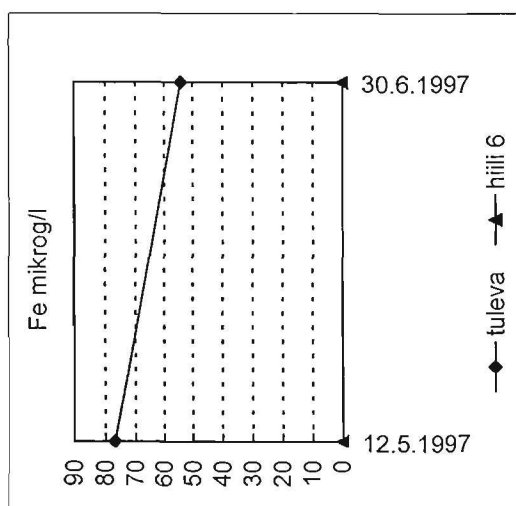
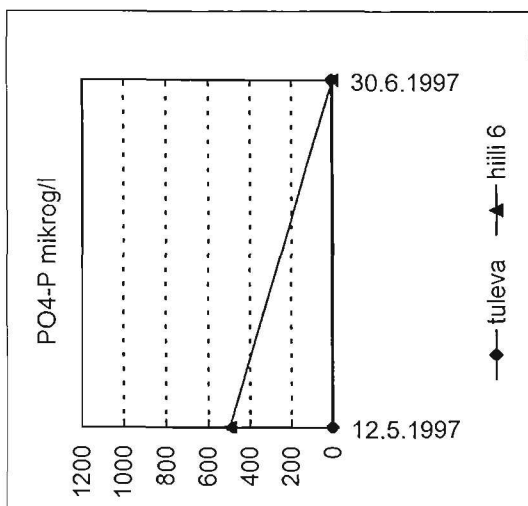


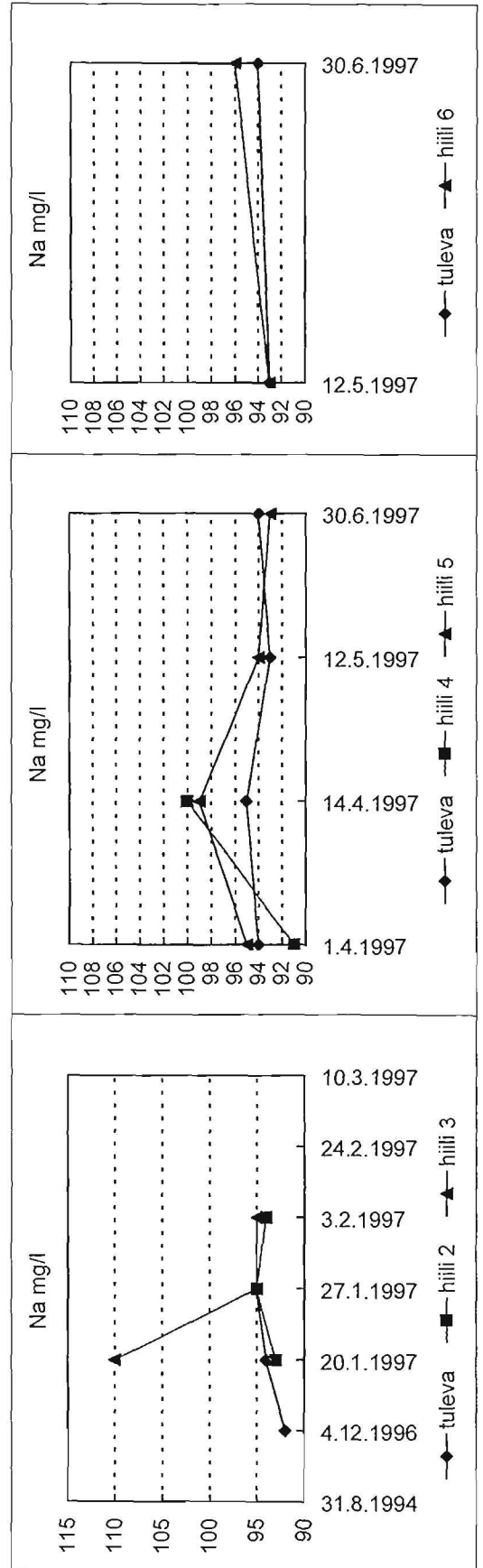
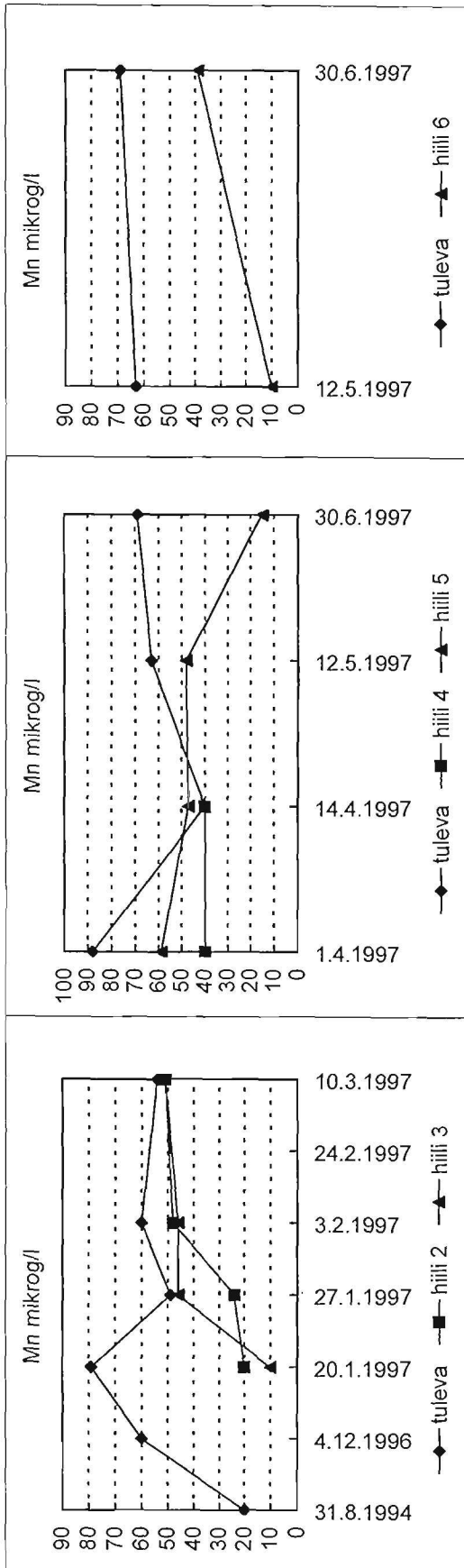


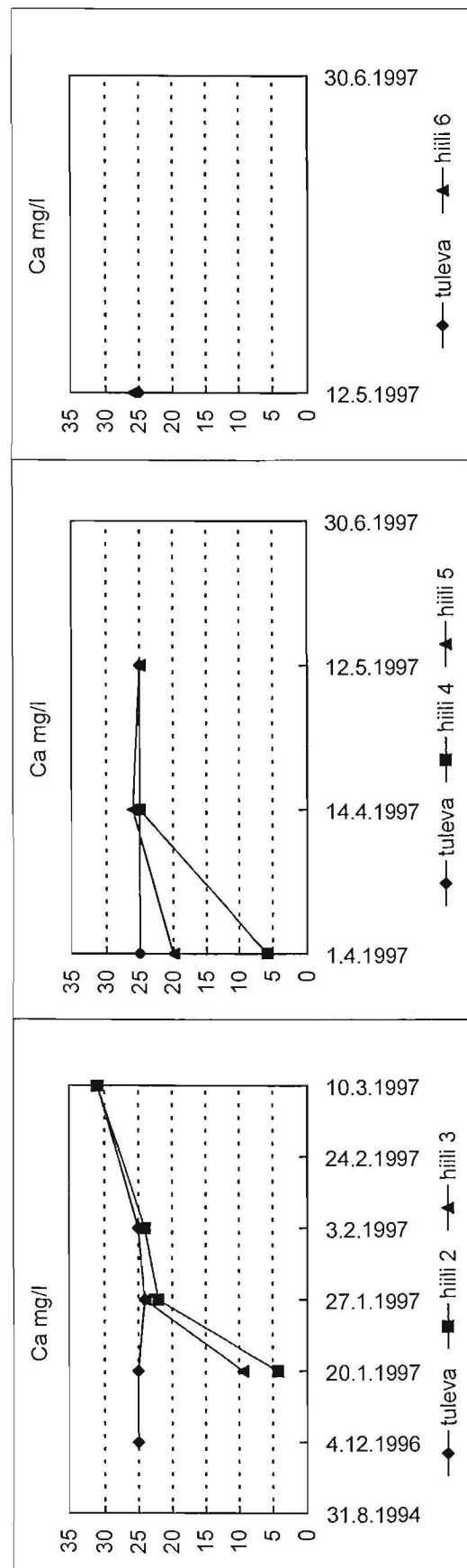
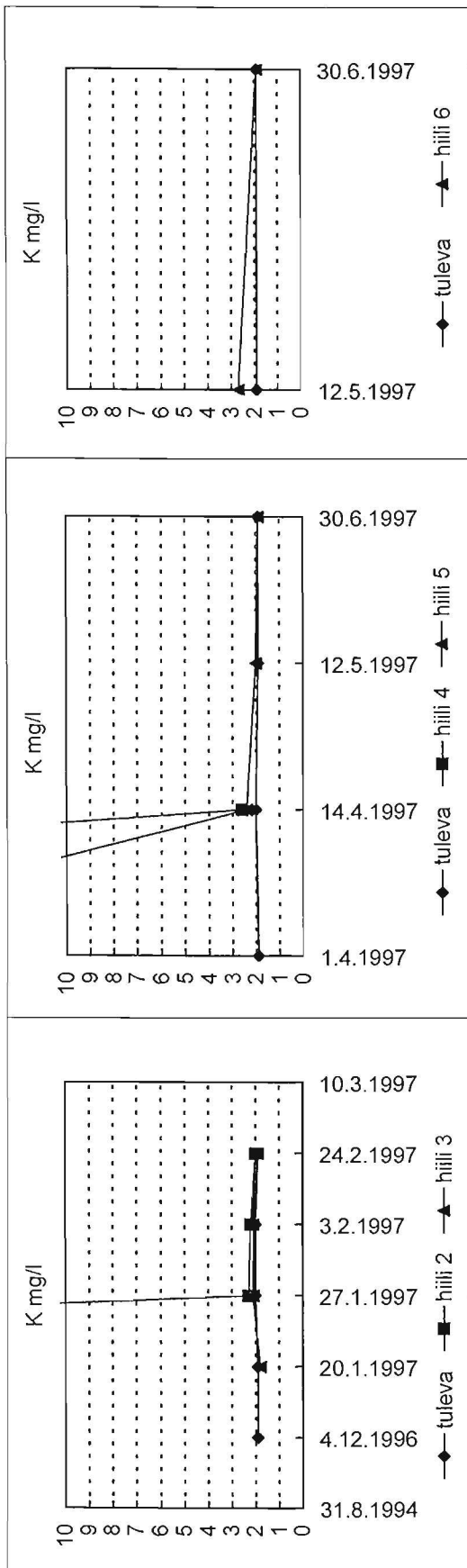


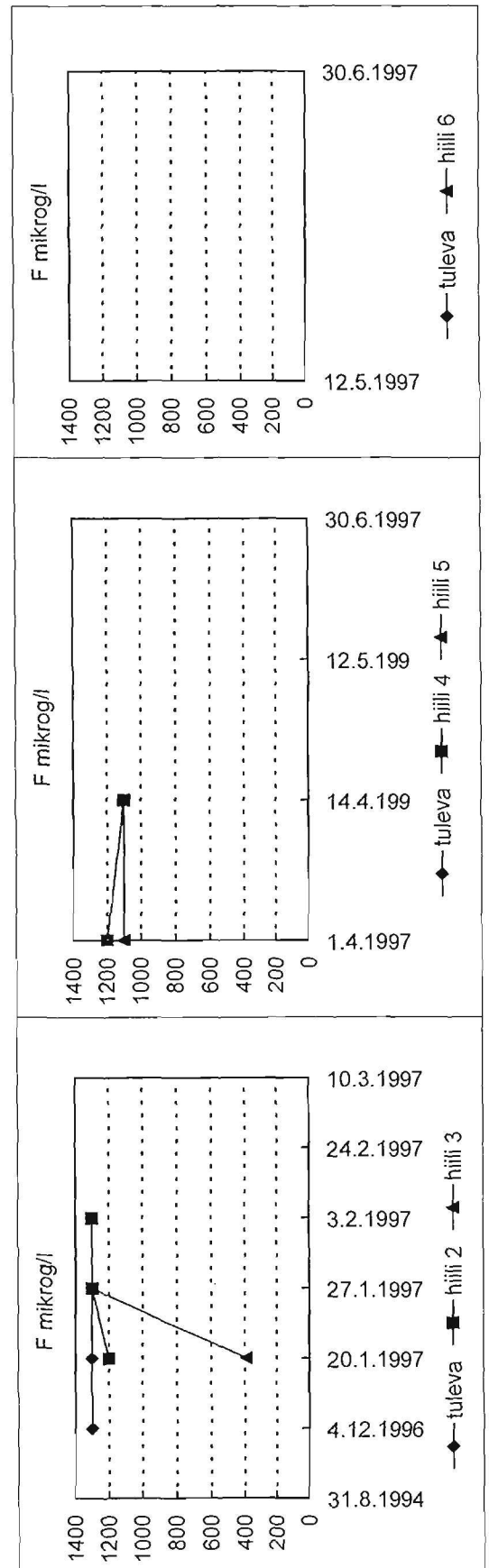
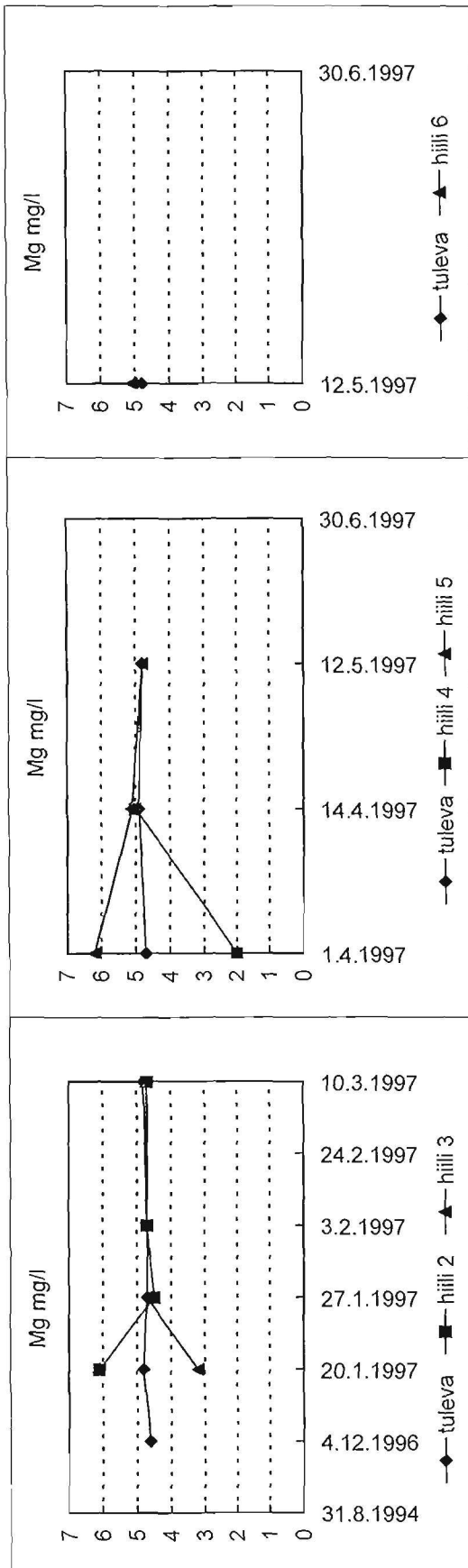


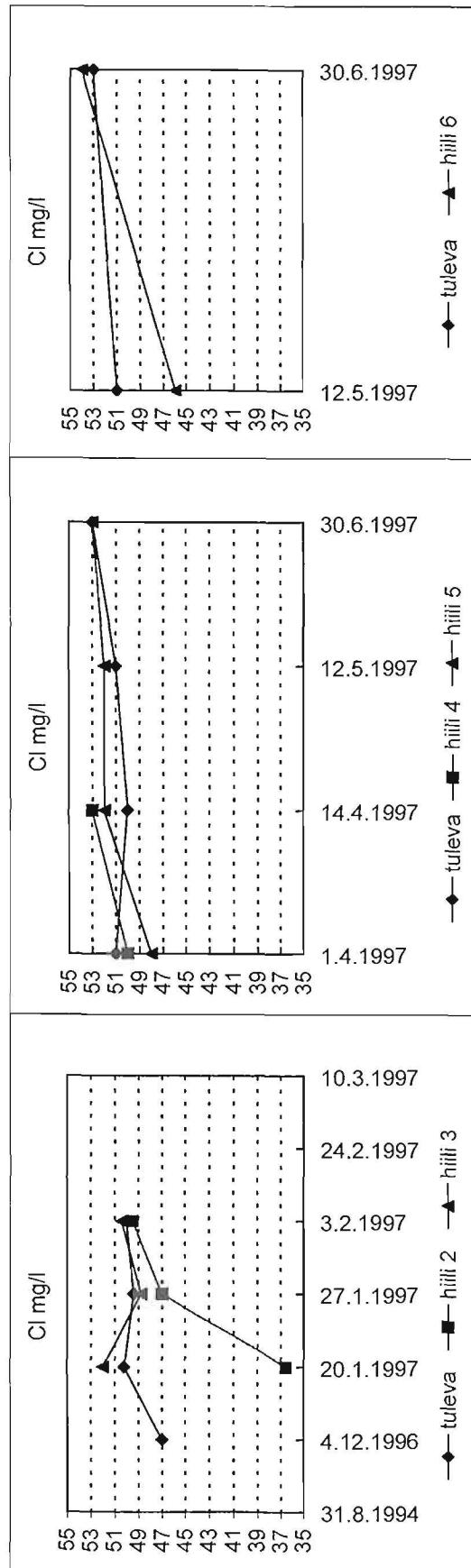
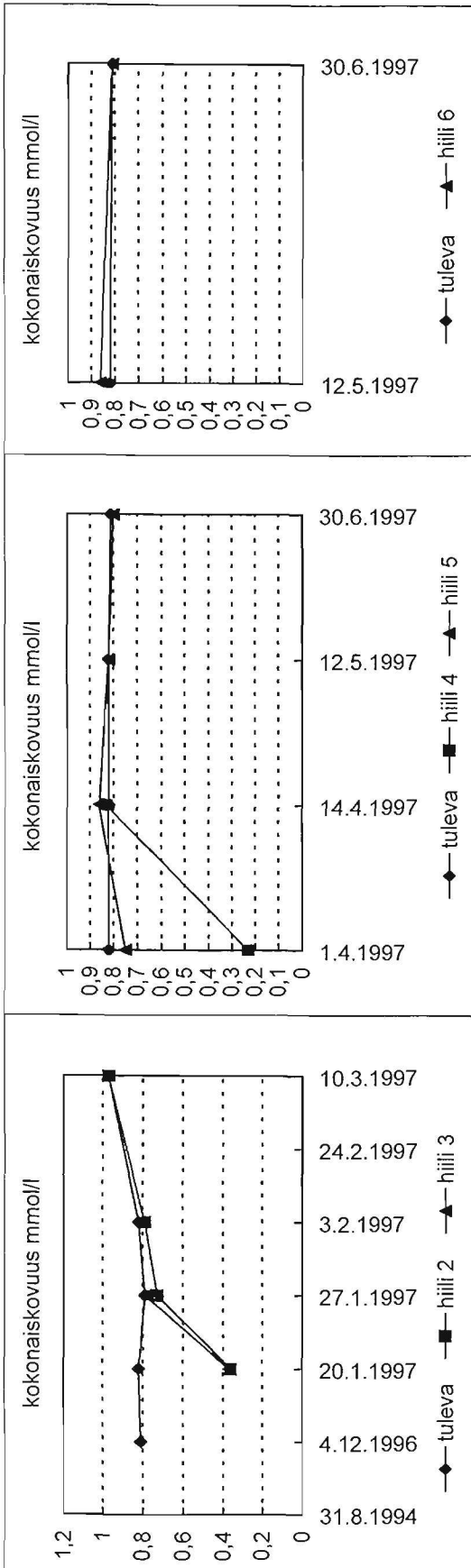


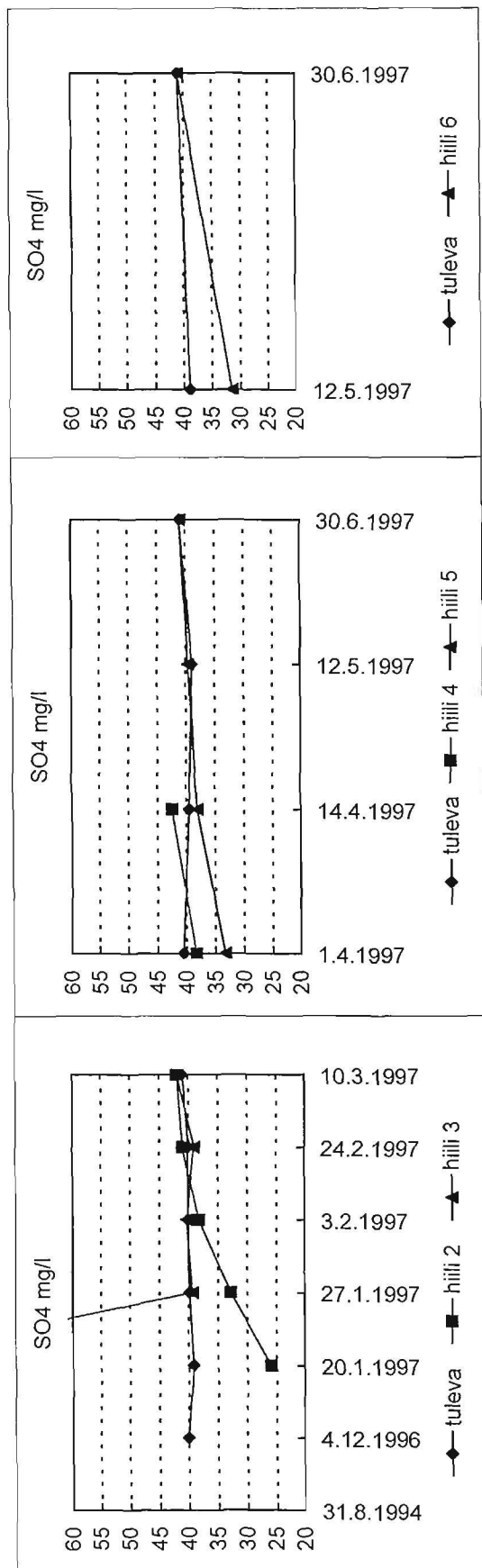














**Liite 4. Kohteet BS - GS: veden laadun muuttuminen  
aktiivihiihluodatuksessa**

Kohde T=tuleva vesi, S=suodatettu		BS							CS		
		T	T	S	T	S	T	S	T	T	S
parametri	yksikkö	31.10.95	14.4.97	12.8.97	23.9.97	23.9.97	3.12.97	3.12.97	25.4.96	22.1.98	22.1.98
Rn-222	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	3400	3890	160-190		12-18	4050	21	3100	3330	66
U-238	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>				0,159	0,105	0,182	0,18			
U-234	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>				0,451	0,285	0,48	0,509			
Uraani	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>				0,01	0,009	0,015	0,015	0,14		
kok.-alfa	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	0,88					0,954	0,63	5,7	11,4	11,3
Ra-226	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	0,22					0,169	0,07	0,05	0,15	0,12
Po-210	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>						0,159	0,015	1,2		
Pb-210	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>								0,69		
lämpötila	°C					13	8,7	9,8		6	5,7
O <sub>2</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,8	1,0							
O <sub>2</sub>	kyll.-%										
sameus	FTU		2,3	< 0,05		< 0,05					
sähkönjohtavuus	mSm <sup>-1</sup>		55,0	53,2		53,7	53,2	53,1			
pH			7,5	7,3		7,7	7,7	7,7	8,5	8,9	8,9
alkaliteetti	mmoll <sup>-1</sup>		1,44	1,49		1,54	1,56	1,59			
KMnO <sub>4</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		< 2	1,4		2,0	2,9	2,5		1,6	3,1
TOC	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>						1,5	0,4			
COD <sub>Mn</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		< 0,5								
NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> -N	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,004								
NO <sub>3</sub> -N	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>										
NO <sub>3</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,02	< 0,5			< 0,5	< 0,5		< 0,5	< 0,5
NH <sub>4</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,071	0,07							
NH <sub>4</sub> -N	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,055								
PO <sub>4</sub> -P	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,024	0,012							
Fe	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,320	0,004		0,004	0,41	0,003	0,06	0,05	0,028
Mn	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,105	0,096		0,110	0,12	0,11		0,001	0,001
Na	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		49	51,0							
K	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		2,6	1,60							
Ca	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		46								
Mg	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		7,3								
F	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,78								
kokonaiskovuus	mmoll <sup>-1</sup>		1,45	1,36		1,41	1,4	1,39			
Cl	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		115	112					51		
SO <sub>4</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		8,6	11,0							
redox-potentiaali	mV										
asiditeetti	mmol/l										
heterot.22°C	pmy/ml			110		1	2	13		4	5
heterot.35°C	pmy/ml					0	0	8		0	0
alust. E.Coli	pmy/100ml										
colif. 44°C	pmy/100ml		0								
colif. 35°C	pmy/100ml		0				0	0			
fek. strept.	pmy/100ml		0								

Kohde T=tuleva vesi, S=suodatettu		DS							
		T	T	T	T	S*	S	T	S
parametri	yksikkö	3.7.96	24.1.97	14.4.97	9.10.97	9.10.97	9.10.97	17.12.97	17.12.97
Rn-222	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	2200		2970	2600	162	220	2750	206
U-238	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	2,98			2,56		2,24	2,50	2,62
U-234	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	4,86			4,11		3,6	4,00	4,07
Uraani	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	0,24			0,207		0,181	0,20	0,21
kok.-alfa	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>				5,9		5,3		
Ra-226	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	0,23			0,21		0,15		
Po-210	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>								
Pb-210	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>								
lämpötila	°C			8,0	9		9	8	7,9
O <sub>2</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>			0,5					
O <sub>2</sub>	kyll.-%			4					
sameus	FTU			0,14	< 0,05		< 0,05	0,05	< 0,05
sähkönjohtavuus	mSm <sup>-1</sup>			44,5					
pH			7,5	7,4	7,7		7,7	7,6	7,6
alkaliteetti	mmoll <sup>-1</sup>			2,3					
KMnO <sub>4</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		6	5,6	3,9		1,4	4,6	2,2
TOC	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>							2,3	1,1
COD <sub>Mn</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>			1,4					
NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> -N	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>			0,155					
NO <sub>3</sub> -N	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>								
NO <sub>3</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		< 1	0,685	1,1		1,3	1,3	1,3
NH <sub>4</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>			0,010				0,04	0,03
NH <sub>4</sub> -N	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>			0,008					
PO <sub>4</sub> -P	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>			0,011					
Fe	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		< 0,05	0,025	0,016		< 0,002	0,02	0,002
Mn	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,41	0,21	0,064		0,070	0,086	0,068
Na	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>			36					
K	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>			2,4					
Ca	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>			53					
Mg	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>			4,6					
F	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,56	0,51					
kokonaiskovuus	mmoll <sup>-1</sup>		1,47	1,51					
Cl	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		28	26,5					
SO <sub>4</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>			64,6					
redox-potentiaali	mV				252		242	282	312
asiditeetti	mmol/l				0,10		0,11	0,12	0,12
heterot.22°C	pmy/ml				13	76		3	6
heterot.35°C	pmy/ml				10	43		0	2
alust. E.Coli	pmy/100ml							0	0
colif. 44°C	pmy/100ml			0					
colif. 35°C	pmy/100ml			0				3	3
fek. strept.	pmy/100ml			0					

\* vettä ei ole valutettu ennen näytteenottoa

Kohde		ES					FS		
T=tuleva vesi, S=suodatettu		T	T	S	S	S	T	T	S
parametri	yksikkö	19.3.96	17.3.97	20.10.97	15.1.98	10.3.98	12.7.95	21.8.97	21.8.97
Rn-222	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	2000	1930	1,2-2,7	2	2,8	3000	1660	2,2
U-238	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>			0,65			0,564	0,58	0,42
U-234	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>			1,55			1,38	1,43	1,09
Uraani	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>			0,05			0,046	0,05	0,03
kok.-alfa	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	1,7		1,5			2,1	2,2	1,6
Ra-226	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	0,02		0,03			0,2	0,22	0,07
Po-210	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>						0,13		
Pb-210	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>						0,07		
lämpötila	°C		10,2						
O <sub>2</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		2,4					3,4	1,2
O <sub>2</sub>	kyll.-%		21						
sameus	FTU		0,35					0,24	< 0,05
sähkönjoht.	mSm <sup>-1</sup>		23,3	23,9				43,2	45,7
pH			8,3	8,74				8,29	8,24
alkaliteetti	mmoll <sup>-1</sup>		0,91	1,88				3,01	3,01
KMnO <sub>4</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		2,0	1,3				4,1	< 1
TOC	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>								
COD <sub>Mn</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,5						
NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> -N	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,125						
NO <sub>3</sub> -N	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>							0,076	0,062
NO <sub>3</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,55	< 0,5				0,34	0,27
NH <sub>4</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,003					< 0,01	< 0,01
NH <sub>4</sub> -N	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,002						
PO <sub>4</sub> -P	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,025					0,012	0,038
Fe	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,021	0,006				0,019	< 0,002
Mn	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,018	0,007				0,024	0,029
Na	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		37					71,0	75,0
K	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		1,4					3,70	3,20
Ca	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		11,4						
Mg	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		3,6						
F	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	1,9	1,60					1,43	1,46
kok.kovuus	mmoll <sup>-1</sup>		0,43					0,67	0,59
Cl	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		4,5					23,2	26,1
SO <sub>4</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		17,3					24,1	26,2
redox-pot.	mV								
asiditeetti	mmol/l								
heterot.22°C	pmy/ml			75				4	25
heterot.35°C	pmy/ml			25				1	22
alustava E.Coli	pmy/100ml								
colif. 44°C	pmy/100ml								
colif. 35°C	pmy/100ml								
fek. strept.	pmy/100ml								

Kohde		GS							
T=tuleva vesi, S=suodatettu		T	T	T	T	T	S*	S	
parametri	yksikkö	19.3.96	7.7.97	6.10.97	12.10.97	30.11.97	30.11.97	30.11.97	
Rn-222	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	900	910			1090		1,4-3,0	
U-238	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,21			0,233		0,017	
U-234	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,31			0,338		0,024	
Uraani	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,02			0,02		0,001	
kok.-alfa	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	1,3	0,7			1		0,04	
Ra-226	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>	0,11	0,04			0,05		< 0,01	
Po-210	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>								
Pb-210	Bq <sup>l</sup> <sup>-1</sup>								
lämpötila	°C					8,3	13	8	
O <sub>2</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		1,6			0,7	0,5	0,3	
O <sub>2</sub>	kyll.-%								
sameus	FTU		0,72						
sähkönjoht.	mSm <sup>-1</sup>		24,5			24,2	30,2	24	
pH			7,13			7,47	8,49	8,44	
alkaliteetti	mmoll <sup>-1</sup>		1,81						
KMnO <sub>4</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		2,2			2,5	< 1	1,5	
TOC	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>					1,1	0,3	0,2	
COD <sub>Mn</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>								
NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> -N	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>								
NO <sub>3</sub> -N	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,22						
NO <sub>3</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,97			0,6	< 0,5	< 0,5	
NH <sub>4</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>								
NH <sub>4</sub> -N	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>								
PO <sub>4</sub> -P	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		< 0,005						
Fe	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,032			0,02	< 0,002	0,004	
Mn	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,011			0,009	0,024	0,021	
Na	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>								
K	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>								
Ca	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>								
Mg	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>								
F	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		0,14						
kok.kovuus	mmoll <sup>-1</sup>		0,72			0,71	1,07	0,72	
Cl	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		8,6						
SO <sub>4</sub>	mg <sup>l</sup> <sup>-1</sup>		16						
redox-pot.	mV								
asiditeetti	mmol/l								
heterot.22°C	pmy/ml		300	200	50	190	180	36	
heterot.35°C	pmy/ml		290	45	35	220	190	33	
alustava E.Coli	pmy/100ml				0				
colif. 44°C	pmy/100ml								
colif. 35°C	pmy/100ml				2				
fek. strept.	pmy/100ml								

\* vettä ei ole valutettu ennen näytteenottoa

## Liite 5. Aktiivihillisuodattimien ulkoisen gammasäteilyn aiheuttamat annosnopeudet

Taulukko 1. Aktiivihillisuodattimen ulkoisen gammasäteilyn aiheuttama annosnopeus kohteessa AS, suodattimessa on hiili nro. 6. Annosnopeus on mitattu siten, että toinen suodatin jää mitattavan suodattimen taakse. Noin kolmen metrin etäisyydellä suodattimista n. 80 cm:n korkeudella annosnopeus oli 0,4  $\mu\text{Sv/h}$ .

Annosnopeus $\mu\text{Sv/h}$					
Korkeus suodattimen pohjatasosta cm	Vaakasuora etäisyys suodattimen pinnalta				
	0 cm (3.7.1997)	10 cm (3.7.1997)	100 cm (3.7.1997)	0 cm * (22.8.1997)	
90	50	27	2,4		
85	101			1,3	
80	113	47	2,6		
70	118	40	2,3		
60	95	27	2,4		
55	87				
50	62	22	2,4		
45	60			5,0	
40	44	20	2,2		
30	31	15	2,3	8,6	
20	18	9,6	2,3		
10	10	8,3	2,5	6,5	
0	5	6,8	2,7		

Taustasäteily koehuoneen vieressä olevassa huoneessa oli 28.4.97 0,1  $\mu\text{Sv/h}$ . Huoneiden välillä on betoniseinä. Ulkona taustasäteily oli tällöin 0,3  $\mu\text{Sv/h}$ .

\* Suodattimeen on johdettu noin kahden viikon ajan radonvapaata vettä. Noin metrin etäisyydellä suodattimesta ja noin 80 cm:n korkeudella annosnopeus oli tällöin 0,5  $\mu\text{Sv/h}$

Taulukko 2. Aktiivihillisuodattimen ulkoisen gammasäteilyn aiheuttama annosnopeus tasapainotilassa kohteessa AS, suodattimissa on hiilet nro 5 ja 6. Annosnopeus on mitattu siten, että mittari on suodattimien välissä koskettaen molempia suodattimia.

Korkeus suodattimien pohjatasosta cm	Annosnopeus $\mu\text{Sv/h}$
85	144
80	190
60	141
57	121
45	84
30	
20	28

Suodattimien korkkien päältä mitatut annosnopeudet olivat 27  $\mu\text{Sv/h}$  (hiili nro 5) ja 26  $\mu\text{Sv/h}$  (hiili nro 6). Korkin paksuus on 4 cm.

Taulukko 3. Aktiivihiiisuodattimen ulkoisen gammasäteilyn aiheuttama annosnopeus kohteessa BS, suodattimessa on hiili nro. 2. Annosnopeus on mitattu siten, että esisuodatin jää suodattimen taakse. Taustasäteily kohteessa oli 23.9.1997 0,18  $\mu\text{Sv/h}$ .

Korkeus suodattimen pohjatasosta cm (etäisyys suodattimesta 0 cm)	Annosnopeus $\mu\text{Sv/h}$		Etäisyys suodattimesta cm (90 cm korkeudella suodattimen pohjatasosta)	Annosnopeus $\mu\text{Sv/h}$ 23.9.1997
	23.9.1997	3.12.1997		
130	3,7	4,8	5	48
115	14		15	23
100	60	66	30	9,3
90	84	96	50	5,0
80	63	65	70	2,7
70	40		200	0,5
65		35		
60	23			
55		17		
50	11			
45		8,4		
40	6,5			
30	3,3			
10	1,4	2,2		

Taulukko 4. Aktiivihiiisuodattimen ulkoisen gammasäteilyn aiheuttama annosnopeus kohteessa CS, suodattimessa on hiili nro. 2. Annosnopeus noin metrin etäisyydellä suodattimesta oli 1,1  $\mu\text{Sv/h}$ .

Korkeus suodattimen pohjatasosta cm (etäisyys suodattimesta 0 cm)	Annosnopeus $\mu\text{Sv/h}$	
	22.1.1998 (ennen veden valutusta)	22.1.1998 (veden valutuksen jälkeen)
85	28	
75	33	38
45	31	
10	5	

Taulukko 5. Aktiivihiiisuodattimen ulkoisen gammasäteilyn aiheuttama annosnopeus kohteessa DS, suodattimessa on hiili nro. 2. Taustasäteily sisällä talossa oli 0,12 -0,15  $\mu\text{Sv/h}$ .

Korkeus suodattimen pohjatasosta cm (etäisyys suodattimesta 0 cm)	Annosnopeus $\mu\text{Sv/h}$		
	9.10.1997 (vettä ei valutettu)	9.10.1997 (vettä valutettu)	17.12.1997 (vettä valutettu paljon)
80		15	18
70		31	28
60	29	37	
50	33	37	32
40	30	31	
30	20	21,8	
20	13	15	
10			7

Taulukko 6. Aktiivihiiisuodattimen ulkoisen gammasäteilyn aiheuttama annosnopeus kohteessa ES, suodattimessa on hiili nro. 2. Suojaukseen (7.5.1998) käytetyn liijyn paksuus on 3 mm.

Korkeus suodattimen pohjatasosta cm (etäisyys suodattimesta 0 cm)	Annosnopeus $\mu\text{Sv/h}$	
	20.10.1997	7.5.1998* (suodatin suojattu liijylevyllä)
10	40	12
20	48	14
30	35	12
40	13	
50	4,9	
75	1,7	1,13

\* 7.5.1998 noin metrin etäisyydellä ja 70 cm korkeudella annosnopeus oli 0,38  $\mu\text{Sv/h}$  ja noin kahden metrin etäisyydellä ja 50 cm korkeudella 0,13  $\mu\text{Sv/h}$  (20.10. 0,2  $\mu\text{Sv/h}$ ).

Taulukko 7. Aktiivihiiisuodattimen ulkoisen gammasäteilyn aiheuttama annosnopeus kohteessa FS, suodattimessa on hiili nro. 2 (50 l) ja tutkimaton hiili (13 l). Annosnopeus suodattimen kohdalla lattian läpi mitattuna oli 0,12  $\mu\text{Sv/h}$ .

Korkeus suodattimen pohjatasosta cm (etäisyys suodattimesta 0 cm)	Annosnopeus $\mu\text{Sv/h}$		
	21.8.1997 (suodatin ollut käyttämättä n. 4 vrk)	21.8.1997 (vettä valutettu n. 200 litraa)	17.8.1997 (laskennallinen arvo)
korkin (paksuus 4 cm) päältä		0,65	
128	1,6	2,6	5,4
123	4,6		
118	6,3	7,6	15,7
108	6,5	7,8	16,2
98	4,1	6,3	13
88	1,4	2,9	5,9
20	0,48	0,57	1,2

Etäisyys suodattimesta cm (118 cm:n korkeudella suodattimen pohjatasosta)	Annosnopeus $\mu\text{Sv/h}$ 21.8.1997 (suodatin ollut käyttämättä n. 4 vrk)
20	1,7
40	0,61
60	0,69
100	0,38
200	0,25

# Kuvailulehti

Julkaisija	Suomen ympäristökeskus	Julkaisu-aika Toukokuu 1999
Tekijä(t)	Pauliina Myllymäki, Tuukka Turtiainen, Laina Salonen, Antti Helanterä, Juhani Kärnä, Hannu Turunen	
Julkaisun nimi	Radonin poisto porakaivovedestä - Uusia ilmastimia ja aktiivihiihisuodatuksen käyttöönotto	
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut	Myllymäki, P. 1996. Radonin ja uraanin poisto kalliopohjavedestä. Suomen ympäristö 50, Suomen ympäristökeskus, Helsinki. 104 s.	
Tiivistelmä	<p>Tutkimus radonin poistosta porakaivovesistä Suomessa aloitettiin kesällä 1995. Tutkimuksen tavoitteena on ollut kehittää tehokkaita ja helppokäyttöisiä radoninpoistolaitteistoja, jotka on tarkoitettu nimenomaan yksityistalouksien käyttöön.</p> <p>Tutkimuksen tuloksena markkinoille on saatu neljä eri tyyppistä ilmastuslaitteistoa ja kahdella mukana olleista yrityksistä on nyt tietämys ja valmiudet myydä oikean tyyppisiä aktiivihiihisuodattimia radonin poistoon. Viime aikoina myös eräät tutkimuksen ulkopuoliset yritykset ovat tuoneet markkinoille tehokkaita ilmastukseen perustuvia radoninpoistolaitteistoja.</p> <p>Tässä julkaisussa raportoidaan tutkimuksen laitekehitysvaiheen aikana saadut tulokset, käytetyt menetelmät ja laitteistot sekä annetaan suosituksia ja turvallisuusohjeita laitteiden hankintaa, asentamista, käyttöä ja käytöstä poistoa varten.</p>	
Asiasanat	Radon, porakaivot, kaivovesi, radonin poisto, laitteet, aktiivihiihi, suodatus, ilmastus, turvallisuus, ohjeet, kotitaloudet	
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristö 297	
Julkaisun teema	Rakentaminen	
Projektihankkeen nimi ja projektinumero		
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Suomen ympäristökeskus, Teknologian kehittämiskeskus, Säteilyturvakeskus	
Projektiryhmään kuuluvat organisaatiot	Suomen ympäristökeskus, Säteilyturvakeskus, Insinööritoimisto Vartiainen Oy, Overcraft Oy, Oy Wat Man Ab	
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-0475-9
	Sivuja 80	Kieli Suomi
	Luottamuksellisuus Julkinen	Hinta 74 mk
Julkaisun myynti/ jakaja	Oy Edita Ab julkaisun myynti, puh. (09) 566 0226, faksi (09) 566 0380	
Julkaisun kustantaja	Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki	
Painopaikka ja -aika	Oy Edita Ab, Helsinki 1999	



# Presentationsblad

Utgivare	Finlands miljöcentral	Datum	Maj 1999
Författare	Pauliina Myllymäki, Tuukka Turtiainen, Laina Salonen, Antti Helanterä, Juhani Kämä, Hannu Turunen		
Publikationens titel	Radonin poisto porakaivovedestä - Uusia ilmastimia ja aktiivihuilisuodatuksen käyttöönotto (Avskiljning av radon från borrbrunnsvatten - Nya luftningsbaserade radonavsiljare och ibruktagande av aktivkolfilter)		
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma project	Myllymäki, P. 1996. Radonin ja uraanin poisto kalliopohjavedestä. (Borttagning av radon och uran från grundvatten.) Miljön i Finland 50, Finlands miljöcentral, Helsingfors. 104 s.		
Sammandrag	<p>En undersökning av avskiljning av radon från vatten från borrbrunnar startades i Finland på sommaren 1995. Målet med undersökningen har varit att utveckla effektiva och lätthanterliga radonavsiljare, som skall användas i privathushåll.</p> <p>Undersökningen har infört på marknaden fyra olika radonavsiljare, som använder luftning. Därtill har två av de deltagande företagen nu kunnande och möjlighet att sälja lämpliga filter med aktivt kol för radonavsiljning. På senaste tid har också några andra företag infört effektiva luftningsbaserade radonavsiljare på marknaden.</p> <p>De utvecklade radonavsiljarna, undersökningsmetoderna och resultaten av utvecklingsarbetet rapporteras här. Rapporten innehåller också rekommendationer och säkerhetsinstruktioner för anskaffning, installation och användning av apparaturer och behandling av använt material.</p>		
Nyckelord	Radon, borrbrunnar, brunnsvatten, radonavsiljning, utrustning, aktivt kol, filtrering, luftning, säkerhet, instruktioner, hushåll		
Publikationsserie och nummer	Miljö i Finland 297		
Publicationens tema	Byggande		
Projektets namn och nummer			
Finansiär/ uppgångsgivare	Finlands miljöcentral, Teknologiska utvecklingscentralen, Strålsäkerhetscentralen		
Organisationer i projektgruppen	Finlands miljöcentral, Strålsäkerhetscentralen, Insinööritoimisto Vartiainen Oy, Overcraft Oy, Oy Wat Man Ab		
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-0475-9	
	Sidantal 80	Språk Finska	
	Offentlighet och andra villkor	Pris 74 mk	Offentlig
Beställningar/ distribution	Edita Ab telefon (09) 566 0266, telefax (09) 566 0380		
Förläggare	Finlands miljöcentral, PO Box 140, FIN-00251 Helsingfors, FINLAND		
Tryckeri/ tryckningsort och -år	Oy Edita Ab, Helsingfors 1999		

## Documentation page

Publisher	Finnish Environment Institute	Date	May 1999
Author(s)	Pauliina Myllymäki, Tuukka Turtiainen, Laina Salonen, Antti Helanterä, Juhani Kärnä, Hannu Turunen		
Title of publication	Radonin poisto porakaivovedestä - Uusia ilmastimia ja aktiivihuilisuodatuksen käyttöönotto (Removal of radon from drilled well water - New aerators and implementation of granular activated carbon filtration)		
Parts of publication/ other project publications	Myllymäki, P. 1996. Radonin ja uraanin poisto kalliopohjavedestä. (Removal of Radon and Uranium from Ground Water.) The Finnish Environment 50, Finnish Environment Institute, Helsinki. 104 s.		
Abstract	<p>Research on removal of radon from drilled well water in Finland was started in the summer of 1995. The objective of the study has been to develop effective and simple radon removal equipment which can reliably be used in private households.</p> <p>As a result of the research, there are now four different kinds of aeration equipment on the market. In addition, two of the participating firms have gained the know-how and possibilities to sell proper granular activated carbon (GAC) filters for radon removal. Recently also some other firms have brought effective aerators to the market.</p> <p>The equipment, the research methods and the results attained during the development of the equipment are described here. In addition, recommendations and safety instructions are given for the purchase, installation, daily use, and disposal of the equipment.</p>		
Keywords	Radon, drilled wells, well water, radon removal, equipment, activated carbon, GAC, filtration, aeration, safety, instructions, households		
Publication series and number	The Finnish Environment 297		
Theme of publication	Building		
Project name and number, if any			
Financier/ commissioner	Finnish Environment Institute, Technology Development Centre, Radiation and Nuclear Safety Authority		
Project organization	Finnish Environment Institute, Radiation and Nuclear Safety Authority, Insinööritoimisto Vartiainen Oy, Overcraft Oy, Oy Wat Man Ab		
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-0475-9	
	No. of pages 80	Language Finnish	
	Restrictions Public	Price 74 FIM	
For sale at/ distributor	Edita Ltd tel. + 358 9 566 0266, telefax + 358 9 566 0380		
Financier of publication	Finnish Environment Institute, PO Box 140, FIN-00251 Helsinki, FINLAND		
Printing place and year	Edita Ltd., Helsinki 1999		

## Suomen ympäristö

161. Melanen, Matti (toim.): Jätealan tutkimuksen puiteohjelma 1998 –2002. Suomen ympäristökeskus.
162. Ympäristön seurannan strategia. Ympäristöministeriö.
163. Tamminen, Pertti; Pakarinen, Kimmo; Lintilä, Janne & Salmela, Arto: Kunnan nettotulot kerrostalo-, rivitalo- ja omakotialueilla. Tutkimuskohteena Tampere. Ympäristöministeriö.
164. Saarikoski, Heli: Ympäristövaikutusten arviointi jätehuollon strategisessa suunnittelussa. Suomen ympäristökeskus.
165. Andersson, Harri: Lounais-Suomen saaristo - valtakunnallisen alueidenkäyttötavoitteiden näkökulmasta. Ympäristöministeriö.
166. Andersson, Harri: Sydvästra Finlands skärgård - med tanke på de riksomfattande målen för markanvändning. Ympäristöministeriö.
167. Nippala, Eero; Nuuttila, Harri & Rintanen, Risto: Asuinrakennusten perusparannustarpeen vaihtoehtoja 1996–2005. Ympäristöministeriö.
168. Wahlberg, Niklas: Suomen uhanalaisia lajeja: tummaverkkoperhonen (*Melitaea diamina*). Suomen ympäristökeskus.
169. Kuussaari, Mikko; Pöyry, Juha; Savolainen, Markku & Paukkunen, Juho: Suomen uhanalaisia lajeja: lehtohopeatäplä (*Clossiana titania*). Suomen ympäristökeskus.
170. Lindström, Marianne (ed.): Water Legislation in Selected Countries - a Comparative Study for South African Water Law Review. Suomen ympäristökeskus.
171. Mäkinen, Risto: Rakentamisen vastuut ja laatu. Selvitysmiehen raportti. Ympäristöministeriö.
172. Nurmi, Paula: Eräiden Suomen järvien pohjaeläimistö. Valtakunnallisen seurannan tulokset 1989 - 1992. Suomen ympäristökeskus.
173. Haverinen, Kalervo & Lempinen, Petri: Omin avuin, valtion varoin. Opiskelija-asuntojärjestelmä Suomessa. Ympäristöministeriö.
174. Vaitomaa, Jaana: Sinilevien ja niiden tuottamien maksatoksiinien käyttäytyminen imeytyksessä. Koikeita harju- ja sedimenttipatsailla. Suomen ympäristökeskus.
175. Porvari, Petri & Verta, Matti: Elohopea ja metyylielohopea tekoaltaissa ja Kemijoen vesistössä. Suomen ympäristökeskus.
176. Hyvärinen, Veli (toim.) Hydrologinen vuosikirja 1994. Hydrological Yearbook 1994. Suomen ympäristökeskus.
177. Suomen tekemät kansainväliset ympäristösopimukset. Ympäristöministeriö.
178. Helin, Juha: Turvetuotantovelvoitteita koskevat vesituomioistuinten lupapäätökset. Suomen ympäristökeskus.
179. Soveri, Jouko; Peltonen, Kimmo & Järvinen, Olli: Laskeuma Helsingin seudulla lumesta määritettynä talvikaudella 1995 - 1996. Suomen ympäristökeskus.
180. Vesala, Riitta: Näkökulmia asemakaavaselostuksen uudistamiseen. Ympäristöministeriö.
181. Kujala-Räty, Katarina; Hiisvirra, Leena; Kaukonen, Marke; Liponkoski, Markku & Sipilä, Annika: Talousveden laatu Suomessa vuonna 1996. Sosiaali- ja terveysministeriö, maa- ja metsätalousministeriö, ympäristöministeriö ja Suomen ympäristökeskus.
182. Rusanen, Pekka; Mikkola-Roos, Markku & Asanti, Timo: Merimetso *Phalacrocorax carbo* - Musta viikinki. Merimetsän kannan kehitys ja siihen vaikuttavat tekijät Itämeren piirissä ja Euroopassa. Suomen ympäristökeskus.
183. Haukkasalo, Hannu: Kuntarakenne - yleiskaava Nurmijärvi. Ympäristöministeriö.
184. Ostamo, Eira & Hilden, Mikael: YVA-yhteysviranomaisten lausuntojen laatu - ympäristövaikutusten arviointimenettelyt 1994 - 1997. Ympäristöministeriö.
185. Lehtonen, Elina & Kangasjärvi, Jaakko: Biotekniikan riskit? Siirtogeenisten kasvien ympäristöriskit Suomen oloissa. Suomen ympäristökeskus.
186. Heikkilä, Mikko, Karppinen, Seppo & Santasalo, Tuomas: Parempi kaupunkikeskusta - seitsemän kaupunkikeskustan kehittäminen. Ympäristöministeriö.
187. Lankinen, Markku: Lähiöt muuttuvat ja erilaistuvat - 36 lähiön tilastollinen seuranta 1980 - 95. Ympäristöministeriö.
188. Räike, Antti & Pietiläinen, Olli-Pekka: Typpikuormituksen vaikutus Lohjanjärven ja sen alapuolisen vesialueen tilaan. Suomen ympäristökeskus.
189. Pietiläinen, Olli-Pekka & Niinioja, Riitta: Typpi ja fosfori Pyhäselän rehevöitymisen säätelijöinä. Suomen ympäristökeskus.
190. Jauho, Mikko & Allt, Anu: Kokemuksia laitosten muuttamisesta asuinkäyttöön. Ympäristöministeriö.
191. Mustonen, Tuija: Mäntyharjun kulttuuriympäristöohjelma. Etelä-Savon ympäristökeskus.
192. Kylä-Setälä Annamajja: Maaperänsuojelun toteutuminen alueellisella tasolla - esimerkkinä Satakunta. Suomen ympäristökeskus.
193. Lonka Harriet: Öljy- ja kemikaalivahinkojen torjuntavalmiuden tilan selvitys ympäristövahinkojen torjunnan näkökulmasta. Suomen ympäristökeskus.
194. Niemi, M.; Kulmala, A.; Vanhala, P.; Kulokoski, V. & Esala, M.: Orgaanisten jäteaineiden vaikutukset maaperän mikrobistoon ja kasvien typensaantiin. Suomen ympäristökeskus.
195. Lehtinen, Tana; Mattsson, Engström; Nakari; Ahtiainen & Lagus: Happikemikaalien käyttöön perustuvan massanvalkaisun ympäristövaikutuksia. Suomen ympäristökeskus.
196. Liikanen, Anu: Torjunta-aineiden käyttäytyminen ilmakehässä - lähteet, kulkeutuminen ja poistumismekanismit. Suomen ympäristökeskus.
197. Ahonen, Ilpo, Jalkanen, Aija & Vähäsöyrinki, Asko: Työntekijöiden kemikaalialistuminen saastuneiden maa-alueiden kunnostuksessa. Suomen ympäristökeskus.
198. Lukin, Markus: Kestävä tuote- ja kulutuspolitiikka - kansainväliset lähtökohdat, kansallinen sisältö ja kaupan näkökulma. Ympäristöministeriö.

199. Honkatukia, Juha: Ympäristöverot ja työllisyys. Katsaus tutkimustuloksiin ja toimenpiteisiin Pohjoismaissa ja Hollannissa. Ympäristöministeriö.
200. Tulonen, Annu: Asikkalan kulttuuriympäristöohjelma. Ympäristöministeriö.
201. Hilden, M.; Tahvonen, O & Valsta, L.: Natura 2000-verkoston vaikutusten arviointi. Suomen ympäristökeskus.
202. Vaajasaari, Kati; Dahlbo, Helena; Joutti, Anneli; Schultz, Eija; Ahtiainen, Jukka; Nakari, Tarja; Pönni, Seppo & Nevalainen, Jukka: Liukoisuus- ja biotestit jätteiden kaatopaikkakelpoisuuden määrittämisessä. Loppuraportti. Pirkanmaan ympäristökeskus.
203. Helminen, H.; Häkkinen, K.; Keränen, M.; Koponen, J.; Laihanen, P. & Ylinen, H.: Turun edustan virtaus- ja vedenlaatumalli. Lounais-Suomen ympäristökeskus.
204. Ollila, Markku (toim.): Vesistöjen käyttöön liittyvä taloudellinen varallisuus. Suomen ympäristökeskus.
205. Otterström, Tomas, Gynther, Lea & Laurikka, Harri: Ympäristökustannusten arviointimenetelmät. Ympäristöministeriö.
206. Grönroos, Juha; Nikander, Antero; Syri, Sanna; Rekolainen, Seppo & Ekqvist, Marko: Maatalouden ammoniakkipäästöt. Suomen ympäristökeskus.
207. Liike- ja palvelurakennusten kuntoarvio. Ympäristöministeriö.
208. Hirvonen, Jukka: Toimivatko tulorajat. Tilastollista perustietoa aravatulorajojen toimivuudesta. Ympäristöministeriö.
209. Huttula, Timo: Present state and future fate of Lake Võrtsjärv. Results from Finnish - Estonian joint project in 1993 - 1997. Pirkanmaan ympäristökeskus.
210. Ongelmia asunnottomuuden vähentämisessä. Toimenpide-ehdotuksia tilanteen parantamiseksi. Ympäristöministeriö.
211. Leppävuori, Keijo; Lehtinen, Ilkka; Aho, Timo & Lampinen, Veikko: Kiinteistöjen ylläpidon kustannusindeksi 1995 = 100. Ympäristöministeriö.
212. Siistonen, Pasi: Kaavin kulttuuriympäristöohjelma. Ympäristöministeriö.
213. Mattinen, Maire (toim.): Olavinlinna. Maisema ja monumentti. Ympäristöministeriö.
214. Saarela, Jouko; Kink, Hella; Karise, Vello; Kokkonen, Teemu; Hepojoki, Antti & Kotola, Jyrki (eds): Environmental impact of the former military base in the Pakri Peninsula, Estonia. Suomen ympäristökeskus.
215. Jätealan seurantarjestelmä. Jäteseuranta-projektin loppuraportti. Suomen ympäristökeskus.
216. Juutinen, Artti & Mäenpää, Ilpo: Metallijätteiden kierrätyksen talous- ja ympäristövaikutukset. Ympäristöministeriö.
217. 7th Annual Report 1998. UNECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems. Suomen ympäristökeskus.
218. Forsius, M.; Guardans, R.; Jenkins, A.; Lundin, L. & Nielsen, K.E. (eds): Integrated Monitoring: Environmental Assessment through Model and Empirical Analysis. Suomen ympäristökeskus.
219. Karjalainen, Anneli; Taipale, Lauri & Syri, Sanna: Happamoitumistointimikunnan mietintö. Ympäristöministeriö.
220. Saarinen, K.; Jouttijärvi T. & Forsius K.: Monitoring and control of emissions in pulp and paper industry in Finland. Suomen ympäristökeskus.
221. Teeriaho, Jari: Ehdotus luonnon monimuotoisuuden indikaattoreiksi kunnille. Suomen ympäristökeskus.
222. Laukkanen, Tuula: Sosiaalisen vuokra-asumisen asukasvalinta. Ympäristöministeriö.
223. Vehmas, Jarmo; Petäjä, Jouko; Kaivo-oja, Jari; Malaska, Pentti & Luukkanen Jyrki: Ilmastopolitiikka ja Suomi. Kansainvälisiä näkökohtia sekä kansallisia sähköntuotannon ja -kulutuksen skenaarioita. Ympäristöministeriö.
224. Soluasuminen ja opiskelija-asuntojen perusparantaminen. Ympäristöministeriö.
225. Mannermaa, Mika: Megatrendejä ja skenaarioita valtakunnallisen alueiden käytön perustaksi. Ympäristöministeriö.
226. Vesiensuojelun tavoitteet vuoteen 2005. Målen för skydd av vattnen fram till år 2005. Ympäristöministeriö.
227. Markkanen, Tuula: Selvitys saastuneiden maamassojen alueellisesta käsittelystä eteläisessä Suomessa. Suomen ympäristökeskus.
228. Rantala, Pirjo-Riitta; Nevalainen, Jukka & Jokela, Petri: Metsäteollisuuslletteiden kuivatusmenetelmiä. Pirkanmaan ympäristökeskus.
229. Koverola, Hannu: Rakennetun ympäristön indikaattorit. Ympäristöministeriö.
230. Huolman, Ilpo: Pihlajaveden tila ja suojelun lähtökohdat. Life Pihlajavesi -projekti. Etelä-Savon ympäristökeskus.
231. Sommarlund, H.; Pekkarinen, M.; Kansanen, P.; Vahtera, H. & Väisänen, T.: Savipeittomenetelmän soveltuvuus Tuusulanjärven sedimentin kunnostukseen. Uudenmaan ympäristökeskus.
232. Rakennusten energiatodistus. Loppuraportti. Ympäristöministeriö.
233. Häikiö, Martti; Laitinen, Jyrki; Lakso, Esko & Lehtinen, Antti: Laskeutusaltaiden käyttökelpoisuus viljelyalueiden vesiensuojelussa. Suomen ympäristökeskus.
234. Yakovlev, Valery, A.: Acidity of small lakes in Finnish Lapland - based on aquatic macroinvertebrate studies in 1993 - 1995. Lapin ympäristökeskus.
235. Larjavaava, Ilmari: Asuntojen hallinnon muutos Venäjällä. Ympäristöministeriö.
236. Lintunen, Petri; Hytönen, Mervi; Ikonen, Kirsi; Kivimäki, Sari: Laatokan pohjoisrannikon kulttuuriympäristö. Suomalainen kulttuuriperintö Laatokan luoteis- ja pohjoisrannan maisemissa. "Teksti myös venäjäksi". Suomen ympäristökeskus.
237. Tiuri, Ulpu & Huovila, Pekka: & Miljö 2000. Teknologiakilpailu ja koerakentaminen. Tulokset ja johtopäätökset. Ympäristöministeriö.

238. Antila, Raimo: Kunnostuksen yleissuunnitelmat ja kunnostusratkaisut Hattulan käytöstä poistetuille kaatopaikoille. Hämeen ympäristökeskus.
239. Grönroos, Juha; Rekolainen, Seppo; Palva, Reetta; Granlund, Kirsti; Bärlund, Ilona; Nikander, Antero & Laine, Yki: Maatalouden ympäristötuki. Toimenpiteiden toteutuminen ja vaikutukset 1995-1997. Suomen ympäristökeskus.
240. YVA-lainsäädännön tarkistamistyöryhmän mietintö. Ympäristöministeriö.
241. Survo, Kyösti & Hänninen, Otto: Altistuminen ympäristömelulle Suomessa. Esiselvitys. Pohjois-Savon ympäristökeskus.
242. Hassi, Laura: Korkotuki ylivelkaantuneiden asumisen tukena. Ympäristöministeriö.
243. Vartiainen, Perttu: Itämeren alueen kaupunkiverkoston kuvausjärjestelmä. Ympäristöministeriö.
244. Lehto, Mervi: Tekniikkaa ikä kaikki. Käyttäjän käsitys asumisen automaatiosta. Ympäristöministeriö.
245. Nevalainen, Jukka; Dahlbo, Helena: Suolakyllästämyönteisen maaperän saastuneisuuden selvittäminen ja kunnostaminen. Pirkanmaan ympäristökeskus.
246. Assessment of the competence and suitability of the Finnish Environment Institute Laboratory - as national environment al reference laboratory. Ympäristöministeriö.
247. Turkki, Hanna; Joensuu, Elina, Kirkkala, Teija; Lavinto, Ari; Mäkinen, Seppo & Siitonen, Mikko: Järviluonnon vaaliminen. Pomarkun/Siikaisten Valkjärven esimerkki. Lounais-Suomen ympäristökeskus.
248. Maaperänsuojelun tavoitteet. Maaperänsuojelun tavoitetyöryhmän mietintö. Ympäristöministeriö.
249. Mujunen, Satu-Pia; Linderborg, Irma; Hirvikallio, Hilka; Minkkinen, Pentti & Wirkkala, Riitta-Sisko: Adenosiinitrifosfaatin (ATP) soveltuvuus seurantaparametriksi sellu- ja paperitehtaiden biologisessa jäteveden puhdistuksessa. Kaakkois-Suomen ympäristökeskus.
250. Perttula, Heli: Puurijärven tila ja lintuveden kunnostusperiaatteet. Lounais-Suomen ympäristökeskus.
251. Rikkidioksidi- ja typenoksidipäästöjen vähentämismahdollisuudet. Ympäristöministeriö.
252. Koivusaari, Juhani; Koskenniemi, Esa; Latvala, Jyrki; Lax, Hans-Göran; Rautio, Liisa Marja; Teppo, Anssi & Julkunen, Martin: Kyröjoen tila ja vesistöiden vaikutukset 1986 - 1995. Länsi-Suomen ympäristökeskus.
253. Pietiläinen, Olli-Pekka; Ristimella, Tero & Itkonen, Juhani: Typpi ja fosfori Kemijoen periyntötuotannon säätelijöinä. Ympäristöministeriö
254. Hallituksen kestävä kehityksen ohjelma. Valtioneuvoston periaatepäätös ekologisen kestävyuden edistämisestä. Ympäristöministeriö.
255. Koski, Kimmo; Ritakallio, Veli-Matti; Huhdanmäki, Aimo & Vuorenhela, Turo: Myymäläverkon muutosten sosiaaliset ja sosiaalitoimeen kohdistuvat vaikutukset. Ympäristöministeriö.
256. Vehanen, Teppo; Marttunen, Mika; Tervo, Hannu; Kylmä, Petri & Hyvärinen, Pekka: Oulujärven kalatalouden monitavoitteinen kehittäminen. Suomen ympäristökeskus.
257. Hoffrén, Jukka: Materiaalivirtailinpinnoitus luonnonvarojen kokonaiskulutuksen seurantavälineenä. Ympäristöministeriö.
258. Tanninen, Timo & Hirvonen, Jukka: Asumistuen leikkauksista tuen vaikuttavuuden arviointiin. Asumistuen leikkausten kohdentuminen, asumistilanteen muutokset ja leikkausten vaikutus toimeentulotukseen vuosina 1995 - 96. Ympäristöministeriö.
259. Heikkilä, Mika: Hyrynsalmen kulttuuriympäristöohjelma. Ympäristöministeriö.
260. Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2005. Ympäristöministeriö.
261. Regeringens program för en hållbar utveckling. Statsrådets principbeslut om främjande av ekologisk hållbarhet. Ympäristöministeriö.
262. Hissit ja poistumistiet vanhoissa kerrostaloissa. Ympäristöministeriö.
263. Heiskanen, Anna-Stiina; Lundsgaard, Claus; Reigstadt, Marit & Olli, Kalle (toim.): Sedimentation and recycling in aquatic ecosystems - the impact of pelagic processes and planktonic food web structure. Suomen ympäristökeskus.
264. Panu, Jorma: Maisemarakenteen ja taajamarakenteen yhteensovittaminen. Ympäristöministeriö.
265. Jormola, Jukka; Järvelä, Juha; Lehtinen, Antti & Pajula, Heikki: Luonnonmukainen vesirakentaminen. Suomen ympäristökeskus.
266. Finnish Government Programme for Sustainable Development. Council of State Decision-in-Principle on the Promotion of Ecological Sustainability. Ympäristöministeriö.
267. Aro, Teuvo; Jyrkkäranta, Jyrki & Hääl, Kaido: Virolaiskerrostalojen lämmön ja veden kulutus. Ympäristöministeriö.
268. Suutari, Riku; Johansson, Matti & Tärvinen, Timo: Aineistojen alueellistaminen kriging-menetelmällä ympäristömallintamisessa. Suomen ympäristökeskus.
269. Futures for FEI. International Evaluation of the Finnish Environment Institute. Ympäristöministeriö.
270. Kaipiaisen, Maarit: Tiivis ja matala puurakentaminen. Ympäristöministeriö.
271. Rintanen, Tapio & Kare, Päivi: Suomen uhanalaisia lajeja: Sorsanputki (*Sium latifolium*). Suomen ympäristökeskus.
272. Wesamaa, Pekka: Kaavojen laatimisajat 1995 - 1996. Ympäristöministeriö.
273. Leikola, Niko: Metsäluonnon monimuotoisuus ja metsien käytön historia Etelä-Pohjanmaalla. Suomen ympäristökeskus.
274. Manninen, Pertti: Havasten limoittumistutkimus Konnivesi-Ruotsalaisella talvella 1997. Etelä-Savon ympäristökeskus.
275. Sigurdsson, Albert: Landscape ecological changes in the Kuhmo border area after 1940. A cumulative effects assessment approach. Suomen ympäristökeskus.
276. Asukasvalintatyöryhmän muistio. Ympäristöministeriö.
277. Edunvalvonta rakennusalan eurooppalaisessa standardisoinnissa. Ympäristöministeriö.
278. Wirkkala, Raimo & Toivonen, Heikki: Maintaining biological diversity in Finnish forests. Suomen ympäristökeskus.
279. Itämeren alueen kestävä kehityksen ohjelma. BALTIC 21. Ympäristöministeriö.

280. Hyvärinen, Veli (toim.): Hydrologinen vuosikirja 1995. Suomen ympäristökeskus.
281. Marjanen, Jari: Myrkky- ja kemikaalilainsäädännön kehitysvaiheita. Suomen ympäristökeskus.
282. Lokio, Jarmo: Kittilän kulttuuriympäristöohjelma. Ympäristöministeriö.
283. Karhu, Elina: NiCd-pienakkujen käytön ja jätehuollon ohjaus. Suomen ympäristökeskus.
284. Leijting, Jorrit: Fuel peat utilization in Finland: resource use and emissions. Suomen ympäristökeskus.
285. Puustinen, Markku: Viljelymenetelmien vaikutus pintaeroosioon ja ravinteiden huuhtoutumiseen. Suomen ympäristökeskus.
286. Ekokyläien ekologinen tase. Neljän suomalaisen asuntoalueen arviointi kestävän kehityksen kannalta. Ympäristöministeriö.
287. Hoffrén, Jukka: Material Flow Accounting as a Measure of the Total Consumption of Natural Resources. Ympäristöministeriö.
288. Tynkkynen, Veli-Pekka: Environmental health in the Karelian Republic. The popular image of green forests and clean waters is a delusion. Pohjois-Savon ympäristökeskus.
289. Korhonen, Pekka; Rotko, Pia; Marttunen, Mika; Jarkoinen, Sirpa & Kiljunen, Pentti: Päijänteen, Konnivesi-Ruotsalaisen ja Kymijoen säännöstelyn vaikutukset. Kyselytutkimus alueen vakinaisten ja lomasukkaiden kokemuksista ja odotuksista v. 1997. Suomen ympäristökeskus.
290. Tihlman, Tiina: Suomenlahden rannikkoalueiden kaavoitus Life 96 ympäristö-projekti. Uudenmaan ympäristökeskus.
291. Honkasalo, Antero: Kasvu vai kehitystä? Steady-state-talous ja kestävän kehityksen reunaehdot. Ympäristöministeriö.
292. Palmu, Jukka-Pekka: Moreenimuodostumien inventointi. Esitutkimus Pohjois-Uudenmaan ja Etelä-Hämeen alueella. Ympäristöministeriö.
293. Hudd, Richard & Kälax, Pia: Fiskyngelförekomst och fiskbestånd i Kyro älvs mynning 1980 - 1997. Länsi-Suomen ympäristökeskus.
294. Asuntopoliittisten tukien kestävä kehittäminen. Ympäristöministeriö.





### Radonin poisto porakaivovedestä

#### Uusia ilmastimia ja aktiivihiihliuodatuksen käyttöönotto

Arviolta 30 - 40 %:ssa Suomessa tutkituista porakaivoista veden radonpitoisuus ylittää rajan 300 Bq/l. Ruotsissa arviolta 20 000 - 30 000 porakaivossa radonpitoisuus ylittää 500 Bq/l. Tehokkaita menetelmiä vedessä olevan radonin poistamiseksi ovat ilmastus ja aktiivihiihliuodatus.

Tässä julkaisussa raportoidaan tulokset tutkimuksesta, jossa kehitettiin sekä ilmastukseen että aktiivihiihliuodatuksen perustuvia radoninpoistolaitteistoja. Laitteistot on tarkoitettu nimenomaan yksityistalouksien käyttöön.

Lisäksi annetaan suosituksia ja turvallisuusohjeita laitteiden hankintaa, asentamista, käyttöä ja käytöstä poistoa varten. Menetelmät ovat tehokkaita, mutta laitteiden käytössä on huomioitava muun muassa säteilyturvallisuuteen liittyviä tekijöitä sekä valvottava veden muun laadun säilymistä hyvänä (esimerkiksi bakteeripitoisuuksien suhteen).

ISBN 952-11-0475-9

ISSN 1238-7312

Oy EDITA Ab  
PL 800, 00043 EDITA, vaihde (09) 566 01  
ASIAKASPALVELU  
puh. (09) 566 0266, telefax (09) 566 0380  
EDITA-KIRJAKAUPAT HELSINGISSÄ  
Annankatu 44, puh. (09) 566 0566  
Eteläesplanadi 4, puh. (09) 662 801



9 789521 104756