



STUK-A199 / Toukokuu 2004

KAIVOVEDEN LUONNOLLINEN RADIOAKTIIVISUUS – OTANTATUTKIMUS 2001

P. Vesterbacka¹, I. Mäkeläinen¹, T. Tarvainen², T. Hatakka²,
H. Arvela¹

¹ Säteilyturvakeskus, PL 14, 00881 HELSINKI

² Geologian tutkimuskeskus, PL 96, 02151 ESPOO

Tässä raporttisarjassa esitetyt johtopäätökset ovat tekijöiden johtopäätöksiä, eivätkä ne välttämättä edusta Säteilyturvakeskuksen virallista kantaa.

ISBN 951-712-797-9 (nid.)

ISBN 951-712-798-7 (pdf)

ISSN 0781-1705

Dark Oy, Vantaa, 2004

Myynti:

Säteilyturvakeskus

PL 14, 00881 Helsinki

Phone: (09) 759881

Fax: (09) 75988500

VESTERBACKA Pia, MÄKELÄINEN Ilona, TARVAINEN Timo, HATAKKA Tarja, ARVELA Hannu. Kaivoveden luonnollinen radioaktiivisuus – otanta-tutkimus 2001. Helsinki 2004, 39 s+ liitteet 12 s.

Avainsanat kaivovesi, radon, uraani, radium, radioaktiivinen lyijy, polonium, säteilyannos

Tiivistelmä

Tämän tutkimuksen tavoitteena on edustavan kuvan saaminen järjestetyn vesihuollon ulkopuolella käytetyn juomaveden luonnon radioaktiivisten aineiden pitoisuuksista ja niiden aiheuttamista säteilyannoksista. Aikaisempien tutkimusten perusteella Suomessa yksityiskaivojen käyttäjien osuus kaikista vedenkäyttäjistä on vain noin 10 %, mutta he saavat kuitenkin yli puolet kollektiivisesta säteilyannoksesta.

Yksinkertaisessa satunnaisotantaan perustuvassa otanta-tutkimuksessa saatiin tiedot 2000 suomalaisesta, jotka eivät väestörekisteritietojen perusteella kuuluneet julkisen vesihuollon piiriin. Suostumuksen antaneiden joukosta tutkimukseen valittiin noin 500 kaivon otos. Radonin (^{222}Rn), radiumin (^{226}Ra), uraanin (^{238}U ja ^{234}U), lyijyn (^{210}Pb) ja poloniumin (^{210}Po) aktiivisuuspitoisuudet ja uraanin massapitoisuus määritettiin 288 porakaivon vedestä ja 184 maaperän kaivon vedestä.

Luonnon radioaktiivisten aineiden pitoisuudet olivat porakaivovedessä moninkertaisia verrattuna maaperän kaivoveden pitoisuuksiin. Radonpitoisuuden keskiarvo porakaivovedessä oli 460 Bq/l ja maaperän kaivovedessä 50 Bq/l. Korkeimmat pitoisuudet löytyivät Etelä-Suomesta, Uudenmaan alueelta sekä Lounais-Suomesta. Lisäksi yksittäisiä korkeita pitoisuuksia esiintyi kaikkialla Suomessa. Uraanipitoisuuden keskiarvo porakaivovedessä oli 21 $\mu\text{g/l}$ ja maaperän kaivovedessä 1 $\mu\text{g/l}$. Uraanin alueellinen esiintyminen noudatti pääpiirteissään radonin esiintymistä. Radiumpitoisuuden keskiarvo porakaivovedessä oli 0,05 Bq/l ja maaperän kaivovedessä 0,02 Bq/l. Radiumin esiintyminen poikkesi radonin ja uraanin esiintymisestä siten, että korkeat pitoisuudet keskittyivät lähinnä rannikolle. Lyijypitoisuuden keskiarvo porakaivovedessä oli 0,040 Bq/l ja maaperän kaivovedessä 0,013 Bq/l sekä poloniumpitoisuuden keskiarvo porakaivovedessä 0,048 Bq/l ja maaperän kaivovedessä 0,007 Bq/l. Lyijyn ja poloniumin alueellinen esiintyminen noudatti paljolti radonin esiintymistä.

Keskimääräiseksi säteilyannokseksi porakaivoveden käyttäjälle arvioitiin 0,4 mSv vuodessa ja maaperän kaivon käyttäjälle 0,05 mSv. Juomavedessä esiintyvistä radioaktiivisista aineista eniten annosta aiheuttaa radon. Porakaivovettä käyttävälle sen aiheuttama annos on 75 % juomaveden luonnon radioaktiivisuuden aiheuttamasta kokonaisannoksesta ja maaperän kaivovettä käyttävälle 60 %. Radonin jälkeen eniten annosta aiheuttaa polonium. Porakaivovettä käyttävälle poloniumin osuus on 12 % kaikkien luonnonradionuklidien aiheuttamasta annoksesta, uraanin isotooppien (^{234}U ja ^{238}U) 6 %, lyijyn 5 % ja radiumin 3 %.

Annosta voidaan alentaa pienentämällä radionuklidien pitoisuutta vedessä. Merkittävin annoksen aleneminen saavutetaan pienentämällä veden radonpitoisuutta. Uraanin osalta kemiallisen myrkyllisyyden perusteella arvioitu ohjearvo on alempi kuin säteilyannoksen perusteella laskettu ohjearvo.

Uraanipitoisuutta ei voida päätellä radonpitoisuuden perusteella, vaan mahdollisen ohjearvon ylitys on määritettävä erikseen riippumatta muiden radioaktiivisten aineiden pitoisuudesta. Radon- ja uraanipitoisuuksia voidaan hyödyntää lyijyn ja poloniumin mittaustarpeen arvioinnissa.

Mittausohjelma, jolla voitaisiin löytää korkeat radonpitoisuudet kaikista Suomen porakaivoista, tulisi maksamaan 3 M€. Uraanin mittaaminen lisää kustannuksia 2–6 M€. Lyijyn ja poloniumin lisääminen mittausohjelmaan maksaisi 5 M€.

VESTERBACKA Pia, MÄKELÄINEN Ilona, TARVAINEN Timo, HATAKKA Tarja, ARVELA Hannu. Natural radioactivity in private wells in Finland – A representative survey 2001. Helsinki 2004,39 pp + appendices 12 pp.

Keywords drinking water, radon, uranium, radium, lead, polonium, radiation dose

Abstract

The goal of this study was to obtain a representative estimate on concentration of natural radionuclides in private well water and the radiation exposure from drinking water of people living outside public water supply in Finland. According to earlier studies, the number of private well users in Finland is about 10% of the population. Nonetheless, this group receives more than half of the collective radiation dose due to natural radioactivity in drinking water.

In a random sampling study 2,000 persons, not using a public water supply as their drinking water according to the Population Register Centre were selected to the survey. Among subjects who gave their consent, about 500 private well users were selected in the study. Activity concentration of radon (^{222}Rn), radium (^{226}Ra), uranium (^{238}U and ^{234}U), lead (^{210}Pb) and polonium (^{210}Po), and mass concentration of uranium were determined from 288 drilled wells and 184 wells dug in soil.

The concentrations of natural radionuclides were several times higher in drilled wells than in wells dug in soil. The average radon concentration in drilled wells was 460 Bq/l and in dug wells 50 Bq/l. The highest concentrations were found in Southern Finland, in Uusimaa region, and in South-Western Finland. Additionally, occasional high concentrations were found all over Finland. The average uranium concentration in drilled wells was 21 $\mu\text{g/l}$ and in dug wells 1 $\mu\text{g/l}$. Spatial distribution of uranium was essentially similar to that of radon. The average radium concentration in drilled wells was 0.05 Bq/l and in dug wells 0.02 Bq/l. Unlike radon and uranium, the highest radium concentrations were found in coastal area. The average lead concentration in drilled wells was 0.040 Bq/l and in dug wells 0.013 Bq/l and the average polonium concentration 0.048 Bq/l and 0.007 Bq/l, respectively. Spatial distributions of lead and polonium were similar to that of radon.

The average annual effective dose from natural radionuclides for a drilled well user was estimated to be 0.4 mSv and for a user of well dug in soil 0.05 mSv. Most of the dose is due to radon. The dose arising from radon in drinking water for users of drilled wells is 75% and for users of wells dug in soil 60% from the total dose due to natural radionuclides. The second largest dose arises from polonium-210, which causes 12% of the dose of users of drilled wells. Uranium isotopes (^{234}U and ^{238}U) together cause 6 %, lead 5 % and radium 3 % of the dose from drinking water of the users of drilled wells.

The dose from natural radionuclides can be reduced by mitigating radionuclide concentration in water. The most significant reduction is achieved by restricting radon concentration. The guideline for uranium based on its chemical toxicity is lower than guideline calculated from radiation dose.

Uranium concentration cannot be assessed according to radon concentration. Consequently, a potential exceeding of a guideline of uranium should always be determined separately, irrespective of other radionuclides concentration. Radon and uranium determinations can be used to assess the need to determine polonium-210 and lead-210 concentrations.

A measuring program, aimed to find out high radon concentration from drilled wells in Finland, would cost 3 M€. Determination of uranium increases the cost by 2 to 6 M€. If lead and polonium were included into the measuring program, it would add the costs still with 5 M€.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Abstract	5
Alkusanat	8
1 Johdanto	9
2 Aineisto ja menetelmät	11
2.1 Tutkimuskohteet ja niiden valinta	11
2.2 Vesiäytteen kerääminen, käsittely ja analysointi	12
3 Tulokset	13
3.1 Kyselykirjeen vastaukset	13
3.2 Näytteenoton ja näytteen kuljetuksen vaikutus veden radonin ja radioaktiivisen lyijyn pitoisuuteen	14
3.3 Rinnakkais- ja seurantanäytteet	15
3.4 Radionuklidien aktiivisuuspitoisuudet	18
3.5 Alueellinen esiintyminen	19
3.6 Säteilyannokset	21
3.7 Pitkäikäisten nuklidien annosylitysten seulonta	29
3.8 Uraanin kemiallinen myrkyllisyys	32
4 Luonnon radionuklidien mittaaminen ja niistä aiheutuvat kustannukset	33
4.1 Määrittämenetelmät ja niiden hinnat	33
4.2 Mittausohjelman kustannukset	34
5 Tulosten pohdintaa	36
6 Kirjallisuusviitteet	38
LIITE 1 Kyselylomakkeen saate tutkimuskohteille	40
LIITE 2 Kyselylomake tutkimuskohteille	41
LIITE 3 Saate terveyden suojeluviranomaisille	42
LIITE 4 Otantatutkimukseen osallistuneet kunnat	43
LIITE 5 Näytteenotto-ohjeet	46
LIITE 6 Veden radioaktiivisuusmääritykset	49
LIITE 7 Annosmuuntokertoimet	51

Alkusanat

Tämä on ensimmäinen väestöpohjaiseen satunnaisotantaan perustuva yksityiskaivoveden radioaktiivisuuden tutkimus Suomessa. Tutkimuksessa määritettiin luonnon radionuklidien (^{222}Rn , ^{226}Ra , ^{238}U , ^{234}U , ^{210}Pb ja ^{210}Po) pitoisuudet porakaivojen ja maaperän kaivojen vedestä. Tavoitteena oli edustavan kuvan saaminen järjestetyn vesihuollon ulkopuolella saatavasta juomaveden kautta tulevasta säteilyaltistuksesta.

STUK on aikaisemmin arvioinut juomaveden radioaktiivisten aineiden pitoisuuksia antaessaan sosiaali- ja terveystieteille ehdotuksen talousveden radioaktiivisista aineista aiheutuvan säteilyaltistuksen rajoittamisesta ja valvonnasta vuonna 1999 (Mäkeläinen ym. 2001). Kyseinen raportti perustui STUKin tietokantaan yli 20 vuoden kuluessa eri yhteyksissä kerättyihin mittaustuloksiin.

Vaikka nyt tutkitut vesinäytteet on kerätty yksityiskaivoista, voidaan kerättyä tietoaineistoa hyödyntää myös verkostoveden valvonnan suunnittelussa, kun raakavetenä käytetään pohjavettä. STUKin ja GTK:n yhteistyö mahdollistaa mm. veden muiden laatutekijöiden ja radioaktiivisten aineiden välisen yhteyden tutkimisen.

STUK haluaa kiittää kuntien terveystarkastajia, jotka osallistuivat tutkimukseen hoitamalla vesinäytteiden oton tutkimuskohteista. Lisäksi STUK haluaa kiittää tutkimukseen osallistuneita perheitä, jotka tekivät mahdolliseksi tämän tutkimuksen toteuttamisen. Tätä tutkimusta rahoitti sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö.

1 Johdanto

Talousvedessä olevien luonnon radioaktiivisten aineiden pitoisuuksia on tutkittu Säteilyturvakeskuksessa (STUK) jo 1960-luvun lopulta lähtien (Asikainen 1977 ja 1982). Alkuvuosina pääpaino oli vesilaitosvesien mittaamisessa, mutta 1980-luvulta lähtien tutkimukset ovat kohdistuneet pääosin kaivoveteen (Salonen 1992, 1994 ja 1995). Vuonna 2003 mittauksia oli tehty jo yli 10 000 kaivon vedestä. Näiden tutkimusten pääpaino on ollut riskialueiden löytäminen, jolloin näytteiden edustavuus on jäänyt vähemmälle huomiolle.

Kaivoveden radioaktiiviset aineet ovat peräisin lähinnä uraani-238 sarjasta. Eniten säteilyaltistusta aiheuttaa alfa-aktiivinen ^{222}Rn (radon, puoliintumisaika 3,8 vuorokautta). Muita tärkeitä uraanisarjan radionuklideja ovat pitkäikäiset alfa-aktiiviset ^{238}U ja ^{234}U (uraani-isotoopit), ^{226}Ra (radium) ja ^{210}Po (polonium) sekä beeta-aktiivinen ^{210}Pb (lyijy). Vedessä esiintyy myös pieniä pitoisuuksia toriumsarjan (^{232}Th) radionuklideja, kuten radiumisotooppia ^{228}Ra ja toriumisotooppeja ^{232}Th ja ^{228}Th . Näiden mittaaminen ei kuulunut tämän tutkimuksen ohjelmaan. Pitkäikäisellä radionuklidilla tarkoitetaan ainetta, jonka puoliintumisaika on pidempi kuin ^{222}Rn :n. Pitkäikäisten alfa-aktiivisten aineiden aktiivisuuspitoisuuksien summasta käytetään myös lyhyempää ilmaisua kokonaisalfapitoisuus.

Yksityisen kaivoveden käyttäjä voi saada hyvinkin suuren säteilyannoksen juomaveden radioaktiivisista aineista. Askolassa löydettiin 1980-luvulla porakaivo, jonka käyttäjille aiheutui juomavedestä 70 mSv vuotuinen säteilyannos (Salonen ym. 2003). Vaikka vain noin 10 % suomalaisista käyttää talousvetenään yksityisiä kaivoja, tämä väestön osa saa yli puolet talousveden sisältämien luonnon radioaktiivisten aineiden aiheuttamasta kollektiivisesta säteilyannoksesta.

Vettä käytettäessä osa siihen liuenneesta radonista vapautuu sisäilmaan. Talousvesi voi siten olla huomattava sisäilman radonlähde. Eniten radonia vapautuu astianpesukoneen, pyykinpesukoneen ja suihkun käytön yhteydessä. Talousveden merkitys sisäilman radonpitoisuuden lähteenä on suurin porakaivovettä käyttävissä kotitalouksissa. Maaperän kaivovettä käyttävissä asunnoissa talousvedestä ilmaan vapautuva radon on vain hyvin pieni lisä verrattuna rakennusten perustusten kautta tulevaan radonmäärään (Weltner ym. 2003).

EU-komissio antoi vuonna 2001 suosituksen "Väestön suojelemiseksi juomaveden radonilta". Yksityisille kaivoille suosituksessa on annettu radonia koskeva toimenpideraja 1000 Bq/l (Komission suositus 2001/928/

Euratom). Tämä arvo on otettu mukaan Sosiaali- ja terveysministeriön pieniä yksiköitä koskevaan asetukseen laatusuosituksena yksityistalouksille (Asetus N:o 401/2001). Komission suosituksessa edellytetään myös selvityksiä muiden luonnon radionuklidien mittaustarpeesta, jos korjaavia toimenpiteitä pidetään aiheellisena radonin takia.

Kaupallista tai julkisen tahon jakamaa vettä (vesilaitokset) koskien ministerineuvosto antoi vuonna 1998 EU:n talousvesidirektiivin (Neuvoston direktiivi 98/83/EY 1998). Direktiivissä esitetään viitteellinen kokonaisannos, johon lasketaan mukaan uraani ja radium. Jos viitteellinen kokonaisannos ylittää 0,1 mSv vuodessa, edellytetään nuklidikohtaisia selvityksiä. Direktiivi ei ota kantaa radoniin eikä sen pitkäikäisiin hajoamistuotteisiin lyijyyn ja poloniumiin (^{210}Pb ja ^{210}Po), vaan niistä on annettu EU:n komission suositus vuonna 2001 (Komission suositus 2001/928/Euratom). Suosituksen mukaan vesilaitosten veden radonpitoisuudelle voidaan antaa kansallisin perustein viitearvo, joka on välillä 100-1000 Bq/l. Edelleen siinä esitetään, että jos selvitysten perusteella on syytä epäillä, että vedessä on suuria lyijy- ja poloniumpitoisuuksia, on näitäkin ryhdyttävä seuraamaan. Lyijylle esitetään viitearvoa 0,2 Bq/l ja poloniumille 0,1 Bq/l. Direktiivin radioaktiivisuutta koskeva osuus on sisällytetty Sosiaali- ja terveysministeriön asetukseen 461/2000 talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista. Asetus ei kuitenkaan velvoita selvittämään veden radioaktiivisuutta ennen kuin näytteenottomenetelmistä ja -tiheyksistä on annettu ohjeet. Siihen asti vesilaitoksien radioaktiivisuutta koskee Säteilyturvakeskuksen antama ohje ST 12.3.

Vaikka EU:n suositukset eivät yksityiskaivojen osalta anna tavoitearvoa muille talousveden luonnon radioaktiivisille aineille kuin radonille, voi pitkäikäisistä radioaktiivisista aineista saatava annos olla huomattava, jopa yli kymmenen mSv vuodessa. Suurille annoksille altistuvien löytäminen on säteily-suojelun kannalta tarkoituksenmukaista ja jos sopivat seulontamenetelmät löydetään, myös taloudellisesti mahdollista. Erikoisasemassa on myös uraani (^{238}U), jonka kemiallinen myrkyllisyys aiheuttaa suuremman terveysriskin kuin radioaktiivisuus (Kurttio ym. 2002). Uraanin mittaaminen ICP-MS menetelmällä on suhteellisen edullista verrattuna muiden talousvedessä esiintyvien pitkäikäisten nuklidien mittaamiseen.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on edustavan kuvan saaminen järjestetyn vesihuollon ulkopuolella käytetyn juomaveden aiheuttamasta säteilyaltistuksesta, ja se täydentää STUKin aikaisempia tutkimuksia. Yhdessä nämä tutkimukset luovat hyvän pohjan haja-asutusalueiden vesihuollon suunnittelulle. Tässä tutkimuksessa kerättyä edustavaa aineistoa voidaan hyödyntää erityisesti kehitettäessä yksityiskaivojen radioaktiivisuuden valvontaa. Lisäksi tulokset tukevat EU:n talousvesidirektiiviin liittyvien kansallisten ohjeiden valmistelua.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Tutkimuskohteet ja niiden valinta

Väestörekisterikeskukselta pyydettiin yksinkertaisella satunnaisotannalla poimitut tiedot 2000 suomalaisesta, jotka eivät rekisteritietojen perusteella kuuluneet julkisen vesihuollon piiriin. Heille lähetettiin kirje, jossa kysyttiin halukkuutta osallistua tutkimukseen. Jos otannalla poimittu henkilö oli alaikäinen, kirje osoitettiin huoltajalle. Jos kotitalous ei vastannut ensimmäiseen kyselykirjeeseen, lähetettiin uusi kirje kahden kuukauden kuluttua ensimmäisen kyselykirjeen lähettämisenä. Tutkimushenkilöille ja terveydensuojeluviranomaisille lähetetty kyselykirje saatteineen on esitetty liitteissä 1, 2 ja 3.

Kun suostumukset yksityisiltä kotitalouksilta oli saatu, lähetettiin kuntien terveydensuojeluviranomaisille kirje, jossa kerrottiin tulevasta tutkimuksesta ja siihen valittujen kotitalouksien lukumäärä kyseisen kunnan alueelta sekä tiedusteltiin terveystarkastajien mahdollisuutta ottaa vesinäytteet kotitalouksista. Vain kaksi kuntaa kieltäytyi osallistumasta tutkimukseen muiden kiireiden vuoksi.

Kun suostumukset kotitalouksilta ja kuntien terveydensuojeluviranomaisilta oli saatu, tehtiin lopullinen päätös tutkimuskohteista. Tutkimukseen valittiin kaikki noin 300 porakaivovettä käyttävää kotitaloutta. Niistä kotitalouksista, jotka käyttivät maaperän pohjavettä, valittiin satunnaisotannalla noin 200 talouden otos. Kaikki tutkimukseen valitut kotitaloudet käyttivät vakituisesti talousvetenä kyseisen kaivon vettä. Kotitalouksia, jotka ilmoittivat käyttävänsä vesilaitoksen jakamaa verkostovettä, ei valittu mukaan tutkimukseen.

Valitut kohteet edustivat yhteensä 215 kuntaa. Koska osa kunnista muodostaa kansanterveystyön kuntayhtymiä, oli tutkimukseen osallistuneiden kuntien tai kuntayhtymien lukumäärä 163 kappaletta. Yhden kunnan tai kuntayhtymän alueelta oli keskimäärin kolme kaivoa, joista otettiin vesinäytteet tutkimusta varten. Porakaivoista otettuja näytteitä kerättiin kaikkiaan 151 kunnan tai kuntayhtymän alueelta ja maaperän kaivoista 130 kunnan tai kuntayhtymän alueelta. Liitteessä 4 on lueteltu mukana olleet kunnat sekä porakaivojen ja maaperän kaivojen määrä kyseisen kunnan alueella.

2.2 Vesinäytteiden kerääminen, käsittely ja analysointi

Vesinäytteet kerättiin joulukuun 2000 ja kesäkuun 2001 välisenä aikana. Näytteenottopullot ja kotitalouksien yhteystiedot lähetettiin kuntien terveydensuojeluviranomaisille jaksotetusti neljän kuukauden aikana. Yhden kuukauden aikana näytteitä kerättiin keskimäärin sadasta kotitaloudesta. Eniten näytteitä palautui laboratorioon maaliskuussa (155 kappaletta).

Terveydensuojeluviranomaiset keräsivät näytteet ohjeiden mukaisesti (Liite 5). Radonnäytteet kerättiin lasisiin nestetuikepulloihin, jotka oli esitäytetty tuikeaineella. Muiden radioaktiivisten aineiden (^{234}U , ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Po ja ^{210}Pb), määrittystä varten näytteet kerättiin kahteen yhden litran vetoiseen muoviseen polyetyleenipulloon. Näytteiden saavuttua laboratorioon otettiin vielä toinen radonnäyte muovipullosta kuljetuksen aikana tapahtuneen vuodon määrittämiseksi. ICP-MS menetelmällä suoritettavaa uraanimäärittystä varten kerättiin kaksi vesinäytettä Geologian tutkimuskeskuksen toimittamiin näytepulloihin. Näytteenoton jälkeen näytteet postitettiin Säteilyturvakeskukseen. Pääkaupunkiseudun ympäristökunnista näytteet tuotiin STUKiin autolla.

Rinnakkaismäärittäystä varten näytteitä kerättiin 33 kappaletta ja seurantanäytteitä varten 36 kappaletta. Rinnakkaisnäyte otettiin siten, että kutakin näytettä kerättiin kaksi kappaletta peräkkäin. Seurantanäytteet kerättiin myöhempänä ajanjaksona, kesäkuun ja elokuun 2001 välisenä aikana, vastaavalla tavalla kuin alkuperäiset näytteet. STUKin työntekijä, terveys-tarkastaja tai tutkimushenkilö otti seurantanäytteet annettujen ohjeiden mukaisesti.

Vesinäytteet kestävästiin ja ilmastettiin laboratoriossa välittömästi näytteiden saapumisen jälkeen. Radioaktiivisuusmäärittäykset tehtiin STUKissa ja veden uraanin massapitoisuus (^{238}U) määritettiin Geologian tutkimuskeskuksessa. Kaikista vesinäytteistä määritettiin radonpitoisuus (^{222}Rn), pitkäikäisten alfa-aktiivisten aineiden yhteismäärä (^{234}U , ^{238}U , ^{226}Ra ja ^{210}Po), radiumin (^{226}Ra), lyijyn (^{210}Pb) ja poloniumin (^{210}Po) pitoisuudet. Lisäksi osasta vesinäytteistä (noin 400 kpl) tehtiin radiokemiallinen uraanimäärittäminen (^{234}U ja ^{238}U). Yksityiskohtaisemmat kuvaukset määrittämisistä on esitetty liitteessä 6.

3 Tulokset

3.1 Kyselykirjeen vastaukset

Ensimmäiseen 2000 suomalaiselle lähetettyyn kyselyyn vastasi vajaa puolet kyselyn saaneista (Taulukko 1). Kohteisiin, joilta ei saatu vastausta, lähetettiin uusintakyselyjä (2. kysely) hieman yli tuhat kappaletta. Vastauksen antoi noin kolmasosa kirjeen saaneista. Kaiken kaikkiaan kyselykirjeisiin vastasi 63 % kirjeen saaneista. Vastanneista yli 90 % oli halukkaita osallistumaan tutkimukseen. Kotitalouksia, jotka eivät halunneet osallistua tutkimukseen, oli 120. Näistä porakaivon käyttäjiä oli 14 ja maaperän kaivojen käyttäjiä 45 kotitaloutta. Loput (61 kotitaloutta) kuuluivat julkisen vesihuollon piiriin. Kokonaan vastaamatta jätti 735 kotitaloutta (37 %).

Kaikista vastanneista porakaivon käyttäjiä oli 25 % ja maaperän kaivonkäyttäjiä 41 % (Taulukko 2). Kolmanneksella vastanneista ei ollut lainkaan

Taulukko 1. Niiden kotitalouksien lukumäärät, joille lähetettiin kyselykirje, jotka vastasivat kyselykirjeeseen ja jotka ilmoittivat halukkuudestaan osallistua tutkimukseen.

	1. kysely	2. kysely	Yhteensä
Lähetettyjä kirjeitä	2000	1108	
Palautuneiden lomakkeiden määrä	923	342	1265
Tutkimukseen suostuneiden määrä	887	258	1145
Ei antanut suostumusta vesinäytteen hakemiseen	36	84	120

Taulukko 2. Tilastotietoa ensimmäiseen ja toiseen kyselyyn vastanneiden kotitalouksien vesilähteestä.

	Palautuneiden lomakkeiden lkm	Vastaajalla ei kaivoa käytössä	Vastaajalla porakaivo	Vastaajalla maaperän kaivo	Ei saatu tietoa talousvedestä	Lomake palautui tyhjänä
1. kysely	923	267	258	385	5	8
2. kysely	342	126	64	131	17	4
Yhteensä	1265	393	322	516	22	12

Taulukko 3. Tutkimukseen suostuneiden kohteiden määrä sekä pyydettyjen ja saatujen vesinäytteiden lukumäärä vesilähteen mukaan.

	Halusi osallistua tutkimukseen	Pyydettiin vesinäyte	Saatiin vesinäyte
Porakaivo	308	302	288
Maaperän kaivo	499	198	184
Yhteensä	808	500	472

käytössä kaivoa. Nämä kotitaloudet olivat liittyneet kunnalliseen vesijohtoverkostoon. Tietoa käytetystä vesilähteestä ei saatu 3 % vastanneista. Kaksitoista kyselykaavaketta palautettiin tyhjänä tai väestörekisterikeskukselta saatu osoite ei ollut oikea.

Jos kaivo oli käytössä vapaa-ajan asunnolla, sitä ei otettu mukaan tutkimukseen. Kaikista tutkimukseen hyväksytyistä ja suostuneista valittiin 302 porakaivonkäyttäjää ja maaperän kaivojen käyttäjistä 198 henkilön otos (Taulukko 3). Lopullinen kohteiden lukumäärä laski vielä hieman, koska kaikilta ei saatu vesinäytettä. Syynä oli joko kaivon kuivuminen tai kaivo ei ollut valmistunut kun vesinäytteitä kerättiin.

Kaikista kohteista, joista saatiin vesinäyte, ei pystytty määrittämään kaikkien radionuklidien pitoisuuksia. Radonnäytteistä jäi useimmiten puuttumaan näyte, jonka avulla pyrittiin arvioimaan muovipullon tiiveyttä (13 kappaletta). Runsaan valutuksen jälkeen pyydetty näyte jäi ottamatta tilanteissa, joissa ihmisillä oli käytössään kaivo, josta vesi ei tullut vesijohtoa pitkin taloon sisälle. Lyijyn ja poloniumin määritykset jäivät puuttumaan neljästä vesinäytteestä.

3.2 Näytteenoton ja näytteen kuljetuksen vaikutus veden radonin ja radioaktiivisen lyijyn pitoisuuteen

Radonin näytteenotto on tehtävä ohjeiden mukaisesti. Veden valuttaminen hanasta ennen näytteenottoa vaikuttaa radonpitoisuuteen. Kaasumaisena aineena radon myös karkaa helposti näytteenotossa ja kuljetuksen aikana näyteastiasta. Tämän vuoksi näytteenotto on tehtävä erityisen huolellisesti ja näyteastiat on valittava tarkkaan. Radonnäytteet otettiin suoraan lasisiin nestetuikepulloihin, joissa oli valmiina nestetuikeaine, joka sitoo radonkaasun itseensä. Tällöin voitiin olettaa, ettei radon päässyt vuotamaan näytteen-ottopulloista.

Ennen näytteenottoa tapahtuvan veden valutuksen vaikutusta radonpitoisuuteen tutkittiin keräämällä näytteet ilman valutusta ja reilun valutuksen jälkeen. Kerätyissä näytteissä veden radonpitoisuus ilman runsasta valutusta oli kymmenen prosenttia pienempi kuin runsaan valutuksen jälkeen.

Vesinäytteiden keskimääräinen kuljetusaika (näytteenotosta näytteen saapumiseen laboratorioon) oli yksi vuorokausi. Kaikista näytteistä yli puolet toimitettiin laboratorioon vuorokauden kuluessa näytteenotosta ja yli 90 % näytteistä palautui STUKiin kahden vuorokauden kuluessa. Pisimmillään näytteet (1 % kaikista näytteistä) olivat matkalla vajaan viisi vuorokautta. Pitkät kuljetusajat koskivat useimmiten näytteitä, jotka oli kerätty Pohjois-Suomesta, missä tutkimuskohteiden väliset etäisyydet olivat pitkiä ja postituksen järjestäminen hankalaa.

Radonkaasun vuotoa muovisista polyetyleenipulloista selvitettiin ottamalla yksi näyte pullosta ennen sen sulkemista näytteenottopaikalla, ja toinen näyte pullojen saavuttua laboratorioon. Tulosten mukaan radonista karkasi keskimäärin 4 % yhden vuorokauden aikana. Tämän lisäksi pullon sulkemisen jälkeen radonista karkasi noin 6 %, mikä johtuu radonin nopeasta diffuusionopeudesta muovipullon seinämään.

Koska radon hajoaa lyhytikäisten tytärnuklidien kautta pitkäikäiseksi radioaktiiviseksi lyijyksi (^{210}Pb), tulee veden lyijypitoisuuden määrittämisessä huomioida näytteen kuljetuksen aikana radonista syntynyt lyijy. Tämä lyijymäärä vähennetään saadusta mittaustuloksesta, jotta saadaan selville alkuperäisen lyijyn pitoisuus vedessä. Kuljetuksen aikana syntyneen lyijyn määrään vaikuttavat veden radonpitoisuus, näyteastian tiiveys ja aika jonka näyte on matkalla laboratorioon.

3.3 Rinnakkais- ja seurantanäytteet

Laadun varmistamiseksi rinnakkaisnäytteitä kerättiin 33 kappaletta (porakaivoista 31 ja maaperän kaivoista 2). Rinnakkaisnäytteiden analysoinnilla pyrittiin arvioimaan näytteenoton epävarmuutta. Näytteenottoa-jankohdan vaikutuksen tutkimiseksi seurantanäytteitä kerättiin 36 kappaletta (porakaivoista 30 ja maaperän kaivoista 6).

Vaihtelua kuvattiin prosentuaalisella poikkeamalla, jolloin verrattiin ensimmäisen ja toisen näytteen radionuklidipitoisuuksien erotusta ensimmäisen näytteen pitoisuuteen. Vaihtelun suuruutta (itseisarvot) tutkittiin sekä rinnakkais- että seurantanäytteiden osalta. Lisäksi muutoksen suuntaa tutkittiin seurantanäytteiden osalta. Tarkasteltaviksi hyväksyttiin vain sellaiset

Taulukko 4. Rinnakkaisnäytteet: ensimmäisen ja toisen näytteen radionuklidipitoisuuksien prosentuaalisten poikkeamien itseisarvojen mediaanit ja maksimit.

Nuklidi	Näytteiden lukumäärä	Mediaani	Maksimi
Radon-222	30	2	38
Kokonaisalfa	23	10	40
Polonium-210	32	15	80
Lyijy-210	31	37	79

Taulukko 5. Ajallisen vaihtelun tutkimiseksi otetut seurantanäytteet: ensimmäisen ja toisen näytteen radionuklidipitoisuuksien prosentuaalisten poikkeamien itseisarvojen mediaanit ja maksimit.

Nuklidi	Näytteiden lukumäärä	Mediaani	Maksimi
Radon-222	33	17	96
Kokonaisalfa	31	20	84
Polonium-210	31	31	84
Lyijy-210	31	33	97

tulokset, joissa pitoisuus oli vähintään kaksinkertainen menetelmän määrittämissä rajoihin nähden. Radiumpitoisuudet olivat niin matalia, että niille ei laskettu poikkeamia.

Rinnakkaisnäytteissä vaihtelu oli suurinta radioaktiivisen lyijyn pitoisuuksissa ja pienintä radonpitoisuudessa (Taulukko 4). Radonpitoisuuden poikkeamien mediaaniarvo oli vain kaksi prosenttia. Muiden radioaktiivisten aineiden osalta poikkeamien mediaanit olivat suurempia, 10 – 40 %. Poikkeamat ovat menetelmien toistettavuuden kanssa samaa suuruusluokkaa, jolloin voidaan olettaa, että näytteenotto kaikkien määritettävien nuklidien osalta on onnistunut hyvin.

Seurantanäytteiden poikkeamat olivat useimmiten suurempia kuin rinnakkaisnäytteiden (Taulukko 5). Kun tutkittiin muutoksen suuntaa, havaittiin, että lyijy- ja poloniumpitoisuudet olivat usein matalampia ja radonpitoisuudet korkeampia kesäaikaan otetussa näytteessä (kesä – elokuu) kuin talvella otetussa näytteessä. Seurantanäytteiden pitoisuudet vaihtelivat tekijällä 0,5 – 2 verrattuna ensimmäisten näytteiden pitoisuuksiin.

Taulukko 6. Porakaivoveden radionuklidipitoisuuksien keskiarvot (suluissa aritmeettisen keskiarvon 95 % luottamusväli) ja otoksen tunnuslukuja. Kaivojen lukumäärä oli 288.

Radionuklidi	Aritmeettinen ka.	Ala-kvartiili	Medi-aani	Ylä-kvartiili	95 % persentiili	Maksimi
Radon-222 (Bq/l)	460 (340–580)	55	130	370	1700	8600
Kokonaisalfa-pitoisuus (Bq/l)	0,61 (0,38–0,84)	0,03	0,09	0,30	2,9	21,1
Radium-226 (Bq/l)	0,05 (0,03–0,07)	0,01	0,01	0,03	0,14	1,3
Uraani-234 (Bq/l)	0,35 (0,22–0,49)	0,008	0,034	0,141	1,6	12,1
Uraani-238 (Bq/l)	0,26 (0,15–0,37)	0,004	0,019	0,079	1,1	9,9
Uraani-238 (µg/l)	20,9 (11,7–30,0)	0,3	1,5	6,4	88	800
Lyijy-210 (Bq/l)	0,040 (0,031–0,049)	0,007	0,014	0,037	0,14	0,54
Polonium-210 (Bq/l)	0,048 (0,030–0,065)	0,004	0,009	0,032	0,19	2,0

Taulukko 7. Maaperän kaivojen radionuklidipitoisuuksien keskiarvot (suluissa aritmeettisen keskiarvon 95 % luottamusväli) ja otoksen tunnuslukuja. Kaivojen lukumäärä oli 184.

Radionuklidi	Aritmeettinen ka.	Ala-kvartiili	Medi-aani	Ylä-kvartiili	95 % persentiili	Maksimi
Radon-222 (Bq/l)	50 (38–63)	12	23	50	180	710
Kokonaisalfa-pitoisuus (Bq/l)	0,05 (0,04–0,07)	0,01	0,02	0,05	0,16	0,71
Radium-226 (Bq/l)	0,016 (0,015–0,018)	<0,01	0,01	0,02	0,03	0,06
Uraani-234 (Bq/l)	0,02 (0,01–0,03)	0,001	0,004	0,017	0,07	0,65
Uraani-238 (Bq/l)	0,015 (0,007–0,024)	0,001	0,002	0,008	0,04	0,42
Uraani-238 (µg/l)	1,2 (0,6–1,9)	0,08	0,18	0,62	3,2	34
Lyijy-210 (Bq/l)	0,013 (0,011–0,016)	0,005	0,008	0,013	0,04	0,16
Polonium-210 (Bq/l)	0,007 (0,006–0,009)	0,003	0,005	0,008	0,03	0,12

3.4 Radionuklidien aktiivisuuspitoisuudet

Juomaveden radionuklidien aktiivisuuspitoisuudet olivat selvästi suurempia porakaivojen kuin maaperän kaivojen vedessä (Taulukot 6 ja 7). Veden radonpitoisuuden aritmeettinen keskiarvo porakaivovedessä 460 Bq/l, on noin yhdeksänkertainen maaperän kaivoveden radonpitoisuuteen verrattuna. Mediaanipitoisuuksien suhde on pienempi, noin kuusi. Muiden radioaktiivisten aineiden pitoisuudet olivat porakaivovedessä 3 – 17 kertaa suurempia kuin maaperän kaivovedessä. Suurin ero on havaittavissa veden uraanipitoisuudessa.

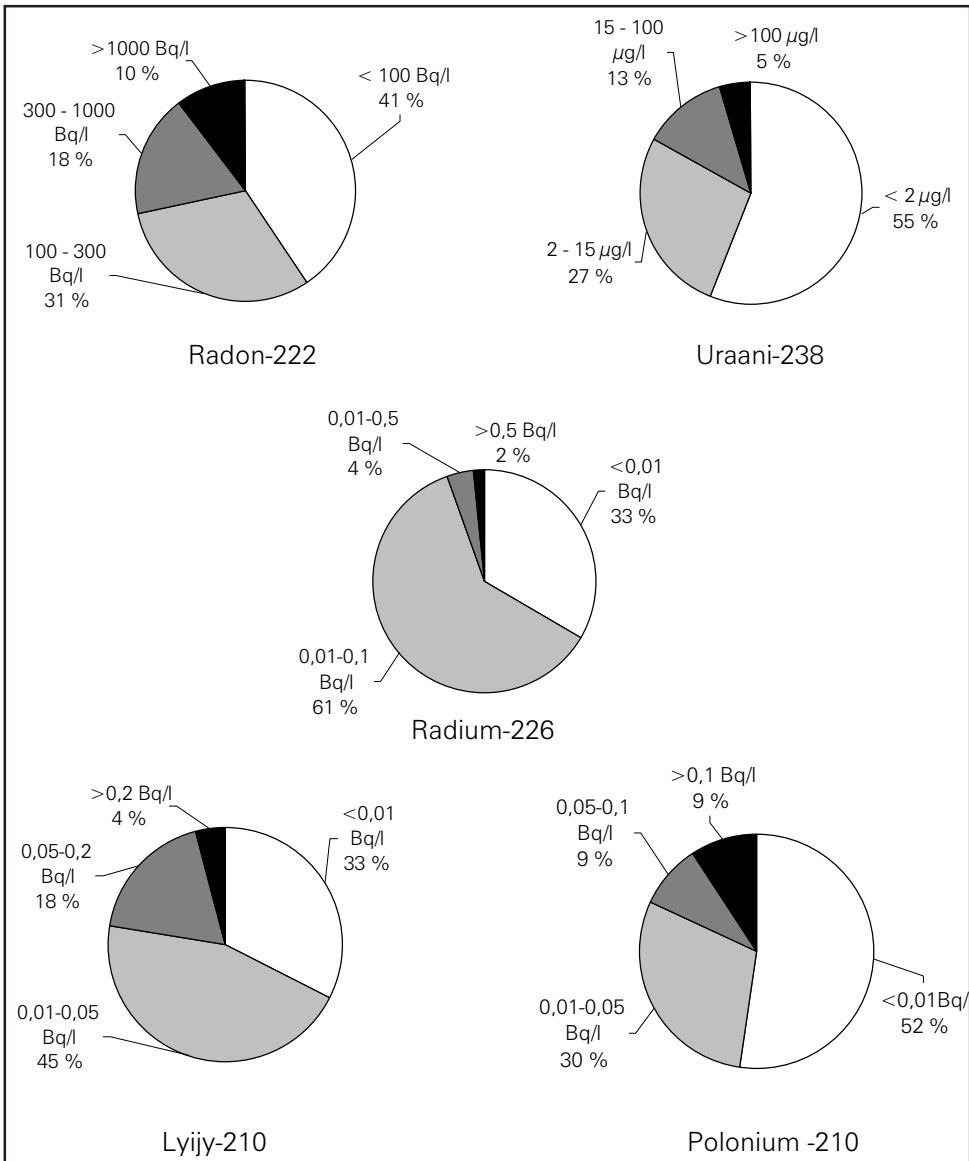
Porakaivoaineiston kvartiileja ja erityisesti 95 % persentiilejä tarkasteltaessa havaitaan lähes kaikilla radionuklideilla, että pitoisuuksien frekvenssijakaumat ovat vinoja. Tämä näkyy mm. siitä, että aritmeettinen keskiarvo on selvästi korkeampi kuin mediaani. Myös maaperän kaivojen osalta vinous on myös havaittavissa, vaikka ei yhtä selvänä.

Tässä tutkimuksessa saadut pitoisuudet olivat hieman pienempiä kuin aikaisemmin raportoidut tulokset (Mäkeläinen ym. 2001). Aikaisemmassa tutkimuksessa alueelliset pitoisuuskeskiarvot painotettiin kyseisen alueen porakaivojen tai maaperän kaivojen lukumäärällä. Kuitenkin aineiston jakauma alueen sisällä ei ollut tasainen vaan mittauksia oli todennäköisesti tehty enemmän siellä mistä oli löydetty korkeita pitoisuuksia.

Geologian tutkimuskeskuksen tuhannen kaivon otannassa radonpitoisuuden keskiarvo porakaivovedessä oli 311 Bq/l ja maaperän kaivovedessä 38 Bq/l (Lahermo ym. 2002). Vastaavat mediaanipitoisuudet porakaivovedelle olivat 138 Bq/l ja maaperävedelle 12 Bq/l. Tähän tutkimukseen verrattuna pienemmät tulokset johtuvat eri perusteella suoritetusta otannasta. GTK:n tutkimus pani painoa myös alueelliselle edustavuudelle, kun taas tässä tutkimuksessa käytettiin puhtaasti väestöpohjaista otantaa. Maaperän kaivojen osalta GTK:n keskiarvo osuu tämän tutkimuksen keskiarvon 95 % luottamustasojen välillä.

Porakaivonäytteistä 10 % ylitti Sosiaali- ja terveysministeriön radonille asettaman laatusuosituksen 1000 Bq/l (Kuva 1). Noin kolmanneksessa, 28 %:ssa, porakaivoveden radonpitoisuus ylitti 300 Bq/l. Uraanipitoisuuden arvo 100 µg/l ylittyi 5 % aineistosta. Suurimmassa osassa aineistosta (82 %) uraanipitoisuus jäi alle arvon 15 µg/l. EU komission suosituksessa mainitun viitearvon lyijylle (0,2 Bq/l) ylitti 4 % aineiston porakaivoista. Poloniumin viitearvo (0,1 Bq/l) ylittyi 9 %:ssa aineiston porakaivoista.

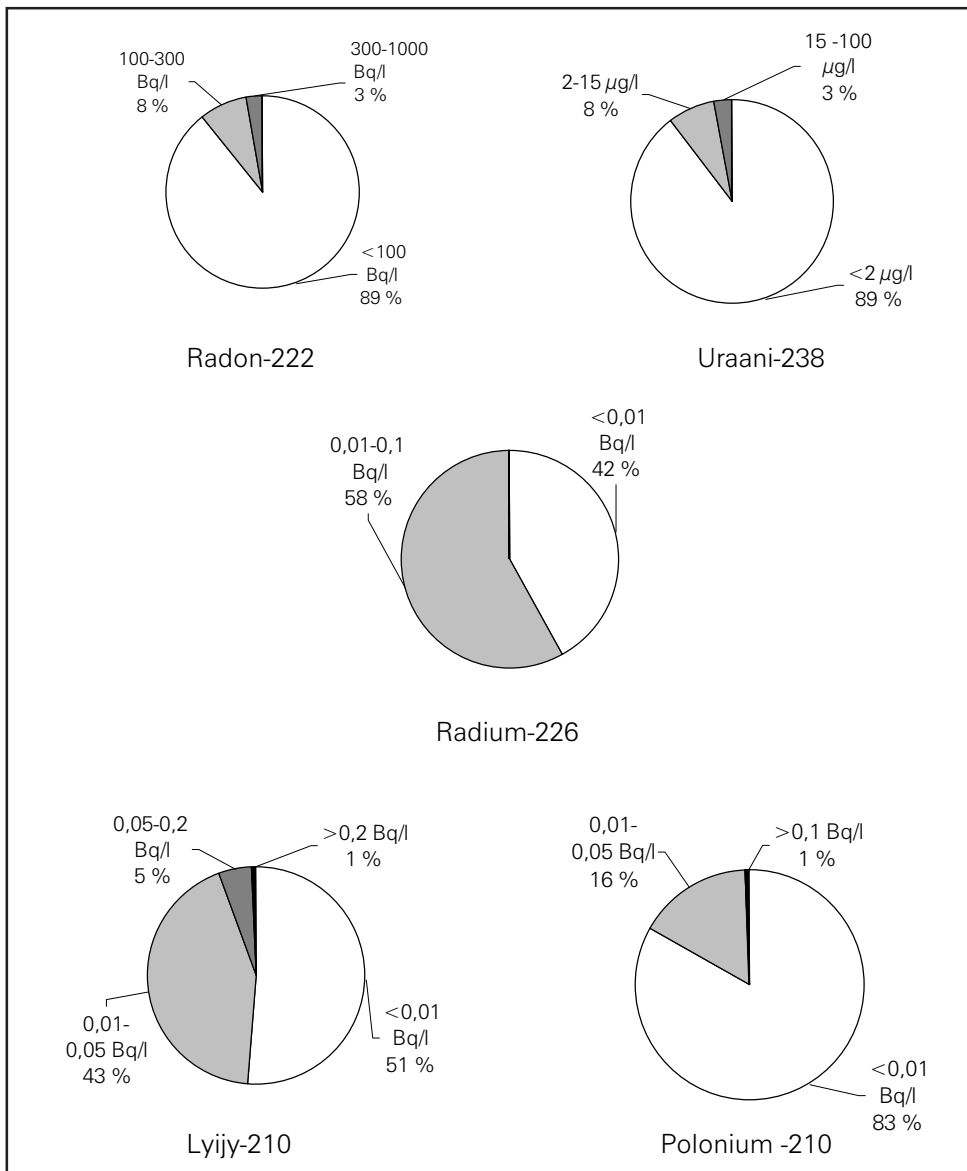
Maaperän kaivoista yksikään näyte ei ylittänyt Sosiaali- ja terveysministeriön radonille asettamaa laatusuositusta 1000 Bq/l (Kuva 2). Myös uraanin ja radiumin pitoisuudet olivat hyvin alhaisia. Vain 1 %:ssa aineistosta ylittivät EU komission suosituksessa mainitut viitearvot lyijylle (0,2 Bq/l) ja poloniumille (0,1 Bq/l).



Kuva 1. Luonnon radionuklidien pitoisuusjakaumat porakaivoista kerätyissä vesinäytteissä.

3.5 Alueellinen esiintyminen

Eri radionuklidien maantieteellinen esiintyminen porakaivoissa ja maaperän kaivoissa on esitetty kuvissa 3 – 7. Pitoisuudet on esitetty pallosymbolikarttoina siten, että pallosymbolin koko kasvaa pitoisuuden kasvaessa. Symbolien luokkarajat ovat samat kuin kuvissa 1 ja 2.



Kuva 2. Luonnon radionuklidien pitoisuusjakaumat maaperän kaivoista kerätyissä vesinäytteissä.

Radonpitoisuuden (^{222}Rn) esiintymistä tarkasteltaessa on havaittavissa, että korkeimmat radonpitoisuudet löytyivät alueilta, joissa kallioperä koostuu graniittisista kivilajeista. Porakaivoissa korkeat pitoisuudet sijoittuivat Uudenmaan alueelle, Lounais-Suomeen ja Satakuntaan (Kuva 3 A). Lisäksi yksittäisiä korkeita pitoisuuksia oli havaittavissa hajanaisesti muuallakin Suomessa.

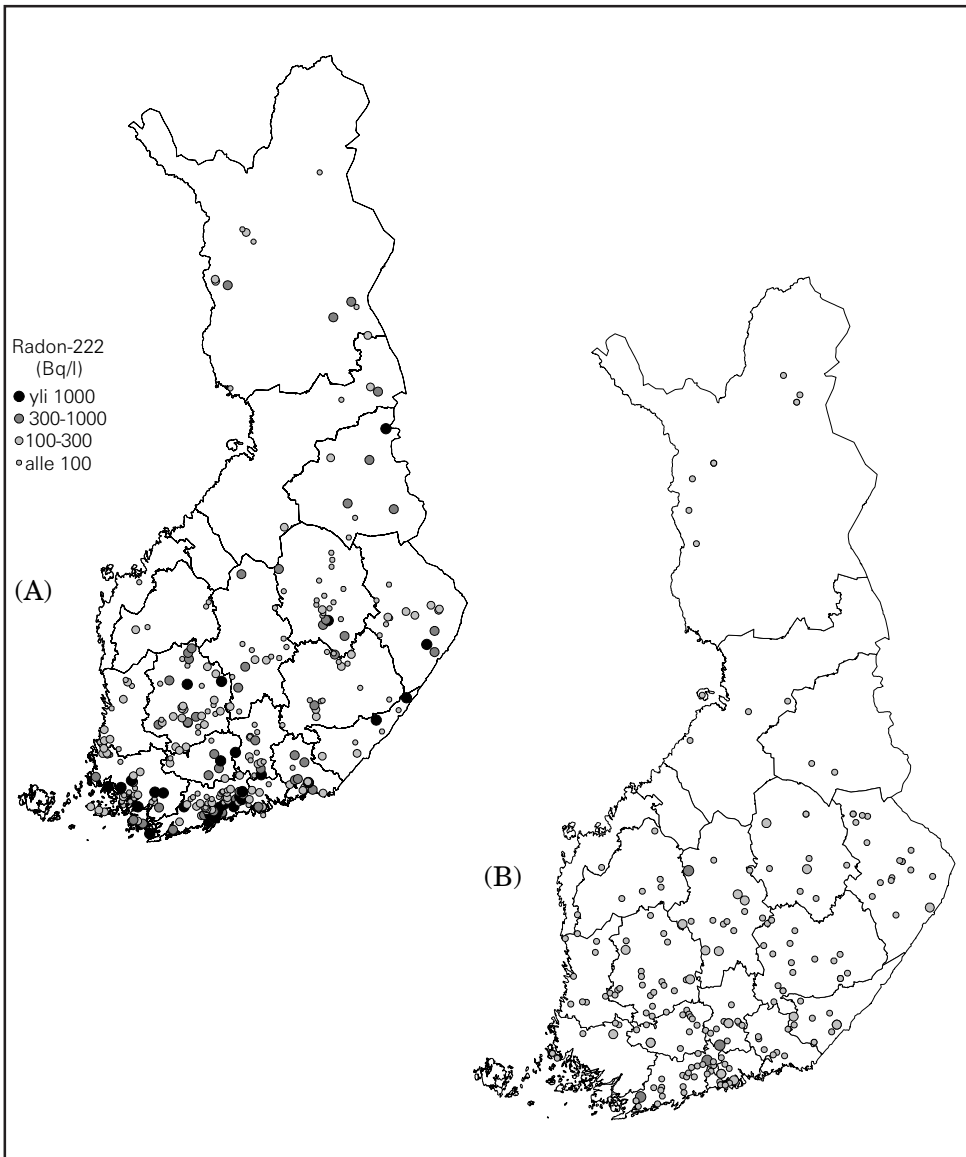
Maaperän kaivoissa korkeimmat havaitut pitoisuudet olivat Uudellamaalla ja Keski-Suomessa sijaitsevilla kaivoilla (Kuva 3 B). Radonin alueellista esiintymistä porakaivovedessä on kuvattu aikaisemman mittausaineiston perusteella STUKin julkaisemassa Porakaivoveden radonkartastossa (Voutilainen ym. 2000).

Uraanin (^{238}U) alueellinen esiintyminen oli samankaltaista kuin radoninkin, niin porakaivojen kuin maaperän kaivojen veden osalta (Kuva 4). Geologian tutkimuskeskuksen tuhannen kaivon tutkimuksen mukaan uraanin pitoisuus pohjavedessä riippuu kallioperän kivilajikoostumuksesta ja pohjavettä sisältävän muodostuman geologisesta rakenteesta. Alueilla, joiden kallioperä koostuu graniiteista tai graniittisista seoskivistä ovat myös porakaivojen uraanipitoisuudet kohonneita (Lahermo ym. 2002).

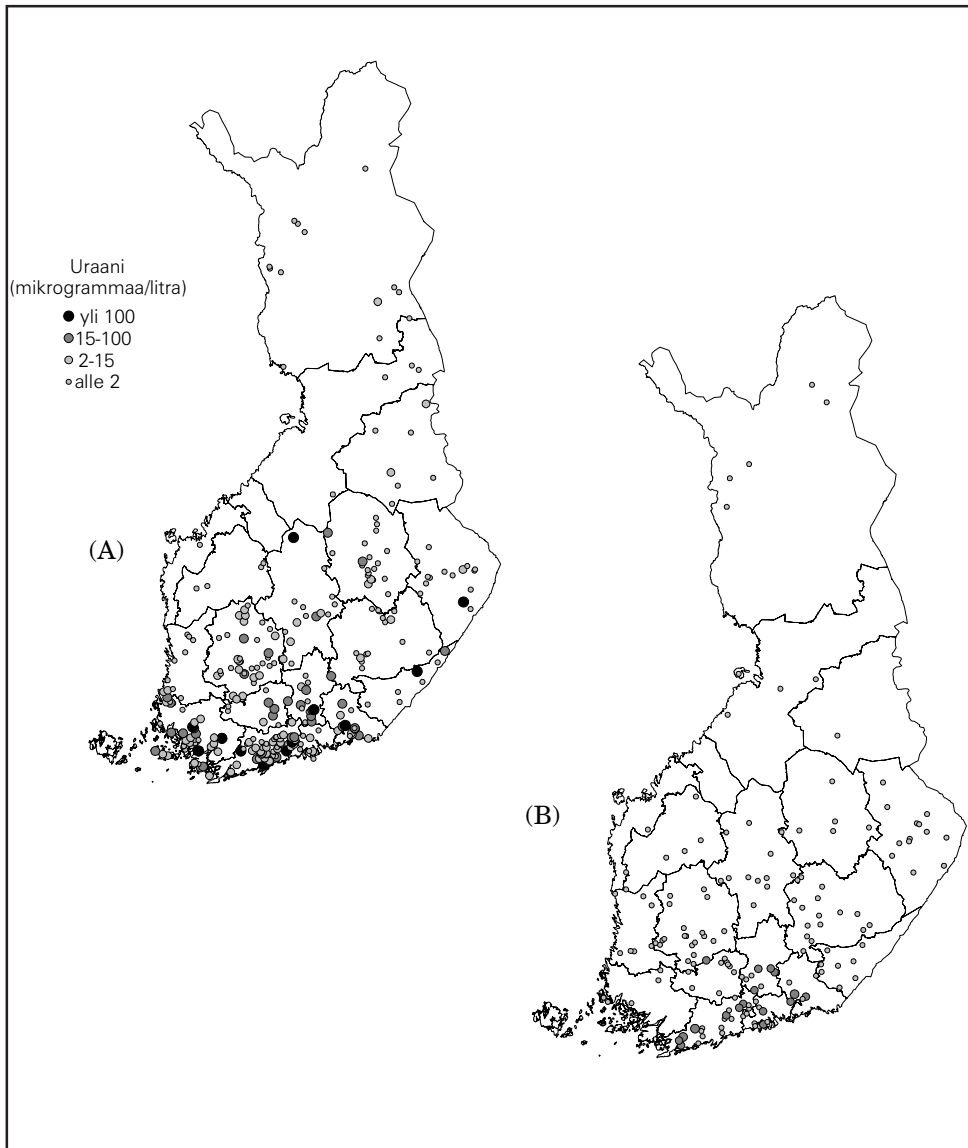
Radiumin (^{226}Ra) esiintyminen poikkesi alueellisesti jonkin verran radonin ja uraanin esiintymisestä. Porakaivojen korkeat pitoisuudet keskittyivät lähinnä Suomenlahden rannikolle (Kuva 5). Samankaltainen havainto tehtiin myös Lahermon ym. 2002 tuhannen kaivon tutkimuksessa. Maaperän kaivoissa radiumpitoisuudet olivat kauttaaltaan hyvin matalia, eikä varsinaisia korkean pitoisuuden alueita esiintynyt. Yllä mainitun tuhannen kaivon tutkimuksen mukaan radiumpitoisuus riippuikin enemmän veden laadusta kuin itse kallioperän radiumpitoisuudesta (Lahermo ym. 2002). Myös Kahlos ja Asikainen (1973) ovat aikaisemmin havainneet, että korkeimmat radiumpitoisuudet esiintyivät mineraalipitoisissa vesissä. Lyijyn (^{210}Pb) ja poloniumin (^{210}Po) esiintyminen noudatti hyvin paljon radonin esiintymistä (Kuvat 6 ja 7).

3.6 Säteilyannokset

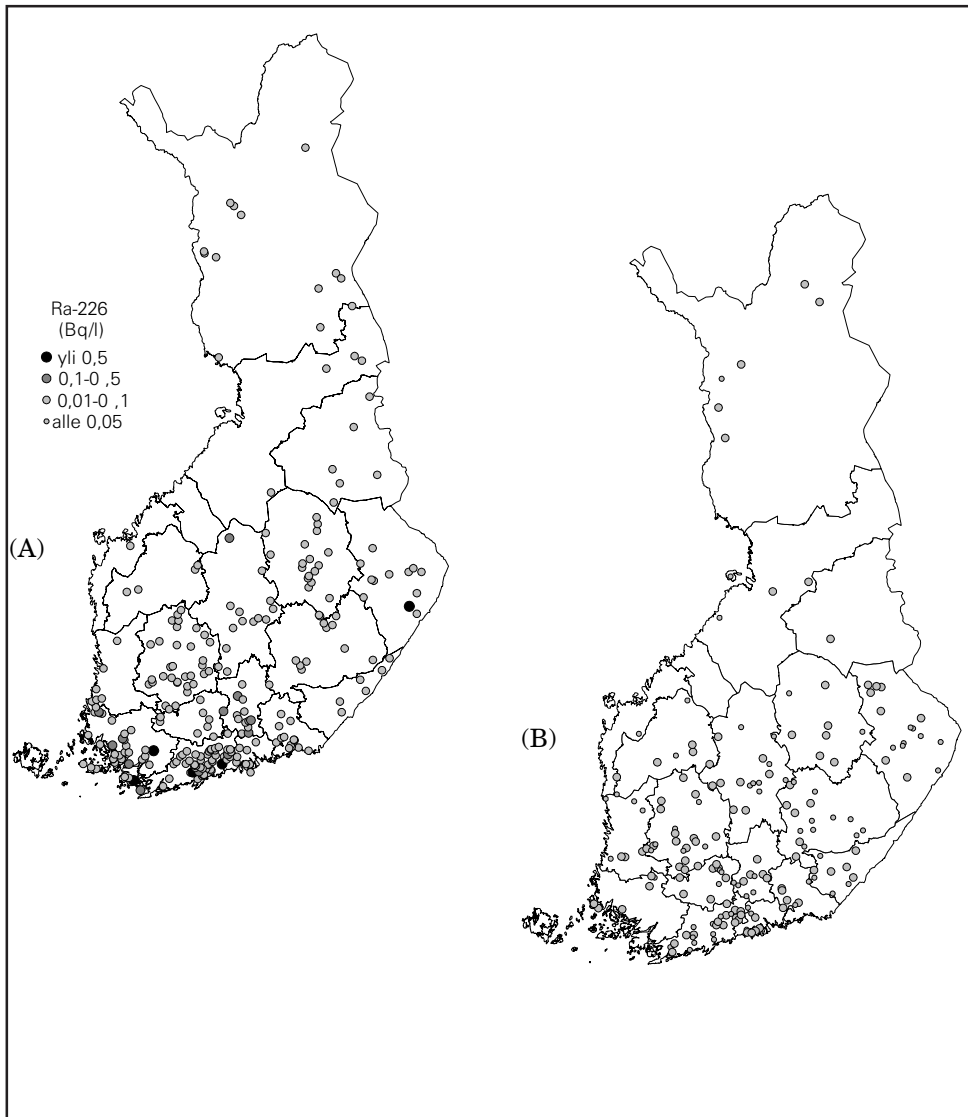
Säteilyannos eli tarkemmin efektiivinen annos kuvaa säteilyn haitallisia vaikutuksia ihmisessä. Sen yksikkö on sievert (Sv), ja usein käytetään sievertin tuhannesosaa, millisievertiä (mSv). Nuklidin kykyä aiheuttaa annosta kuvataan annosmuuntokertoimella, jonka yksikkö on Sv/Bq. Tässä raportissa on käytetty radonille Yhdysvaltain tiedeakatemian vuonna 1999 julkaisemaa annosmuuntokerrointa (National Research Council 1999) ja pitkäikäisille nuklideille EU perusnormissa esitettyjä kertoimia (Neuvoston direktiivi 96/29/Euratom). Annosmuuntokertoimet on esitetty Liitteessä 7. Muiden kuin radonin osalta on oletettu, että vettä nautitaan 2,2 litraa päivässä. Koska radon karkaa vedestä sitä kuumennettaessa, radonin annosta arvioitaessa oletetaan nautitun veden määräksi 0,5 litraa päivässä.



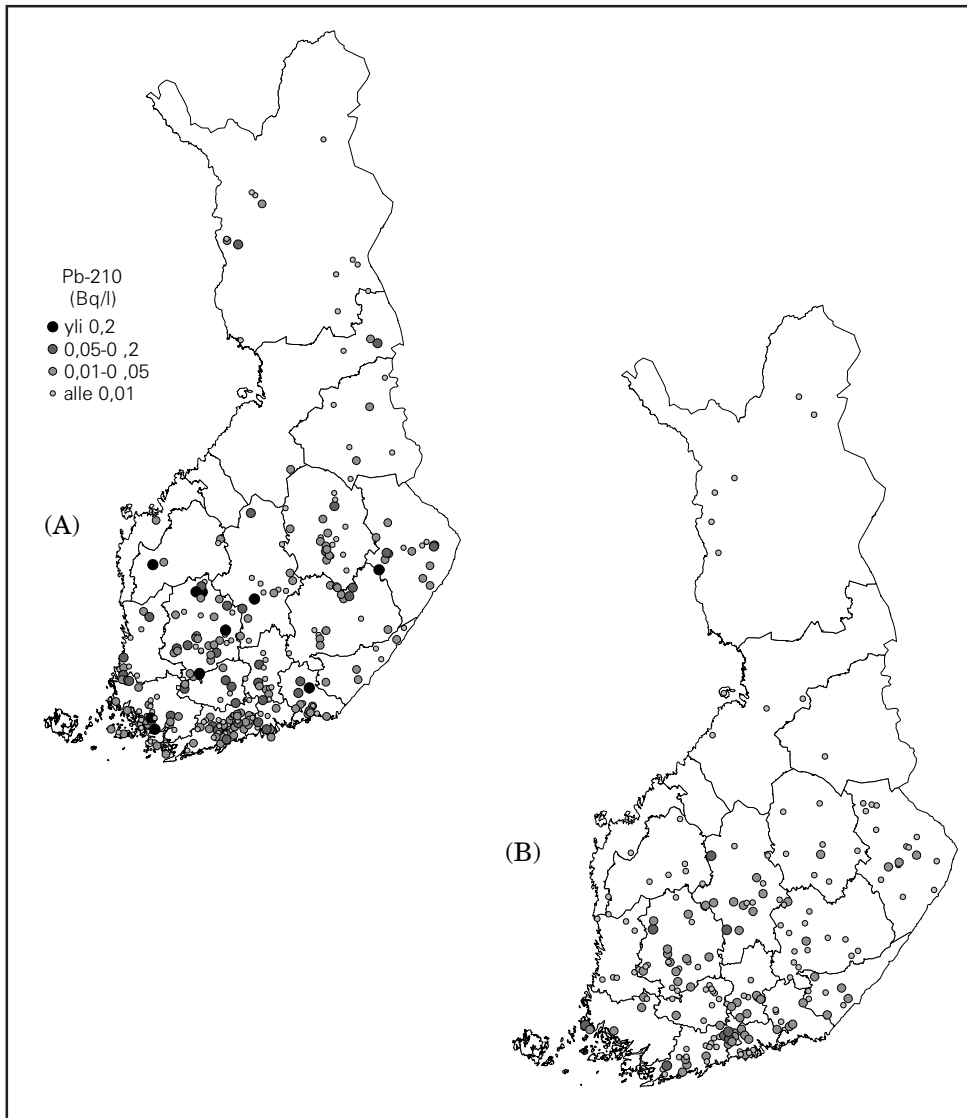
Kuva 3. Porakaivoveden (A) ja maaperän kaivoveden (B) radonpitoisuus (Bq/l).



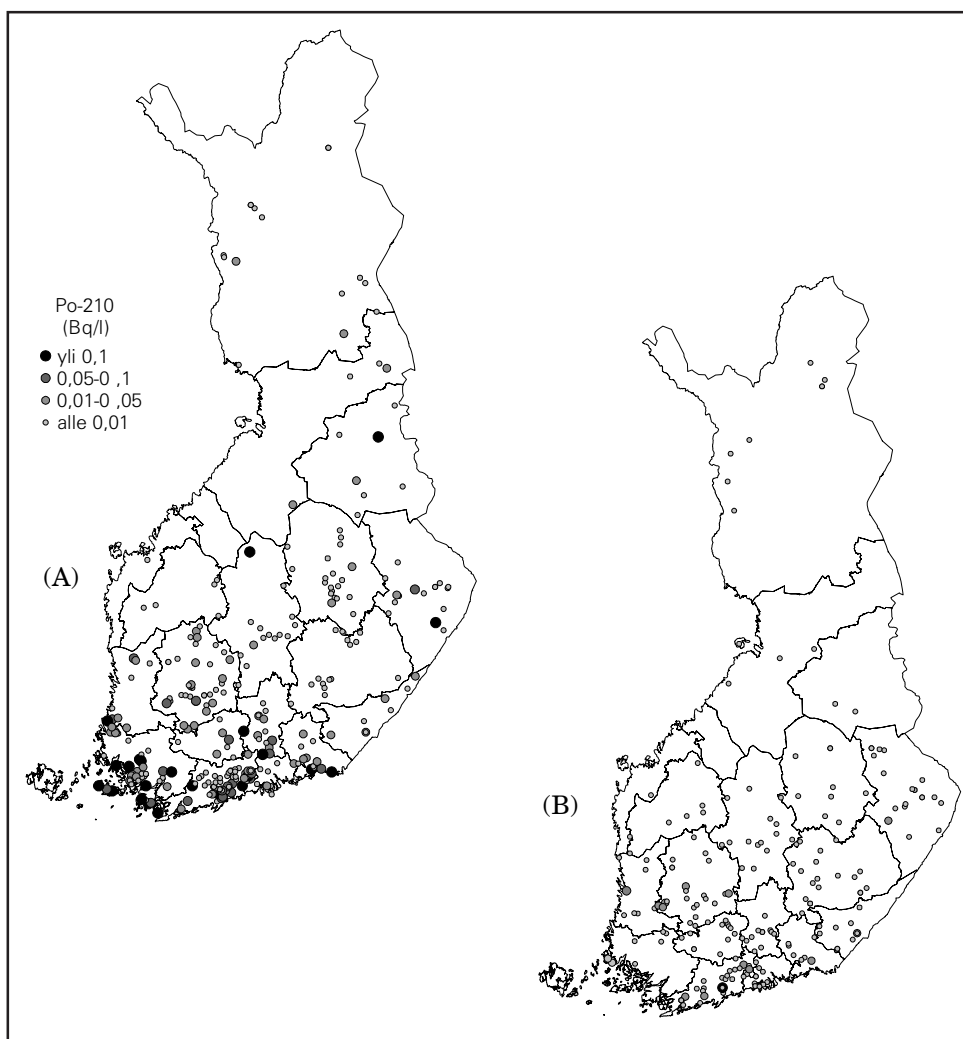
Kuva 4. Porakaivoveden (A) ja maaperän kaivoveden (B) uraanipitoisuus ($\mu\text{g/l}$).



Kuva 5. Porakaivoveden (A) ja maaperän kaivoveden (B) radiumpitoisuus (Bq/l).



Kuva 6. Porakaivoveden (A) ja maaperän kaivoveden (B) radioaktiivisen lyijyn (^{210}Pb) pitoisuus (Bq/l).



Kuva 7. Porakaivoveden (A) ja maaperän kaivoveden (B) poloniumpitoisuus (Bq/l).

Porakaivovettä juoma- ja ruokavetenä käyttävän suomalaisen keskimääräiseksi annokseksi vedestä arvioitiin 0,4 mSv vuodessa (Taulukko 8). Tämä on noin kymmenesosa suomalaisten keskimääräisestä annoksesta, joka on 3,7 mSv vuodessa. Maaperän kaivovettä käyttävälle vastaava annos oli 0,05 mSv vuodessa, mikä on kahdeksasosa porakaivon käyttäjän vastaavasta annoksesta ja seitsemäskymmenesosa suomalaisten keskimääräisestä annoksesta. Tässä aineistossa korkein luonnonradionuklideista yhteensä laskettu säteilyannos oli 6,8 mSv vuodessa. Korkein radonin aiheuttama annos oli 5,5 mSv vuodessa.

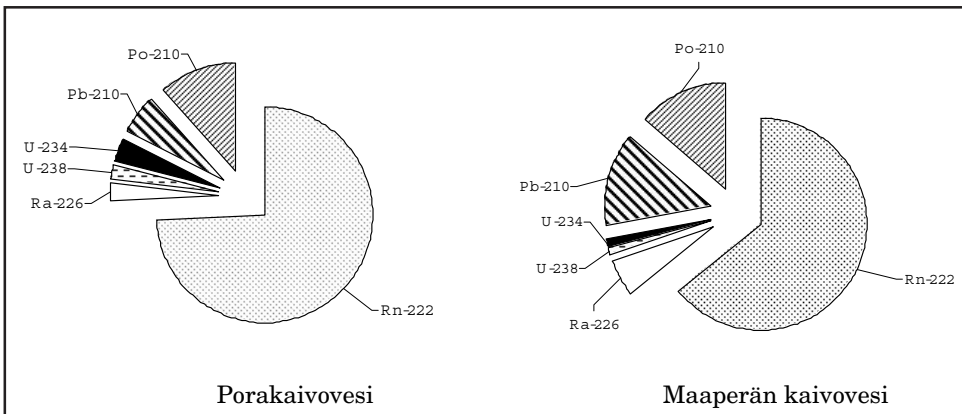
Radonin osuus kokonaisannoksesta on suurempi porakaivojen kuin maaperän kaivojen käyttäjille. Radon aiheuttaa porakaivovettä käyttävälle keski-

määrin 75 % ja maaperän kaivoveden käyttäjälle 60 % kaikista luonnonradionuklideista yhteensä saatavasta annoksesta (Kuva 8).

Radonin jälkeen eniten säteilyannosta porakaivovedestä aiheuttaa polonium, maaperän kaivovedestä polonium ja lyijy. Porakaivoveden käyttäjälle poloniumin aiheuttama säteilyannos on noin 12 % ja lyijyn 5 % kaikista luonnonradionuklideista yhteensä saatavasta annoksesta. Maaperän kaivovettä käyttävälle polonium ja lyijy aiheuttavat kumpikin 13 % kokonaisannoksesta. Radiumin (^{226}Ra) aiheuttama keskimääräinen annos on porakaivoveden käyttäjälle 3 %, ja maaperän kaivovettä käyttävälle 5 % kokonaisannoksesta. Uraanin isotooppien ^{238}U ja ^{234}U yhteenlaskettu annos porakaivovedenkäyttäjälle on 6 % kaikista luonnon radionuklideista yhteensä saatavasta annoksesta. Vastaava osuus maaperän kaivovettä käyttävälle on vain 2 %.

Taulukko 8. Eri radionuklidien keskimääräiset ja maksimiannokset (mSv) vuodessa porakaivoveden ja maaperän kaivoveden käyttäjille.

Nuklidi	Porakaivot		Maaperän kaivot	
	Arit. ka.	Maksimi	Arit. ka.	Maksimi
Radon-222	0,29	5,5	0,032	0,45
Radium-226	0,010	0,3	0,003	0,01
Uraani-238	0,008	0,3	0,001	0,02
Uraani-234	0,014	0,5	0,001	0,03
Lyijy-210	0,022	0,3	0,007	0,08
Polonium-210	0,046	1,9	0,007	0,11
Yhteensä	0,39	6,8	0,051	0,6



Kuva 8. Eri radionuklidien osuudet porakaivon ja maaperän kaivon käyttäjien juomaveden kautta saamasta annoksesta.

Toriumsarjasta (^{232}Th) peräisin olevan radiumin (^{228}Ra) pitoisuuksia on mitattu Suomessa vähän (Kahlos H. and Asikainen M. 1973, Asikainen M. 1983). Korkein mitattu pitoisuus porakaivovedessä on ollut 0,6 Bq/l, mikä vastaa 0,3 mSv vuotuista säteilyannosta.

Taulukossa 9 on esitetty arviot niiden henkilöiden lukumääristä, jotka saavat porakaivovedessä olevista eri luonnon radioaktiivisista aineista 0,05, 0,1, 0,5 ja 1 mSv ylittävän vuotuisen säteilyannoksen. Taulukossa 10 on esitetty vastaavat lukuarvot maaperän kaivovettä käyttäville. Kun katsotaan 0,05 ja 0,1 mSv annoksen ylittävien henkilöiden lukumääriä, molemmilla kaivotyypeillä radonista aiheutuvat ylitysten lukumäärät ovat noin kaksinkertaisia pitkäikäisistä nuklideista yhteensä aiheutuviin ylityslukumääriin verrattuna. Kun katsotaan rajoja 0,5 ja 1 mSv, porakaivovettä käyttävillä radonista aiheutuvia ylityksiä on suhteessa vieläkin enemmän. Pitkäikäisistä nuklideista lyijy ja polonium aiheuttavat enemmän ylityksiä kuin uraani ja radium. Porakaivoveden käyttäjille uraanin ja radiumin aiheuttamien ylitysten lukumäärä on annosrajoilla 0,05 ja 0,1 mSv noin puolet lyijyn ja poloniumin aiheuttamasta. Maaperän kaivovettä käyttäville uraanin ja radiumin aiheuttamat annokset ovat hyvin pieniä, tyypillisesti alle 0,05 mSv, ja poloniumin ja lyijyn aiheuttamat annoksetkin ovat useimmiten alle 0,5 mSv.

Taulukko 9. Satunnaisotannan (n=288) perusteella laskettu arvio niiden henkilöiden lukumääristä, jotka saavat porakaivoveden luonnon radioaktiivisista aineista 0,05, 0,1, 0,5 ja 1 mSv ylittävän vuotuisen efektiivisen annoksen. Jos luokassa on alle 8 havaintoa, käyttäjien lukumäärälle on ilmoitettu 95 % luottamusvälin yläraja ja tämän otannan havaintoihin perustuva arvio on suluissa. Vedestä huoneilmaan vapautuneen radonin osuutta ei ole laskettu mukaan. Porakaivoveden käyttäjien lukumäärän on oletettu olevan 200 000.

Nuklidi tai nuklidiryhmä	Käyttäjien lukumäärä				
	Annos alle 0,05 mSv	Annos yli 0,05 mSv	Annos yli 0,1 mSv	Annos yli 0,5 mSv	Annos yli 1 mSv
Kaikki nuklidit yhteensä	50 000	150 000	110 000	37 000	15 000
Radon	72 000	128 000	89 000	30 000	13 000
Pitkäikäiset nuklidit yhteensä (^{234}U , ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb ja ^{210}Po)	130 000	70 000	43 000	8 500	alle 7 000 (3000)
Uraani (^{238}U ja ^{234}U) ja radium	176 000	24 000	15 000	alle 5 000 (2000)	alle 3000 (700)
Lyijy ja polonium	150 000	50 000	32 000	alle 7000 (3000)	alle 4000 (1500)

Taulukko 10. Satunnaisotannan (n=184) perusteella laskettu arvio niiden henkilöiden lukumäärästä, jotka saavat maaperän kaivoveden luonnon radioaktiivisista aineista 0,05, 0,1, 0,5 ja 1 mSv ylittävän vuotuisen efektiivisen annoksen. Jos luokassa on alle 8 havaintoa, käyttäjien lukumäärälle on ilmoitettu 95 % luottamusvälin yläraja ja tämän otannan havaintoihin perustuva arvio on suluissa. Vedestä huoneilmaan vapautuneen radonin osuutta ei ole laskettu mukaan. Maaperän kaivojen käyttäjien lukumäärän on oletettu olevan 300 000.

Nuklidi tai nuklidiryhmä	Käyttäjien lukumäärä				
	Annos alle 0,05 mSv	Annos yli 0,05 mSv	Annos yli 0,1 mSv	Annos yli 0,5 mSv	Annos yli 1 mSv
Kaikki nuklidit yhteensä	220 000	80 000	26 000	alle 8000 (2000)	alle 5000 (0)
Radon	250 000	50 000	20 000	alle 5000 (0)	alle 5000 (0)
Pitkäikäiset nuklidit yhteensä (²³⁴U, ²³⁸U, ²²⁶Ra, ²¹⁰Pb ja ²¹⁰Po)	280 000	20 000	alle 15 000 (3000)	alle 5000 (0)	alle 5000 (0)
Uraani (²³⁸U ja ²³⁴U) ja radium	300 000	alle 5000 (0)	alle 5000 (0)	alle 5000 (0)	alle 5000 (0)
Lyijy ja polonium	285 000	15 000	alle 10 000 (3000)	alle 5000 (0)	alle 5000 (0)

3.7 Pitkäikäisten nuklidien annosylitysten seulonta

Pitkäikäisten nuklidien mittaaminen on kalliimpaa kuin radonmittaus tai uraanin mittaaminen ICP-MS menetelmällä. Sen vuoksi kannattaa tutkia onko mahdollista rajoittaa sitä joukkoa, josta pitkäikäisten nuklidien pitoisuudet on tarpeen analysoida.

Ne porakaivot, joista saadaan suuria annoksia pitkäikäisistä radioaktiivisista aineista, voidaan löytää joko radon- tai uraanimittauksen perusteella. Yhdessäkään aineiston porakaivoista pitkäikäisistä nuklideista ei aiheutunut yli 1 mSv annosta, kun radonpitoisuus oli alle 1000 Bq/l tai uraanipitoisuus alle 15 µg/l (Taulukko 11).

Jos pitkäikäisten nuklidien annosrajaksi valitaan 0,1 mSv, seulonta on hankalampaa. Noin viidesosa ylityksistä esiintyy porakaivovesissä, joissa uraanipitoisuus on alle 100 µg/l:ssa. Radonpitoisuuden 1000 Bq/l alittavissa porakaivoissa kyseisen annosrajan ylityksiä on 15 %. Vesissä, joissa uraanin massapitoisuus on alle 15 µg/l tai vastaavasti uraanin pitoisuus on alle 100 µg/l ja samanaikaisesti radonpitoisuus on alle 1000 Bq/l, ylityksiä on vielä noin 10 %.

Pitkäikäisten nuklidien annosylitykset aiheutuvat suurimmaksi osaksi poloniumista ja lyijystä (Taulukko 9). Noin 4 % porakaivoveden käyttäjistä käyttää sellaista vettä, missä ylittyy lyijyn ja noin 10 % sellaista vettä missä ylittyy poloniumin EU komission suosituksessa mainitut viitearvot (Taulukot 12 ja 13). Poloniumin ja lyijyn pitoisuuksien määrittäminen on huomattavasti

Taulukko 11. Satunnaisotannan (n=288) perusteella laskettu arvio niiden henkilöiden lukumäärästä, joiden vuotuinen säteilyannos pitkäikäisistä radioaktiivisista aineista (^{226}Ra , ^{234}U , ^{238}U , ^{210}Pb ja ^{210}Po) yhteensä ylittää 0,05, 0,1, 0,5 ja 1 mSv vuodessa niissä porakaivoissa, joissa radonpitoisuus ja/tai uraanipitoisuus on alle tietyn rajan. Jos luokassa on alle 8 havaintoa, käyttäjien lukumäärälle on ilmoitettu 95 % luottamusvälin yläraja ja tämän otannan havaintoihin perustuva arvio on suluissa. Vedestä huoneilmaan vapautuneen radonin osuutta ei ole laskettu mukaan.

Aineiston rajoitusehto	Käyttäjien lukumäärä	Käyttäjien lukumäärä				
		Annos alle 0,05 mSv	Annos yli 0,05 mSv	Annos yli 0,1 mSv	Annos yli 0,5 mSv	Annos yli 1 mSv
Koko aineisto	200 000	130 000	70 000	43 000	8 500	alle 7000 (3000)
Radon alle 1000 Bq/l	180 000	130 000	50 000	25 000	alle 3000 (1000)	alle 2000 (0)
Radon alle 300 Bq/l	143 000	121 000	22 000	13 000	alle 3000 (1000)	alle 2000 (0)
Radon alle 100 Bq/l	80 000	75 000	alle 9 000 (5000)	alle 7000 (3000)	alle 3000 (1000)	alle 2000 (0)
Uraani alle 100 µg/l	191 000	133 000	58 000	34 000	alle 6000 (3000)	alle 3000 (1000)
Uraani alle 15 µg/l	166 000	129 000	37 000	20 000	alle 3000 (1000)	alle 2000 (0)
Radon alle 1000 Bq/l ja uraani alle 100 µg/l	176 000	131 000	45 000	22 000	alle 2000 (0)	alle 2000 (0)
Radon alle 1000 Bq/l ja uraani alle 15 µg/l	158 000	127 000	31 000	14 000	alle 2000 (0)	alle 2000 (0)

kalliimpaa kuin radonin, radiumin ja uraanin. Tästä syystä kannattaa tutkia, olisivatko viitearvojen (^{210}Pb 0,2 Bq/l ja ^{210}Po 0,1 Bq/l) ylitykset helposti seulottavissa erilleen muiden nuklidien pitoisuuksien perusteella. Viitearvot vastaavat 0,1 mSv vuotuista säteilyannosta.

Jos lyijypitoisuus mitataan vain niistä porakaivovesistä, joiden radonpitoisuus ylittää 1000 Bq/l, löydetään suurin osa niistä käyttäjistä, joilla lyijyn viitearvo (0,2 Bq/l) ylittyy (Taulukko 12). Uraanin massapitoisuuden seulontaraja 15 µg/l ei tuo tähän uutta informaatiota. Yhdessäkään otoksen porakaivovedessä lyijypitoisuus ei ylittänyt pitoisuutta 0,6 Bq/l, mikä vastaa vuosiannosta 0,3 mSv.

Poloniumpitoisuuden viitearvo 0,1 Bq/l ylittyy noin 5 % porakaivovesistä, joissa radonpitoisuus on alle 1000 Bq/l (Taulukko 13). Tämä on lähes puolet kaikista 0,1 Bq/l ylityksistä. Veden radonpitoisuus 1000 Bq/l toimii siis poloniumin viitearvon ylitysten osoittimena kohtalaisen hyvin, vaikkakin huonommin kuin lyijyn osalta. Yhdessäkään porakaivovedessä poloniuminpitoisuus ei ylittänyt

pitoisuutta 0,3 Bq/l, kun veden radonpitoisuus oli alle 1000 Bq/l. Uraanin massa-pitoisuuden mittaaminen ei olennaisesti paranna poloniumin viitearvon ylitysten löytymistä.

3.8 Uraanin kemiallinen myrkyllisyys

Euroopan yhteisössä ei ole suoraan annettu ohjearvoa uraanille. Talousvesidirektiivin viitteellinen kokonaisannos 0,1 mSv vuodessa, vastaa suurin piirtein uraanipitoisuutta 100 µg/l ja se koskee ainoastaan vesilaitosvettä. Maailman terveysjärjestö WHO oli aikaisemmin päättänyt kokeellisten

Taulukko 12. Satunnaisotannan (n=288) perusteella laskettu arvio niiden henkilöiden lukumäärästä, joiden porakaivoveden lyijypitoisuus ylittää 0,2 ja 0,6 Bq/l (vastaten vuotuisia annoksia 0,1 ja 0,3 mSv/a), kun radonpitoisuus ja/tai uraanipitoisuus on alle tietyn rajan. Jos luokassa on alle 8 havaintoa, käyttäjien lukumäärälle on ilmoitettu 95 % luottamusvälin yläraja ja tämän otannan havaintoihin perustuva arvio on suluissa.

Rajoitusehto	Käyttäjien lukumäärä	Käyttäjien lukumäärä		
		Lyijypitoisuus alle 0,2 Bq/l	Lyijypitoisuus yli 0,2 Bq/l	Lyijypitoisuus yli 0,6 Bq/l
Kaikki porakaivot	200 000	190 000	10 000	alle 2000 (0)
Radon alle 1000 Bq/l	180 000	180 000	alle 4000 (1000)	alle 2000 (0)
Radon alle 1000 Bq/l ja uraani alle 15 µg/l	160 000	160 000	alle 4000 (1000)	alle 2000 (0)
Radon alle 300 Bq/l	140 000	140 000	alle 4000 (1000)	alle 2000 (0)

Taulukko 13. Satunnaisotannan (n=288) perusteella laskettu arvio niiden henkilöiden lukumäärästä, joiden porakaivoveden poloniumpitoisuus ylittää 0,1 ja 0,3 Bq/l (vastaten vuotuisia annoksia 0,1 ja 0,3 mSv/a), kun radonpitoisuus ja/tai uraanipitoisuus on alle tietyn rajan. Jos luokassa on alle 8 havaintoa, käyttäjien lukumäärälle on ilmoitettu 95 % luottamusvälin yläraja ja tämän otannan havaintoihin perustuva arvio on suluissa.

Rajoitusehto	Käyttäjien lukumäärä	Käyttäjien lukumäärä		
		Poloniumpitoisuus alle 0,1 Bq/l	Poloniumpitoisuus yli 0,1 Bq/l	Poloniumpitoisuus yli 0,3 Bq/l
Kaikki porakaivot	200 000	180 000	20 000	alle 9000 (5000)
Radon alle 1000 Bq/l	178 000	169 000	9 000	alle 2000 (0)
Radon alle 1000 Bq/l ja uraani alle 15 µg/l	156 000	150 000	6 000	alle 2000 (0)
Radon alle 300 Bq/l	142 000	137 000	alle 9000 (5000)	alle 2000 (0)

tutkimusten perusteella hyvin alhaiseen kemialliseen myrkyllisyyden perusteella annettuun suositushjearvoon 2 µg/l. WHO:n uudeksi suositushjearvoksi on kemiallisen myrkyllisyyden perusteella keväällä 2003 hyväksytty 15 µg/l (WHO 2003). Ohjearvon muutoksen perusteena on käytetty mm. suomalainen suomalaisia porakaivoveden käyttäjiä koskevan tutkimuksen tuloksia (Kurtio ym. 2002).

Porakaivovesistä noin 20 % ylittää arvon 15 µg/l ja 5 % arvon 100 µg/l (Taulukko 14). Maaperän kaivoista 2 % (4 kaivoa) ylitti arvon 15 µg/l, eikä yhdessäkään kaivossa ylittynyt 100 µg/l pitoisuus. Pelkkä veden radonpitoisuuden mittaaminen ei riitä uraanipitoisuuden arvioimiseksi. Taulukon 14 mukaan noin 10 %:ssa niistä porakaivovesistä, joiden radonpitoisuus on alle 1000 Bq/l, ylittyy uraanipitoisuus 15 µg/l. Määrä on 65 % kaikista 15 µg/l ylityksistä porakaivoissa. Jos uraanin ohjearvona pidetään arvoa 100 µg/l, kolmannes ylityksistä löytyy radonpitoisuudeltaan alle 1000 Bq/l olevista vesistä. Jos uraanipitoisuudelle asetetaan yksityiskaivoja koskeva ohjearvo, onkin uraanipitoisuus määritettävä erikseen riippumatta muiden radioaktiivisten aineiden pitoisuudesta.

Taulukko 14. Satunnaisotannan (n=288) perusteella laskettu arvio niiden porakaivovettä käyttävien henkilöiden lukumääristä, joiden uraanipitoisuus ylittää 2, 15 ja 100 µg/l eri radonpitoisuuksilla. Jos luokassa on alle 8 havaintoa, käyttäjien lukumäärälle on ilmoitettu 95 % luottamusvälin yläraja ja tämän otannan havaintoihin perustuva arvio on suluissa.

Suurin radonpitoisuus vedessä	Käyttäjien lukumäärä	Käyttäjien lukumäärä			
		uraanipitoisuus alle 2 µg/l	uraanipitoisuus yli 2 µg/l	uraanipitoisuus yli 15 µg/l	uraanipitoisuus yli 100 µg/l
Kaikki porakaivot	200 000	110 000	90 000	34 000	9 000
Radon alle 1000 Bq/l	180 000	110 000	70 000	22 000	alle 6000 (3000)
Radon alle 300 Bq/l	144 000	98 000	46 000	10 000	alle 3000 (1000)
Radon alle 100 Bq/l	80 000	63 000	17 000	alle 6000 (3000)	alle 3000 (1000)

4 Luonnon radionuklidien mittaaminen ja niistä aiheutuvat kustannukset

4.1 Määritysmenetelmät ja niiden hinnat

Suomessa veden radonpitoisuuden määrittämiseen käytetään pääasiassa kahta menetelmää. Nestetuikemenetelmä on käytössä STUKissa ja Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen ympäristölaboratoriossa. Alueellisissa elintarvikke- ja ympäristölaboratorioissa käytetään nk. Mini-Assay mittareita, jotka tullaan lähiaikoina korvaamaan uudella laitteella. Radonmääritys vedestä on nopea ja edullinen (hinta 20 – 55 €).

Uraanipitoisuus voidaan määrittää monella eri tavalla. STUKissa aktiivisuuspitoisuuden määrittäminen voidaan tehdä radiokemiallisesti, jolloin vedestä pystytään määrittämään kaikkien luonnossa esiintyvien uraanin isotooppien ^{238}U , ^{234}U ja ^{235}U pitoisuudet. Uraanin massapitoisuus lasketaan ^{238}U -aktiivisuuspitoisuudesta. Radiokemiallisesti tehty uraanimääritys on aikaa vievä ja sen vuoksi kallis. Yhden uraanimäärityksen hinta on noin 500 €. Tämän menetelmän hyvänä puoleena on kuitenkin erittäin alhainen määritysraja, mikä on 0,5 mBq/l ja vastaa uraanin massapitoisuutta 0,040 µg/l.

Toinen tapa selvittää veden uraanipitoisuus on arvioida se nestetuikelaskurilla tehdystä mittauksesta. Arvio voidaan tehdä jos nestetuikelaskuri on varustettu spektrometrillä ja pulssinmuotoanalysointilaitteella, jolloin saadaan tietoa veden nuklidikoostumuksesta. Tästä mittauksesta käytetään myös nimitystä kokonaisalfamittaus. Tämä on radiokemiallista määrittämistä edullisempi, mutta sen heikkoutena on se, että siitä ei pystytä erottamaan tarkasti eri nuklideja toisistaan. Siten massapitoisuuden arvioon jää epätarkkuutta. Uraanipitoisuuden arvioissa käytetään $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ isotooppisuhteita 1 – 3, jotka ovat suomalaisille pohjavesille tyypillisiä suhteita. Tällä menetelmällä pystytään arvioimaan uraanipitoisuus, kun se on suurempi kuin 10 µg/l. Mittauksen hinta on 65 € (STUK 2003).

Nopea, edullinen ja tarkka menetelmä uraanin massapitoisuuden määrittämiseksi on käyttää ICP-MS tekniikka. Tällä menetelmällä ei vielä toistaiseksi määritetä rutiininomaisesti muita uraanin isotooppeja (^{234}U ja ^{235}U). ICP-MS tekniikan etuina on alhainen määritysraja, luokkaa 0,01 – 1 µg/l, analyysituloksen nopea valmistuminen ja edullinen hinta (20 - 30 €). Menetelmä on paras vaihtoehto, kun halutaan löytää uraanin kemiallisen myrkyllisyyden perusteella asetetun ohjearvon ylitys.

Veden radiumpitoisuus voidaan määrittää radiokemiallisesti tai nestetuikelaskurilla tehdystä kokonaisalfamittauksesta. Radiokemiallinen määrittäminen on aikaa vievä ja sen vuoksi kallis. Sen hyvänä puolena on kuitenkin alhainen määrittämissrajat matalia pitoisuuksia määritettäessä. Edullisemmin radiumpitoisuus voidaan määrittää nestetuikelaskurilla tehdystä mittauksesta. Tällöin näytettä on seisoitettava 30 päivän ajan, jolloin radium-226:sta syntynyt radon kasvaa tasapainoon emonuklidinsa kanssa. Sisäänkasvatuksen takia analyysi vie aikaa noin kaksi kuukautta. Radiummäärittäminen radiokemiallisesti määritettynä on noin 500 €. Nestetuikelaskurilla tehdyssä mittauksessa analyysi sisältyy kokonaisalfamittaukseen (STUK hinta 2003 65 €).

Lyijy- ja poloniumpitoisuuksien määrittäminen vedestä vaatii lähes aina radiokemiallisen erotuksen. Veden poloniumpitoisuus pystytään määrittämään muutamassa päivässä. Lyijyn määrittäminen on huomattavasti poloniumin määrittästä pidempi ja se kestää kolmesta viikosta puoleen vuoteen, käytettyä määrittämenetelmää riippuen. Polonium- ja lyijymäärittäysten yhteishinta on noin 500 €.

4.2 Mittausohjelman kustannukset

Tässä raportissa ei esitetä ehdotusta Suomessa käytettävälle mittausohjelmalle. Taloudellisten vaikutusten arvioimiseksi esitetään kuitenkin esimerkkiohjelman kustannukset. Tällöin kaikista porakaivoista mitataan radon- ja uraanipitoisuus sekä lyijy-, polonium ja radiumpitoisuudet silloin, kun radonpitoisuus ylittää arvon 1000 Bq/l. Maaperän kaivojen osalta kustannuksia ei ole arvioitu, koska 1000 Bq/l ylitykset ovat niissä hyvin harvinaisia. Esimerkkiohjelmalle esitetään kaksi vaihtoehtoa.

Vaihtoehto 1:

- radon
- uraani ICP-MS menetelmällä
- lyijy radiokemiallisesti määritettynä jos radon >1000 Bq/l
- polonium radiokemiallisesti määritettynä jos radon >1000 Bq/l
- radium nestetuikemenetelmällä jos radon >1000 Bq/l

Vaihtoehto 2:

- radon
 - uraani ja radium nestetuikemenetelmällä
 - lyijy radiokemiallisesti määritettynä jos radon >1000 Bq/l
 - polonium radiokemiallisesti määritettynä jos radon >1000 Bq/l
- Vaihtoehtossa 2 uraanipitoisuus määritetään nestetuikemenetelmällä.

Tällöin saadaan samalla tieto veden radiumpitoisuudesta kaikissa porakaivoissa, mutta uraanin massapitoisuus jää ICP-MS menetelmällä tehtyä uraanipitoisuutta epätarkemmaksi. Joissain tapauksissa nestetuikemenetelmällä tehdystä mittauksesta voidaan saada viitteitä polonium- ja lyijypitoisuudesta.

Kustannuksia laskettaessa radonmäärityksen keskimääräiseksi hinnaksi on arvioitu 30 €, ICP-MS tekniikalla tehdyn uraanimäärityksen 20 €, nestetuikemenetelmällä tehdyn uraani- ja radiummäärityksen 65 € sekä lyijy- ja poloniummäärityksen hinnaksi 250 € määritettävää nuklidia kohden. Porakaivojen lukumääränä on käytetty 100 000 kappaletta (Taulukko 15).

Ensimmäisellä vaihtoehdolla toteutetun mittausohjelman kokonaishinnaksi tulisi noin $3+2+2,5+2,5+0,65$ eli noin 11 M€. Jos käytetään toista vaihtoehtoa, jossa heti alussa mitataan radon, uraani ja radium kaikista porakaivoista nestetuikemenetelmällä, ovat kokonaiskustannukset $3+6,5+2,5+2,5$ M€ eli noin 15 M€.

Taulukko 15. Kustannusten muodostuminen porakaivoveden luonnon radioaktiivisuuden mittausohjelmassa.

Määritettävä radionuklidi ja mittausmenetelmä	Analyysin hinta (€)	Mitattavien porakaivojen määrä	Kokonais-hinta (€)
Radon nestetuikemenetelmä tai gammamittaus	30	100 000	3 M€
Uraani ICP massamenetelmä	20	100 000	2 M€
Nestetuikemenetelmä	65	100 000	6,5 M€
Lyijy radiokemiallinen määrittäminen	250	10 000	2,5 M€
Polonium radiokemiallinen määrittäminen	250	10 000	2,5 M€
Radium nestetuikemenetelmä	65	10 000	0,65 M€

5 Tulosten pohdintaa

Radonin mittaaminen kaikista porakaivoista on tehokas keino korkeiden kaivovedestä saatavien säteilyannosten löytämiseksi. Uraanipitoisuuden mittaustarpeen määrää kemiallisen myrkyllisyyden perusteella asetettava ohjearvo. Muiden pitkäikäisten radionuklidien mittaaminen kannattaa rajoittaa radonpitoisuuden ja mahdollisesti uraanipitoisuuden perusteella seulottavaan pienempään joukkoon. Tämän tutkimuksen perusteella ei voi vielä sanoa, mitä kyseiset seulontarajat olisivat. Radonin osalta seulontaraja voisi olla 1000 Bq/l tai mahdollisesti korkeampi arvo. Jos yksittäisille pitkäikäisille nuklideille halutaan antaa nuklidikohtainen ohjearvo, se voisi olla 0,1 - 1 mSv:n säteilyannosta vastaava pitoisuus. Tällaisella suhteellisen pienellä otantatutkimuksella ei voida kovin tarkkaan selvittää niiden vesien osuutta, joista on mahdollista saada yli 1 mSv vuotuinen annos yksittäisestä radionuklidista. Pitkäikäisiä nuklideja koskevat ohjearvosuositukset voisivat olla perusteltuja, sillä STUKin aikaisemmissa mittauksissa on löydetty useita sellaisia porakaivoja, joissa pitkäikäisistä nuklideista aiheutuu kymmenien millisieverttien vuotuinen säteilyannos. Näissä kaivoissa suuri osa (90 %) annoksesta aiheutuu uraanista. Jos tarkastellaan pelkästään radiumista, lyijystä ja poloniumista aiheutuneita annoksia, on näidenkin yhteensä aiheuttama vuotuinen annos ollut korkeimmillaan 11 mSv.

Yksityiselle kaivovedelle on voimassa kansallinen ohjearvo vain radonpitoisuudelle (Asetus N:o 401/2001). Asetuksen laatusuositus 1000 Bq/l vastaa n. 0,6 mSv vuosiannosta. Muille pitkäikäisille nuklideille ohjearvoja ei ole. Jos nuklidille käytettäisiin toimenpiderajana 0,3 mSv vuotuista annosta vastaavaa pitoisuutta, pitkäikäisistä nuklideista (²²⁶Ra, ²¹⁰Pb ja ²¹⁰Po) yhteensä aiheutuisi korkeintaan 1 mSv:n vuotuinen säteilyannos. Tämä olisi noin neljäsosa keskimääräisestä suomalaisen saamasta vuotuisesta säteilyannoksesta. Uraani tulisi käsitellä erikseen muista pitkäikäisistä nuklideista riippumatta, koska kemiallisen myrkyllisyyteen perustuvat ohjearvosuositukset ovat alempia kuin säteilyannokseen perustuvat suositukset. Esimerkiksi WHOn suositushjearvo 15 µg/l vastaa 0,01 - 0,02 mSv vuotuista säteilyannosta.

Suomessa on käytössä nopeita ja suhteellisen edullisia mittausmenetelmiä veden radonille, radiumille ja uraanille. Lyijyn ja poloniumin määrittäminen vedestä on kallista. Radonin ja uraanin määrittäminen kaikista Suomen porakaivoista maksaisi 5–10 M€. Jos radium-, lyijy- ja poloniumpitoisuus mitattaisiin radonin ja uraanin lisäksi niistä porakaivoista,

joissa radonpitoisuus on yli 1000 Bq/l, nousisivat kokonaiskustannukset lähes kaksinkertaiseksi (11–15 M€). Lyijyn ja poloniumin mittaustarvetta tullaan arvioimaan tarkemmin tämän tutkimuksen ja STUKin aikaisempien tulosten pohjalta.

6 Kirjallisuusviitteet

Asikainen M, Kahlos H. Pohja- ja pintavesien luonnollinen radioaktiivisuus Suomessa. Raportti STL-A24. Helsinki, Säteilyturvallisuuslaitos, 1977.

Asikainen M. Natural radioactivity of ground water and drinking water in Finland. Raportti STL-A39. Helsinki, Säteilyturvallisuuslaitos, 1982.

Council Directive 96/29/Euratom of 13 May 1996 laying down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers arising from ionising radiation. Official journal 1996; NO. L159, 29/06/1996: 0001–0114.

Hatakka T, Tarvainen T, Vesterbacka P. 500 kaivoa - tulokset vuoden 2001 pohjavesikartoituksesta. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti, S/41/0000/6/2002, 2002:1-16, 29 liitesivua.

Neuvoston direktiivi 98/83/EY, annettu 3 päivänä marraskuuta 1998, ihmisten käyttöön tarkoitetun veden laadusta. Euroopan yhteisöjen virallinen lehti L 330; 05/12/1998: 0032 – 0054.

Lahermo P, Tarvainen T, Hatakka T, Backman B, Juntunen R, Kortelainen N, Lakomaa T, Nikkarinen M, Vesterbacka P, Väisänen U, Suomela P. Tuhat kaivoa – Suomen kaivovesien fyysikaalis-kemiallinen laatu vuonna 1999. Tutkimusraportti 155. Espoo, Geologian tutkimuskeskus, 2002.

National Research Council. Risk Assessment of Radon in Drinking Water. Washington DC: National Academy of Sciences, 1999.

Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus, N:o 401/2001. Helsinki 2001.

Kurttio P, Auvinen A, Salonen L, Saha H, Pekkanen J, Mäkeläinen I, Väisänen S.B, Penttilä I.M, Komulainen H. Renal Effects of Uranium in Drinking Water. Environmental Health Perspectives 2002; Volume 110, Nro. 4.

Voutilainen A, Mäkeläinen I, Huikuri P, Salonen L. Porakaivoveden radonkartasto. Radonatlas över borrhunnar. Radon Atlas of wells drilled into bedrock in Finland. STUK-A171. Helsinki, Säteilyturvakeskus, 2000.

Salonen L. Talousveden radioaktiivisuus ja sen poistaminen. *Vesitalous* 1992; 6: 3 – 10.

Salonen L. Measurement of Low Levels of ^{222}Rn in Water With Different Commercial Liquid Scintillation Counters and Pulse-Shape Analysis. In: *Liquid Scintillation Spectrometry 1992*. J.E Noakes, F. Schönhofer and H.A. Polach (Eds.) *Radiocarbon* 1993: 361 – 372.

Salonen L. A Rapid Method for Monitoring of Uranium and Radium in Drinking Water. *The Science of the Total Environment* 1993; 130/131: 23 – 35.

Salonen L. ^{238}U series radionuclides as a source of increased radioactivity in groundwater originating from Finnish bedrock. *Future Groundwater Resources at Risk* 1994. IAHS Publ. no. 222.

Salonen L. Luonnon radioaktiiviset aineet pohjavesiongelmana Suomessa. *Vesitalous* 1995; 4: 13 – 18.

Salonen L, Hukkanen H. Advantages of Low-background Liquid Scintillation Alpha-spectrometry and pulse shape analysis in measuring ^{222}Rn , uranium and ^{226}Ra in groundwater samples. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 1997; 226 (1 – 2): 67 – 74.

Salonen L, Vesterbacka P, Mäkeläinen I, Weltner A, Arvela H. Talousveden radioaktiiviset aineet. Kirjassa: Pöllänen R. (Toim.). *Säteily ympäristössä. Säteilyturvakeskus* 2003: 163 – 199.

ST-ohje 12.3. Talousveden radioaktiivisuus. Helsinki: Säteilyturvakeskus, 1993.

World Health Organization. 3rd Edition of Guidelines on Drinking Water Quality, WHO. 2003, in press.

Weltner A, Arvela H, Turtiainen T, Mäkeläinen I, Valmari T. Radon sisäilmassa. Kirjassa: Pöllänen R. (Toim.). *Säteily ympäristössä. Säteilyturvakeskus* 2003: 111 – 161.

Kyselylomakkeen saate tutkimuskohteille

TALOUSVEDEN RADIOAKTIIVISUUDEN AIHEUTTAMA SÄTEILYALTISTUS SUOMESSA

Teidät on valittu mukaan tutkimukseen, jonka tarkoituksena on tarkentaa tietoa suomalaisten talousveden kautta saamasta säteilyaltistuksesta. Osanottajiksi on arvottu 2000 eri-ikäistä suomalaista, jotka eivät väestörekisteritietojen perusteella kuulu julkisen vesihuollon piiriin. Jos tutkimuksen kohde on alaikäinen, tämä kirje on osoitettu huoltajalle.

Tässä tutkimuksessa otetaan vesinäytteitä vain yksityiskaivojen vedestä. Pyrimme valitsemaan kaikki vakituisten asuntojen porakaivot ja otoksen muista kaivoista. Koska tieto julkisen vesihuollon piiriin kuulumisesta voi olla vanhentunut tai puutteellinen, kysymme Teiltä käyttämäänne vesilähdettä. Pyydämme Teitä palauttamaan lomakkeen, vaikka käyttäisittekin julkisen vesihuollon vettä.

Tässä vaiheessa tarvitsemme Teiltä suostumuksen vesinäytteen ottamiseen. Tarvittava vesimäärä on kaksi litraa. Tutkimukseen valituista kohteista vesinäytteen tulee ottamaan kunnan terveysviranomaisen etukäteen sovittuna aikana. Näytteenotto alkaa syksyllä 2000. Kaikista vesinäytteistä määritetään veden radon- ja uraanipitoisuus. Tämän lisäksi osasta vesinäytteistä tehdään radium-, lyijy- ja poloniummääritykset. Näitä tietoja käytetään kun arvioidaan talousveden käyttöön liittyvää säteilyaltistusta.

Vesinäytteiden tulokset lähetetään Teille kirjallisena tuloskirjeessä. Tulokset lähetetään tiedoksi myös paikallisille kunnan terveysviranomaisille. Jos radonpitoisuus vedessä on yli 1000 Bq/l, tulos ilmoitetaan Teille viimeistään kolmen kuukauden kuluessa. Muut analyysitulokset ja matalammat radonpitoisuudet ilmoitetaan noin vuoden kuluessa näytteenotosta. Veden uraanimääritykset tehdään Geologian tutkimuskeskuksessa ja muut radioaktiivisuusmääritykset Säteilyturvakeskuksessa.

Pyydämme teitä täyttämään oheisen kyselylomakkeen. Postittakaa täytetty lomake Säteilyturvakeskukseen 7.7.2000 mennessä mukana seuraavassa kirjekuoressa. Tarkempaa tietoa talousvedessä esiintyvistä radioaktiivisista aineista saatte oheisesta Säteilyturvakeskuksen katsauksesta. Lisätietoja antavat tarvittaessa erikoistutkija Ilona Mäkeläinen, puh 09 7598 8472 ja tutkija Pia Huikuri, puh 09 7598 8550. Kiitämme Teitä jo etukäteen yhteistyöstä.

Erikoistutkija

Ilona Mäkeläinen

Osoitelähde: Väestötietojärjestelmä / Väestörekisterikeskus, PL 7, 00521 HELSINKI

Kyselylomake tutkimuskohteille

TALOUSVEDEN RADIOAKTIIVISUUDEN AIHEUTTAMA SÄTEILYALTISTUS SUOMESSA

Merkittävä rastilla valintakysymyksissä oikea vaihtoehto ja/tai täydentää vastaukset niille varattuun tilaan.

Vastaanottaja:

Tutkimushenkilö:

1. Onko vastaaja

2. Yhteyshenkilö mahdollista vesinäytteenottoa varten:

itse tutkimushenkilö

Nimi: _____

tutkimushenkilön äiti, isä tai muu huoltaja

Parhaiten tavoitettavissa puhelimitse:

tutkimushenkilön avio- tai avopuoliso

Kotoa: _____ tavoitettavissa: _____

tutkimushenkilön lapsi tai lapsenlapsi

Töistä: _____ tavoitettavissa: _____

muu, kuka? _____

Matkapuhelimesta: _____

Vastaajan nimi, ellei vastaanottaja tai tutkimushenkilö:

Nimi: _____

3. Mitä vettä tutkimushenkilö käyttää tällä hetkellä talousvetenään?

Julkisen vesihuollon vettä (esim. vesiyhtymä tai vesiosuuskunta)		
Yksityinen kaivo:		
Rengaskaivovettä		
Porakaivovettä		
Lähdekaivovettä		
Maaputkikaivovettä		
Kaupallisesti pakattua vettä		
Muuta, mitä?		

SUOSTUMUS

Mikäli asuntoni valitaan tutkimuskohteeksi kunnan terveysviranomaisen voi tulla etukäteen sovittuna aikana ottamaan kaivovesinäytteen. Tutkimusta varten kerättyjä tietoja vesinäytteistä saa käyttää tutkimuksissa Säteilyturvakeskuksessa ja Geologian tutkimuskeskuksessa. Ymmärrän että tutkimukseen osallistuminen on vapaaehtoista.

Päiväys _____, ____ - ____ - 2000 _____

Allekirjoitus ja nimen selvennys

Antamanne tiedot käsitellään ehdottoman luottamuksellisina. Kiitos avustanne ja vaivannäöstänne.

Saate terveydensuojeluviranomaisille

JUOMAVEDEN RADIOAKTIIVISUUDEN AIHEUTTAMA SÄTEILYANNOS SUOMESSA

Säteilyturvakeskus on käynnistänyt yhteistyössä Sosiaali- ja terveysministeriön kanssa otantatutkimuksen. Tarkoituksena on tarkentaa tietoa suomalaisten juomaveden kautta saamasta säteilyaltistuksesta. Tutkimuksen tuloksia tullaan hyödyntämään viranomaispäätöksenteossa, suunniteltaessa kalliopohjavesivarojen hyödyntämistä ja haja-asutusalueiden vesihuoltoa sekä EU:n talousvesidirektiiviin liittyvien kansallisten selvitysten valmistelussa. Tutkimus antaa terveydensuojeluviranomaisille valvontatyössä tarpeellista tietoa radioaktiivisten aineiden esiintymisestä kunnan alueen kaivoissa. Tutkimuksen päätyttyä loppuraportti postitetaan kaikille kunnille.

Tarvitsemme tutkimusta varten vesinäytteitä kaivoista. Näytteet kerätään ensi talvena joulukuusta 2000 maaliskuuhun 2001. Säteilyturvakeskus on lähettänyt alustavan kyselyn 2000 satunnaisotannalla valitulle henkilölle, jotka väestörekisterikeskuksen mukaan eivät kuuluneet julkisen vesihuollon piiriin. Kyselyssä kysyttiin halukkuutta osallistua tutkimukseen. Tutkimukseen suostuneista valittiin kaikki 300 porakaivonkäyttäjää ja rengaskaivojen käyttäjistä 200 henkilön otos. Teidän kuntanne/kuntayhtymänne alueella on näistä _ kaivoa. Veden uraanimääritykset tekee Geologian tutkimuskeskus ja muut radioaktiivisuusmääritykset Säteilyturvakeskus. Säteilyturvakeskus toimittaa näytteenotto-ohjeet ja näyteasiat sekä maksaa vesinäytteiden postituskulut.

STUK pyytää kuntien terveysturvontaa ystävällisesti huolehtimaan tutkimukseen tarvittavien näytteiden ottamisesta. Kuntien apu on korvaamaton tämän tutkimuksen läpiviemiseksi. Pyydämme Teitä ilmoittamaan 17.11.2000 mennessä halukkuudestanne osallistua tutkimukseen tutkija Pia Vesterbacka joko puhelimitse 09 7598 8550, sähköpostilla, osoitteella pia.vesterbacka@stuk.fi, tai postitse palauttamalla oheisen lomakkeen. Pia Vesterbackalta saatte halutessanne lisätietoja tutkimuksesta ja näytteenotosta. Kiitämme Teitä jo etukäteen yhteistyöstä.

Erikoistutkija Ilona Mäkeläinen

Tutkija Pia Vesterbacka

Otantatutkimukseen osallistuneet kunnat

	Pora- kaivojen lkm	Maaperän kaivojen lkm		Pora- kaivojen lkm	Maaperän kaivojen lkm
Alastaro	0	2	Juuka	1	1
Alavus	0	1	Juva	0	1
Anjalankoski	2	1	Jyväskylä	0	1
Asikkala	4	1	Jyväskylän mlk	3	1
Askola	1	2	Jämsä	1	2
Dragsfjärd	1	0	Jämsänkoski	1	0
Elimäki	2	1	Jäppilä	1	0
Eno	2	3	Kaarina	1	0
Espoo	11	2	Kaavi	1	1
Eura	1	0	Kajaani	0	1
Eurajoki	1	1	Kangasala	4	2
Evijärvi	0	1	Kangaslampi	1	0
Forssa	0	1	Kangasniemi	0	2
Hailuoto	0	1	Kankaanpää	1	1
Halikko	4	0	Kannonkoski	0	1
Hamina	1	0	Karjaa	1	0
Hankasalmi	2	2	Karstula	0	1
Hauho	1	4	Keitele	2	0
Haukivuori	0	1	Kemi	1	0
Hausjärvi	1	0	Kemijärvi	1	0
Hirvensalmi	0	1	Kerava	1	0
Hollola	3	3	Keuruu	0	2
Honkajoki	0	1	Kiihtelysvaara	1	0
Houtskari	1	0	Kinnula	1	0
Humppila	1	0	Kirkkonummi	5	0
Hyvinkää	0	1	Kittilä	3	1
Hämeenkoski	1	1	Kiukainen	0	2
Hämeenkyrö	0	2	Kiuruvesi	0	2
Hämeenlinna	1	0	Kokemäki	0	1
Iitti	0	2	Kolari	3	2
Ikaalinen	1	1	Kontiolahti	1	3
Ilomantsi	3	1	Korpilahti	1	1
Inari	1	2	Korppoo	1	0
Inkoo	0	2	Kotka	3	1
Isojoki	0	1	Kristiinankaupunki	0	1
Jalasjärvi	0	1	Kuhmalahi	1	0
Janakkala	2	1	Kuhmo	1	0
Jokioinen	1	0	Kuhmoinen	2	0
Joroinen	2	0	Kuopio	8	1

LIITE 4

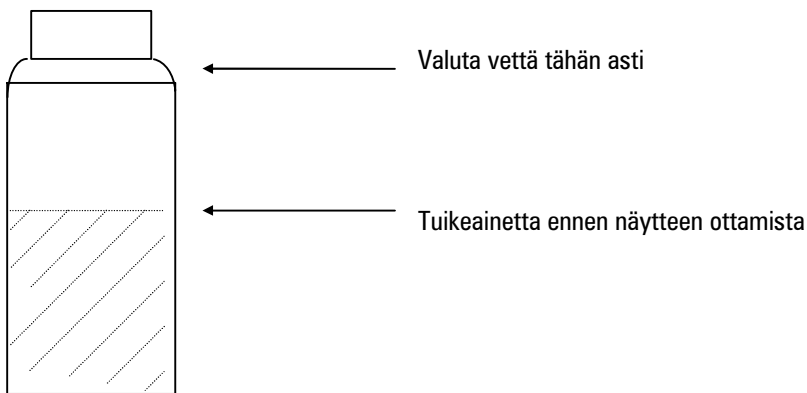
	Pora- kaivojen lkm	Maaperän kaivojen lkm		Pora- kaivojen lkm	Maaperän kaivojen lkm
Kuorevesi	1	0	Nummi-pusula	3	0
Kuortane	0	1	Nurmes	0	4
Kurikka	2	0	Nurmijärvi	7	4
Kuru	1	0	Orimattila	4	1
Kustavi	0	2	Orivesi	3	1
Kuusamo	2	0	Outokumpu	1	0
Kylmäkoski	1	1	Parainen	4	0
Kärkölä	0	1	Parikkala	1	0
Laihia	0	1	Parkano	1	1
Laitila	4	0	Pello	0	1
Lammi	0	1	Perniö	1	0
Lapinlahti	1	0	Pertteli	1	0
Lappeenranta	1	3	Pertunmaa	1	0
Lappi	1	0	Petäjävesi	0	1
Laukaa	2	2	Pieksamäen mlk	0	1
Lemi	0	1	Piikkiö	3	0
Lempäälä	2	2	Pirkkala	1	0
Leppävirta	2	1	Pohja	0	2
Lieksa	0	1	Polvijärvi	2	0
Lieto	2	0	Pomarkku	1	0
Liperi	1	1	Pori	1	0
Lohja	1	3	Pornainen	3	1
Loimaan kunta	0	1	Porvoo	6	5
Loppi	1	1	Posio	1	0
Luumäki	1	1	Pukkila	0	1
Merikarvia	0	1	Punkaharju	1	0
Merimasku	1	0	Puolanka	1	0
Mikkeli	0	1	Puumala	0	1
Mikkelin mlk	5	1	Pyhäjoki	0	1
Muhos	0	1	Pyhäntä	1	0
Muurame	0	1	Pyhäranta	1	0
Mynämäki	1	0	Pälkäne	1	0
Myrskylä	1	0	Pöytyä	1	0
Mäntsälä	1	3	Raisio	1	1
Mäntyharju	0	3	Rantasalmi	1	0
Nastola	2	3	Rauma	2	0
Nauvo	1	0	Rautjärvi	1	0
Nilsjä	1	0	Ristiina	1	0
Nokia	1	2	Ruokolahti	1	0

	Pora- kaivojen lkm	Maaperän kaivojen lkm		Pora- kaivojen lkm	Maaperän kaivojen lkm
Ruotsinpyhtää	0	1	Tohmajärvi	1	0
Ruovesi	1	2	Turku	5	0
Rääkkylä	0	1	Tuulos	0	1
Saari	1	0	Tuupovaara	1	1
Salla	3	0	Tuusula	3	1
Sammatti	2	0	Töysä	0	1
Sauvo	1	0	Urdala	2	1
Savitaipale	0	1	Utajärvi	0	1
Savonlinna	1	1	Uurainen	1	0
Siikainen	2	0	Valkeakoski	1	1
Siilinjärvi	2	1	Valkeala	2	1
Sipoo	3	3	Vammala	3	2
Siuntio	1	1	Vantaa	3	1
Soini	2	0	Varkaus	2	0
Sonkajärvi	2	1	Varpaisjärvi	1	0
Sotkamo	3	0	Vehkalahti	3	1
Sulkava	0	1	Vehmersalmi	1	0
Suolahti	0	1	Vesanto	1	1
Suomenniemi	0	1	Vihti	9	1
Suomussalmi	2	0	Viiala	0	1
Suonenjoki	0	1	Vilppula	2	0
Sysmä	1	0	Virolahti	1	0
Taipalsaari	1	1	Virrat	5	1
Taivalkoski	1	0	Virtasalmi	0	1
Taivassalo	1	0	Västanfjärd	3	0
Tammela	0	1	Vöyri	1	0
Tammisaari	2	1	Ylämaa	0	1
Tampere	0	1	Ylöjärvi	4	0
Tervo	0	1	Äetsä	0	2
			Ähtäri	0	1

Näytteenotto-ohjeet

Nestetuikepullo on kirkas lasipullo, joka on esitäytetty geelimäisellä tuikeaineella (12 ml), joka sitoo radonin itseensä. Radonin mittausta tehdään tässä liuoksessa joten sitä ei saa hukata näytettä otettaessa. Myös pullon korkkiin kiinnitetty tunnus on tärkeä, eikä sitä saa ottaa pois. Pullon kylkiin ei myöskään saa kirjoittaa merkintöjä esim. tussilla.

Ennen näytteen ottamista vesihana säädetään siten, että vesi virtaa hitaasti, kirkkaana kapeana nauhana hanan päästä. Ennen näytteenottoa nestetuikepullo avataan valmiiksi. Vettä valutetaan pullon kaulaan saakka (alla oleva kuva), kohtaan jossa pullo alkaa kaventua. Näytteenoton jälkeen nestetuikepullon korkki suljetaan tiukasti ja pullo ravistellaan hyvin niin, että seoksesta tulee yhtenäisen näköinen.



NÄYTE 1: 1. lasinen nestetuikepullo

Ensimmäinen näyte otetaan lasiseen nestetuikepullon suoraan hanasta ilman veden runsasta valutusta. Ennen näytteenottoa vettä valutetaan hanasta vain sen verran että vesi on sopivan kylmää juotavaksi. Näyte otetaan yllä olevan ohjeen mukaisesti.

NÄYTTEET 2 ja 3: 2. lasinen nestetuikepullo ja litran muovipullo (lyijy)

Seuraava näyte otetaan 1 litran muovipulloon, jossa on merkintä **LYIJY**. Näyte otetaan muovipulloon siten, että pullo tulee aivan täyteen. Pullon täyttämisen jälkeen muovipullostta otetaan muovisella pipetillä 10 ml näyte nestetuikepulloon (näyte 2). Näyte otetaan nestetuikepulloon yllä olevan ohjeen

mukaan. 10 ml näytteenoton jälkeen muovipullo täytetään uudestaan täyteen (näyte 3). Pulloon **EI SAA JÄTTÄÄ** yhtään tyhjää tilaa. Lopuksi muovipullon korkki suljetaan huolellisesti kiinni. Näytteenoton jälkeen huuhdelkaa muovinen pipetti vedellä.

NÄYTE 4: litran muovipullo (muut)

Toiseen 1 litran muovipulloon, jossa on merkintä **MUUT**, näyte otetaan normaalisti niin että pullo tulee täyteen. Suljetaan korkki huolellisesti näytteenoton jälkeen.

NÄYTE 5: 3. lasinen nestetuikepullo

Näiden neljän näytteenoton jälkeen vettä juoksetetaan reippaasti, niin että painesäiliössä ja putkistossa seisonut vesi saadaan vaihtumaan. Juoksetusta jatketaan kunnes veden lämpötila muuttuu vakioiseksi. Kirjataan ylös valutuksen aloitus- ja lopetushetki. Ennen näytteenottoa annetaan veden valua vähän aikaa pienellä nopeudella. Otetaan radonnäyte lasiseen nestetuikepulloon hanasta yllä olevan ohjeen mukaisesti.

NÄYTE 6: 500 ml (0,5 l) muovipullo

Huuhtelee 500 ml:n pullo näytevedellä ja täytä se sitten piripintaan. Huuhtelee korkki ja sulje pullo tiiviisti.

NÄYTE 7: 100 ml (1 dl) muovipullo

Suodata 100 ml:n näyte seuraavasti:

Huuhtelee uusi kertakäyttöruisku näytevedellä. Täytä ruisku vedellä ja kierrä uusi suodatin paikoilleen. Suodata noin 10 ml vettä ensin pois ja huuhtele sen jälkeen 100 ml pullo ja sen korkki suodatetulla näytevedellä. Suodata vettä pullon kaulaan asti (ruisku täytyy täyttää välillä uudelleen - kierrä suodatin ruiskusta pois, vedä ruisku täyteen vettä ja kierrä suodatin takaisin paikalleen). Sulje korkki tiiviisti.

Ole suodattaessa erityisen tarkka siitä, ettei suodattimen kärki osu mihinkään ja että suodatettu näytevesi menee suoraan ruiskusta pulloon koskematta esim. käsiin. Näytettä suodatettaessa on tupakointi ehdottomasti kielletty.

LIITE 5

KYSELYLOMAKE

Täyttäkää mukana tullut kyselylomake. Jokaisesta kaivosta täytetään oma lomake. Tarkat **näytteenottoajat kellonaikoihin** tarvitaan tulosten laskemista varten.

Vesinäytteiden toimitus Säteilyturvakeskukseen

Näytteet toimitetaan Säteilyturvakeskukseen postitse pikalähetyksenä samana päivänä kuin näytteet on otettu. Näytepullot tulee pakata hyvin niiden rikkoutumisen estämiseksi. Näytteet voi myös tuoda Säteilyturvakeskukseen maanantaista perjantaihin klo 8 – 14 välisenä aikana.

Veden radioaktiivisuusmääritykset

Radon (^{222}Rn)

Radonnäytteet (10ml) otettiin suoraan lasisiin nestetuikepulloihin, jotka oli etukäteen punnittuja ja esitäytettyjä nestetuikeaineella (12 ml Packardin Ultima Gold XR). Veden radonpitoisuus määritettiin Wallacin Guardian 1414 nestetuikelaskureilla, jolla määrittäysraja yhden tunnin mittausajalla on 0,2 Bq/l. Mittaustuloksen epätarkkuus on noin 10 prosenttia (Salonen 1993,1997).

Pitkäikäisten alfa-aktiivisten aineiden yhteismäärämäärä

Kokonaisalfa-aktiivisuusmäärityksiä varten näytteet otettiin 1 litran polyeteeni pulloihin. Näytteet kestävöitiin väkevällä suolahapolla (4,5 ml / 1 litra näytettä). Kestävöidyistä näytteistä kuivattiin 38 ml vettä teflonoiduissa nestetuikepulloissa. Jäännös liuotettiin pieneen määrään 0,5 M suolahappoa, johon lisättiin tuikeaine. Tämän jälkeen näytettä seisotettiin 30 päivän ajan, jolloin radiumista syntynyt radon ja sen lyhytikäiset hajoamistuotteet kasvavat tasapainoon emonuklidinsa (Ra-226) kanssa. Pitkäikäisten alfa-aktiivisten aineiden kokonaispitoisuus (^{238}U :n, ^{234}U :n, ^{226}Ra :n ja ^{210}Po :n kokonaispitoisuus) mitattiin Wallacin Quantulus 1220 nestetuikelaskurilla. Alhaisin määrittäysraja kolmen tunnin mittausajalla on 0,02 Bq/l (Salonen 1993).

Uraanin (^{238}U) määrittäminen ICP massaspektrometrillä

Veden uraanipitoisuus määritettiin induktiivisesti kytketyllä plasma-massaspektrometrillä (ICP-MS) Geologian tutkimuskeskuksessa. Uraanimäärittäystä varten näytteet kerättiin 100 ml polyeteeni pulloihin, jotka kestävöitiin Säteilyturvakeskuksessa väkevällä typpihapolla (0,5 ml / 100 ml näytettä). Uraanin alhaisin määrittäysraja ICP - massaspektrometrillä oli 0,01 µg/l (Lahermo ym. 2002).

Uraanin (^{238}U ja ^{234}U) radiokemiallinen erotus

Vesinäyte uraanin radiokemiallista määrittäystä varten otettiin yhden litran vetoiseen polyeteenipulloon. Näyte kestävöitiin väkevällä suolahapolla (4,5 ml / 1 litra näytettä). Kestävöinnin jälkeen näyte ilmastettiin laboratoriossa. Uraanimäärittäminen aloitettiin konsentroimalla näytteen radioaktiivisuus

LIITE 6

rautasakkaan, joka liuotettiin väkevään suolahappoon. Tämän jälkeen näyte syötettiin olosuhteistettuun ioninvaihtokolonniin, mikä oli täytetty Dowex 1x8 anioninvaihtohartsilla. Hartsista uraani eluoiitiin 0,1 M suolahapolla. Mittauspreparaatti valmistettiin kersaostamalla uraani keriumfluoridina. Uraanipitoisuus mitattiin Canberran alfaspektrometrillä. Määritysraja puolen litran näytteelle on 0,1 – 0,5 mBq/l, käyttäen 90 tunnin (noin neljä päivää) mittausaikaa. Mittaustuloksen epätarkkuus on 10–30 % aktiivisuus-pitoisuudesta riippuen.

²³⁴U:n laskeminen kokonaisalfatuloksesta

Kaikista vesinäytteistä ei määritetty U-234 pitoisuutta radiokemiallisella erotuksella. Niistä näytteistä mistä radiokemiallista erotusta ei tehty, laskettiin U-234 pitoisuus kokonaisalfamäärityksestä. Kokonaisalfatuloksesta koostuu pitkäikäisestä alfa-aktiivisista aineista, kuten uraanista (U-234 ja U-238), radiumista ja poloniumista. Laskettaessa U-234 pitoisuutta vähennettiin kokonaisalfatuloksesta radiumin, poloniumin ja GTK:n määrittämä U-238 pitoisuus. GTK:n määrittämä U-238 pitoisuus ($\mu\text{g/l}$) muutettiin aktiivisuuspitoisuudeksi (Bq/l) kertoimella 80,6.

Polonium (²¹⁰Po) ja lyijy (²¹⁰Pb)

Poloniumpitoisuus määritettiin samasta vesinäytteestä kuin veden radiumpitoisuus ja kokonaisalfa-aktiivisuus. Matala-aktiiviset näytteet konsentroitiin ennen poloniumin saostusta ensin haihuttamalla vesihautella. Korkeampi aktiivisista näytteistä polonium saostettiin spontaanisti hopealevylle 80 °C:een lämpötilassa käyttäen neljän tunnin saostusaikaa. Hopealevyn poloniumpitoisuus mitattiin Canberran alfaspektrometrillä. Alhaisin määritysraja yhden litran näytteelle on 0,2 mBq/l, kun käytetään 1000 minuutin mittausaikaa. Mittaustuloksen epätarkkuus on noin 15 prosenttia (Häsänen 1977).

Veden lyijypitoisuus määritettiin samasta vesinäytteestä kuin veden poloniumpitoisuus oli määritetty. Poloniumsaostuksen jälkeen vesinäyte otettiin talteen ja sitä seisotettiin noin kuusi kuukautta, jonka aikana lyijy-210:stä syntyi uutta poloniumia näytteeseen. Puolen vuoden seisotuksen jälkeen tehtiin uusi poloniumsaostus hopealevylle, jonka poloniumpitoisuus mitattiin Canberran alfaspektrometrillä. Näiden kahden mittaustuloksen perusteella laskettiin veden lyijy- ja poloniumpitoisuus.

Annosmuuntokertoimet

Euroopan yhteisön virallisen lehden N:o L159/29 mukaiset annosmuuntokertoimet (Sv/Bq) luonnon radionuklideille ^{234}U , ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb ja ^{210}Po . Radonin (^{222}Rn) annosmuuntokertoimena on käytetty Yhdysvaltain tiedeakatemian vuonna 1999 julkaisemaa annosmuuntokerrointa.

Nuklidi	Annosmuuntokerroin (Sv/Bq)
Radon-222	$3,5 \cdot 10^{-9}$
Uraani-238	$4,5 \cdot 10^{-8}$
Uraani-234	$4,9 \cdot 10^{-8}$
Radium-226	$2,8 \cdot 10^{-7}$
Lyijy-210	$6,9 \cdot 10^{-7}$
Polonium-210	$1,2 \cdot 10^{-6}$