

STUK-A171

Joulukuu 2000

Porakaivoveden radonkartasto
Radonatlas över borrhunnar
Radon Atlas of wells drilled into
bedrock in Finland

A. Voutilainen, I. Mäkeläinen, P. Huikuri, L. Salonen

STUK • SÄTEILYTURVAKESKUS • STRÅLSÄKERHETSCENTRALEN
RADIATION AND NUCLEAR SAFETY AUTHORITY

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

Slutsatserna i denna rapportserie är författarnas och företrädar inte nödvändigtvis Strålsäkerhetscentralens officiella ståndpunkt.

The conclusions presented in the STUK report series are those of authors and do not necessarily represent the official position of STUK.

ISBN 951-712-356-6

ISSN 0781-1705

Oy Edita Ab, Helsinki 2000

Myynti:

Säteilyturvakeskus

PL 14, 00881 HELSINKI

Puh. 09-759 881

*VOUTILAINEN A, MÄKELÄINEN I, HUIKURI P, SALONEN L. Porakaivo-
veden radonkartasto. STUK-A171, Helsinki 2000, 102 s.*

ISBN 951-712-356-6
ISSN 0781-1705

Avainsanat radon, porakaivo, kunta, kalliopohjavesi

TIIVISTELMÄ

Säteilysuojelun kannalta tärkein talousveden radioaktiivinen aine on radon 222, jota esiintyy erityisesti porakaivovesissä. Radonpitoisuuden keskiarvo verkostovedessä on 27 Bq/l, rengaskaivovedessä 60 Bq/l ja porakaivovedessä 590 Bq/l. Arviolta 200 000 suomalaista käyttää porakaivojen vettä. Noin 10 % näistä käyttää vettä, jonka radonpitoisuus ylittää Säteilyturvakeskuksen yksityiskaivoille suositteleman enimmäisarvon 1000 Bq/l.

Tämä raportti pyrkii antamaan tietoa siitä, millä alueilla esiintyy kohonneita pitoisuuksia ja mistä puuttuu mittaustuloksia. Tietoja tarvitaan, kun päätetään jatkotutkimuksista ja suunnitellaan kalliopohjavesivarojen hyödyntämistä ja haja-asutusalueiden vesihuoltoa. Raportti on yhteenvedo kaikista Säteilyturvakeskuksen vesitietokantaan syyskuu 1999 loppuun mennessä tallennetuista porakaivoveden radonmittauksista, yhteensä noin 9200 porakaivoa.

Tulokset on esitetty taulukkoina ja karttoina. Taulukoissa on esitetty radonpitoisuuden tunnuslukuja kaikista mitatuista porakaivoista kunnittain, lääneittäin sekä ympäristökeskusten alueilla. Koko Suomen kartoissa on tarkasteltu radonpitoisuuden keskiarvoja 10 x 10 km:n ruutuja kohti sekä radonpitoisuuksien 300 ja 1000 Bq/l ylittävien porakaivojen prosentuaalista osuutta kunnissa. Yksityiskohtaisemmissa kartoissa on tarkasteltu radonpitoisuuden keskiarvoja 5 x 5 km:n ruuduissa eri ympäristökeskusten alueilla.

VOUTILAINEN A, MÄKELÄINEN I, HUIKURI P, SALONEN L. Radonatlas över borrhunnar. STUK-A171, Helsingfors 2000, 102 s.

ISBN 951-712-356-6

ISSN 0781-1705

Nyckelord: radon, borrhunn, kommun, berggrund, grundvatten

SAMMANDRAG

Det viktigaste radioaktiva ämnet i hushållsvatten ur strålskyddssynpunkt är radon 222. Det förekommer särskilt i borrhunnsvatten. Medelvärdena för radonhalten i vattenledningsvatten, grävda brunnar och borrhunnar är 27 Bq/l, 60 Bq/l respektive 590 Bq/l. Uppskattningsvis 200 000 finländare använder vatten från borrhunnar. Ungefär 10% av dem använder vatten vars radonhalt överstiger 1000 Bq/l, vilket Strålsäkerhetscentralen rekommenderar som maximivärde för privata brunnar.

Denna rapport avser att ge uppgifter om på vilka områden förhöjda halter förekommer och var mätresultat saknas. Uppgifterna behövs vid beslut om fortsatta undersökningar och då man har för avsikt att utnyttja berggrundens vattenförråd samt vid planläggning av vattenförsörjningen i glesbygder. Rapporten är ett sammandrag av alla radonmätningar av borrhunnsvatten som införts i Strålsäkerhetscentralens vattendatabas till slutet av september 1999, sammanlagt ca 9200 borrhunnar.

Resultaten presenteras som tabeller och kartor. Tabellerna upptar nyckeltal för radonhalterna i alla uppmätta brunnar kommunvis, länsvis och enligt miljöcentral. På kartorna över hela Finland visas radonhalternas medelvärden i rutor på 10 x 10 km samt den procentuella andelen av borrhunnar med en radonhalt på mer än 300 respektive 1000 Bq/l i varje kommun. På de mera detaljerade kartorna visas radonhalternas medelvärden i rutor på 5 x 5 km i de olika miljöcentralernas regioner.

VOUTILAINEN A, MÄKELÄINEN I, HUIKURI P, SALONEN L. Radon Atlas of wells drilled into bedrock in Finland. STUK-A171, Helsinki 2000, 102p.

ISBN 951-712-356-6

ISSN 0781-1705

Keywords radon, drilled well, municipality, bedrock, groundwater

ABSTRACT

Considering radiation protection, the most important radioactive substance in water is radon-222 which occurs especially in water of drilled wells. The average radon concentrations for tap water, dug wells and drilled wells are 27 Bq/l, 60 Bq/l and 590 Bq/l, respectively. Approximately 200,000 Finns use water from wells drilled in bedrock. About 10% of these well waters exceed the radon concentration limit of 1,000 Bq/l recommended for private wells.

This Atlas will provide information on regions where increased concentrations are found, or where measurements are still missing in Finland. Decision-makers will need this information when deciding on further studies on the subject or making plans on utilising bedrock water for water supply in rural areas. This report sums up all the radon measurement data entered into the STUK database by the end of September 1999. The database comprises altogether about 9,200 water sample analyses from drilled wells.

The results are presented as tables and maps. The tables show radon concentration statistics from all drilled wells measured according to municipality, province or regional environment centre. The maps covering the whole of Finland depict the mean radon concentrations by 10 x 10 km squares and the percentage of drilled well waters exceeding 300 or 1,000 Bq/l in each municipality. The more detailed maps show the mean radon concentrations by 5 x 5 km squares in areas determined by various environment centres.

**SISÄLLYSLUETTELO /
INNEHÅLLSFÖRTECKNING / CONTENTS**

	Sivu
TIIVISTELMÄ	3
SAMMANDRAG	4
ABSTRACT	5
SISÄLLYSLUETTELO / INNEHÅLLSFÖRTECKNING / CONTENTS	6
ALKUSANAT	8
FÖRORD	9
FOREWORD	10
1 JOHDANTO	11
1 INLEDNING	12
1 INTRODUCTION	13
2 TALOUSVEDEN RADIOAKTIIVISUUS SUOMESSA JA MUUALLA	14
2 HUSHÅLLSVATTNETS RADIOAKTIVITET I FINLAND OCH I ANDRA LÄNDER	16
2 RADIOACTIVITY OF HOUSEHOLD WATER IN FINLAND AND ELSEWHERE	18
3 AINEISTO	20
3 MATERIAL	22

3	MATERIAL	24
4	RADONPITOISUUDEN MÄÄRITYS	26
4	BESTÄMNING AV RADONHALTEN	27
4	MEASUREMENT OF RADON CONCENTRATION	28
5	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	29
5	RESULTAT OCH DISKUSSION	31
5	RESULTS AND DISCUSSION	33
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET	35
6	SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER	36
6	CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS	37
7	KIRJALLISUUSVIITTEET / REFERENSER / REFERENCES	38
8	TAULUKOT / TABELLER / TABLES	40
9	KARTAT / KARTOR / MAPS	56
	LIITTEET / BILAGOR / APPENDIX	94

ALKUSANAT

Tässä kartastossa esitetyt tulokset eivät olisi mahdollisia ilman monien kymmenien, jopa satojen ihmisten työpanosta monien vuosien aikana. Säteilyturvakeskuksen ja Geologian tutkimuskeskuksen välinen yhteistyö on tuottanut tietoa tuhansien porakaivojen radonpitoisuudesta. Kuntien terveystarkastajat ovat sekä toimittaneet näytteitä että auttaneet omien kuntiensä alueilla sijaitsevien kaivojen koordinaattien selvityksessä. Useat paikalliset elintarvike- ja ympäristölaboratoriot ovat antaneet käyttöömme porakaivojen radonmittaustuloksia.

Erikoistutkija Laina Salonen vastaa suurimmasta osasta tässä kartastossa esitetyistä radonmittauksista. Tutkija Pia Huikuri vastaa viime vuosien aikana tehdyistä radonmittauksista ja paikallisten elintarvike- ja ympäristölaboratorioiden tekemien mittausten keräämisestä ja arvioimisesta. Erikoistutkija Anne Voutilainen vastaa tässä raportissa esitettävistä kartoista ja erikoistutkija Ilona Mäkeläinen tilastoyhteenvedoista. Molemmat viimeksi mainitut vastaavat myös koordinaattiaineiston tarkastamisesta.

Kartaston syntyyn ovat vuosien mittaan vaikuttaneet useat henkilöt Säteilyturvakeskuksessa. Näytteiden käsittelystä ja mittaamisesta on pisimpään vastannut laboratoriomestari Sirkka Hämäläinen ja viime vuosina laboratoriomestari Sointu Starck, mistä tekijät lausuvat heille parhaat kiitoksensa.

Tätä tutkimusta on rahoittanut sosiaali- ja terveysministeriö.

FÖRORD

Resultaten i denna atlas skulle inte ha varit möjliga att få fram utan flera tiotals, ja hundratals människors arbetsinsats under många år. Samarbetet mellan Strålsäkerhetscentralen och Geologiska Forskningscentralen har resulterat i uppgifter om radonhalten i tusentals borrhunnar. De kommunala hälsovårdsinspektörerna har både skickat prov och hjälpt till att klarlägga koordinaterna för brunnarna inom sin kommun. Flera lokala livsmedels- och miljölaboratorier har ställt radonmättningsresultat från borrhunnar till vårt förfogande.

Specialforskare Laina Salonen svarar för största delen av de radonmätningar som presenteras i denna atlas. Forskare Pia Huikuri svarar för radonmätningarna under de senaste åren och för insamlande och utvärdering av de mätningar som utförts av lokala livsmedels- och miljölaboratorier. Specialforskare Anne Voutilainen svarar för kartorna i rapporten och specialforskare Ilona Mäkeläinen för de statistiska sammandragen. De två sistnämnda svarar också för granskning av koordinatmaterialet.

Flera personer på Strålsäkerhetscentralen har under årens lopp medverkat till att atlasen har kommit till. För insamling och mätning av prov har under den längsta tiden svarat laboratoriemästare Sirkka Hämäläinen och under de senaste åren laboratoriemästare Sointu Starck, till vilka författarna riktar sitt varma tack.

Denna rapport har finansierats av social- och hälsovårdsministeriet.

FOREWORD

It would have not been possible to summarise all the results presented in this Atlas, if it weren't for the contribution of dozens, even hundreds of people involved in this project for many years. The co-operation of STUK and the Finnish Geological Survey has produced data on radon concentration of thousands of drilled wells. Municipal health inspectors have provided invaluable help by delivering samples to STUK and also defining the coordinates of the wells located in their region. Local authorities in several foodstuff and environmental laboratories have forwarded their analyses on radon concentrations in drilled well waters for STUK.

Ms Laina Salonen, senior scientist, is responsible for most of the results presented in this Atlas. Ms Pia Huikuri, scientist, is responsible for STUK's radon measurements made in the last few years and also for collecting and assessing the measurements done by the local foodstuff and environmental laboratories. Ms Anne Voutilainen, senior scientist, answers for the maps in this report and Ms Ilona Mäkeläinen, senior scientist, has prepared the statistics summary. Both of the latter also account for checking the coordinates.

For years several employees at STUK have made their own contribution to the emergence of this Atlas. Processing and analysing the samples has primarily been the responsibility of laboratory operator Ms Sirkka Hämäläinen, and also in the last few years Ms Sointu Starck, laboratory operator. The authors of this book want to express their gratitude to both of them.

The Ministry of Health and Social Affairs has financed this study.

1 JOHDANTO

Säteilyturvakeskus on tutkinut talousveden radioaktiivisuutta 1960-luvun lopulta lähtien (Asikainen 1977, 1982, Salonen 1992, 1994, 1995). Lähes kaikki yli 200 käyttäjän vesilaitokset on tutkittu ja suuri määrä pienempiäkin vesilaitoksia, yhteensä yli 1000 vesilaitosta. Yksityistalouksista on mitattu noin 6600 porakaivoa ja lähes 5000 rengas- ja lähdekaivoa. Kaikista näytteistä on mitattu radonpitoisuus ja suuresta osasta myös muita radioaktiivisia aineita.

Säteilysuojelun kannalta tärkein talousveden radioaktiivinen aine on radon 222, jota esiintyy erityisesti porakaivovesissä. Radon on hajuton, mauton ja näkymätön kaasu. Radon vapautuu vedenkäytön yhteydessä ilmaan, jolloin säteilyannosta aiheutuu hengityksen mukana keuhkoille. Veden mukana nautittu radon aiheuttaa säteilyannosta mahalaukulle ja jonkin verran muulle elimistölle. Juomaveden radonin aiheuttama säteilyriski on koko maan osalta huomattavasti pienempi kuin huoneilman radonin aiheuttama riski. Porakaivon käyttäjillä se on kuitenkin keskimäärin samaa suuruusluokkaa kuin maaperästä huoneilmaan tunkeutuvan radonin aiheuttama säteilyriski.

Noin 4,5 miljoonaa suomalaista käyttää vesilaitosten verkostovettä. Arviolta 500 000 ihmistä käyttää maaperään kaivettujen rengaskaivojen vettä ja noin 200 000 kallioporakaivojen vettä. Lisäksi rengas- ja porakaivojen vettä käytetään vapaa-ajanasunnoissa.

Säteilyturvallisuusohjeen 12.3 (ST-ohje 12.3 1993) perusteella vesilaitosten veden ja elintarvikkeiden valmistuksessa käytettävän veden radonpitoisuus saa olla enintään 300 Bq/l. Jos vedessä on muita radioaktiivisia aineita, radonpitoisuuden tulee olla pienempi. Säteilyturvakeskus suosittelee yksityisille kaivoille radonpitoisuuden pienentämistä, mikäli veden radonpitoisuus ylittää 1000 Bq/l (Säteilyturvakeskus 2000).

Tämä raportti pyrkii antamaan tietoa siitä, millä alueilla esiintyy kohonneita pitoisuuksia ja mistä puuttuu mittaustuloksia. Tietoja tarvitaan, kun päätehtään jatkotutkimuksista ja suunnitellaan kalliopohjavesivarojen hyödyntämistä ja haja-asutusalueiden vesihuoltoa.

1 INLEDNING

Strålsäkerhetscentralen har undersökt radioaktiviteten i hushållsvatten ända sedan slutet av 1960-talet (Asikainen 1977, 1982; Salonen 1992, 1994, 1995). Nästan alla vattenverk med mer än 200 användare har undersökts och också ett stort antal mindre vattenverk, sammanlagt mer än 1000 vattenverk. För privata hushåll har mätts omkring 6600 borrbrunnar och nästan 5000 grävda brunnar. I alla prov har man bestämt radonhalten och i en stor del också andra radioaktiva ämnen.

Det viktigaste radioaktiva ämnet i hushållsvatten ur strålskyddssynpunkt är radon 222. Det förekommer särskilt i borrbrunnsvatten. Radon är en luktlös, smaklös och osynlig gas. Radon avgår till luften i samband med vattenanvändning, varvid lungorna utsätts för strålning genom andningen. Radon som intas med vatten orsakar en stråldos till magsäcken och i någon mån till övriga organ. Strålriskerna från radon i dricksvatten är för hela landets del betydligt mindre än risken från radon i inomhusluft. För dem som använder borrbrunn är risken emellertid av samma storleksordning som strålriskerna från radon som tränger in i huset från marken.

Ungefär 4,5 miljoner finländare använder vattenledningsvatten från vattenverk. Uppskattningsvis 500 000 personer använder vatten från grävda brunnar och omkring 200 000 använder vatten från brunnar borrhade i berg. Därutöver används grävda brunnar och borrbrunnar vid fritidsbostäder.

Enligt strålskyddsdirektiv 12.3 (ST-direktiv 12.3 1993) får radonhalten i vatten från vattenverk och vatten som används vid framställning av livsmedel vara högst 300 Bq/l. Om vattnet innehåller andra radioaktiva ämnen skall radonhalten vara lägre. För privata brunnar rekommenderar Strålsäkerhetscentralen att radonhalten sänks om vattnets radonhalt överstiger 1000 Bq/l (Strålsäkerhetscentralen 2000).

Denna rapport avser att ge uppgifter om på vilka områden förhöjda halter förekommer och var mätresultat saknas. Uppgifterna behövs vid beslut om fortsatta undersökningar och då man har för avsikt att utnyttja berggrundens vattenförråd och planlägger vattenförsörjningen i glesbygder.

1 INTRODUCTION

STUK has studied radioactivity in household water since the late 1960s (Asikainen 1977, 1982, Salonen 1992, 1994, 1995). Almost all water works serving over 200 users have been studied as also a great number of smaller water works, in total over 1,000 water works. Approximately 6,600 private owned drilled wells and almost 5,000 dug wells and springs have been measured. STUK has analysed radon concentration for all samples and also other radioactive substances for a considerable amount of the samples.

Considering radiation protection, the most important radioactive substance in household water is radon-222 that occurs especially in waters of drilled wells. Radon is an odourless, tasteless and invisible gas. When using water, radon is released from water into air, exposing the lungs to radiation. Stomach and to lesser extent also other organs receive radiation dose through ingested radon. Concerning the whole of Finland, the radiation risk due to drinking water is substantially smaller than that due to indoor air radon. However, people using drilled wells have on the average the same order of risk than those who are exposed to indoor radon permeating from the soil into the room air.

Approximately 4,5 million Finnish people use tap water distributed by water works. Wells dug in soil are used by roughly 500,000 people, while 200,000 people use wells drilled into bedrock. In addition to the previous, well water is also used in holiday homes.

According to the Radiation Safety Guide 12.3 (ST-Guide 12.3 1993) radon concentration in water used by water works or for food processing should not exceed 300 Bq/l. If any other radioactive substances occur simultaneously with radon in water, the radon concentration should be lower than 300 Bq/l. STUK recommends that private well owners take measures to decrease the radon concentration if the concentration in water exceeds 1,000 Bq/l (Säteilyturvakeskus 2000).

This Atlas will provide information on regions where increased radon concentrations occur or measurements are still missing in Finland. Decision-makers will need this information when they decide on further studies on the subject or making plans on utilising bedrock water resources and water supply services in rural areas.

2 TALOUSVEDEN RADIOAKTIIVISUUS SUOMESSA JA MUUALLA

Suuria porakaivoveden radonpitoisuuksia esiintyy Euroopassa lähinnä vain Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa. Tämä johtuu monesta syystä. Näissä maissa uraanipitoiset kivilajialueet ovat yleisempiä kuin muualla Euroopassa. Myös veden laatu poikkeaa muista eurooppalaisista vesistä. Täällä vesi on tyypillisesti pehmeää sekä hiilidioksidi- ja karbonaattipitoista, mikä edistää uraanin liukenemista veteen. Pohjoismaat ovat myös harvaan asuttuja, joten haja-asutusalueilla joudutaan usein käyttämään omien kaivojen vettä. Lisäksi ohuiden maapeitteiden takia porakaivot ovat täällä yleisempiä kuin muualla Euroopassa, jossa vesi saadaan paksuista maapeitteistä ja sedimenttikivistä helpommin.

Taulukossa I on esitetty radioaktiivisten aineiden keskiarvot eri vesilähteille Suomessa. Tulokset on painotettu käyttäen kahdessa otantatutkimuksessa saatua porakaivojen maantieteellistä jakaumaa (Arvela ym. 1993, Korkka-Niemi ym. 1993).

Taulukko I. Talousveden radioaktiivisten aineiden pitoisuuksien keskiarvot (Bq/l) eri vesilähteitä käyttävillä väestöryhmillä.

Radioaktiivinen aine	Verkostovesi	Rengaskaivot	Porakaivot	Koko väestö
Radon 222	27	60	590	50
Uraani 234	0,02	0,02	0,6	0,04
Uraani 238	0,015	0,02	0,4	0,03
Radium 226	0,003	0,01	0,06	0,006
Polonium 210	0,003	0,01	0,07	0,007
Lyijy 210	0,003	0,04	0,06	0,008

Arviolta noin 20 000 ihmistä käyttää porakaivovettä, jonka radonpitoisuus ylittää 1000 Bq/l (Mäkeläinen ym. 1999). Porakaivoveden käyttäjistä tämä on 10 %. Jos määrää verrataan kaikkiin suomalaisiin, on se vain alle 0,5 %. Yli 10 000 Bq/l olevia radonpitoisuuksia esiintyy myös, joskin hyvin harvoin. Tässä aineistossa ylityksiä on alle 1 %. Taulukossa II on esitetty porakaivoveden käyttäjien lukumäärät radonpitoisuuden mukaan.

Taulukko II. Porakaivoveden käyttäjien lukumäärä veden radonpitoisuuden mukaan.

Porakaivoveden radonpitoisuus	Käyttäjien lukumäärä	Prosentuaalinen osuus kaikista porakaivoveden käyttäjistä
alle 100 Bq/l	80 000	40 %
100–300 Bq/l	60 000	30 %
300–1000 Bq/l	40 000	20 %
1000–3000 Bq/l	14 000	7 %
yli 3000 Bq/l	6 000	3 %
porakaivoveden käyttäjiä yhteensä	200 000	100 %

Ruotsissa on enemmän porakaivoja kuin Suomessa. Vakituisen asunnon yhteydessä arvioidaan olevan 200 000 yksityistä porakaivoa ja vapaa-ajanasuntojen yhteydessä 200 000–300 000 porakaivoa. Ruotsin Säteilyturvakeskus (SSI) ja Geologinen tutkimuslaitos (SGU) ovat vuosien kuluessa keränneet ja analysoineet 1745 vesinäytettä. Näytteistä 47 % ylittää arvon 100 Bq/l, 11 % ylittää arvon 500 Bq/l ja 4 % arvon 1000 Bq/l. Porakaivoveden radonpitoisuuden keskiarvo on 200 Bq/l. (Statens Strålskyddsinstitut 1998)

Norjan porakaivovesissä esiintyy myös suuria radonpitoisuuksia. Norjassa ei ole selvitetty porakaivojen tarkkaa määrää, mutta erään arvion mukaan siellä on noin 100 000 porakaivoa (Banks et al. 1998). Norjan Säteilyturvakeskus (NRPA) ja Geologian tutkimuslaitos (NGU) tekivät lähes koko maan kattavan selvityksen vuosina 1996–1998. Tällöin analysoitiin noin 3500 porakaivonäytettä. Koko aineistossa radonpitoisuuden aritmeettinen keskiarvo oli 390 Bq/l (Strand et al. 1998). Eriyisen korkeita radonpitoisuudet olivat Østfoldin maakunnassa, jossa radonpitoisuuden keskiarvo on jopa 1700 Bq/l (Strand et al. 1998). Tämän alueen porakaivot ovat aineistossa ylliedustettuna. Kun tämä seikka otetaan huomioon, saadaan koko maan porakaivoveden radonpitoisuuden keskiarvoksi 345 Bq/l (Strand, henkilökohtainen tiedonanto 2000). Radonpitoisuudeltaan yli 1000 Bq/l olevaa porakaivovettä käyttävien prosentuaalinen osuus kaikista porakaivoveden käyttäjistä on Norjassa 6–8 % (Strand, henkilökohtainen tiedonanto 2000).

2 HUSHÅLLSVATTNETS RADIOAKTIVITET I FINLAND OCH I ANDRA LÄNDER

I Europa förekommer höga radonhalter i borrbrunnsvatten i stort sett bara i Finland, Sverige och Norge. Detta beror på många omständigheter. I dessa länder förekommer områden med uranhaltiga bergarter mera allmänt än på annat håll i Europa. Också vattnets art avviker från resten av Europa. Här är det typiska vattnet mjukt samt koldioxid- och karbonathaltigt, vilket ökar uranets vattenlöslighet. De nordiska länderna har också gles bebyggelse, varför man i glesbygdsområden ofta måste använda vatten ur egen brunn. Därtill är borrbrunnar vanligare här på grund av de tunna jordlagren än i det övriga Europa, där man lättare får vatten ur tjocka jordlager och sediments-ten.

Tabell I visar medelvärdena för radioaktiva ämnen i olika vattenkällor i Finland. Resultaten är viktade enligt den geografiska fördelningen av borrbrunnar på basen av två sampelundersökningar (Arvela o.a. 1993, Korkka-Niemi o.a. 1993).

Tabell I. Medelvärden för halterna av radioaktiva ämnen (Bq/l) enligt vattenkälla. Medelvärdet för hela befolkningen är viktat enligt antalet användare.

Radioaktivt ämne	Vattenledningsvatten	Grävda brunnar	Borrbrunnar	Hela befolkningen
Radon 222	27	60	590	50
Uran 234	0,02	0,02	0,6	0,04
Uran 238	0,015	0,02	0,4	0,03
Radium 226	0,003	0,01	0,06	0,006
Polonium 210	0,003	0,01	0,07	0,007
Bly 210	0,003	0,04	0,06	0,008

Enligt uppskattning använder ca 20 000 personer borrbrunnsvatten med en radonhalt som överstiger 1000 Bq/l (Mäkeläinen o.a. 1999). Detta är 10% av alla som använder borrbrunnsvatten. Om antalet ställs i relation till alla finländare, utgör de mindre än 0,5%. Också radonhalter på över 10 000 Bq/l förekommer, ehuru mycket sällan. I detta material utgör de under 1%. Tabell II visar antalet personer som använder borrbrunnsvatten med olika radonhalt.

Tabell II. Antal användare av borrbrunnsvatten enligt radonhalt.

Borrbrunnsvattnets radonhalt	Antal användare	Procentuell andel av alla som använder borrbrunn
under 100 Bq/l	80 000	40%
100–300 Bq/l	60 000	30%
300–1000 Bq/l	40 000	20%
1000–3000 Bq/l	14 000	7%
över 3000 Bq/l	6 000	3%
antal borrbrunnsanvändare sammanlagt	200 000	100%

I Sverige finns flera borrbrunnar än i Finland. I samband med permanenta bostäder finns det enligt uppskattning 200 000 privata borrbrunnar och i samband med fritidsbostäder ytterligare 200 000–300 000 borrbrunnar. I Sverige har Statens Strålskyddsinstitut (SSI) och Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) under årens lopp samlat in och analyserat 1745 vattenprov. Av dessa prov innehåller 47% mer än 100 Bq/l, 11% har över 500 Bq/l och 4% över 1000 Bq/l. Medelvärdet för radonhalten i borrbrunnsvatten är 200 Bq/l (Statens Strålskyddsinstitut 1998).

Också i Norge förekommer höga radonhalter i borrbrunnsvatten. I Norge har det exakta antalet borrbrunnar inte utretts, men enligt en uppskattning finns där omkring 100 000 borrbrunnar (Banks et al. 1998). I Norge utförde Statens Strålevern (NRPA) och Norges Geologiske Undersøkelse (NGU) en nästan riksomfattande utredning under åren 1996–1998. Därvid analyserades ungefär 3500 prov ur borrbrunnar. Det aritmetiska medelvärdet för radonhalten i hela materialet var 390 Bq/l (Strand et al. 1998). Särskilt höga var radonhalterna i landskapet Østfold, där medelvärdet var så högt som 1700 Bq/l (Strand et al. 1998). Borrbrunnarna i Østfold är överrepresenterade i materialet. Då detta beaktas, får man för radonhalten i borrbrunnarna i hela landet ett medelvärde på 345 Bq/l (Strand, personlig kommunikation 2000). Av alla som använder borrbrunnsvatten i Norge använder 6–8% vatten med en radonhalt som överstiger 1000 Bq/l (Strand, personlig kommunikation 2000).

2 RADIOACTIVITY OF HOUSEHOLD WATER IN FINLAND AND ELSEWHERE

In Europe, high radon concentrations in drilled wells occur almost solely in Finland, Sweden and Norway. This is due to several reasons. First, the uraniumiferous rocks are more common in these countries than elsewhere in Europe. Second, the quality of water differs from those in most other parts of Europe. The ground waters in the above mentioned Nordic countries are often typically soft and high in carbon dioxide and carbonates, which increases the solubility of uranium into water. The Nordic countries are also sparsely inhabited which is why people often derive their household water from their own wells in rural areas. Finally, due to our thin surficial deposits, wells drilled into bedrock are more common in Nordic areas than elsewhere in Europe where water can be obtained more easily from the thick soil layers and sedimentary rocks.

Table I shows the mean values of radioactive substances by various sources of water in Finland. The measurements are weighted using the geographic distribution of drilled wells defined by the two representative surveys (Arvela et al. 1993, Korkka-Niemi et al. 1993).

Table I. Average concentrations of naturally occurring radionuclides in drinking water supplied by waterworks and private wells in Finland. The whole populations mean is weighted by number of users.

Radioactive Substance	Tap water	Dug wells	Drilled wells	Whole population
Radon-222	27	60	590	50
Uranium-234	0.02	0.02	0.6	0.04
Uranium-238	0.015	0.02	0.4	0.03
Radium-226	0.003	0.01	0.06	0.006
Polonium-210	0.003	0.01	0.07	0.007
Lead-210	0.003	0.04	0.06	0.008

Approximately 20,000 people use water from drilled wells that have radon concentration exceeding 1,000 Bq/l (Mäkeläinen et al. 1999). This means 10% of all drilled well users. Compared to total number of all Finns, it is just less than 0.5%. Radon concentrations of more than 10,000 Bq/l also occur, even if very seldom. This material has less than 1% of exceedings. Table II shows numbers of drilled well users by radon concentration.

Table II. Numbers of consumers using water from drilled wells by radon concentration in water.

Radon concentration of drilled well water	Number of users	Percentage of all drilled well users
Less than 100 Bq/l	80,000	40%
100–300 Bq/l	60,000	30%
300–1,000 Bq/l	40,000	20%
1,000–3,000 Bq/l	14,000	7%
More than 3,000 Bq/l	6,000	3%
Total number of drilled well users	200,000	100%

There are more drilled wells in Sweden than in Finland. It has been estimated that there are approximately 200,000 private drilled wells in connection with permanent dwellings, and 200,000–300,000 private drilled wells in connection with holiday homes. The Swedish Radiation Protection Institute (SSI) and the Geological Survey of Sweden (SGU) have over the years collected and analysed a total of 1,745 water samples. 47% of the samples exceeds the value of 100 Bq/l, 11% exceeds 500 Bq/l and 4% exceeds 1,000 Bq/l. The arithmetic mean of radon concentration in drilled well water in Sweden is 200 Bq/l (The Swedish Radiation Protection Institute 1998).

High radon concentrations of drilled well water are found in Norway. The exact number of drilled wells has not been established in Norway but according to one estimate the number is about 100,000 drilled wells (Banks et al. 1998). The Norwegian Radiation Protection Authority (NRPA) and Geological Survey of Norway (NGU) made a survey covering most of the country in 1996–1998. They analysed about 3,500 water samples from drilled wells. For the total material the arithmetic mean radon concentration was 390 Bq/l (Strand et al. 1998). Considerably increased radon concentrations were found in the province of Østfold where the mean radon concentration was as much as 1,700 Bq/l (Strand et al. 1998). The drilled wells of this area were excessively represented in the material. Taking this into account the mean radon concentration in drilled well water in the whole country is 345 Bq/l (Strand, personal communication 2000). In Norway, the percentage of people using drilled well water that exceed 1,000 Bq/l of all users of drilled well water is about 6–8% (Strand, personal communication 2000).

3 AINEISTO

Tämä raportti sisältää tiedot kaikista Säteilyturvakeskuksen vesitietokantaan syyskuu 1999 loppuun mennessä tallennetuista porakaivoveden radonmittauksista, yhteensä noin 9200 porakaivoa. Näistä mittauksista STUKissa on suoritettu 6600 ja paikallisissa elintarvike- ja ympäristölaboratorioissa loput 2600. STUKin mittaamista näytteistä on Geologian tutkimuskeskuksen toimittamia noin 2400. Yksityiset henkilöt ja kunnat ovat tilanneet noin 2900 porakaivon radonmittauksen. Loput, noin 1300 porakaivoa, kuuluvat STUKin ja sen muiden yhteistyökumppanien eri tutkimushankkeisiin. Suurin osa paikallisista elintarvike- ja ympäristölaboratorioista on toimittanut STUKille tiedot yhteensä noin 3000 porakaivosta, joista raporttiin hyväksyttiin noin 2600 mittaustulosta. Liitteessä 1 on esitetty paikallislaboratorioiden aineiston käsittely.

Kaikista näytteistä tunnetaan radonpitoisuus ja kunta. Porakaivon syvyys tunnetaan noin 6000 näytteestä. Sijaintikoordinaatit ovat tiedossa noin 8900 porakaivosta. Useimmista on tarkka tieto, mutta varsinkin paikallisten elintarvike- ja ympäristölaboratorioiden näytteistä sijaintitieto on epätarkempi, esimerkiksi taajaman tai kylän tarkkuus. Liitteessä 2 on esitetty koordinaattien määrittämisessä käytetyt periaatteet.

Porakaivojen lukumäärästä Suomessa ei ole tarkkaa tietoa, mutta vakituisen asunnon yhteydessä arvellaan olevan 70 000–100 000 porakaivoa. Osa mittauksista on tehty vapaa-ajanasuntojen porakaivoista. Voidaan kuitenkin arvioida, että radonpitoisuus on mitattu lähes joka kymmenennestä vakituisen asunnon yhteydessä olevasta porakaivosta.

Aineiston maantieteellinen jakauma on epätasainen. Taulukossa III on esitetty mittauksien ja porakaivojen lukumäärät eri ympäristökeskusten alueella. Lukumääräisesti eniten näytteitä (noin 3300 kpl) on Uudenmaan ympäristökeskuksen alueelta. Suhteellisesti eniten näytteitä on Ahvenanmaalta (50 % alueen porakaivoista), Hämeen ympäristökeskuksen alueelta (23 %) ja Uudenmaan ympäristökeskuksen alueelta (21 %). Mittaukset ovat keskittyneet alueille, joilta tunnetaan entuudestaan suuria porakaivoveden radonpitoisuuksia. Pohjanmaalla on eniten kuntia, joista ei ole yhtään porakaivoveden radonmittaustulosta.

Taulukko III. Mittausten prosentuaalinen osuus kaikista porakaivoista eri ympäristökeskusten alueella. Tässä taulukossa vakituisen asunnon yhteydessä on arvioitu olevan kaikkiaan 100 000 porakaivoa. Porakaivojen arvioidut lukumäärät perustuvat kahteen otantatutkimukseen (Arvela ym. 1993, Korkka-Niemi ym. 1993). Ympäristökeskusten aluejako on esitetty kuvassa 1.

Alueellinen ympäristökeskus	Mittausten määrä	Porakaivojen arvioitu määrä	Mittausten osuus alueen porakaivoista
Koko maa	9 176	100 000	10 %
Uusimaa	3307	15 700	20 %
Lounais-Suomi	1235	19 000	7 %
Häme	1028	4 500	20 %
Pirkanmaa	567	10 000	6 %
Kaakkois-Suomi	584	9 000	7 %
Etelä-Savo	503	4 500	10 %
Pohjois-Savo	226	7 800	3 %
Pohjois-Karjala	93	4 700	2 %
Keski-Suomi	486	6 300	8 %
Länsi-Suomi	93	4 500	2 %
Pohjois-Pohjanmaa	136	2 200	6 %
Kainuu	116	4 900	2 %
Lappi	279	5 700	5 %
Ahvenanmaa	523	1 000	50 %

Tämän raportin aineistossa on Suomen 452 kunnasta mukana 399 kuntaa. Mittaustulosten määrä kunnittain vaihtelee yhdestä yli viiteen sataan. Vajaasta puolesta Suomen kuntia (205 kpl) on vähintään 10 mittausta. Eniten porakaivojen radonmittauksia on tehty Kirkkonummella, 510 porakaivoa. Muut vähintään sadan mittauksen kunnat ovat: Siuntio, Tuusula, Mäntsälä, Nummi-Pusula, Äänekoski, Vihti, Porvoo, Lohja, Sipoo, Espoo ja Vantaa.

3 MATERIAL

Denna rapport innehåller uppgifter om alla radonmätningar av borrhunnsvatten som införts i Strålsäkerhetscentralens vattendatabas till slutet av september 1999, sammanlagt ca 9200 borrhunnar. Av dessa mätningar har 6600 utförts av Strålsäkerhetscentralen och de övriga 2600 av lokala livsmedels- och miljölaboratorier. Av de prov som mätts på Strålsäkerhetscentralen har omkring 2400 tillhandahållits av Geologiska Forskningscentralen. Privatpersoner och kommuner har beställt radonmätning av ungefär 2900 borrhunnar. Resten, ca 1300 borrhunnar, hör till olika forskningsprojekt som utförts av Strålsäkerhetscentralen och dess övriga samarbetspartner. Största delen av de lokala livsmedels- och miljölaboratorierna har gett Strålsäkerhetscentralen uppgifter om sammanlagt ca 3000 borrhunnar, av vilka ungefär 2600 mätresultat godkändes för denna rapport. I bilaga 1 redogörs för behandlingen av materialet från de lokala laboratorierna.

För alla prov finns uppgifter om radonhalt och kommun. Borrhunnens djup är känt för ungefär 6000 prov. Lägeskoordinaterna är kända för ca 8900 prov. För de flesta är uppgiften exakt, men särskilt för proven från de lokala livsmedels- och miljölaboratorierna finns mindre exakta lägesuppgifter, t.ex. med noggrannheten tätort eller by. I bilaga 2 redogörs för de principer som använts för att bestämma koordinaterna.

Det exakta antalet borrhunnar i Finland är inte känt, men enligt uppskattning finns det 70 000–100 000 borrhunnar i samband med permanenta bostäder. En del av mätningarna har gjorts i borrhunnar vid fritidsbostäder, men man kan i alla fall uppskatta, att radonhalten har mätts i nästan en tiondel av alla borrhunnar som används i permanenta bostäder.

Den geografiska fördelningen av materialet är ojämn. Tabell III visar antalet mätningar och antalet borrhunnar inom de olika miljöcentralernas regioner. Det största antalet prov (ca 3300 st) är från Nyland. Relativt sett finns mest prov från Åland (50% av borrhunnarna), Tavastland (23%) och Nyland (21%). Mätningarna har koncentrerats till områden där man från förut känner till höga radonhalter i borrhunnsvatten. I Österbotten finns flest kommuner där resultat av radonmätningar i borrhunnsvatten saknas helt.

Tabell III. Den procentuella andelen uppmätta borrhunnar inom de olika miljöcentralernas regioner. I denna tabell har antalet borrhunnar i samband med permanenta bostäder antagits vara sammanlagt 100 000. De uppskattade antalen borrhunnar baserar sig på två sampelundersökningar (Arvela o.a. 1993, Korkka-Niemi o.a. 1993). Miljöcentralernas regionindelning framgår av bild 1.

Regional miljöcentral	Antal mätningar	Uppskattat antal borrhunnar	Andel uppmätta borrhunnar
Hela landet	9 176	100 000	10%
Nyland	3307	15 700	20%
Sydvästra Finland	1235	19 000	7%
Tavastland	1028	4 500	20%
Birkaland	567	10 000	6%
Sydöstra Finland	584	9 000	7%
Södra Savolax	503	4 500	10%
Norra Savolax	226	7 800	3%
Norra Karelen	93	4 700	2%
Mellersta Finland	486	6 300	8%
Västra Finland	93	4 500	2%
Norra Österbotten	136	2 200	6%
Kajanaland	116	4 900	2%
Lappland	279	5 700	5%
Åland	523	1 000	50%

Av Finlands 452 kommuner är 399 företrädde i denna rapport. Antalet mätresultat per kommun varierar från ett till över femhundra. Från knappt hälften av kommunerna i Finland (205 st) finns minst 10 mätresultat. Mest radonmätningar i borrhunnar har gjorts i Kyrkslätt, 510 borrhunnar. Andra kommuner med minst hundra mätningar är: Sjundea, Tusby, Mäntsälä, Nummi-Pusula, Äänekoski, Vichtis, Borgå, Lojo, Sibbo, Esbo och Vanda.

3 MATERIAL

This report sums up all the radon measurement data entered into the STUK database of drilled wells by the end of September 1999. The database comprises altogether about 9,200 drilled wells with at least one water sample from which radon was analysed. STUK has performed 6,600 of these measurements and the rest 2,600 measurements have been made in Finnish local foodstuff and environmental laboratories. The Geological Survey of Finland has delivered approximately 2,400 of the samples measured by STUK. Municipalities and private persons have ordered about 2,900 radon measurements of drilled wells. The rest of the drilled well samples, about 1,300, have been measured due to various research projects of STUK or its partners in co-operation. Most local foodstuff and environmental laboratories in Finland have sent their results on radon measurements from roughly 3,000 drilled wells to STUK, of which about 2,600 qualified for the study. Appendix 1 shows the processing of the data from the local laboratories.

Radon concentration and municipality have been determined for all samples. The depth of the drilled well is known for 6,000 samples. The co-ordinates of 8,900 samples have been determined. Most locations are exact but some of the data delivered by the local authorities are inaccurate, e.g. the location of population centre or village. The principles used to define the co-ordinates are explained in Appendix II.

The exact number of wells drilled in bedrock in Finland is not known. It has been estimated that in connection with permanent dwellings there are approximately 70,000–100,000 drilled wells. A part of the measurements have been made to drilled wells sited in connection holiday homes. It can, however, be concluded that about every tenth drilled well located in connection with a permanent dwelling has been measured for radon concentration.

The material is not uniformly distributed geographically. Table III demonstrates the numbers of measurements and drilled wells according to regional environment centres. The numerically greatest number of samples (approximately 3,300 samples) has been delivered by the Uusimaa Regional Environment Centre. The proportionally greatest number of samples originates from the region of Åland Islands (50% of all drilled wells in the region), the Häme Regional Environment Centre (23%) and the Uusimaa Regional Environment Centre (21%). The measurements are accumulated in

regions where high radon concentrations of drilled wells are known to occur. In Finland, Ostrobothnia is a region where most municipalities with no radon measurements of drilled wells can be found.

Table III. *The percentage of measurements to all drilled wells by regional environment centres. In this Table it has been estimated that in connection with permanent dwellings there are 100,000 drilled wells in total. The estimated number of drilled wells is based on two representative surveys (Arvela et al. 1993, Korkka-Niemi et al. 1993). The regional environment centres are shown in Figure 1.*

Regional environment centre	Number of measurements	Estimated number of drilled wells	Percentage of measurements of drilled wells in the region
Whole country	9,176	100,000	10%
Uusimaa	3,307	15,700	20%
Southwest Finland	1,235	19,000	7%
Häme	1,028	4,500	20%
Pirkanmaa	567	10,000	6%
Southeast Finland	584	9,000	7%
South Savo	503	4,500	10%
North Savo	226	7,800	3%
North Karelia	93	4,700	2%
Central Finland	486	6,300	8%
West Finland	93	4,500	2%
North Ostrobothnia	136	2,200	6%
Kainuu	116	4,900	2%
Lapland	279	5,700	5%
Åland	523	1,000	50%

The material of this report comprises 399 municipalities of the total of 452 municipalities of Finland. The amount of measurements ranges from one to five hundred per municipality. Less than half of all Finnish municipalities (205 municipalities) have performed at least 10 measurements. The most radon measurements of drilled wells have been made in Kirkkonummi, where 510 drilled wells in all have been measured. Other municipalities of over one hundred measurements are Siuntio, Tuusula, Mäntsälä, Nummi-Pusula, Äänekoski, Vihti, Porvoo, Lohja, Sipoo, Espoo and Vantaa.

4 RADONPITOISUUDEN MÄÄRITYS

Ennen vuotta 1979 radonpitoisuus määritettiin gammaspektrometrisesti. Tällaisia näytteitä on aineistossa vain muutama sata. Muut radonmääritykset on tehty nestetuikemenetelmällä ja Mini-Assay -mittarilla. Vesinäytteen ottaminen radonmääritystä varten on tehtävä hyvin huolella. Näytteenotto on kuvattu liitteessä 3.

STUKissa veden radonpitoisuus määritetään nestetuikemenetelmällä (Asikainen 1982, Salonen 1993, Salonen, Hukkanen 1997). Tutkittavasta vesinäytteestä otetaan 10 ml näyte, joka sekoitetaan tuikeluokseen. Näyte mitataan kolmen tunnin kuluttua, kun radonin lyhytikäiset tyttäret ovat kasvaneet tasapainoon emonuklidinsa radonin kanssa. Määritysrajat yhden tunnin mittauksella ovat alhaiset, Guardian 1414 laskurilla 0,2 Bq/l ja Ultro Beta 1210 laskurilla 1 Bq/l.

STUK on toimittanut kunnallisille elintarvikkeiden ja juomaveden valvonnasta vastaaville laboratorioille Mini-Assay -mittalaitteen elintarvikkeiden ja juomaveden radioaktiivisuuden mittaamiseksi poikkeuksellisissa säteilytilanteissa. Tällä mittarilla paikallislaboratoriot tekevät myös talousveden radonmittauksia. Mini-Assay on NaI(Tl)-tukekitemellä ja taustasuojalla varustettu gammalaskuri. Mittauslaitteistolla saadut tulokset eivät ole riittävän tarkkoja virallisten radioaktiivisuustodistusten kirjoittamiseen. Sitä voidaan kuitenkin käyttää radonpitoisuuden suuruusluokan selville saamiseksi.

Paikallislaboratoriossa veden radonpitoisuus mitataan kolmen litran muovikannussa. Tarvittava näytemäärä on 2,5 litraa ja mittausaika 1000 sekuntia. STUK on tehnyt Mini-Assay -mittareiden kalibroinnit ja antanut tulosten laskemista varten tarvittavat kalibroitukertoimet laboratorioille. Mini-Assay menetelmällä veden radonpitoisuuden määrittäminen on 10–20 Bq/l riippuen käytetystä mittausajasta ja siitä, onko mittaus suoritettu taustasuojassa.

Säteilyturvakeskus on vertaillut omalla nestetuikemenetelmällä ja Mini-Assay -mittareilla saatuja tuloksia keskenään. Laboratorioiden ja STUKin väliset keskimääräiset erot ovat olleet -10–+30 %. Näytekohtaiset erot ovat olleet -20–+ 60 %. Näytteenotto ja mittaus avoimessa Mini-Assay -astiassa, josta radonkaasu pääsee helposti karkaamaan, aiheuttanevat suurimmat erot tuloksiin.

4 BESTÄMNING AV RADONHALTEN

Före år 1979 bestämdes radonhalten med gammaspektrometer. Materialet innehåller bara något hundratal sådana prov. De övriga radonbestämningar har gjorts med scintillator eller med Mini Assay -mätare. Vattenprov för radonmätning måste tas med stor omsorg. Provtagningen beskrivs i bilaga 3.

På Strålsäkerhetscentralen bestäms radonhalten med scintillatormetoden (Asikainen 1982, Salonen 1993, Salonen, Hukkanen 1997). Av det vattenprov som skall undersökas tas ett 10 ml:s prov, som blandas i scintillationsvätskan. Provet mäts efter tre timmar, när de kortlivade radondöttrarna nått jämvikt med modernukliden radon. Detektionsgränserna för en timmes mätning är låga, med Guardian 1414-scintillator 0,2 Bq/l och med Ultro Beta 1210-scintillator 1 Bq/l.

Strålsäkerhetscentralen har skaffat Mini-Assay-mätapparater till de lokala laboratorier som svarar för övervakning av livsmedel och dricksvatten. Avsikten är att de lokala laboratorierna skall kunna mäta radioaktiviteten i livsmedel och dricksvatten under avvikande strålningssituationer. Med denna mätare utför laboratorierna också radonmätningar av hushållsvatten. Mini-Assay är en gammarräknare som är utrustad med NaI(Tl)-scintillationskristall och bakgrundsskärmning. De resultat som fås med denna mätutrustning är inte tillräckligt noggranna för att skriva officiella intyg över radioaktiviteten. Den kan dock användas för att ta reda på radonhaltens storleksordning.

I lokallaboratorierna mäts vattnets radonhalt i tre liters plastkannor. För provet behövs 2,5 liter vatten. Mättiden är 1000 sekunder. Strålsäkerhetscentralen har utfört kalibrering av Mini-Assay -mätarna och givit laboratorierna de kalibreringskoefficienter som behövs för att räkna ut resultaten. Med Mini-Assay -metoden är detektionsgränsen för vattnets radonhalt 10–20 Bq/l, beroende på mättid och på om mätningen har utförts med bakgrundsskärmning.

Strålsäkerhetscentralen har jämfört resultat från sin egen scintillationsmetod med resultat som fås med Mini-Assay-mätare. Resultaten avviker i genomsnitt med –10–+30%. Skillnaderna i enskilda prov uppgår till –20–+60%. De största skillnaderna torde orsakas av provtagning och mätning i öppna Mini-Assay-kärl, från vilka radongasen lätt kan flykta.

4 MEASUREMENT OF RADON CONCENTRATION

Before 1979 radon in water was determined using a gamma-spectrometric method. There are only a few hundred samples measured in this way. Other radon measurements have been performed using a liquid scintillation method and a Mini-Assay counter. One has to be very careful when taking a water sample for radon determination. They are described in Appendix 3.

The liquid scintillation counting method used at STUK is based on a homogeneous sample formed, after which water is mixed with a liquid scintillation cocktail (Asikainen 1982, Salonen 1993, Salonen, Hukkanen 1997). The sample is prepared by taking a 10 ml water sample from the sampling bottle with a pipette and by adding it into a liquid scintillation vial containing the scintillation cocktail. Three hours later the sample is measured after the short-lived daughters have grown into equilibrium with their parent nuclide, radon. Detection limits for one-hour measurements are low, 0,2 Bq/l using the Guardian 1414 and 1 Bq/l using the Ultra-Beta 1210 liquid scintillation counter, respectively.

STUK has supplied municipal laboratories with Mini-Assay counters for monitoring of foodstuffs and drinking water in exceptional radiation situations. Regional laboratories can also use this counter for radon measurements in household water. The Mini-Assay counter is a gamma counter equipped with a NaI(Tl) scintillation crystal and a background shield. The analyses performed with this measurement equipment are not accurate enough for official certificates of radioactivity. However, it can be used to determine the magnitude of radon concentration. In regional laboratories 2,5 litres of water is measured in 3-litre plastic containers. The counting time is 1,000 seconds. STUK has calibrated the Mini-Assay counters and given the necessary calibrating coefficients to calculate the results. The detection limit for radon in water is 10–20 Bq/l depending on the measurement time and the possible background shield used.

STUK has compared the results measured by its own liquid scintillation counting method and the Mini-Assay counters. The average deviation between laboratories and STUK has ranged from –10 to +30%, and the sample-specific deviation from –20 to +60%. The greatest differences in results are probably due to sampling itself but also to the measurement that is performed in an open container. Radon gas can easily escape from such a container.

5 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Tulokset esitetään taulukkoina ja karttoina luvuissa 8 ja 9. Taulukossa IV on esitetty läänikohtaista tilastotietoa porakaivojen radonpitoisuudesta. Taulukossa V tarkastellaan radonpitoisuuden tunnuslukuja alueellisten ympäristökeskusten alueilla. Taulukossa VI on esitetty kuntakohtaiset radonpitoisuu- den tunnusluvut.

Kartassa 1 on esitetty porakaivojen radonpitoisuuden keskiarvot 10 x 10 km:n ruuduissa. Kartta 2 kuvaa kuntakohtaisia radonpitoisuuden keskiarvoja. Mukana ovat kaikki kunnat, joista on vähintään 1 mittausta/kunta. Kar- toissa 3 ja 4 on esitetty 300 Bq/l ja 1000 Bq/l ylittävien porakaivojen prosen- tuaalinen osuus kunnassa tehdyistä mittauksista. Mukana ovat vain ne kun- nat, joista on vähintään 10 mittausta/kunta.

Suomessa 13 alueellista ympäristökeskusta huolehtivat vesivarojen käytöstä ja hoidosta omalla toimialueellaan. Karttoissa 5–18 on tarkasteltu radontilan- netta alueellisten ympäristökeskusten alueilla ja Ahvenanmaalla. Yleensä alueellisten ympäristökeskusten toimialueisiin kuuluu 1–3 maakuntaa. Ra- donpitoisuuden keskiarvot on esitetty 5 x 5 km:n ruuduissa. Kartat on tuotet- tu MapInfo-karttaohjelmalla. Kunnanrajat ovat Karttakeskuksen kun200- tiedostosta vuodelta 1999.

Karttoja ja taulukoita IV-VI tarkasteltaessa on huomioitava, että keskiarvot ja ylitysprosentit eivät ole edustavia, vaan kuvaavat kaikkia alueen (lääni, alueellinen ympäristökeskus, kunta) mittauksia. Vuosien kuluessa mittauk- set ovat osittain keskittyneet korkeiden pitoisuuksien kuntiin ja kuntien si- sälläkin tietyille alueille, joista on ennestään löytynyt korkeita radonpitoi- suuksia. Edustavuus on ruutukartoissa parempi kuin kuntakartoissa.

Porakaivoveden radonpitoisuudet ovat suurimpia Uudellamaalla, Lounais- Suomessa, Hämeessä, Kaakkois-Suomessa, Kainuussa ja Ahvenanmaalla. Näillä alueilla radonpitoisuuden mediaanit ovat 200–350 Bq/l ja aritmeettiset keskiarvot 500–1300 Bq/l. Radonpitoisuudeltaan alhaisimpia alueita ovat Pohjois-Savo, Pohjois-Karjala ja Pohjois-Pohjanmaa. Mediaanit ovat 70–80 Bq/l ja aritmeettiset keskiarvot 180–300 Bq/l.

Kivilajin vaikutusta radonpitoisuuteen voidaan tarkastella käyttäen hyväksi Suomen jakoa noin 20 geokemialliseen provinssiin. Geokemiallisilta ominai-

suuksiltaan samanlaiset alkuaineet esiintyvät moreenissa alueittain yhdessä joko rikastuneina tai köyhtyneinä. Moreenin alkuainekoostumus heijastaa kallioperän koostumusta. Geokemialliset provinssit on esitetty Suomen geokemian atlaksen osassa 2 (Koljonen toim. 1992).

Porakaivojen radonpitoisuudet olivat suurimpia graniittisilla alueilla Etelä-Suomessa ja Lapissa. Ahvenanmaalla ja Kaakkois-Suomessa kallioperä on rapakivigraniittia. Radonpitoisuuden mediaanit ovat 350 ja 330 Bq/l. Uusimaa ja Varsinais-Suomen eteläosa kuuluvat Etelä-Suomen korkeametamorfiiseen vyöhykkeeseen, jossa esiintyy graniitteja ja migmatiitteja. Mediaani on 275 Bq/l. Lapin läänin etelä- ja keskiosa kuuluvat Keski-Lapin granitoidialueeseen. Mediaani on 270 Bq/l. Näillä kaikilla alueilla graniitteja luonnehtii keskimääräistä suurempi uraanipitoisuus. Korkeankin pitoisuuden alueella voivat lähellä toisiaan sijaitsevilla kaivoissa pitoisuudet vaihdella erittäin paljon. Radonpitoisuudet ovat pienimpiä Lapin vihreäkivivyöhykkeellä ja granuliittivyöhykkeellä. Mediaanit ovat vain 35 ja 15 Bq/l.

Tutkimusaineistossa porakaivojen syvyys vaihteli alle 10 metristä 400 metriin mediaanin ollessa 61 metriä. Keskimääräistä syvempiä kaivot olivat Etelä- ja Keski-Suomessa ja matalimpia Lapissa ja Kainuussa. Keski-Suomen ja Hämeen ympäristökeskusten alueella mediaanit olivat 69 ja 70 metriä. Lapin, Pohjois-Pohjanmaan ja Pohjois-Savon ympäristökeskusten alueella mediaanit olivat 36, 37 ja 40 metriä. Tämän tarkastelun perusteella ei kuitenkaan voi tehdä johtopäätöksiä syvyyden ja radonpitoisuuden eikä syvyyden ja kivilajialueen välisestä yhteydestä.

5 RESULTAT OCH DISKUSSION

Resultaten presenteras som tabeller och kartor i kapitel 8 och 9. Tabell IV upptar statistiska uppgifter om radonhalterna i borrbrunnar i de olika länen. I tabell V visas nyckeltal för radonhalterna inom de regionala miljöcentralernas områden. Tabell VI visar radonhalternas nyckeltal i kommunerna.

Karta 1 visar medelvärdet för radonhalten i borrbrunnar i rutor på 10 x 10 km. Karta 2 beskriver radonhalternas medelvärden i kommunerna. Alla kommuner med minst 1 mätning finns med. Kartorna 3 och 4 visar den procentuella andelen borrbrunnar med halter på över 300 respektive över 1000 Bq/l av alla mätningar som gjorts i kommunen. Medtagna är bara de kommuner där minst 10 mätningar gjorts.

I Finland sörjer 13 regionala miljöcentraler för användningen och skötseln av vattentillgångarna inom sitt verksamhetsområde. Kartorna 5–18 visar radonsituationen inom de regionala miljöcentralernas områden och på Åland. I allmänhet omfattar de regionala miljöcentralernas verksamhetsområden 1–3 landskap. Radonhalternas medelvärden visas i rutor på 5 x 5 km. Kartorna har gjorts med kartprogrammet MapInfo. Kommungränserna är tagna från kartcentralen Karttakeskus´ datafil kun200 av år 1999.

Vid granskning av kartorna och av tabellerna IV-VI bör det observeras, att medelvärdena och procenttalen för överskridningar inte är representativa utan beskriver alla mätningar på området (län, regional miljöcentral, kommun). Under årens lopp har mätningarna delvis koncentrerats till kommuner med höga halter och även inom kommunerna till vissa områden, där höga radonhalter tidigare har påträffats. Rutkartorna är mera representativa än kommunkartorna.

Radonhalterna i borrbrunnsvatten är högst i Nyland, Sydvästra Finland, Tavastland, Sydöstra Finland, Kajanaland och på Åland. I dessa regioner ligger radonhalternas medianer mellan 200 och 350 Bq/l och de aritmetiska medelvärdena mellan 500 och 1300 Bq/l. Regionerna med de lägsta radonhalterna är Norra Savolax, Norra Karelen och Norra Österbotten. Medianerna ligger här mellan 70 och 80 Bq/l och de aritmetiska medelvärdena mellan 180 och 300 Bq/l.

Bergartens inverkan på radonhalten kan undersökas genom att utnyttja Finlands indelning i ungefär 20 geokemiska provinser. Grundämnen med likartade geokemiska egenskaper uppträder i moränen tillsammans i olika områden, antingen anrikade eller utarmade. Moränens grundämnessammansättning avspeglar berggrundens sammansättning. De geokemiska provinserna finns presenterade i Suomen geokemian atlas (Geokemisk atlas över Finland), del 2 (Koljonen red. 1992)

Radonhalterna i borrbrunnar var högst i granitområden i södra Finland och Lappland. På Åland och i sydöstra Finland består berggrunden av rapakivi-granit. Radonhaltens medianer är här 350 respektive 330 Bq/l. Nyland och södra delen av Egentliga Finland hör till södra Finlands högmetamorfa zon, där det förekommer graniter och migmatiter. Här är medianen 275 Bq/l. Södra och mellersta delen av Lapplands län hör till mellersta Lapplands granitoidområde. Medianen är 270 Bq/l. I alla dessa områden karakteriseras graniterna av en högre uranhalt än genomsnittet. Också inom områden med hög halt kan halterna i brunnar som ligger nära varandra variera väldigt mycket. De lägsta radonhalterna finns i Lapplands grönstenszon och granulitzon. Medianerna är här bara 35 respektive 15 Bq/l.

Borrbrunnarnas djup varierade i undersökningsmaterialet från under 10 meter till 400 meter. Medianen var 61 meter. Djupare än genomsnittet var brunnarna i södra och mellersta Finland och grundast i Lappland och Kajana-land. I mellersta Finland och Tavastland var medianerna 69 och 70 meter. I Lappland, Norra Österbotten och Norra Savolax var medianerna 36, 37 och 40 meter. På basen av denna granskning kan man emellertid inte dra slutsatser om samband mellan djup och radonhalt eller mellan djup och bergartsområde.

5 RESULTS AND DISCUSSION

The results are presented as tables and maps in chapters 8 and 9. Table IV shows statistics on radon concentrations in drilled wells by provinces. The statistics of radon concentration in areas of regional environment centres are examined in Table V. Table VI presents the statistics of radon concentration in certain municipalities.

Map 1 demonstrates the mean radon concentration of drilled wells in 10 x 10 km squares. Map 2 shows the mean radon concentrations in municipalities. Municipalities having at least one measurement are included. The percentage of measured drilled wells in each municipality exceeding radon concentration of 300 Bq/l or 1,000 Bq/l are presented in Maps 3 and 4. Included are only those municipalities that have at least 10 measurements.

In Finland 13 regional environment centres are supervising the use and management of the water resources in their own region. Maps 5–18 show the radon situation in areas of regional environment centres and the Province of Åland. Usually the territory of a regional environment centre includes 1–3 provinces. The mean radon concentrations are shown according to 5 x 5 km squares. The maps have been drawn using the MapInfo mapping software. The borders of municipalities originate from the kun200-file of the State Map Centre made in 1999.

Looking at the maps and Tables IV-VI one should take into account that the mean values and the percentages of exceedings are not representative, but they depict all the measurements in the area (province, regional environment centre, municipality). In the process of time, the measurements have partly accumulated to certain municipalities or even inside municipalities to certain areas where high radon concentrations are found. The representativeness is better in the square maps than in the maps showing municipal regions.

The radon concentrations in water of drilled wells are highest in Uusimaa, Southwest Finland, Häme, Southeast Finland, Kainuu and on Åland Islands. The medians of radon concentration in these areas range from 200 to 350 Bq/l and the arithmetic means from 500 to 1,300 Bq/l. The areas of lowest radon concentrations in Finland are found in North Savo, North Karelia and North Ostrobothnia. The medians range from 70 to 80 Bq/l and the arithmetic means from 180 to 300 Bq/l.

The effect of rock type on radon concentration can be studied using the division of Finland into 20 geochemical provinces. Depending on the region studied, elements with similar geochemical characteristics can occur together in till either enriched or petered out. The composition of till reflects that of the bedrock. The geochemical provinces are presented in the Geochemical Atlas of Finland, Part 2 (Koljonen ed. 1992).

The highest radon concentrations in drilled wells are found in granitic areas in Southern Finland and Lapland. The bedrock in the Province of Åland and in Southeast Finland is of rapakivigranite. The medians for radon concentration are 350 and 330 Bq/l. Uusimaa and the southern part of Southwest Finland belong to the high-metamorphic zone of South Finland where granites and migmatites occur. The median is 275 Bq/l in that area. The southern and central parts of the province of Lapland belong to the granitoid area of Central Lapland, where the median is 270 Bq/l. In all these areas the granites are characterised by the higher than average uranium concentration. Even in the area of high concentration the measurement results of several individual wells located nearby may vary a great deal. Radon concentrations are lowest in the greenstone belt of Lapland and in the granulite zone, where the medians are only 35 and 15 Bq/l.

The depths of drilled wells in the study ranged from under 10 m to 400 m whereas the median was 61 m. Drilled wells were deeper than the average in South and Central Finland and shallower than the average in Lapland and Kainuu. The medians of well depth in the territories of Regional Environment Centres of Central Finland and Häme were 69 and 70 m, and those of Lapland, Northern Ostrobothnia and Northern Savo were 36, 37 and 40 m, respectively. The above values give, however, no grounds to make any conclusions on the connection between well depth and radon concentration, nor between depth and rock type.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET

Porakaivoveden radonpitoisuudet ovat suurimpia yleensä graniittialueilla Uudellamaalla, Lounais-Suomessa, Hämeessä, Kaakkois-Suomessa, Ahvenanmaalla, Kainuussa sekä Lapissa. Korkeankin pitoisuuden alueella voivat lähellä toisiaan sijaitsevissa kaivoissa pitoisuudet vaihdella erittäin paljon. Yksittäisiä suuria porakaivoveden radonpitoisuuksia voi esiintyä kaikkialla Suomessa.

Yksityisille, vakituksessa käytössä oleville kaivoille Säteilyturvakeskus suosittelee radonpitoisuuden pienentämistä, mikäli veden radonpitoisuus ylittää 1000 Bq/l. Tällöin on myös syytä selvittää, onko vedessä muita radioaktiivisia aineita.

Porakaivon radonpitoisuutta on etukäteen mahdoton tietää. Mittaus on ainoa keino selvittää se. Säteilyturvakeskus suosittelee kaikkien porakaivojen radonpitoisuuden mittaamista koko maassa. Tämä koskee sekä vakituisen asunnon että vapaa-ajan-asunnon porakaivoja. Erityisen tärkeää veden radonmittaus on korkean radonpitoisuuden alueilla. Säteilyturvakeskus ja paikalliset elintarvike- ja ympäristölaboratoriot tekevät radonmittauksia. Mittauksen voi tehdä mihin vuodenaikaan tahansa. Näytteenotto on tehtävä huolella ohjeiden mukaan.

Jos veden radonpitoisuus on suuri tai siinä on muita haitallisia aineita, olisi ensimmäiseksi selvitettävä, onko olemassa muita vedenhankintamahdollisuuksia. Kannattaa selvittää yhteisen vedenhankinnan järjestäminen naapureiden kanssa tai yleiseen vesijohtoverkkoon liittyminen. Myös rengaskaivoa kannattaa harkita. On myös mahdollista puhdistaa vesi haitallisista aineista.

Radon on aina poistettava koko talouden vedestä, koska vedenkäytön yhteydessä sitä vapautuu huoneilmaan. Radon voidaan poistaa vedestä joko ilmastamalla tai aktiivihiihaisuodatuksella. Molemmilla menetelmillä päästään hyviin tuloksiin. Radonin poistomenetelmistä on olemassa kirjallisuutta (Salonen ym. 1998, Myllymäki ym. 1999, Turtiainen et al. 2000, Mjones 2000).

6 SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

Radonhalten i borrbrunnsvatten är i allmänhet som högst inom granitområden i Nyland, sydvästra Finland, Tavastland, sydöstra Finland, på Åland, i Kajanaland och i Lappland. Också inom områden med hög halt kan halterna i brunnar som ligger nära varandra variera väldigt mycket. Enstaka höga radonhalter i borrbrunnsvatten kan förekomma överallt i Finland.

För privata brunnar i permanent bruk rekommenderar Strålsäkerhetscentralen att radonhalten sänks om vattnets radonhalt överstiger 1000 Bq/l. I dessa fall är det också skäl att reda ut om det finns andra radioaktiva ämnen i vattnet.

Det är omöjligt att veta radonhalten i en borrbrunn på förhand. Det enda sättet att ta reda på det är att mäta den. Strålsäkerhetscentralen rekommenderar att radonhalten mäts i alla borrbrunnar i hela Finland. Detta gäller både för permanenta bostäder och fritidsbostäder. Särskilt viktigt är det att mäta radonhalten på områden med hög radonhalt. Radonmätningar utförs av Strålsäkerhetscentralen samt av de lokala livsmedels- och miljölaboratorier. Mätningen kan utföras under vilken årstid som helst. Provtagningen skall göras med omsorg enligt de anvisningar som ges.

Om radonhalten i vattnet är hög eller om vattnet innehåller andra skadliga ämnen, borde man först reda ut om det finns andra möjligheter att få vatten. Det lönar sig att reda ut möjligheterna att anordna gemensam vattenanskaffning med grannarna eller att ansluta sig till det allmänna vattenledningsnätet. Också grävd brunn är värt att överväga. Det är även möjligt att rena vattnet från skadliga ämnen.

Radon skall alltid avlägsnas från allt vatten som används i hushållet, eftersom det avgår till inomhusluften när vattnet används. Radon kan avlägsnas ur vattnet antingen genom luftning eller genom filtrering med aktivt kol. Med båda metoderna når man goda resultat. Det finns litteratur som behandlar metoder för att avlägsna radon (Salonen o.a. 1998, Myllymäki o.a. 1999, Turtiainen et al. 2000, Mjönes 2000).

6 CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Radon concentrations of water in drilled wells are highest usually in granite areas which are found in Uusimaa, Southeast Finland, Häme, Southwest Finland, Kainuu, Lapland and on Åland Islands. Even in the area of high concentration the measurement results of several individual wells located nearby may vary a great deal. Occasional high radon concentrations of water in drilled wells can occur anywhere in Finland.

For private wells in regular use STUK recommends action to be taken to decrease the radon concentration of water if it exceeds 1,000 Bq/l. In such cases also the possible occurrence of other radionuclides in water should be determined.

Measurement is the only way to find out the radon concentration of a drilled well. STUK recommends that all drilled wells in Finland should be measured for radon. This concerns both drilled wells in connection with permanent dwellings and holiday apartments. Measuring drilled wells located in known areas of high radon concentration is extremely important. STUK and local foodstuff and environmental laboratories make radon measurements. The measurement can be made any time of the year. The sampling must be done carefully and in accordance with the instructions.

If water has a high radon concentration or other health-based criteria for water quality are not met, it should first be investigated whether any other water source is available. It is also worth negotiating with neighbours for a common water supply or joining a public water distribution system. A dug well is also a feasible option. It is also possible to purify water of harmful substances using various water treatment methods.

Radon should always be removed from all household water since radon is released into air whenever water is used. Radon can be removed either using aeration or granular activated carbon (GAC) filtration. Good results are attained with both methods above. Literature is available on radon removal (Salonen et al. 1998, Myllymäki et al. 1999, Turtiainen et al. 2000, Mjones 2000).

7 KIRJALLISUUSVIITTEET / REFERENSER / REFERENCES

Asikainen M. Natural radioactivity of ground water and drinking water in Finland. STL-A39, Institute of Radiation Protection, Helsinki, 1982.

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

Arvela H, Mäkeläinen I, Castrén O. Otantatutkimus asuntojen radonista Suomessa. STUK-A108. Oy Edita Ab, Helsinki, 1993. (Residential Radon Survey in Finland. Abstract in English).

Banks D, Midtgård A K, Morland G, Reimann C, Strand T, Bjorvatn K, Siewers U. Is pure groundwater safe to drink?: natural 'contamination' of groundwater in Norway. *Geology today*, May-June 1998: 104-113.

Koljonen T (toim.). Suomen geokemian atlas, osa 2: moreeni. Geologian tutkimuskeskus, Espoo: 1992: 1-218.

Mjönes L. Radon removal equipment based on aeration: A literature study of tests performed in Sweden between 1981 - 1996. SSI Report 2000:03. Swedish Radiation Protection Institute, 2000.

Korkka-Niemi K, Sipilä A, Hatva T, Hiisvirta L, Lahti K, Alftan G. Valtakunnallinen kaivovesitutkimus. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja A 146. Edita Oy, Helsinki, 1993. (National rural well survey. Abstract in English).

Myllymäki P, Turtiainen T, Salonen L, Helanterä A, Kärnä J, Turunen H. Radonin poisto porakaivovedestä. Uusia ilmastimia ja aktiivihiihliuodatusten käyttöönotto. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. Raportti 297/1999.

Mäkeläinen I, Salonen L, Huikuri P, Arvela H. Dose from drinking water in Finland. In Proceedings of the 12th ordinary meeting of the Nordic Society for Radiation Protection. Skagen, Denmark, August 23-27, 1999.

Salonen L. Talousveden radioaktiivisuus ja sen poistaminen. *Vesitalous* 6/1992; 3-10.

Salonen L. Measurements of low levels of ^{222}Rn in water with different commercial liquid scintillation counters and pulse shape analysis. In: Liquid Scintillation Spectrometry 1992. Radiocarbon 1993. Eds: Noakes J E, Shönhofer F, Polach H A. Braun-Brumfeild, Inc., Michigan, 1993: 361-372.

Salonen L. ^{238}U series radionuclides as a source of increased radioactivity in groundwater originating from Finnish bedrock. Future Groundwater Resources at Risk (Proceedings of the Helsinki Conference, June 1994). IAHS Publ. No. 222, 1994.

Salonen L. Luonnon radioaktiiviset aineet pohjavesiongelmana Suomessa. Vesitalous 4/1995; 13-18.

Salonen L, Huikuri P, Turtiainen T. Luonnon radioaktiiviset aineet pohjavesissä - poistolaitteiden tarve ja kehittäminen Suomessa. Vesitalous 4/1998; 35-40.

Salonen L, Hukkanen H. Advantaged 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..

Statens Strålskyddsinstitut. Radon i vatten. SSI information, i98:03, Stockholm, 1998.

ST-Ohje 12.3. Talousveden radioaktiivisuus. Säteilyturvakeskus, 1993.

ST-Direktiv 12.3. Radioaktivitet i hushållsvatten. Strålsäkerhetscentralen, 1993.

ST-Guide 12.3 Radioactivity of Household Water, STUK, 1993.

Strand T, Lind B, Thommesen G. Naturlig radioaktivitet i husholdningsvann fra borebrønner i Norge. Norsk Veterinaertidsskrift 1998; 100, 10: 662-665.

Strålsäkerhetscentralen. Radioaktivitet i dricksvatten. Strål- och kärnsäkerhetsöversikter, Maj 2000.

Säteilyturvakeskus. Juomaveden radioaktiivisuus. Säteily- ja ydinturvallisuuskatsauksia. Toukokuu 2000.

Turtiainen T, Kokkonen L, Salonen L. Removal of radon and other natural radionuclides from household water with domestic style granular activated carbon filters. STUK-A172. Helsinki: Oy Edita Ab, 2000.

8 TAULUKOT / TABELLER / TABLES

Taulukko IV. Läänikohtaisia porakaivoveden radonpitoisuuden tunnuslukuja. Aineisto sisältää STUKissa ja paikallisissa ympäristö- ja elintarvikelaboratorioissa mitatut vesinäytteet.

Tabell IV. Länsvisa nyckeltal för radonhalten i borrbrunnsvatten. Materialet omfattar vattenprov som mätts på Strålsäkerhetscentralen och i lokala miljö- och livsmedelslaboratorier.

Table IV. Statistics on radon concentrations in drilled wells by provinces. The material comprises all water samples measured by STUK or regional environment or food-stuff centres.

Lääni Län Province	Pora- kaivoja kpl	Arit- meetti- nen ka. Bq/l	Medi- aani Bq/l	Max Bq/l	>100 Bq/l %	>300 Bq/l %	>1000 Bq/l %
Kaikki mittaukset Alla mätningar All measurements	9 179	845	215	77 500	66	42	18
Ahvenanmaa / Åland	523	505	348	4 040	90	56	12
Etelä-Suomen lääni Södra Finlands län South Finland	4 919	1 140	281	77 500	70	49	24
Itä-Suomen lääni Östra Finlands län East Finland	822	323	120	12 400	52	26	7
Lapin lääni Lapplands län Lapland	281	299	63	2 760	44	26	9
Länsi-Suomen lääni Västra Finlands län West Finland	2 382	594	160	42 500	61	35	13
Oulun lääni Uleåborgs län Oulu province	252	468	108	5 990	51	31	15

Förklaring / Explanation

Porakaivoja, kpl = borrbrunnar, antal = drilled wells, number

Aritmeettinen ka. = aritmetiskt medelvärde = arithmetic mean

Mediaani = median

Taulukko V. Porakaivoveden radonpitoisuuden tunnuslukuja alueellisille ympäristökeskuksille. Aineisto sisältää STUKissa ja paikallisissa ympäristö- ja elintarvikelaboratorioissa mitatut vesinäytteet.

Tabell V. Nyckeltal för radonhalten i borrhvannsvatten enligt miljöcentralsregioner. Materialet omfattar vattenprov som mätts på Strålsäkerhetscentralen och i lokala miljö- och livsmedelslaboratorier.

Table V. Statistics on radon concentration in drilled wells according to areas of regional environment centres. The material comprises all water samples measured by STUK or regional environment or foodstuff centres.

Alueellinen ympäristökeskus Regional miljöcentral Regional environment centre	Pora- kaivoja kpl	Aritmeet- tinen ka. Bq/l	Medi- aani Bq/l	Max Bq/l	>100 Bq/l %	>300 Bq/l %	>1000 Bq/l %
Kaikki mittaukset / Alla mätningar / All measurements	9 179	845	215	77 500	66	42	18
Uusimaa / Nyland	3 307	1 309	300	77 500	69	50	27
Lounais-Suomi / Sydvästra Finland / Southwest Finland	1 235	791	182	42 500	63	38	16
Häme / Tavastland	1 028	937	239	31 000	68	45	22
Pirkanmaa / Birkaland	567	326	100	7 500	50	27	7
Kaakkois-Suomi / Sydöstra Finland / Southeast Finland	584	542	304	17 000	78	50	14
Etelä-Savo / Södra Savolax / South Savo	503	397	148	12 400	60	31	9
Pohjois-Savo / Norra Savolax / North Savo	226	218	83	3 200	42	20	4
Pohjois-Karjala / Norra Karelen / North Karelia	93	177	72	2 900	38	10	3
Keski-Suomi / Mellersta Finland / Central Finland	486	448	190	8 140	68	36	11
Länsi-Suomi / Västra Finland / West Finland	93	373	160	5 500	66	28	8
Pohjois-Pohjanmaa / Norra Österbotten / North Ostrobothnia	136	296	83	4 700	43	20	7
Kainuu / Kajanaland	116	671	200	5 990	60	43	24
Lappi / Lappland / Lapland	279	297	62	2 760	44	26	9
Ahvenanmaa / Åland	523	505	348	4 040	90	56	18

Förklaring / Explanation

Porakaivoja, kpl = borrhvannar, antal = drilled wells, number

Aritmeettinen ka. = aritmetiskt medelvärde = arithmetic mean

Mediaani = median

Taulukko VI. Porakaivoveden radonpitoisuuden tunnuslukuja kunnittain. Aineisto sisältää STUKissa ja paikallisissa ympäristö- ja elintarvikelaboratorioissa mitatut vesinäytteet.

Tabell VI. Nyckeltal för radonhalten i borrhunnar enligt kommun. Materialet omfattar vattenprov som mätts på Strålsäkerhetscentralen och i lokala miljö- och livsmedelslaboratorier.

Table VI. Statistics on radon concentration in drilled wells by municipalities. The material comprises all water samples measured by STUK or regional environment or foodstuff centres.

Förklaring / Explanation

Kunta = kommun = municipality

Porakaivoja, kpl = borrhunnar, antal = drilled wells, number

Aritmeettinen ka. = aritmetiskt medelvärde = arithmetic mean

Mediaani = median

>100 Bq/l, kpl = >100 Bq/l, antal = >100 Bq/l, number

Kaikki mittaukset = alla mätningar = all measurements

mlk = landskommun = rural district

Kunta	Pora- kai- voja kpl	Aritmeet- tinen ka. Bq/l	Medi- aani Bq/l	Max Bq/l	>100 Bq/l kpl	>300 Bq/l kpl	>1000 Bq/l kpl
kaikki mittaukset	9 179	845	215	77 500	6 040	3 862	1 667
ALAJÄRVI	1	69	69	69	0	0	0
ALASTARO	26	450	343	2 140	21	15	3
ALAVIESKA	1	91	91	91	0	0	0
ALAVUS / ALAVO	2	371	371	740	1	1	0
ANJALANKOSKI	52	591	518	1 600	50	36	8
ANTTOLA	13	494	487	1 030	13	9	1
ARTJÄRVI / ARTSJÖ	25	960	330	4 990	20	13	9
ASIKKALA	49	2 430	430	26 300	38	30	17
ASKAINEN / VILLNÄS	3	172	230	234	2	0	0
ASKOLA	38	9 429	945	77 500	38	29	17
BRÄNDÖ	14	339	201	1 200	11	6	1
DRAGSFJÄRD	27	1 379	360	8 600	25	17	6
ECKERÖ	33	730	607	2 090	31	26	9
ELIMÄKI / ELIMÄ	7	239	200	430	7	2	0

Kunta	Pora- kai- voja kpl	Aritmeet- tinen ka. Bq/l	Medi- aani Bq/l	Max Bq/l	>100 Bq/l kpl	>300 Bq/l kpl	>1000 Bq/l kpl
ENO	8	272	130	870	6	2	0
ENONKOSKI	1	350	350	350	1	1	0
ENONTEKIÖ / ENONTEKIS	14	487	374	1 450	13	8	2
ESPOO / ESBO	308	1 141	420	16 000	259	186	87
EURA	20	412	276	1 260	14	9	3
EURAJOKI / EURAAMINNE	18	257	108	1 326	9	3	2
FINSTRÖM	37	595	347	4 010	35	22	5
FORSSA	44	266	170	1 660	26	10	2
FÖGLÖ	52	353	219	3 250	42	19	2
GETA	28	365	283	1 625	25	11	1
HAAPAJÄRVI	1	250	250	250	1	0	0
HAAPAVESI	1	252	252	252	1	0	0
HALIKKO	27	939	300	3 800	20	13	8
HAMINA / FREDRIKSHAMN	7	350	280	840	6	3	0
HAMMARLAND	45	563	390	2 164	40	28	9
HANKASALMI	4	478	66	1 740	1	1	1
HANKO / HANGÖ	6	1 530	730	4 200	5	4	2
HARJAVALTA	6	56	24	229	1	0	0
HARTOLA / GUSTAV ADOLFS	31	186	99	777	15	6	0
HATTULA	18	722	67	6 000	7	5	3
HAUHO	13	215	130	580	10	3	0
HAUKIPUDAS	2	55	55	68	0	0	0
HAUKIVUORI	3	463	390	630	3	3	0
HAUSJÄRVI	88	1 453	407	31 000	66	48	27
HEINOLA	67	1 310	290	14 430	44	33	16
HEINÄVESI	3	81	65	144	1	0	0
HELSINKI / HELSINGFORS	92	1 863	611	19 240	75	58	33
HIMANKA / HIMANGO	1	2 706	2 706	2 706	1	1	1

Kunta	Pora- kai- voja kpl	Aritmeet- tinen ka. Bq/l	Medi- aani Bq/l	Max Bq/l	>100 Bq/l kpl	>300 Bq/l kpl	>1000 Bq/l kpl
HIRVENSALMI	6	212	125	520	6	1	0
HOLLOLA	66	778	219	6 770	45	28	14
HOUTSKARI / HOUTSKÄR	7	110	100	200	3	0	0
HUITTINEN	2	354	354	680	1	1	0
HUMPPILA	16	561	270	3 770	12	6	1
HYRYNSALMI	4	778	115	2 880	2	1	1
HYVINKÄÄ / HYVINGE	75	790	280	7 400	54	35	16
HÄMEENKOSKI	14	1 208	960	4 100	13	10	7
HÄMEENKYRÖ / TAVASTKYRO	7	200	110	610	4	2	0
HÄMEENLINNA / TAVASTEHEUS	11	2 212	1 600	9 500	9	8	8
II / IJO	1	19	19	19	0	0	0
IISALMI / IDENSALMI	17	88	32	407	4	2	0
IITTI / ITIS	34	1 124	333	17 000	26	17	9
IKAALINEN / IKALIS	16	328	100	1 700	5	4	2
ILMAJOKI / ILMOLA	2	26	26	37	0	0	0
ILOMANTSI / ILOMANTS	5	620	570	1 120	5	3	1
IMATRA	8	1 065	677	3 010	7	4	4
INARI / ENARE	38	82	13	642	7	4	0
INIÖ	6	505	250	1 200	6	2	2
INKOO / INGÅ	66	1 528	250	30 300	46	30	13
ISOKYRÖ / STORKYRO	1	63	63	63	0	0	0
JAALA	35	652	355	4 070	26	21	7
JALASJÄRVI	12	449	250	2 800	7	6	1
JANAKKALA	35	1 328	600	5 920	28	23	14
JOENSUU	1	160	160	160	1	0	0
JOKIOINEN / JOCKIS	21	128	100	500	10	2	0
JOMALA	42	518	283	1 960	38	20	6
JOROINEN / JOROIS	30	118	43	1 000	8	2	0
JOUTSA	16	241	165	890	10	4	0
JOUTSENO	9	225	51	1 420	3	1	1

Kunta	Pora- kai- voja kpl	Aritmeet- tinen ka. Bq/l	Medi- aani Bq/l	Max Bq/l	>100 Bq/l kpl	>300 Bq/l kpl	>1000 Bq/l kpl
JUANKOSKI	3	254	233	444	2	1	0
JUUKA / JUGA	11	82	38	300	3	0	0
JUUPAJOKI	4	668	621	1 370	3	2	2
JUVA	37	435	130	4 800	21	11	4
JYVÄSKYLÄ	6	288	132	1 000	3	2	0
JYVÄSKYLÄN MLK	37	343	100	4900	18	8	2
JÄMSÄ	75	583	292	4440	59	36	13
JÄMSÄNKOSKI	16	836	155	8140	10	5	3
JÄPPILÄ	9	89	56	290	2	0	0
JÄRVENPÄÄ / TRÄSKÄNDA	26	2 038	1300	11300	25	22	15
KAARINA / S:T KARINS	8	92	45	430	1	1	0
KAABI	6	526	425	1 300	4	4	1
KAJAANI / KAJANA	43	1 174	740	5 990	37	33	19
KALVOLA	9	60	59	170	1	0	0
KANGASALA	22	101	100	316	3	1	0
KANGASLAMPI	26	123	58	730	10	2	0
KANGASNIEMI	35	258	100	3 420	17	6	1
KANKAANPÄÄ	7	80	49	240	3	0	0
KANNONKOSKI	1	1 400	1400	1 400	1	1	1
KANNUS	1	703	703	703	1	1	0
KARINAINEN	2	470	470	540	2	2	0
KARJAA / KARIS	13	3 009	795	12 900	12	10	6
KARJALOHJA / KARISLOJO	47	2 539	760	17 900	43	38	22
KARKKILA / HÖGFORS	18	248	72	1 900	7	3	1
KARSTULA	8	596	279	1 500	5	4	3
KARTTULA	9	75	66	140	2	0	0
KARVIA	1	26	26	26	0	0	0
KAUHAJOKI	1	326	326	326	1	1	0
KAUHAVA	2	28	28	37	0	0	0
KAUNIAINEN / GRANKULLA	14	4 595	910	24 000	13	11	6

Kunta	Pora- kai- voja kpl	Aritmeet- tinen ka. Bq/l	Medi- aani Bq/l	Max Bq/l	>100 Bq/l kpl	>300 Bq/l kpl	>1000 Bq/l kpl
KEITELE	4	1 283	1 400	1 970	4	4	3
KEMI	3	31	23	49	0	0	0
KEMIJÄRVI	31	773	540	2 700	28	20	8
KEMINMAA	3	54	31	120	1	0	0
KEMIÖ / KIMITO	24	1 723	900	11 700	22	16	12
KEMPELE	1	58	58	58	0	0	0
KERAVA / KERVO	9	1 205	620	5 500	7	6	4
KERIMÄKI	2	124	124	204	1	0	0
KESÄLAHTI	1	128	128	128	1	0	0
KEURUU / KEURU	49	646	348	5 700	45	29	9
KIHNIÖ	10	255	120	860	5	3	0
KIIHTELYSVAARA	1	171	171	171	1	0	0
KIIKALA	32	1 315	205	18 300	21	13	6
KIIKOINEN	3	79	82	129	1	0	0
KIIMINKI / KIMINGE	1	18	18	18	0	0	0
KINNULA	5	888	620	1 800	5	5	2
KIRKKONUMMI / KYRKSΛÄTT	510	1 265	479	17 000	399	302	173
KISKO	50	2 028	325	35 000	43	28	14
KITEE / KIDES	5	58	40	150	1	0	0
KITILÄ / KITTFALL	39	74	21	730	6	4	0
KIUKAINEN / KIUKAIS	1	17	17	17	0	0	0
KIURUVESI	17	136	98	413	8	2	0
KIVIJÄRVI / KIVJÄRV	2	195	195	300	1	0	0
KODISJOKI	6	306	284	420	6	2	0
KOKEMÄKI / KUMO	3	177	76	430	1	1	0
KOKKOLA / KARLEBY	1	99	99	99	0	0	0
KOLARI	15	404	220	2 500	10	6	1
KONNEVESI	5	840	340	2 200	4	3	2
KONTIOLAHTI	7	255	111	1 110	4	1	1
KORPILAHTI	24	166	130	814	14	2	0
KORPPOO / KORPO	10	157	66	900	4	1	0
KORSNÄS	1	250	250	250	1	0	0

Kunta	Pora- kai- voja kpl	Aritmeet- tinen ka. Bq/l	Medi- aani Bq/l	Max Bq/l	>100 Bq/l kpl	>300 Bq/l kpl	>1000 Bq/l kpl
KOSKI TL / KOSKIS	10	754	172	5 440	7	4	1
KOTKA	48	686	340	2 812	41	29	11
KOUVOLA	6	594	440	1 340	5	4	1
KRISTIINANKAUPUNKI / KRISTINESTAD	4	31	27	59	0	0	0
KRUUNUPYY / KRONOBY	3	1 906	215	5 500	2	1	1
KUHMALAHTI	3	123	24	325	1	1	0
KUHMO	16	448	170	2 226	10	5	3
KUHMOINEN	17	117	90	440	8	1	0
KUIVANIEMI	1	82	82	82	0	0	0
KULLAA / KULLA	8	46	18	231	1	0	0
KUMLINGE	19	618	607	1 426	15	12	4
KUOPIO	34	214	138	1 295	19	5	2
KUOREVESI	13	675	407	2 479	10	7	3
KUORTANE	1	170	170	170	1	0	0
KURU	16	665	295	3 700	12	8	3
KUSTAVI / GUSTAVS	18	449	262	1 800	14	8	2
KUUSAMO	81	173	84	1 200	34	12	2
KUUSANKOSKI	6	190	139	340	5	2	0
KUUSJOKI	7	1 403	1 375	2 368	7	7	4
KYLMÄKOSKI	10	162	163	318	6	1	0
KYYJÄRVI	1	448	448	448	1	1	0
KÄLVIÄ / KELVIÄ	1	260	260	260	1	0	0
KÄRKÖLÄ	13	1 465	440	5 100	11	9	5
KÖKAR	6	259	163	780	5	1	0
KÖYLIÖ / KJULO	7	1 276	240	5 550	5	3	2
LAHTI / LAHTIS	23	618	285	3 367	14	11	4
LAITILA / LETALA	26	140	118	415	14	2	0
LAMMI	24	594	320	4 030	15	12	3
LAPINJÄRVI / LAPPTRÄSK	54	703	408	5 100	45	34	10
LAPINLAHTI	22	69	36	333	4	1	0

Kunta	Pora- kai- voja kpl	Aritmeet- tinen ka. Bq/l	Medi- aani Bq/l	Max Bq/l	>100 Bq/l kpl	>300 Bq/l kpl	>1000 Bq/l kpl
LAPPAJÄRVI	4	150	90	411	2	1	0
LAPPEENRANTA	38	306	215	1 500	28	15	1
LAPPI	20	207	140	680	11	6	0
LAUKAA / LAUKAS	11	541	167	2 800	9	3	2
LAVIA	5	63	44	150	2	0	0
LEIVONMÄKI	6	206	65	666	2	2	0
LEMI	4	79	65	170	1	0	0
LEMLAND	46	536	501	1 943	41	33	4
LEMPÄÄLÄ	21	230	150	1 000	11	5	0
LEMU / LEMO	3	47	40	60	0	0	0
LEPPÄVIRTA	16	121	95	360	6	1	0
LESTIJÄRVI	1	926	926	926	1	1	0
LIEKSA	18	89	92	190	7	0	0
LIETO / LUNDO	27	433	100	3 900	13	6	2
LILJENDAL	19	430	140	3 964	12	2	2
LIPERI / LIBELITS	5	29	16	67	0	0	0
LOHJA / LOJO	197	379	80	12 680	84	48	18
LOIMAA	2	225	225	260	2	0	0
LOIMAAN KUNTA	39	1 069	685	6 000	34	29	15
LOPPI	98	356	138	3 677	56	29	10
LOVIISA / LOVISA	11	1 298	307	6 000	10	6	4
LUHANKA	10	464	194	1 300	7	4	2
LUMIJOKI	1	252	252	252	1	0	0
LUMPARLAND	15	397	315	1 096	15	8	1
LUOPIOINEN	9	202	110	550	5	2	0
LUUMÄKI	13	350	236	930	9	5	0
LUVIA	7	79	54	310	1	1	0
LÄNGELMÄKI	33	469	274	5 300	24	15	2
MAALAHTI / MALAX	1	207	207	207	1	0	0
MAANINKA	7	199	120	592	4	1	0
MAARIANHAMINA / MARIEHAMN	94	395	305	1 763	84	47	7

Kunta	Pora- kai- voja kpl	Aritmeet- tinen ka. Bq/l	Medi- aani Bq/l	Max Bq/l	>100 Bq/l kpl	>300 Bq/l kpl	>1000 Bq/l kpl
MARTTILA / S:T MÅRTENS	8	1 007	640	2 708	8	8	3
MASKU	6	132	42	500	2	1	0
MELLILÄ	4	876	779	1 454	4	4	1
MERIJÄRVI / STORSJÖN	1	5	5	5	0	0	0
MERIMASKU	11	446	210	1 800	9	5	1
MIHIKKÄLÄ	25	318	310	930	23	13	0
MIETOINEN / MIETOIS	4	59	39	130	1	0	0
MIKKELI / S:T MICHEL	29	373	180	1 800	18	9	3
MIKKELIN MLK / S:T MICHELS LK	26	354	145	2 000	18	9	2
MULTIA	4	265	184	518	4	1	0
MUONIO	2	107	107	160	1	0	0
MUSTASAARI / KORSHOLM	3	116	150	190	2	0	0
MUURAME	3	59	56	110	1	0	0
MUURLA	8	238	174	975	5	1	0
MYNÄMÄKI / VIRMO	5	265	223	520	4	2	0
MYRSKYLÄ / MÖRSKOM	47	572	240	2 970	32	21	8
MÄNTSÄLÄ	101	891	400	8 800	83	58	23
MÄNTTÄ	3	148	110	285	2	0	0
MÄNTYHARJU	62	380	190	3 600	40	20	5
NAANTALI / NÄDENDAL	14	4 132	69	30 000	4	3	2
NAKKILA	5	15	7	46	0	0	0
NASTOLA	33	778	480	4 900	28	20	8
NAUVO / NAGU	10	162	165	410	6	2	0
NILSIÄ	4	238	103	730	2	1	0
NOKIA	24	261	100	1 100	9	6	2
NOORMARKKU / NORRMARK	5	32	28	80	0	0	0
NOUSIAINEN / NOUSIS	4	128	74	330	2	1	0

Kunta	Pora- kai- voja kpl	Aritmeet- tinen ka. Bq/l	Medi- aani Bq/l	Max Bq/l	>100 Bq/l kpl	>300 Bq/l kpl	>1000 Bq/l kpl
NUMMI-PUSULA	102	196	62	3 870	35	15	3
NURMES	12	64	43	271	1	0	0
NURMIJÄRVI	77	333	37	21 100	9	3	1
NÄRPIÖ / NÄRPES	1	160	160	160	1	0	0
ORIMATTILA	90	1 231	600	12 000	77	64	32
ORIPÄÄ	16	382	238	969	13	7	0
ORIVESI	31	355	150	3 200	20	10	2
OULAINEN	2	542	542	1 050	1	1	1
OULU / ULEÅBORG	3	476	666	740	2	2	0
OUTOKUMPU	5	68	72	100	0	0	0
PADASJOKI	11	372	130	2 300	6	2	1
PAIMIO / PEMAR	14	1 542	860	4 000	14	10	6
PALTAMO	7	72	43	160	2	0	0
PARAINEN / PARGAS	41	190	55	3 800	11	4	1
PARIKKALA	24	440	270	1 340	17	11	4
PARKANO	21	366	210	1 600	14	8	2
PATTIJOKI	1	8	8	8	0	0	0
PEDERSÖRE	1	236	236	236	1	0	0
PELKOSENNIEMI	3	26	34	38	0	0	0
PELLO	5	136	65	400	2	1	0
PERHO	2	233	233	250	2	0	0
PERNAJA / PERNÄ	97	1 579	503	29 415	77	59	36
PERNIÖ / BJÄRNÄ	36	1 846	690	14 615	31	27	16
PERTTELI / S:T BERTILS	10	864	116	5 750	5	4	2
PERTUNMAA	28	670	99	12 400	14	7	3
PERÄSEINÄJOKI	4	243	208	407	4	1	0
PETÄJÄVESI	5	211	110	670	3	1	0
PIEKSÄMÄEN MLK	8	246	110	1 300	4	1	1
PIELAVESI	15	223	74	1 369	7	4	1
PIETARSAARI / JAKOBSTAD	2	91	91	129	1	0	0
PIHTIPUDAS	6	1 122	820	3 200	6	5	2

Kunta	Pora- kai- voja kpl	Aritmeet- tinen ka. Bq/l	Medi- aani Bq/l	Max Bq/l	>100 Bq/l kpl	>300 Bq/l kpl	>1000 Bq/l kpl
PIIKKIÖ / PIKIS	16	56	37	340	1	1	0
PIRKKALA / BIRKALA	11	825	100	7 500	4	2	1
POHJA / POJO	11	2 830	920	10 000	9	9	5
POLVIJÄRVI	3	140	139	200	2	0	0
POMARKKU / PÅMARK	4	144	33	508	1	1	0
PORI / BJÖRNEBORG	21	91	22	390	6	3	0
PORNAINEN / BORGNÄS	74	1 373	276	10 800	53	34	22
PORVOO / BORGÅ	144	1 123	280	32 300	106	69	35
POSIO	10	215	97	1 200	5	1	1
PUDASJÄRVI	2	34	34	36	0	0	0
PUKKILA / BUCKILA	22	1 012	170	8 700	12	10	6
PULKKILA	1	370	370	370	1	1	0
PUNKAHARJU	32	360	126	2 590	18	10	2
PUNKAL Aidun	30	287	140	2 720	18	6	2
PUOLANKA	3	106	94	190	1	0	0
PUUMALA	26	486	174	3 860	20	11	3
PYHTÄÄ / PYTTIS	27	497	407	1 576	24	17	4
PYHÄJOKI	11	1 565	560	4 700	9	7	5
PYHÄRANTA	8	306	185	1 296	6	2	1
PYHÄSALMI	3	75	71	150	1	0	0
PYHÄSELKÄ	2	39	39	41	0	0	0
PYLKÖNMÄKI	1	570	570	570	1	1	0
PÄLKÄNE	11	580	490	1 500	7	7	2
PÖYTYÄ	8	746	588	1 520	8	8	2
RAAHE / BRAHESTAD	1	9	9	9	0	0	0
RAISIO / RESO	6	1 150	131	5 100	3	2	2
RANTASALMI	31	611	80	2 980	15	13	6
RANUA	8	68	32	370	1	1	0
RAUMA / RAUMO	40	169	113	1 000	21	5	0
RAUTALAMPI	5	214	84	777	2	1	0
RAUTAVAARA	6	664	204	3 200	3	3	1
RAUTJÄRVI	10	349	120	1 740	5	3	1

Kunta	Pora- kai- voja kpl	Aritmeet- tinen ka. Bq/l	Medi- aani Bq/l	Max Bq/l	>100 Bq/l kpl	>300 Bq/l kpl	>1000 Bq/l kpl
RENKO	14	838	284	4 800	12	7	5
RIIHIMÄKI	64	519	157	5 182	42	20	6
RISTIINA / KRISTINA	59	499	290	3 210	47	26	6
RISTIJÄRVI	2	351	351	680	1	1	0
ROVANIEMEN MLK	29	713	410	2 627	19	15	10
ROVANIEMI	4	885	340	2 760	3	2	1
RUOKOLAHTI / RUOKOLAX	58	756	150	7 480	33	25	12
RUOTSINPYHTÄÄ / STRÖMFORS	55	793	400	6 900	47	31	9
RUOVESI	30	619	190	2 479	20	12	7
RUSKO	6	4 685	160	27 500	4	1	1
RUUKKI	1	380	380	380	1	1	0
RYMÄTTYLÄ / RIMITO	20	237	60	1 700	7	3	2
RÄÄKKYLÄ	1	42	42	42	0	0	0
SAARI / SAARIS	9	1 111	518	3 600	8	7	2
SAARIJÄRVI	5	810	360	2 200	4	4	2
SAHALAHTI	3	117	100	150	1	0	0
SALLA	18	130	73	500	8	2	0
SALO	10	921	218	5 750	7	4	2
SALTVIK	47	771	431	4 040	46	33	11
SAMMATTI	57	1 642	303	20 000	41	29	17
SAUVO / SAGU	21	492	230	3 650	12	9	3
SAVITAIPALE	3	145	200	210	2	0	0
SAVONLINNA / NYSLOTT	20	410	165	3 500	12	5	2
SAVUKOSKI	4	239	136	660	2	1	0
SIIKAINEN	7	120	130	290	4	0	0
SIILINJÄRVI	18	226	96	875	8	4	0
SIMO	4	100	65	254	1	0	0
SIPOO / SIBBO	258	822	88	14 100	113	74	47
SIUNTIO / SJUNDEÅ	100	1 940	1 075	21 600	85	73	52
SODANKYLÄ	35	209	39	2 500	13	7	1

Kunta	Pora- kai- voja kpl	Aritmeet- tinen ka. Bq/l	Medi- aani Bq/l	Max Bq/l	>100 Bq/l kpl	>300 Bq/l kpl	>1000 Bq/l kpl
SOINI	9	181	120	490	8	2	0
SOMERO	82	1 063	232	15 318	53	34	19
SONKAJÄRVI	8	226	27	1 000	2	2	0
SOTKAMO	23	463	77	3 900	10	6	3
SOTTUNGA	13	435	388	996	12	10	0
SULKAVA	14	861	650	2 910	11	9	4
SUMIAINEN	28	166	90	620	13	5	0
SUND	14	697	421	3 810	14	8	2
SUODENNIEMI	5	111	100	213	1	0	0
SUOLAHTI	19	299	130	850	11	6	0
SUOMENNIEMI	3	114	110	167	2	0	0
SUOMUSJÄRVI	64	1 784	288	42 500	44	31	20
SUOMUSSALMI	16	288	72	1 400	6	4	2
SUONENJOKI	3	76	45	150	1	0	0
SYSMÄ	43	246	90	3 330	18	9	2
SÄKYLÄ	16	218	170	560	11	4	0
SÄRKISALO / FINBY	20	872	750	2 800	17	14	7
TAIPALSAARI	6	304	83	1 150	2	2	1
TAIVALKOSKI	14	207	44	1 300	4	2	1
TAIVASSALO / TÖVSALA	13	230	150	666	8	4	0
TAMMELA	79	1 668	320	21 000	56	42	27
TAMMISAARI / EKENÄS	78	1 255	213	16 000	52	32	21
TAMPERE / TAMMERFORS	60	252	100	2 400	23	13	4
TARVASJOKI	5	1 867	680	4 875	5	4	2
TERVO	2	315	315	360	2	1	0
TERVOLA	6	48	41	105	1	0	0
TEUVA / ÖSTERMARK	2	111	111	185	1	0	0
TOIJALA	6	98	100	148	2	0	0
TOIVAKKA	4	110	94	240	2	0	0
TORNIO / TORNEÅ	4	38	32	79	0	0	0
TURKU / ÅBO	67	231	89	2 820	30	14	1

Kunta	Pora- kai- voja kpl	Aritmeet- tinen ka. Bq/l	Medi- aani Bq/l	Max Bq/l	>100 Bq/l kpl	>300 Bq/l kpl	>1000 Bq/l kpl
TUULOS	13	538	170	3 530	8	5	1
TUUPOVAARA	2	1 896	1 896	2 900	2	2	1
TUUSNIEMI	3	154	90	370	1	1	0
TUUSULA / TUSBY	100	840	209	20 500	70	44	18
TÖYSÄ	2	271	271	540	1	1	0
ULVILA / ULVSBY	1	233	233	233	1	0	0
URJALA	44	252	100	3 020	19	5	3
UTSJOKI	5	91	70	210	2	0	0
UUKUNIEMI	3	78	89	111	1	0	0
UURAINEN	3	890	600	1 800	3	2	1
UUSIKAARLEPYÄ / NYKARLEBY	3	86	103	140	2	0	0
UUSIKAUPUNKI / NYSTAD	42	615	315	2 600	32	21	9
VAASA / VASA	5	108	133	180	3	0	0
VALKEAKOSKI	46	125	36	2 480	7	3	1
VALKEALA	55	490	271	1 924	41	24	9
VALTIMO	6	98	43	370	1	1	0
VAMMALA	9	108	91	330	2	1	0
VAMPULA	15	301	320	845	11	8	0
VANTAA / VANDA	355	2 365	670	62 400	303	248	152
VARKAUS	7	198	120	420	4	3	0
VARPAISJÄRVI	6	55	49	100	0	0	0
VEHKALAHTI / VECKELAX	53	452	330	1 830	48	32	4
VEHMAA / VEHMO	13	1 058	260	5 180	13	5	3
VEHMERSALMI	5	354	83	1 147	2	2	1
VESANTO	3	286	143	666	2	1	0
VESILAHTI	5	284	152	550	4	2	0
VETELI / VETIL	1	2	2	2	0	0	0
VIEREMÄ	6	465	172	1 900	3	2	1
VIHANTI	1	300	300	300	1	0	0
VIHTI / VICHTIS	126	86	49	1 539	20	4	1

Kunta	Pora- kai- voja kpl	Aritmeet- tinen ka. Bq/l	Medi- aani Bq/l	Max Bq/l	>100 Bq/l kpl	>300 Bq/l kpl	>1000 Bq/l kpl
VIITASAARI	12	1 163	315	5 950	10	6	3
VILJAKKALA	5	95	100	250	1	0	0
VILPPULA	33	498	340	2 850	24	17	4
VIMPELI / VINDALA	1	37	37	37	0	0	0
VIROLAHTI / VEDERLAX	34	343	310	850	32	18	0
VIRRAT / VIRDOIS	46	305	155	1 300	31	15	2
VIRTASALMI	3	19	14	33	0	0	0
VUOLIJOKI	2	132	132	190	1	0	0
VÄSTANFJÄRD	17	1 059	810	3 500	14	13	6
VÄRDÖ	18	262	257	449	18	7	0
YLI – II	2	491	491	970	1	1	0
YLIHÄRMÄ	1	19	19	19	0	0	0
YLIKIIKINKI	1	52	52	52	0	0	0
YLISTARO	1	493	493	493	1	1	0
YLITORNIO / ÖVERTORNEÅ	1	1 040	1 040	1 040	1	1	1
YLIVIESKA	1	104	104	104	1	0	0
YLÄMAA	7	201	140	460	5	2	0
YLÄNE	14	321	76	3 404	5	1	1
YLÖJÄRVI	10	91	97	308	1	1	0
YPÄJÄ	16	202	125	840	9	4	0
ÄETSÄ	1	340	340	340	1	1	0
ÄHTÄRI / ETSERI	15	676	470	2 500	14	8	4
ÄÄNEKOSKI	103	332	180	2 500	68	33	7

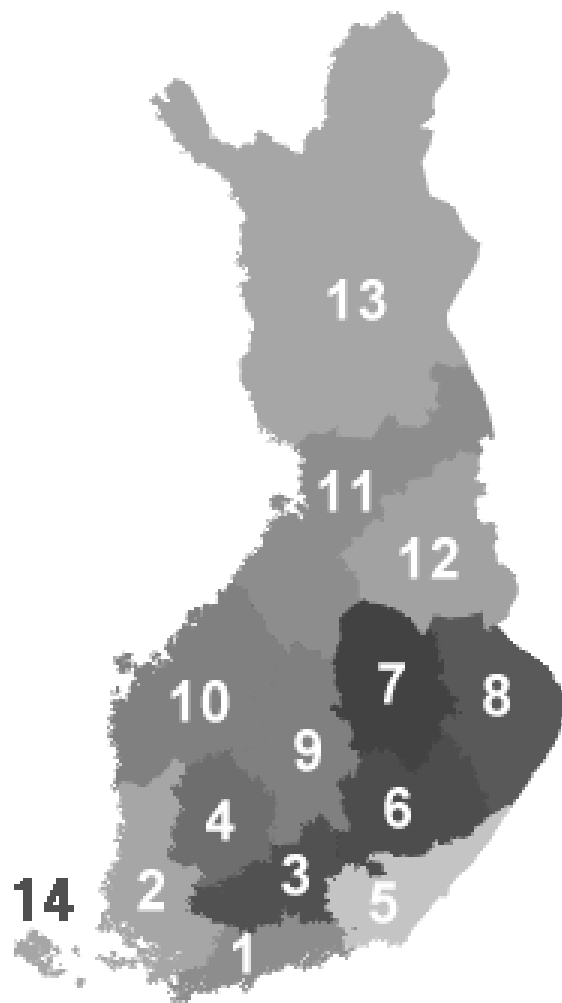
9 KARTAT / KARTOR / MAPS

Kuva 1. Alueelliset ympäristökeskukset ja niiden sijainti. (www.vyh.fi)

Bild 1. De regionala miljöcentralerna och deras läge. (www.vyh.fi)

Fig. 1. The regional environment centres and their locations. (www.vyh.fi)

1. **Uudenmaan ympäristökeskus / Nylands miljöcentral / Uusimaa environment centre**
2. **Lounais-Suomen ympäristökeskus / Sydvästra Finlands miljöcentral / Southwest Finland environment centre**
3. **Hämeen ympäristökeskus / Tavastlands miljöcentral / Häme environment centre**
4. **Pirkanmaan ympäristökeskus / Birkalands miljöcentral / Pirkanmaa environment centre**
5. **Kaakkois-Suomen ympäristökeskus / Sydöstra Finlands miljöcentral / Southeast Finland environment centre**
6. **Etelä-Savon ympäristökeskus / Södra Savolax´ miljöcentral / South Savo environment centre**
7. **Pohjois-Savon ympäristökeskus / Norra Savolax´ miljöcentral / North Savo environment centre**
8. **Pohjois-Karjalan ympäristökeskus / Norra Karelens miljöcentral / North Karelia environment centre**
9. **Keski-Suomen ympäristökeskus / Mellersta Finlands miljöcentral / Central Finlands environment centre**
10. **Länsi-Suomen ympäristökeskus / Västra Finlands miljöcentral / West Finlands environment centre**
11. **Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus / Norra Österbottens miljöcentral / North Ostrobothnia environment centre**
12. **Kainuun ympäristökeskus / Kajanalands miljöcentral / Kainuu environment centre**
13. **Lapin ympäristökeskus / Lapplands miljöcentral / Laplands environment centre**
14. **Ahvenanmaa / Åland / the Province of Åland**



Kartta 1

*Porakaivoveden radonpitoisuus
Aritmeettinen keskiarvo 10 x 10 km:n ruudussa
Vähintään yksi radonmittaus/ruutu
Noin 9 000 porakaivoveden radonmittausta.*

Karta 1

*Radonhalten i borrbrunnar
Aritmetiska medelvärden i 10 x10 km rutor
Minst en radonmätning i varje ruta
Ca 9 000 radonmätningar i borrbrunnar*

Map 1

*Radon in drilled wells
Arithmetic means in 10 x 10 km squares
Minimum of one radon measurement per square
Approximately 9,000 radon measurements of drilled wells*

KARTTA / KARTA / MAP 1

Kartta 2

*Porakaivoveden radonpitoisuus
Kuntakohtaiset keskiarvot
Vähintään yksi radonmittaus/kunta
Noin 9 000 radonmittausta*

Karta 2

*Radonhalten i borrhunnar
Aritmetiska medelvärden i kommunerna
Minst en radonmätning i varje kommun
Ca 9 000 radonmätningar i borrhunnar*

Map 2

*Radon in drilled wells
Arithmetic means in municipalities
Minimum of one measurement per municipality
Approximately 9,000 radon measurements of drilled wells*

KARTTA / KARTA / MAP 2

Kartta 3

*Porakaivoveden radonpitoisuus
300 Bq/l ylittävien porakaivojen prosentuaalinen osuus kunnittain
Vähintään 10 radonmittausta/kunta*

Karta 3

*Radonhalten i borrbrunnar
Borrbrunnar med över 300 Bq/l i procent per kommun
Minst 10 radonmätningar i varje kommun*

Map 3

*Radon in drilled wells
Percentage of drilled wells in municipalities exceeding radon concentration of
300 Bq/l
Minimum of 10 radon measurements per municipality*

KARTTA / KARTA / MAP 3

Kartta 4

*Porakaivoveden radonpitoisuus
1000 Bq/l ylittävien porakaivojen prosentuaalinen osuus kunnittain
Vähintään 10 radonmittausta/kunta*

Karta 4

*Radonhalten i borrbrunnar
Borrbrunnar med över 1000 Bq/l i procent per kommun
Minst 10 radonmätningar i varje kommun*

Map 4

*Radon in drilled wells
Percentage of drilled wells in municipalities exceeding radon concentration of
1,000 Bq/l
Minimum of 10 radon measurements per municipality*

KARTTA / KARTA / MAP 4

Kartta 5

*Porakaivoveden radonpitoisuus
Uudenmaan ympäristökeskus
Noin 3180 porakaivoa*

*Aritmeettinen keskiarvo
Ruudun koko 5 x 5 km
Vähintään yksi radonmittaus/ruutu*

Karta 5

*Radonhalten i borrbrunnar
Nylands miljöcentral
Ca 3180 borrbrunnar*

*Aritmetiska medelvärden
Rutans storlek 5 x 5 km
Minst en radonmätning i varje ruta*

Map 5

*Radon in drilled dwells
Uusimaa environment centre
Approximately 3,180 drilled wells*

*Arithmetic mean
Size of one square 5 x 5 km
Minimum of one radon measurement per square*

KARTTA / KARTA / MAP 5

Kartta 6

*Porakaivoveden radonpitoisuus
Lounais-Suomen ympäristökeskus
Noin 1190 porakaivoa*

*Aritmeettinen keskiarvo
Ruudun koko 5 x 5 km
Vähintään yksi radonmittaus/ruutu*

Karta 6

*Radonhalten i borrbrunnar
Sydvästra Finlands miljöcentral
Ca 1190 borrbrunnar*

*Aritmetiska medelvärden
Rutans storlek 5 x 5 km
Minst en radonmätning i varje ruta*

Map 6

*Radon in drilled dwells
Southwest Finland environment centre
Approximately 1,190 drilled wells*

*Arithmetic mean
Size of one square 5 x 5 km
Minimum of one radon measurement per square*

KARTTA / KARTA / MAP 6

Kartta 7

*Porakaivoveden radonpitoisuus
Hämeen ympäristökeskus
Noin 1000 porakaivoa*

*Aritmeettinen keskiarvo
Ruudun koko 5 x 5 km
Vähintään yksi radonmittaus/ruutu*

Karta 7

*Radonhalten i borrhunnar
Tavastlands miljöcentral
Ca 1000 borrhunnar*

*Aritmetiska medelvärden
Rutans storlek 5 x 5 km
Minst en radonmätning i varje ruta*

Map 7

*Radon in drilled dwells
Häme environment centre
Approximately 1,000 drilled wells*

*Arithmetic mean
Size of one square 5 x 5 km
Minimum of one radon measurement per square*

KARTTA / KARTA / MAP 7

Kartta 8

*Porakaivoveden radonpitoisuus
Pirkanmaan ympäristökeskus
Noin 570 porakaivoa*

*Aritmeettinen keskiarvo
Ruudun koko 5 x 5 km
Vähintään yksi radonmittaus/ruutu*

Karta 8

*Radonhalten i borrbrunnar
Birkalands miljöcentral
Ca 570 borrbrunnar*

*Aritmetiska medelvärden
Rutans storlek 5 x 5 km
Minst en radonmätning i varje ruta*

Map 8

*Radon in drilled dwells
Pirkanmaa environment centre
Approximately 570 drilled wells*

*Arithmetic mean
Size of one square 5 x 5 km
Minimum of one radon measurement per square*

KARTTA / KARTA / MAP 8

Kartta 9

*Porakaivoveden radonpitoisuus
Kaakkois-Suomen ympäristökeskus
Noin 580 porakaivoa*

*Aritmeettinen keskiarvo
Ruudun koko 5 x 5 km
Vähintään yksi radonmittaus/ruutu*

Karta 9

*Radonhalten i borrbrunnar
Sydöstra Finlands miljöcentral
Ca 580 borrbrunnar*

*Aritmetiska medelvärden
Rutans storlek 5 x 5 km
Minst en radonmätning i varje ruta*

Map 9

*Radon in drilled dwells
Southeast Finland environment centre
Approximately 580 drilled wells*

*Arithmetic mean
Size of one square 5 x 5 km
Minimum of one radon measurement per square*

KARTTA / KARTA / MAP 9

Kartta 10

*Porakaivoveden radonpitoisuus
Etelä-Savon ympäristökeskus
Noin 490 porakaivoa*

*Aritmeettinen keskiarvo
Ruudun koko 5 x 5 km
Vähintään yksi radonmittaus/ruutu*

Karta 10

*Radonhalten i borrbrunnar
Södra Savolax' miljöcentral
Ca 490 borrbrunnar*

*Aritmetiska medelvärden
Rutans storlek 5 x 5 km
Minst en radonmätning i varje ruta*

Map 10

*Radon in drilled dwells
South Savo environment centre
Approximately 490 drilled wells*

*Arithmetic mean
Size of one square 5 x 5 km
Minimum of one radon measurement per square*

KARTTA / KARTA / MAP 10

Kartta 11

*Porakaivoveden radonpitoisuus
Pohjois-Savon ympäristökeskus
Noin 220 porakaivoa*

*Aritmeettinen keskiarvo
Ruudun koko 5 x 5 km
Vähintään yksi radonmittaus/ruutu*

Karta 11

*Radonhalten i borrbrunnar
Norra Savolax' miljöcentral
Ca 220 borrbrunnar*

*Aritmetiska medelvärden
Rutans storlek 5 x 5 km
Minst en radonmätning i varje ruta*

Map 11

*Radon in drilled dwells
North Savo environment centre
Approximately 220 drilled wells*

*Arithmetic mean
Size of one square 5 x 5 km
Minimum of one radon measurement per square*

KARTTA / KARTA / MAP 11

Kartta 12

*Porakaivoveden radonpitoisuus
Pohjois-Karjalan ympäristökeskus
Noin 90 porakaivoa*

*Aritmeettinen keskiarvo
Ruudun koko 5 x 5 km
Vähintään yksi radonmittaus/ruutu*

Karta 12

*Radonhalten i borrbrunnar
Norra Karelen miljöcentral
Ca 90 borrbrunnar*

*Aritmetiska medelvärden
Rutans storlek 5 x 5 km
Minst en radonmätning i varje ruta*

Map 12

*Radon in drilled dwells
North Karelia environment centre
Approximately 90 drilled wells*

*Arithmetic mean
Size of one square 5 x 5 km
Minimum of one radon measurement per square*

KARTTA / KARTA / MAP 12

Kartta 13

*Porakaivoveden radonpitoisuus
Keski-Suomen ympäristökeskus
Noin 480 porakaivoa*

*Aritmeettinen keskiarvo
Ruudun koko 5 x 5 km
Vähintään yksi radonmittaus/ruutu*

Karta 13

*Radonhalten i borrhunnar
Mellersta Finlands miljöcentral
Ca 480 borrhunnar*

*Aritmetiska medelvärden
Rutans storlek 5 x 5 km
Minst en radonmätning i varje ruta*

Map 13

*Radon in drilled dwells
Central Finland environment centre
Approximately 480 drilled wells*

*Arithmetic mean
Size of one square 5 x 5 km
Minimum of one radon measurement per square*

KARTTA / KARTA / MAP 13

Kartta 14

*Porakaivoveden radonpitoisuus
Länsi-Suomen ympäristökeskus
Noin 90 porakaivoa*

*Aritmeettinen keskiarvo
Ruudun koko 5 x 5 km
Vähintään yksi radonmittaus/ruutu*

Karta 14

*Radonhalten i borrbrunnar
Västra Finlands miljöcentral
Ca 90 borrbrunnar*

*Aritmetiska medelvärden
Rutans storlek 5 x 5 km
Minst en radonmätning i varje ruta*

Map 14

*Radon in drilled dwells
West Finland environment centre
Approximately 90 drilled wells*

*Arithmetic mean
Size of one square 5 x 5 km
Minimum of one radon measurement per square*

KARTTA / KARTA / MAP 14

Kartta 15

*Porakaivoveden radonpitoisuus
Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus
Noin 130 porakaivoa*

*Aritmeettinen keskiarvo
Ruudun koko 5 x 5 km
Vähintään yksi radonmittaus/ruutu*

Karta 15

*Radonhalten i borrbrunnar
Norra Österbottens miljöcentral
Ca 130 borrbrunnar*

*Aritmetiska medelvärden
Rutans storlek 5 x 5 km
Minst en radonmätning i varje ruta*

Map 15

*Radon in drilled dwells
North Ostrobothnia environment centre
Approximately 130 drilled wells*

*Arithmetic mean
Size of one square 5 x 5 km
Minimum of one radon measurement per square*

KARTTA / KARTA / MAP 15

Kartta 16

*Porakaivoveden radonpitoisuus
Kainuun ympäristökeskus
Noin 110 porakaivoa*

*Aritmeettinen keskiarvo
Ruudun koko 5 x 5 km
Vähintään yksi radonmittaus/ruutu*

Karta 16

*Radonhalten i borrbrunnar
Kajanalands miljöcentral
Ca 110 borrbrunnar*

*Aritmetiska medelvärden
Rutans storlek 5 x 5 km
Minst en radonmätning i varje ruta*

Map 16

*Radon in drilled dwells
Kainuu environment centre
Approximately 110 drilled wells*

*Arithmetic mean
Size of one square 5 x 5 km
Minimum of one radon measurement per square*

KARTTA / KARTA / MAP 16

Kartta 17

*Porakaivoveden radonpitoisuus
Lapin ympäristökeskus
Noin 270 porakaivoa*

*Aritmeettinen keskiarvo
Ruudun koko 5 x 5 km
Vähintään yksi radonmittaus/ruutu*

Karta 17

*Radonhalten i borrbrunnar
Lapplands miljöcentral
Ca 270 borrbrunnar*

*Aritmetiska medelvärden
Rutans storlek 5 x 5 km
Minst en radonmätning i varje ruta*

Map 517

*Radon in drilled dwells
Lapland environment centre
Approximately 270 drilled wells*

*Arithmetic mean
Size of one square 5 x 5 km
Minimum of one radon measurement per square*

KARTTA / KARTA / MAP 17

Kartta 18

*Porakaivoveden radonpitoisuus
Ahvenanmaalla
Noin 520 porakaivoa*

*Aritmeettinen keskiarvo
Ruudun koko 5 x 5 km
Vähintään yksi radonmittaus/ruutu*

Karta 18

*Radonhalten i borrhunnar
Åland
Ca 520 borrhunnar*

*Aritmetiska medelvärden
Rutans storlek 5 x 5 km
Minst en radonmätning i varje ruta*

Map 18

*Radon in drilled dwells
Åland
Approximately 520 drilled wells*

*Arithmetic mean
Size of one square 5 x 5 km
Minimum of one radon measurement per square*

KARTTA / KARTA / MAP 18

Mittaustietojen hankinta

Säteilyturvakeskus pyysi vuonna 1998 paikallisia ympäristö- ja elintarvikelaboratorioita lähettämään mittaamiensa porakaivovesien radontulokset. Pyyntö lähetettiin 55 laboratoriolle. Kaikkiaan 35 laboratoriota lähetti yhteensä lähes 3000 mittaustulosta.

Kartastoon kelpuutettiin Mini-Assay -mittareilla ja nestetuikemenetelmällä tehdyt mittaukset. Helsingin ympäristökeskuksen mittaukset on tehty nestetuikemenetelmällä. Muiden laboratorioden mittaukset on tehty Mini-Assay -mittarilla.

Aineistossa ovat mukana vain porakaivot. Jos kaivoveden radonpitoisuus oli mitattu sekä paikallislaboratoriossa että STUKissa, käytettiin STUKin tulosta (33 kpl). Lopulliseen aineistoon hyväksyttiin 2634 paikallislaboratoriossa tehtyä radonmittaustulosta.

Yksittäisten tulosten käsittely

- Impulssia/sekunti kerrottiin luvulla 20, jotta saatiin Bq/l.
- Pitoisuus 0 muutettiin 1 Bq/l.
- Määritysrajan 100 Bq/l alittaville käytettiin arvoa 45 Bq/l.
- Määritysrajan 300 Bq/l alittaville käytettiin arvoa 100 Bq/l.
- Jos määritysrajaksi oli ilmoitettu joku luku väliltä 2–50, käytettiin arvoa, joka on puolet määritysrajasta.
- Muuten käytettiin sitä arvoa, jonka laboratoriot olivat ilmoittaneet.
- Vertailumittausten perusteella erään elintarvikelaboratorion tulokset kerrottiin luvulla 2,5.

Anskaffning av mätdata

Strålsäkerhetscentralen bad år 1998 de lokala miljö- och livsmedelslaboratorierna att sända sina resultat från radonmätningar av borrbrunnsvatten. Förfrågan sändes till 55 laboratorier. Sammanlagt 35 laboratorier sände tillsammans in nära 3000 mätresultat.

För atlasen godkändes mätningar som utförts med Mini-Assay -mätare och med scintillatormetoden. Mätningarna på miljöcentralen i Helsingfors har utförts med scintillatormetoden. De övriga laboratoriernas mätningar har gjorts med Mini-Assay -mätare.

Materialet innefattar endast borrbrunnar. Om brunnsvattnet hade mätts både i ett lokalt laboratorium och på Strålsäkerhetscentralen, användes Strålsäkerhetscentralens resultat (33 st). För det slutliga materialet godkändes 2634 mätningar som utförts av lokala laboratorier.

Behandling av enskilda resultat

- Antalet impulser/sekund multiplicerades med 20 för att få Bq/l
- Halten 0 ändrades till 1 Bq/l
- För de prov som underskred detektionsgränsen 100 Bq/l sattes värdet till 45 Bq/l
- För de prov som underskred detektionsgränsen 300 Bq/l användes värdet 100 Bq/l.
- Om detektionsgränsen angivits till något tal mellan 2 och 50, sattes värdet till hälften av detektionsgränsen.
- Annars användes det värde som laboratorerna meddelat.
- På basen av resultaten från jämförande mätningar multiplicerades värdena från ett av livsmedelslaboratorierna med faktorn 2,5.

Acquiring the measurement data

In 1998 STUK asked for local foodstuff and environmental laboratories to send the data on their radon measurements of drilled well waters to STUK. The request was sent to 55 laboratories. 35 of those laboratories sent results totalling almost 3,000 measurements.

Measurements made using the Mini-Assay counter or the liquid scintillation counting method were accepted into the Atlas. Only the City of Helsinki Environment Centre used the liquid scintillation counting method, others used the Mini-Assay counter.

The material consists of merely drilled wells. When the radon concentration of water in drilled wells had been measured both in a local laboratory and at STUK, the measurement result of STUK was used (33 measurements). 2,634 radon concentration measurements made by the local laboratories were accepted as final material.

Processing individual measurement results

- The value for impulses per second was multiplied by 20 in order to get Bq/l.
- If concentration was 0 it was changed into 1 Bq/l.
- Measurement results under detection limit of 100 Bq/l were entered into records as 45 Bq/l.
- Measurement results under detection limit of 300 Bq/l were entered into records as 100 Bq/l.
- If detection limit was set between 2–50 by a laboratory, a value with a half of the announced detection limit was used.
- Otherwise the value announced by a laboratory was used.
- After reference measurements the results of a certain laboratory were multiplied by 2.5.

Suurimmasta osasta Säteilyturvakeskuksen vesitietokannassa olevasta aineistosta oli koordinaatit tiedossa jo etukäteen. Määritykset oli tehty Säteilyturvakeskuksessa, GTK:ssa ja terveystarkastajien toimesta. Koordinaatteina käytettiin talon sijaintikoordinaatteja.

STUKin vesitietokannan puuttuvat koordinaatit ja kaikki paikallislaboratorioiden näytteiden koordinaatit määritettiin tämän kartastotyön yhteydessä.

Koordinaattien määrittämisperiaatteet:

- Jos oli annettu tarkka osoite, koordinaatit tilattiin väestörekisterikeskuksesta. Kaikkia ei saatu.
- Loput tarkkojen osoitteiden koordinaatit määritettiin Karttakeskuksen www-liittymän Karttapaikan avulla.
- Epätarkkojen osoitteiden koordinaatit määritettiin pääasiassa postitoimipaikan koordinaatin tai kunnan keskipisteen koordinaatin perusteella kartoilta joko käsin tai Karttakeskuksen www-liittymän Karttapaikan avulla.
- Kuopion ympäristöterveyslaboratorio ja Jyväskylän elintarvikelaboratorio olivat ilmoittaneet kaivon sijainnin GT-kartan 5 x 5 km:n ruudukon tarkkuudella. Ruudun keskipistettä käytettiin kaivon koordinaattina.

För största delen av materialet i Strålsäkerhetscentralens vattendatabas var koordinaterna redan kända. Bestämningarna hade gjorts på Strålsäkerhetscentralen, på Geologiska Forskningscentralen och genom hälsovårdsinspektörernas försorg. Som koordinater användes husets lägeskoordinater.

De koordinater som saknades i Strålsäkerhetscentralens vattendatabas och alla koordinater för proven från de lokala laboratorierna bestämdes i samband med arbetet på denna atlas.

Principerna för bestämning av koordinater:

- Om exakt adress angivits, beställdes koordinaterna av Befolkningsregistercentralen. Alla erhöles inte.
- Resten av koordinaterna för proven med exakt adress bestämdes med hjälp av Karttakeskus' [www-länk Karttapaikka](http://www.karttakeskus.fi).
- Koordinaterna för inexakta adresser bestämdes i huvudsak på basen av postanstaltens koordinater eller koordinaterna för kommunens mittpunkt från kartor antingen för hand eller med hjälp av Karttakeskus' [www-länk Karttapaikka](http://www.karttakeskus.fi).
- Miljöhälsolaboratoriet i Kuopio och livsmedelslaboratoriet i Jyväskylä hade angivit brunnens läge enligt 5 x 5 km ruta på en vägkarta. Som koordinater för brunnen användes rutans mittpunkt.

The co-ordinates were already determined for most of the material in the STUK database. Determining had been done by STUK, the Geological Survey of Finland or by local health inspectors. The co-ordinates of the dwelling were used.

The co-ordinates missing from the STUK database and all the co-ordinates for the samples of the local laboratories were determined during this atlas project.

Principles for determining co-ordinates:

- If the exact address was known, the co-ordinates were ordered from the Population Register Centre. All were not acquired, however.
- Rest of the co-ordinates of the exact addresses were determined using the Karttapaikka www-mapping service of the Karttakeskus-Geodata.
- Co-ordinates of inaccurate addresses were mainly located manually on maps using co-ordinates of postal codes or centre of municipality or using the Karttapaikka www-mapping service of the Karttakeskus-Geodata.
- Kuopio University Centre for Environment, Health and Society and Jyväskylä foodstuff laboratory had given the location of wells with the accuracy of 5 x 5 km squares on a map. Midpoint of the square was used as co-ordinates of the well.

Vesinäytteen ottaminen

Vesinäytteen ottoon soveltuu kierrekorkkinen, puhdas lasipullo (ei muovipullo). Pullon korkissa tulee olla hyvä tiiviste (esim. virvoitusjuomapullo tai Alkon pullo). Nestetuikemittaukseen riittää puolen litran pullo. Mini-Assay -mittausta varten tarvitaan suurempi näytemäärä. Näyte voidaan ottaa kanisteriin tai isoon lasipulloon. Mittausmenetelmästä riippumatta näyte otetaan hanasta samalla tavalla.

Ennen näytteenottoa vettä juoksutetaan reippaasti, niin että painesäiliössä ja putkistossa seisonut vesi saadaan vaihtumaan. Juoksutusta jatketaan kunnes veden lämpötila muuttuu vakioiseksi, useimmiten 15–30 minuuttia. Lopuksi annetaan veden valua vähän aikaa pienellä nopeudella ennen näytteenottoa.

Näytettä otettaessa käytetään pientä painetta, jotta hanassa mahdollisesti oleva sekoitin ei toimisi (sekoittaja poistaa vedestä radonkaasua). Veden juoksutuksen jälkeen pullo asetetaan aivan hanan alle, ja veden annetaan valua pienellä nopeudella. Pullo otetaan aivan täyteen, mikäli se pystytään kuljettamaan kylmänä laboratorioon. Jos näyte toimitetaan Säteilyturvakeskukseen, se voidaan lähettää postitse. Tällöin pullon kaulaan on jätettävä tyhjää tilaa noin 2 cm, jotta pullo ei halkeaisi lämpölaajenemisen takia. Pullo suljetaan heti tiukasti ja toimitetaan mahdollisimman nopeasti mittaukseen. Luotettavin radonpitoisuus saadaan, jos näyte toimitetaan mittaukseen samana päivänä kun se on otettu.

För vattenprovtagning lämpar sig en ren glasflaska med skruvkork (inte plastflaska). Flaskkorken skall vara väl tätad (t.ex. en läskedrycksflaska eller Alkos flaska). För mätning med scintillator räcker en halvlitersflaska. För Mini-Assay -mätning behövs en större mängd vatten. Provet kan tas i en kanister eller i en stor glasflaska. Oberoende av mätmetod tas prov ur vattenkranen på samma sätt.

Innan provet tas låter man vattnet rinna ordentligt, så att det vatten som stått i tryckbehållaren och i rörsystemet byts ut. Avtappningen fortsätts ända tills vattnets temperatur blir konstant, vanligen 15–30 minuter. Till sist låter man vattnet rinna en stund med mindre hastighet innan provet tas.

När provet tas används litet tryck, så att den blandare som eventuellt finns i kranen inte skall fungera (blandaren avlägsnar radongas ur vattnet). Efter avtappningen sätts flaskan alldeles under kranen, och vattnet får rinna med liten hastighet. Flaskan tas alldeles full, ifall den kan transporteras som kall till laboratoriet. Om provet sänds till Strålsäkerhetscentralen, kan det sändas per post. I detta fall skall man lämna ungefär 2 cm tomt utrymme i flaskhalsen, för att flaskan inte skall spricka på grund av värmeutvidgning. Flaskan sluts genast till tätt och sänds möjligast snabbt för analys. Det tillförlitligaste resultatet av radonmätning erhålls om provet kan mätas samma dag det har tagits.

A clean glass bottle (not a plastic bottle) with a screw cap is suitable for taking the water sample. The cap should be tight enough (e.g. bottles for soft drinks or Alko beverages are suitable). A bottle of half a litre is enough for the liquid scintillation measurement. For Mini-Assay, a larger amount of water is needed. In this case the water sample can be taken into a canister or into several glass bottles. Regardless of the measurement method the tap water sample is taken in the same way.

Before taking the sample, let the water run a while at high pressure, in order to remove the standing water in pressure chamber and pipes. The water is kept running continuously until the water temperature becomes stable, usually after 15–30 minutes. Finally, a short while before taking the sample, the water should be run at low pressure.

Low pressure is used when taking the sample so that the mixer tap would not work (the mixer removes radon gas from water). After running the water, the bottle is placed under the tap and the water is drawn at low a pressure. If the sample is delivered to STUK it can be mailed. In this case about 2 cm empty space should be left in the neck of the bottle, which will prevent the bottle from breaking due to thermal expansion. The cap is closed tightly right away and the bottle delivered to STUK as soon as possible for measurement.

STUK-A -sarjan julkaisuja
STUK-A -rapporter
STUK-A reports

STUK-A181 Jalarvo V. Suomalaisen solariuminkäyttö. Helsinki 2000.

STUK-A180 Salomaa S, Mustonen R (eds.). Research activities of STUK 1995 - 1999. Helsinki 2000.

STUK-A179 Salomaa S (ed.). Research projects of STUK 2000 - 2002. Helsinki 2000.

STUK-A178 Rantavaara A, Calmon P, Wendt J, Vetikko V. Model description of the Forest Food Chain and Dose Module FDMF. Helsinki 2000.

STUK-A177 Rantavaara A, Moring M. Puun tuhkan radioaktiivisuus. Helsinki 2000.

STUK-A176 Lindholm C. Stable chromosome aberrations in the reconstruction of radiation doses. Helsinki 2000.

STUK-A175 Annanmäki M, Turtainen T, Junglas H, Rausse C. Disposal of radioactive waste arising from water treatment: Recommendations for the EC. Helsinki 2000.

STUK-A174 Servomaa A, Parviainen T (toim). Säteilyturval-

lisuus ja laatu röntgendiagnostiikassa 2000. Koulutuspäivät 24. - 25.2.2000 ja 10. - 11.4.2000. Helsinki 2000.

STUK-A173 Hämäläinen RP, Sinkko K, Lindstedt M, Ammann M, Salo A. Decision analysis interviews on protective actions in Finland supported by the RODOS system. Helsinki 2000.

STUK-A172 Turtainen T, Kokkonen P, Salonen L. Removal of Radon and Other Natural Radionuclides from Household Water with Domestic Style Granular Activated Carbon Filters. Helsinki 1999.

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

STUK-A170 Saxén R, Koskelainen U, Alatalo M. Transfer of Chernobyl-derived ¹³⁷Cs into fishes in some Finnish lakes. Helsinki 2000.

STUK-A169 Annanmäki M, Turtainen T (Eds.). Treatment Techniques for Removing Natural Radionuclides from Drinking Water. Helsinki 1999.

STUK-A168 Suomela M, Bergman R, Bunzl K, Jaakkola T, Rahola T, Steinnes E. Effect of industrial pollution on the distribution dynamics of radionuclides in boreal understory ecosystems (EPORA). Helsinki 1999.

STUK-A167 Thorring H, Steinnes E, Nikonov V, Rahola T, Rissanen K. A summary of chemical data from the EPORA project. Helsinki 1999.

STUK-A166 Rahola T, Albers B, Bergman R, Bunzl K, Jaakkola T, Nikonov V, Pavlov V, Rissanen K, Schimmack W, Steinnes E, Suomela M, Tillander M, Äyräs M. General characterisation of study area and definition of experimental protocols. Helsinki 1999.

STUK-A165 Ilus E, Puhakainen M, Saxén R. Strontium-90 in the bottom sediments of some Finnish lakes. Helsinki 1999.

STUK-A164 Kosunen A. Metrology and quality of radiation therapy dosimetry of electron, photon and epithermal neutron beams. Helsinki 1999.

STUK-A163 Servomaa A (toim.). Säteilyturvallisuus ja laadunvarmistus röntgendiagnostiikassa 1999. Helsinki 1999.

STUK-A162 Arvela H, Rissanen R, Kettunen A-V ja Viljanen M. Kerrostalojen radonkorjaukset. Helsinki 1999.

STUK-A161 Jokela K, Leszczynski D, Paile W, Salomaa S, Puranen L, Hyysalo P. Radiation safety of handheld mobile phones and base stations. Helsinki 1998.

STUK-A160 Voutilainen A, Vesterbacka K, Arvela H. Radonturvallinen rakentaminen - Kysely kuntien viranomaisille. Helsinki 1998.

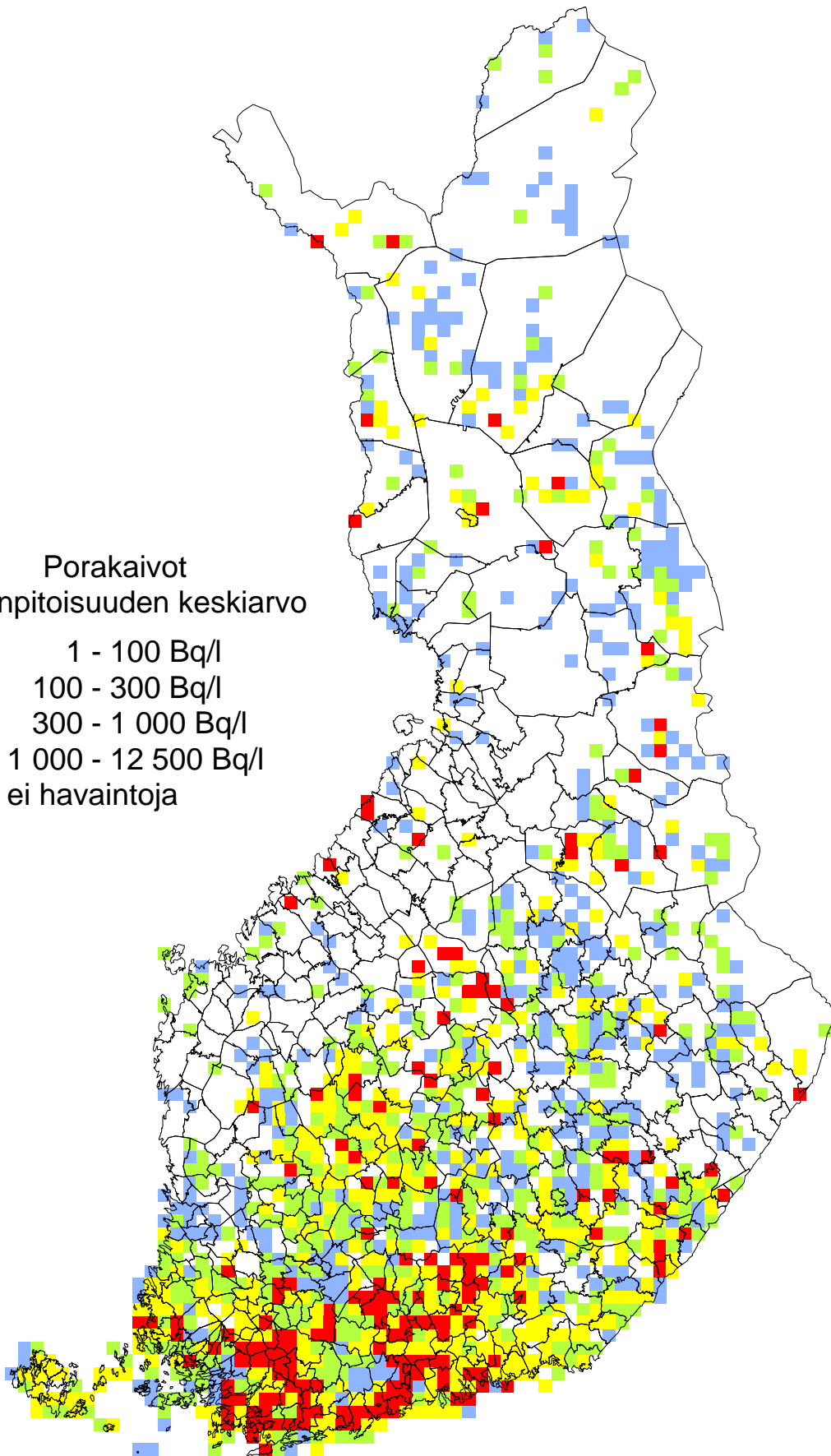
Täydellisen listan STUK-A - sarjan julkaisuista saa
Säteilyturvakeskus
PL 14, 00881 Helsinki
puh. (09) 759 881

En fullständig lista över rapporterna i serien STUK-A tillhandahålles av:
Strålsäkerhetscentralen
PB 14, 00881 Helsingfors
Tel. 09-759 881

The full list of publications is available from:
Radiation and Nuclear Safety Authority
P.O. Box 14
FIN-00881 Helsinki, Finland
Tel. +358 9 759 881

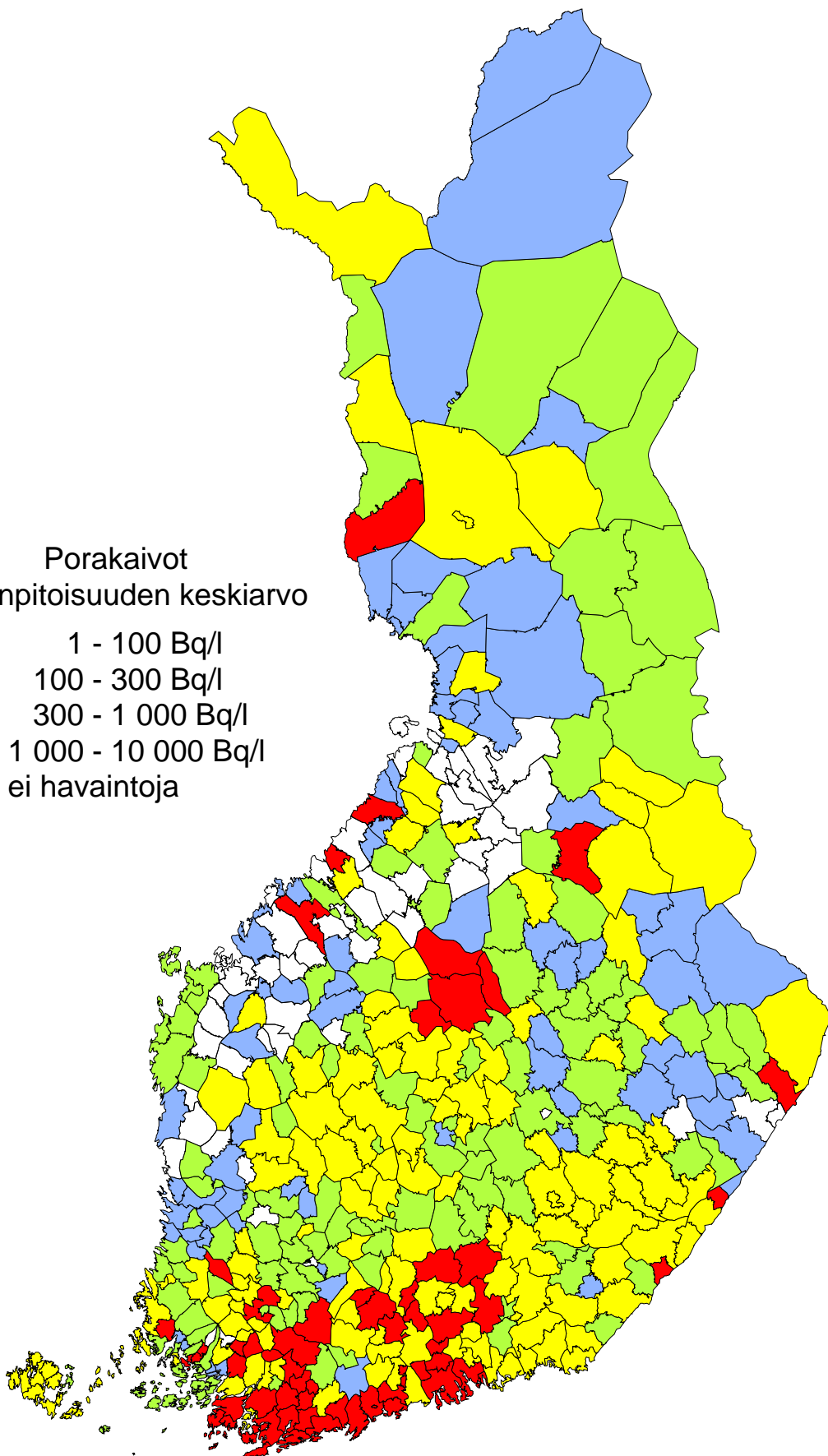
Porakaivot
Radonpitoisuuden keskiarvo

- 1 - 100 Bq/l
- 100 - 300 Bq/l
- 300 - 1 000 Bq/l
- 1 000 - 12 500 Bq/l
- ei havaintoja



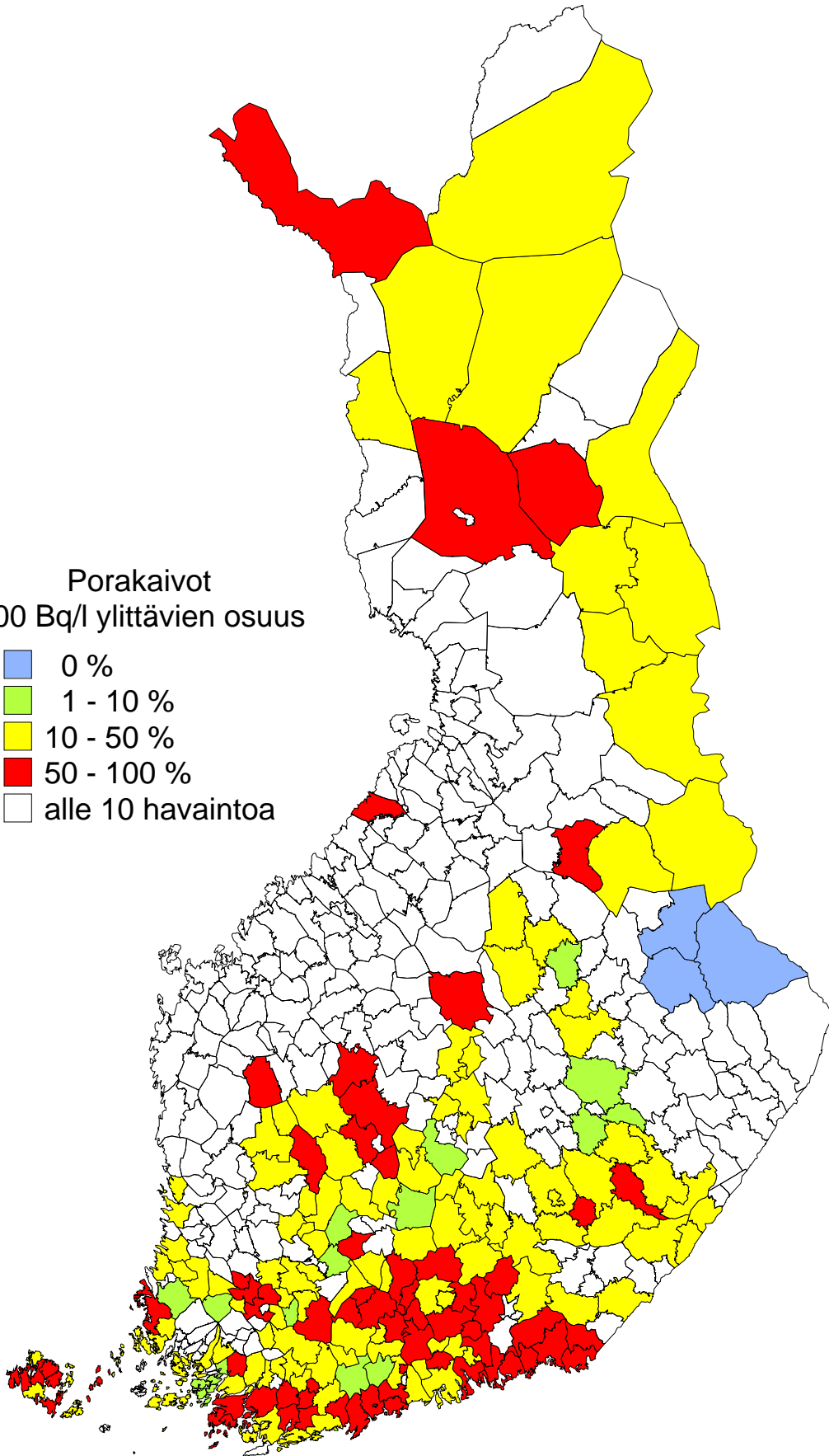
Porakaivot
Radonpitoisuuden keskiarvo

- 1 - 100 Bq/l
- 100 - 300 Bq/l
- 300 - 1 000 Bq/l
- 1 000 - 10 000 Bq/l
- ei havaintoja



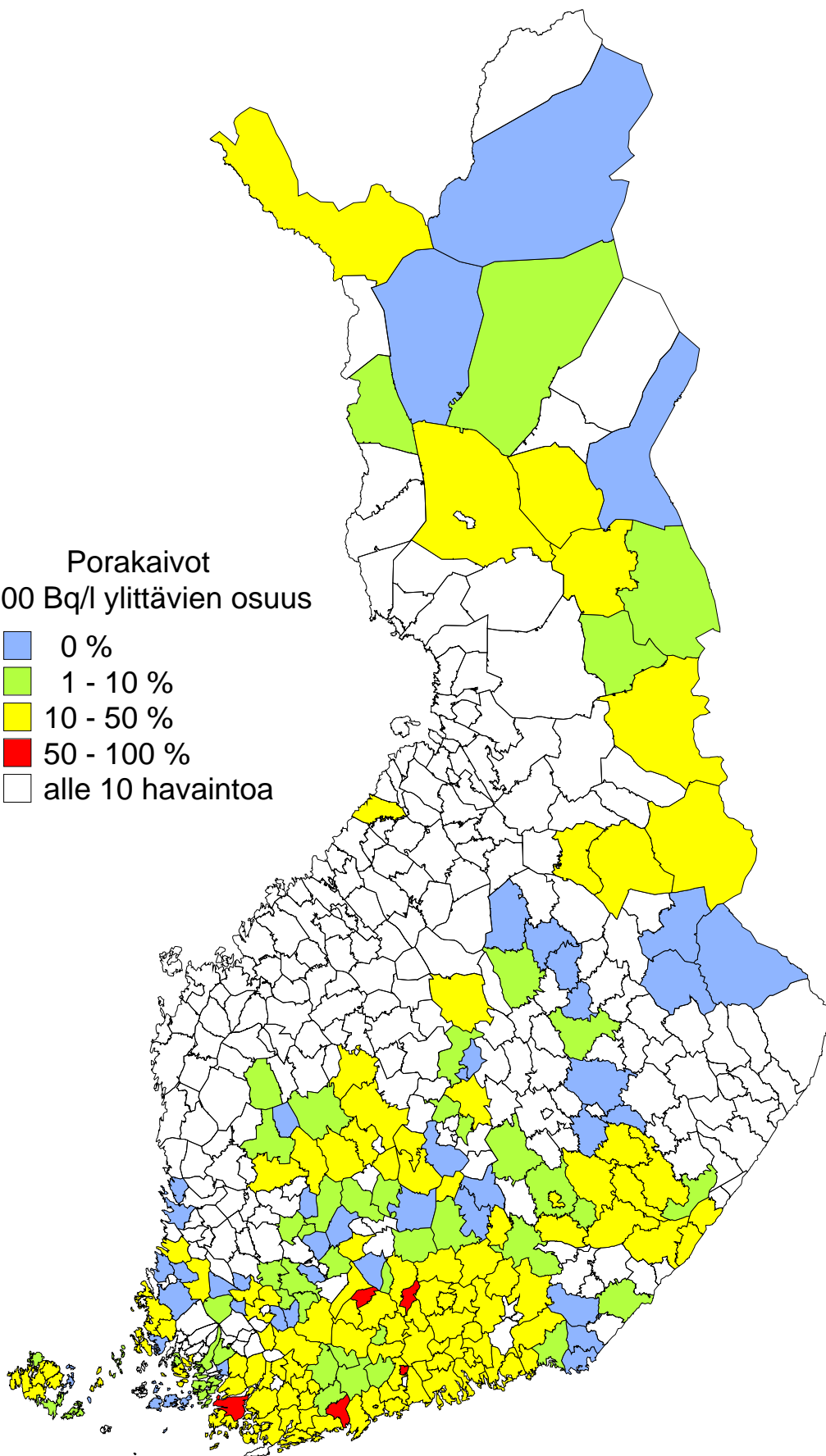
Porakaivot
300 Bq/l ylittävien osuus

- 0 %
- 1 - 10 %
- 10 - 50 %
- 50 - 100 %
- alle 10 havaintoa



Porakaivot
1000 Bq/l ylittävien osuus

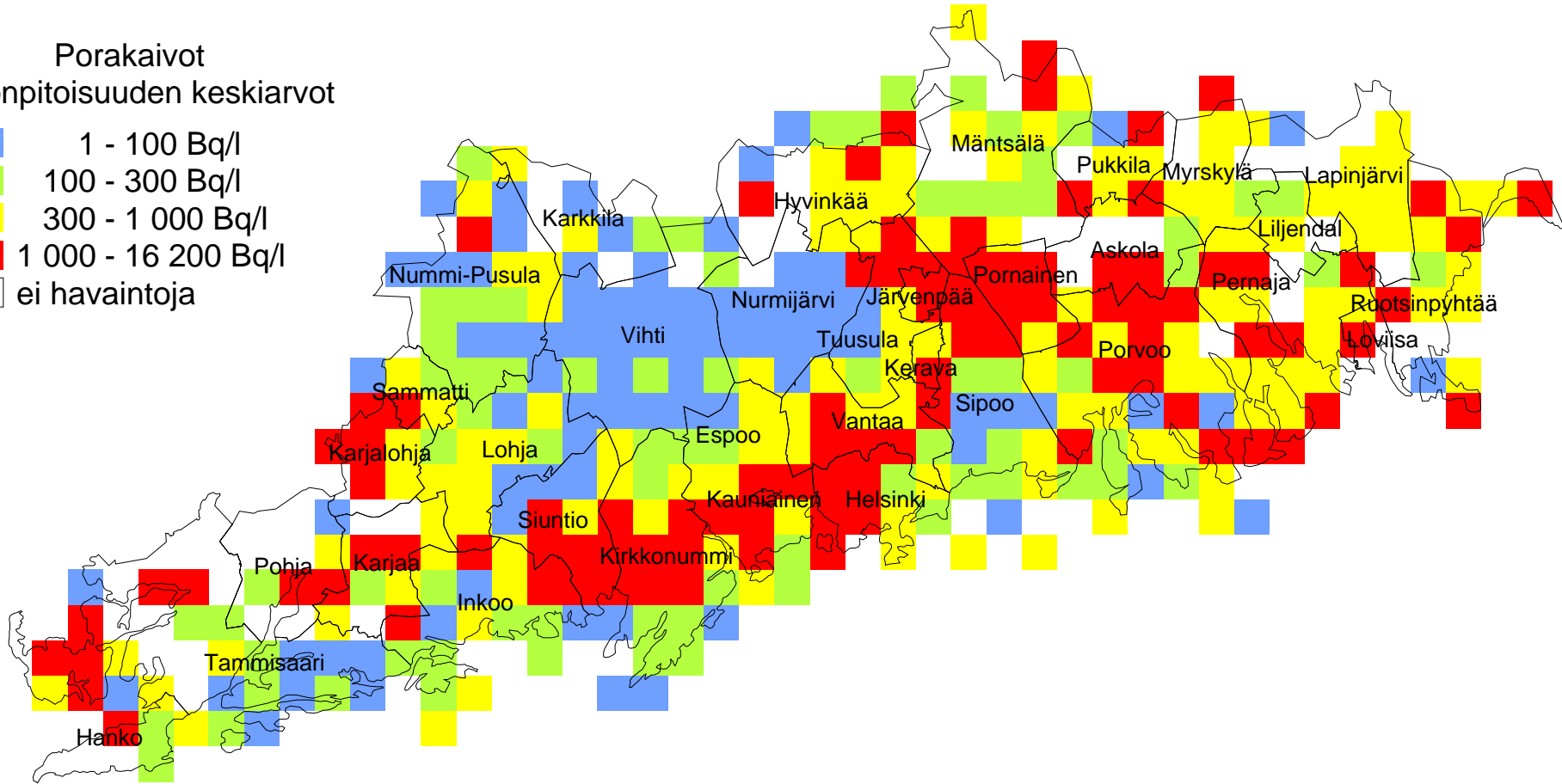
- 0 %
- 1 - 10 %
- 10 - 50 %
- 50 - 100 %
- alle 10 havaintoa



Uudenmaan ympäristökeskus

Porakaivot
Radonpitoisuuden keskiarvot

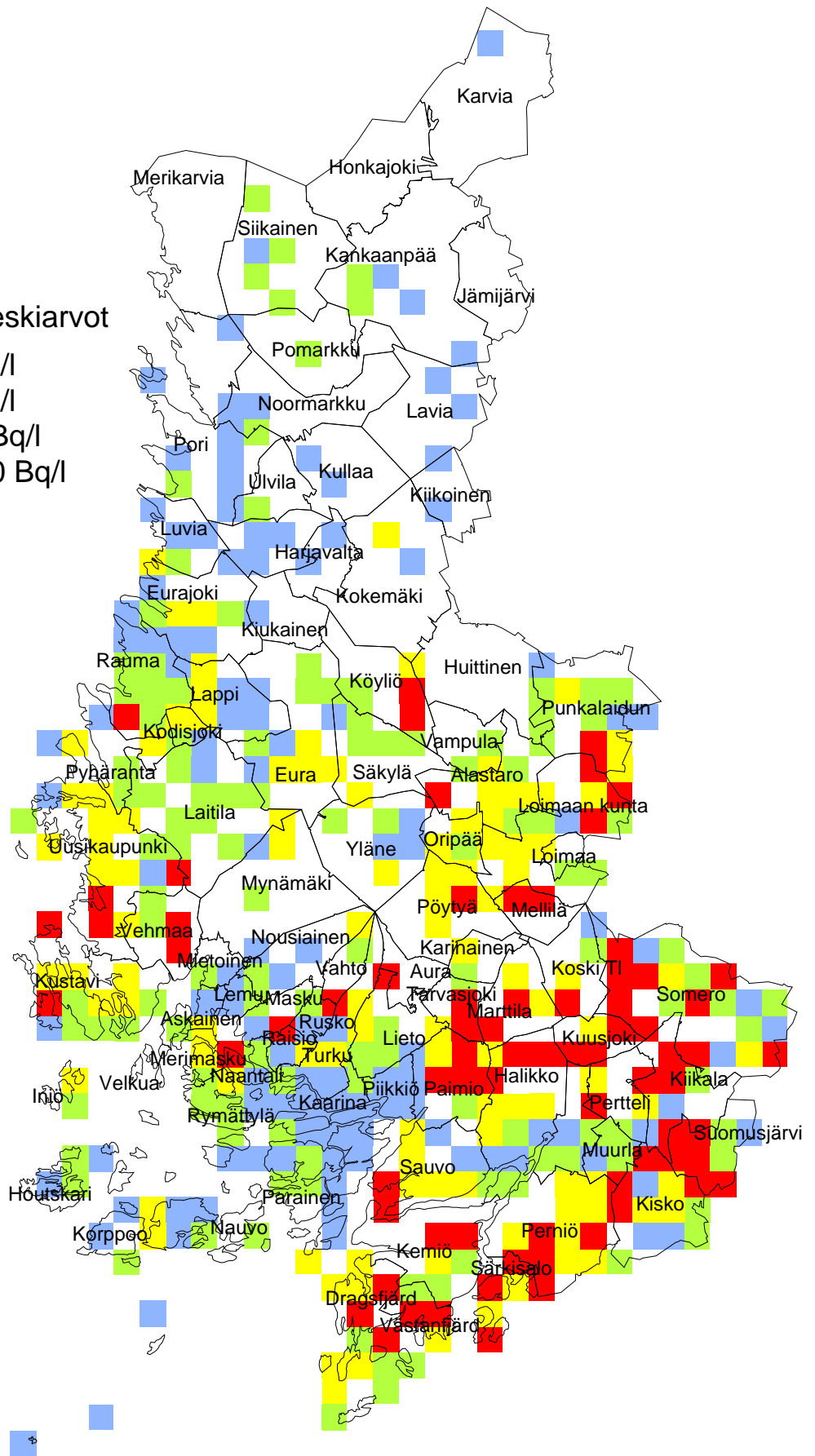
- 1 - 100 Bq/l
- 100 - 300 Bq/l
- 300 - 1 000 Bq/l
- 1 000 - 16 200 Bq/l
- ei havaintoja



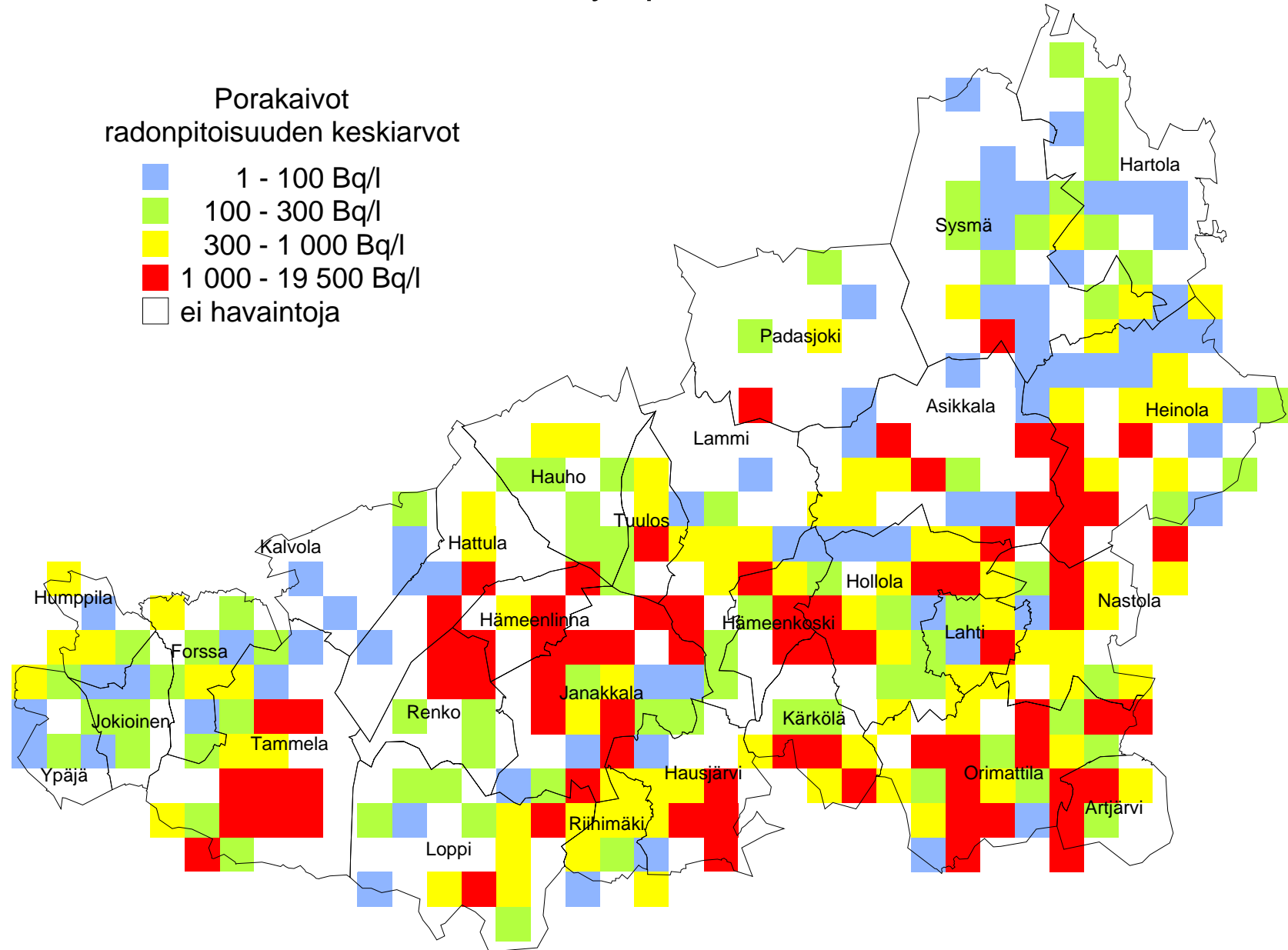
Lounais-Suomen ympäristökeskus

Porakaivot
Radonpitoisuuden keskiarvot

- 1 - 100 Bq/l
- 100 - 300 Bq/l
- 300 - 1 000 Bq/l
- 1 000 - 21 500 Bq/l
- ei havaintoja

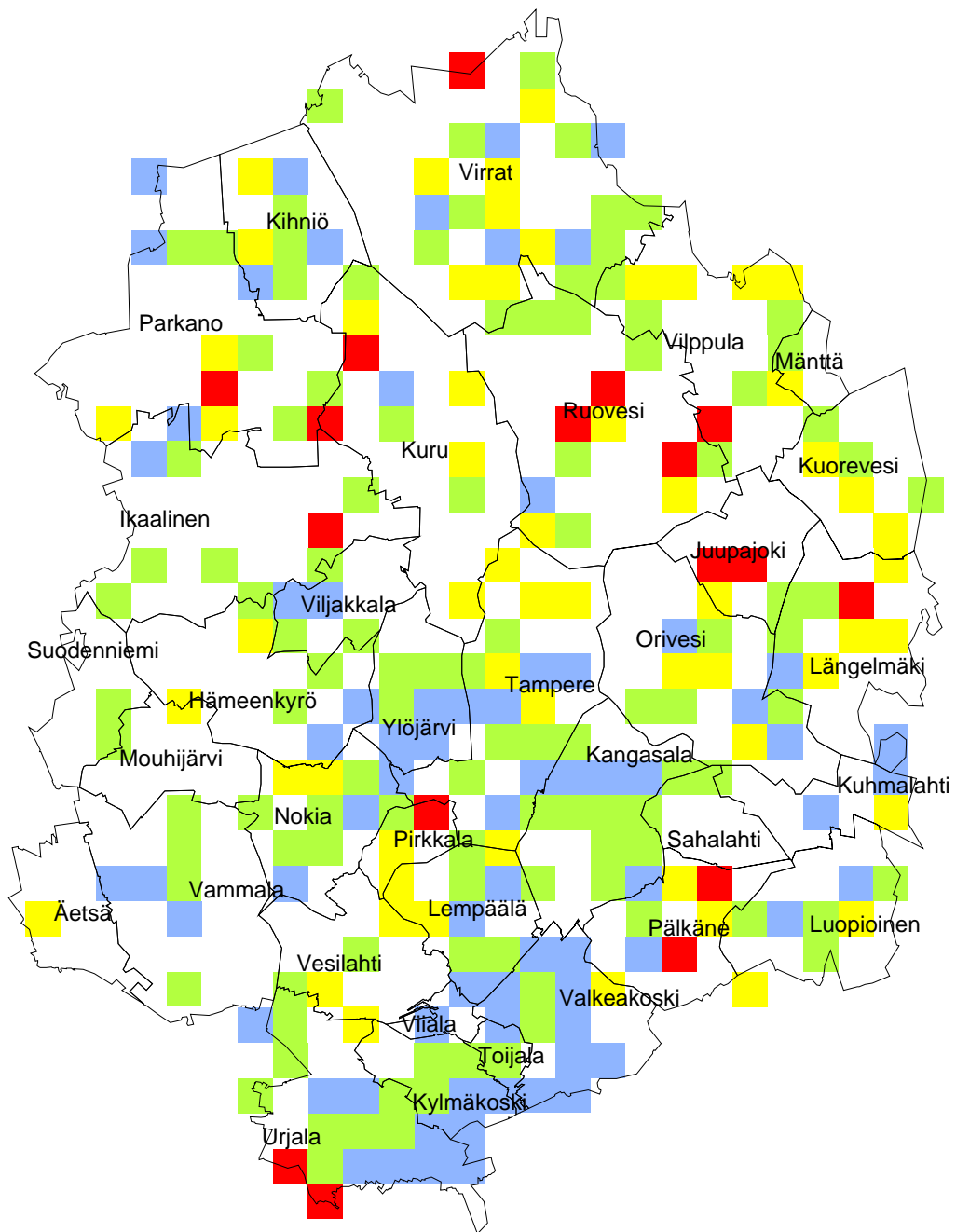
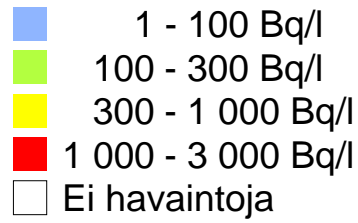


Hämeen ympäristökeskus



Pirkanmaan ympäristökeskus

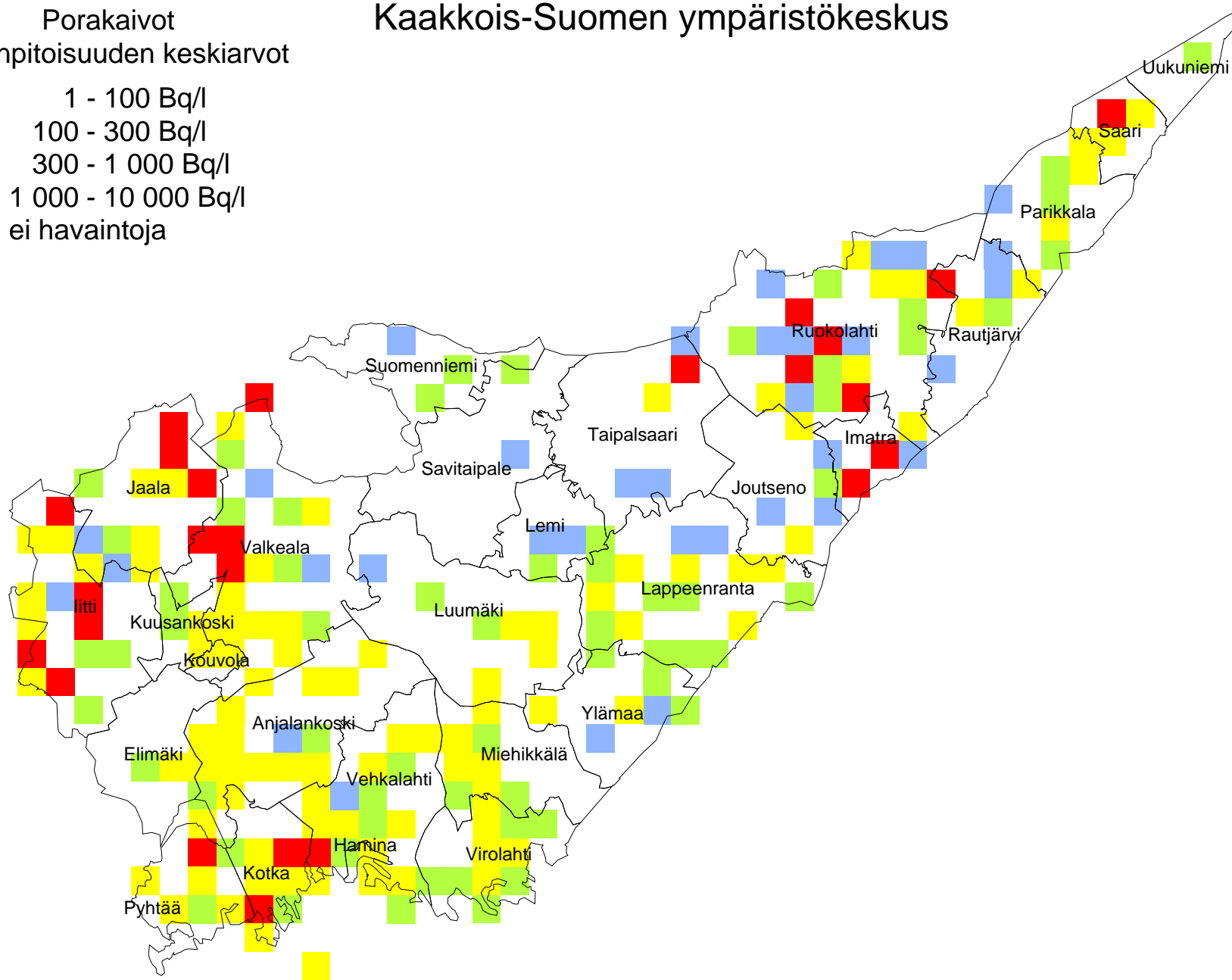
Porakaivot
Radonpitoisuuden keskiarvot



Kaakkois-Suomen ympäristökeskus

Porakaivot
Radonpitoisuuden keskiarvot

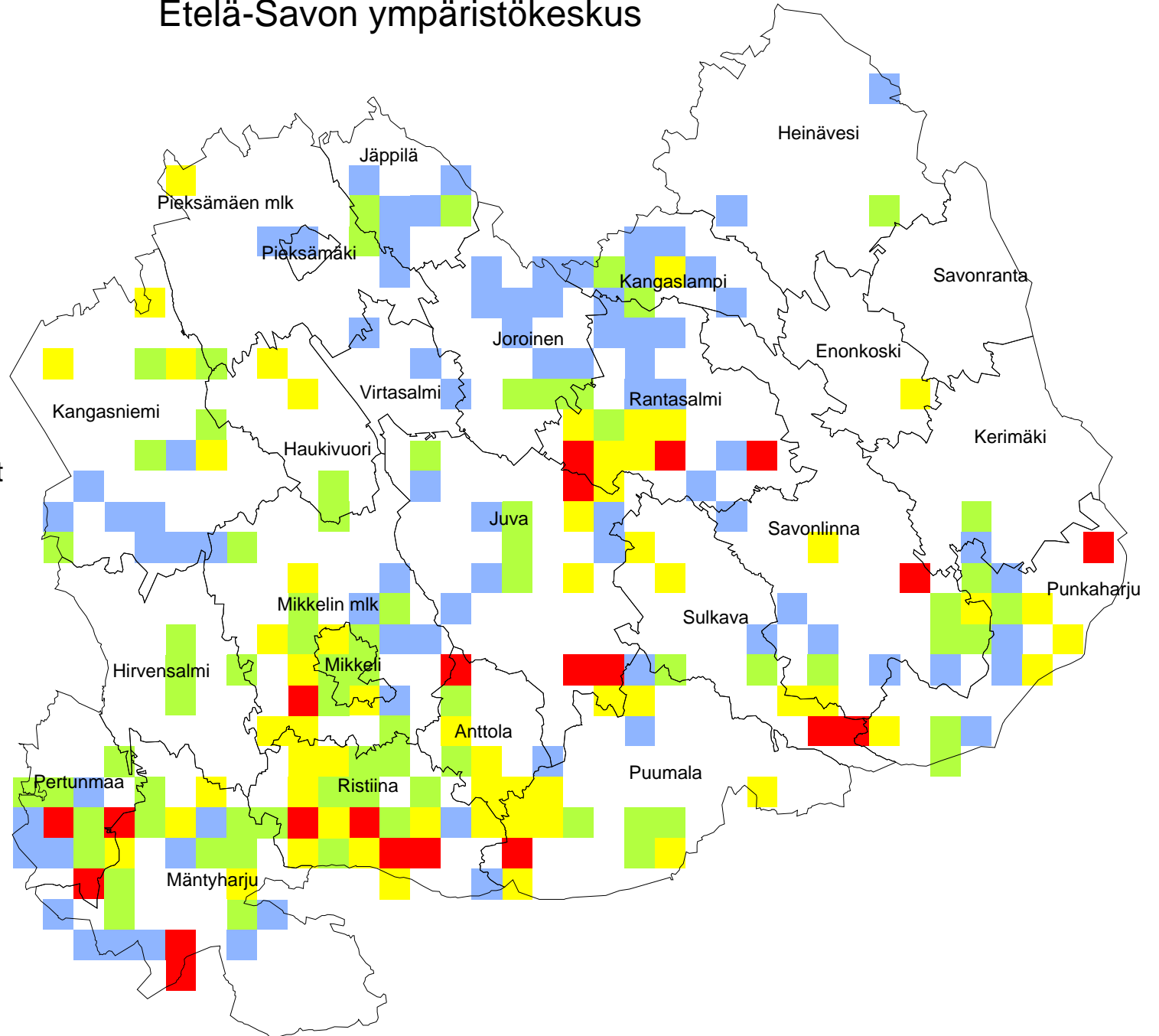
- 1 - 100 Bq/l
- 100 - 300 Bq/l
- 300 - 1 000 Bq/l
- 1 000 - 10 000 Bq/l
- ei havaintoja



Etelä-Savon ympäristökeskus

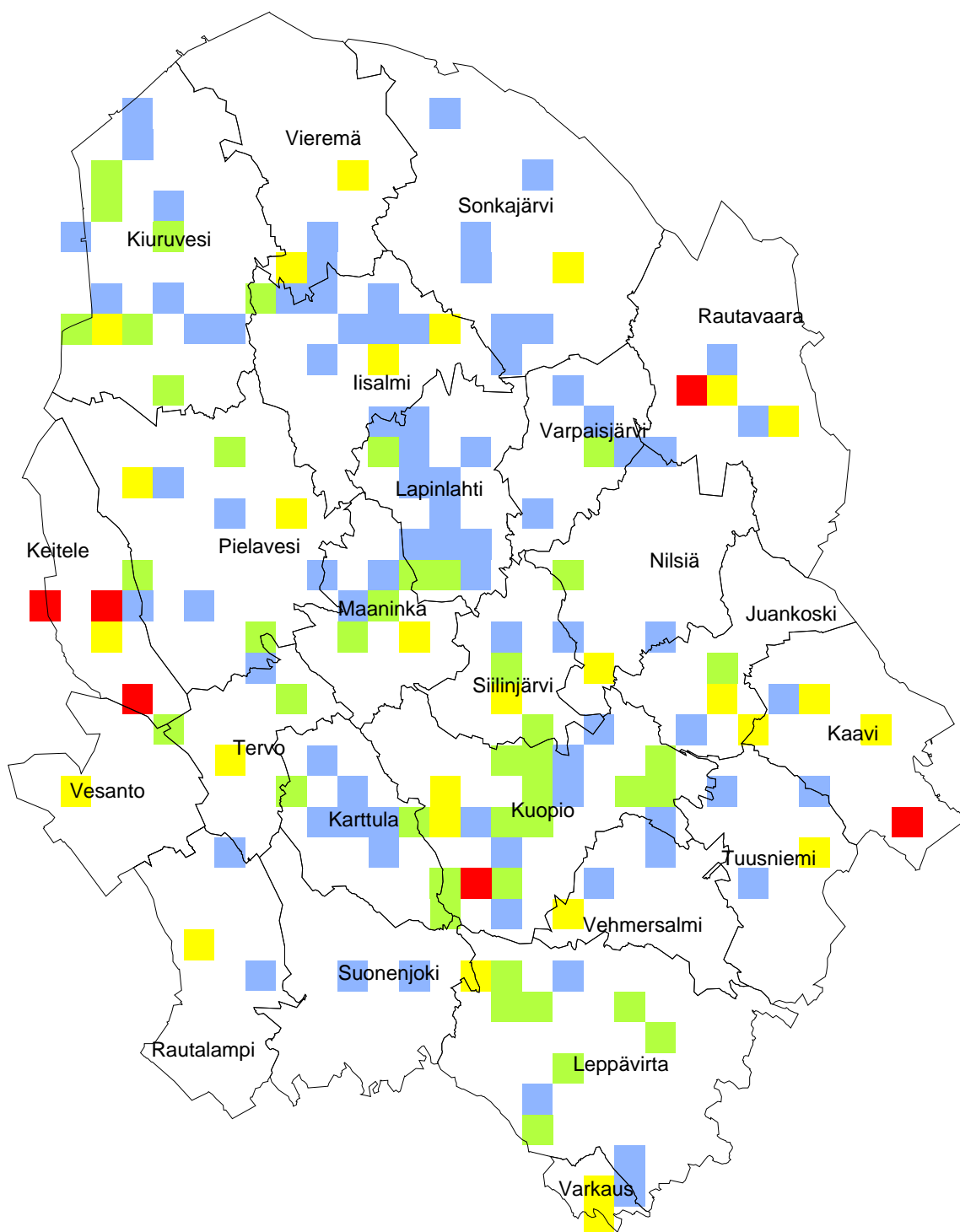
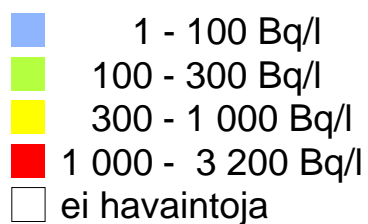
Porakaivot
Radonpitoisuuden keskiarvot

- 1 - 100 Bq/l
- 100 - 300 Bq/l
- 300 - 1 000 Bq/l
- 1 000 - 5 000 Bq/l
- ei havaintoja

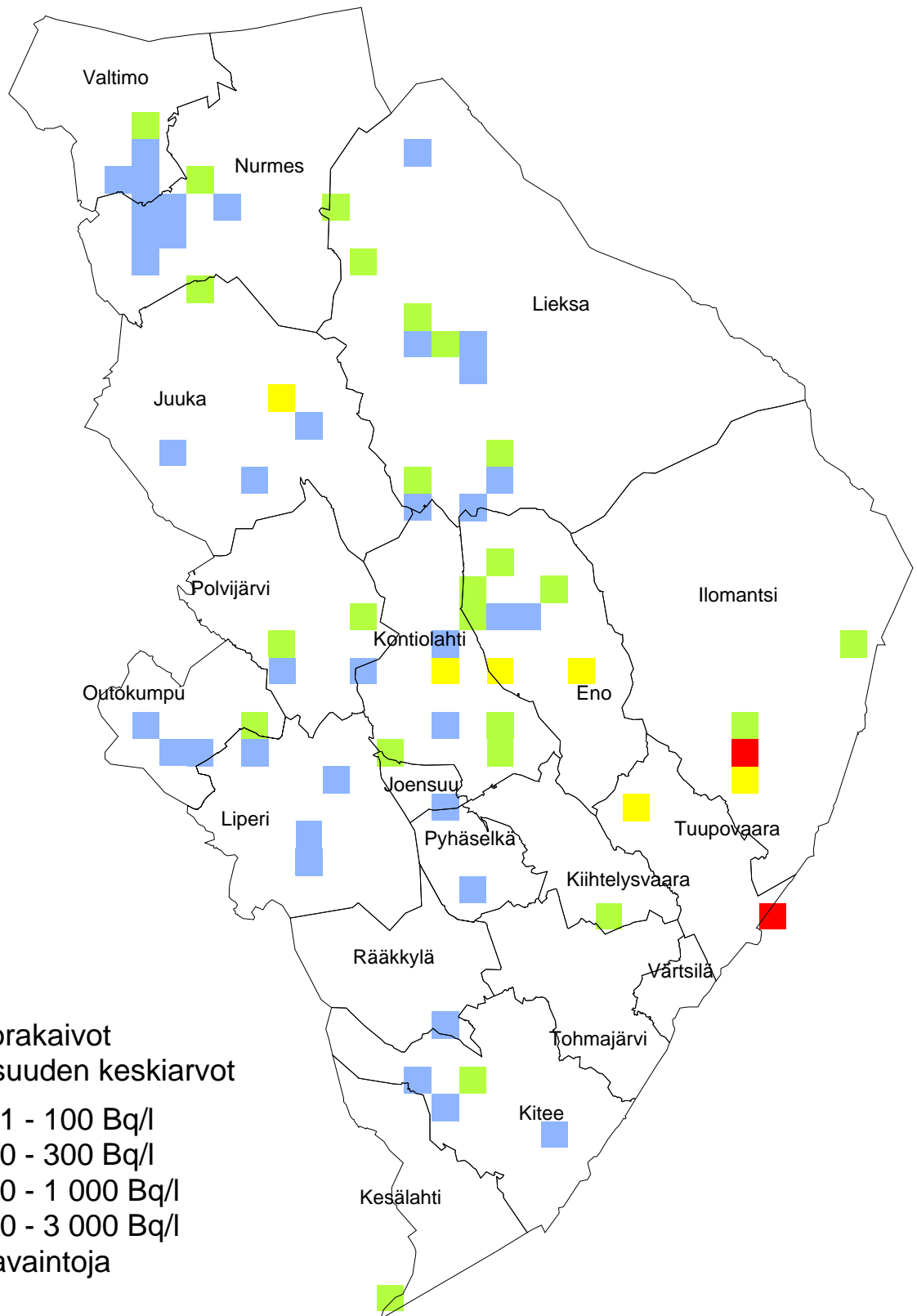


Pohjois-Savon ympäristökeskus

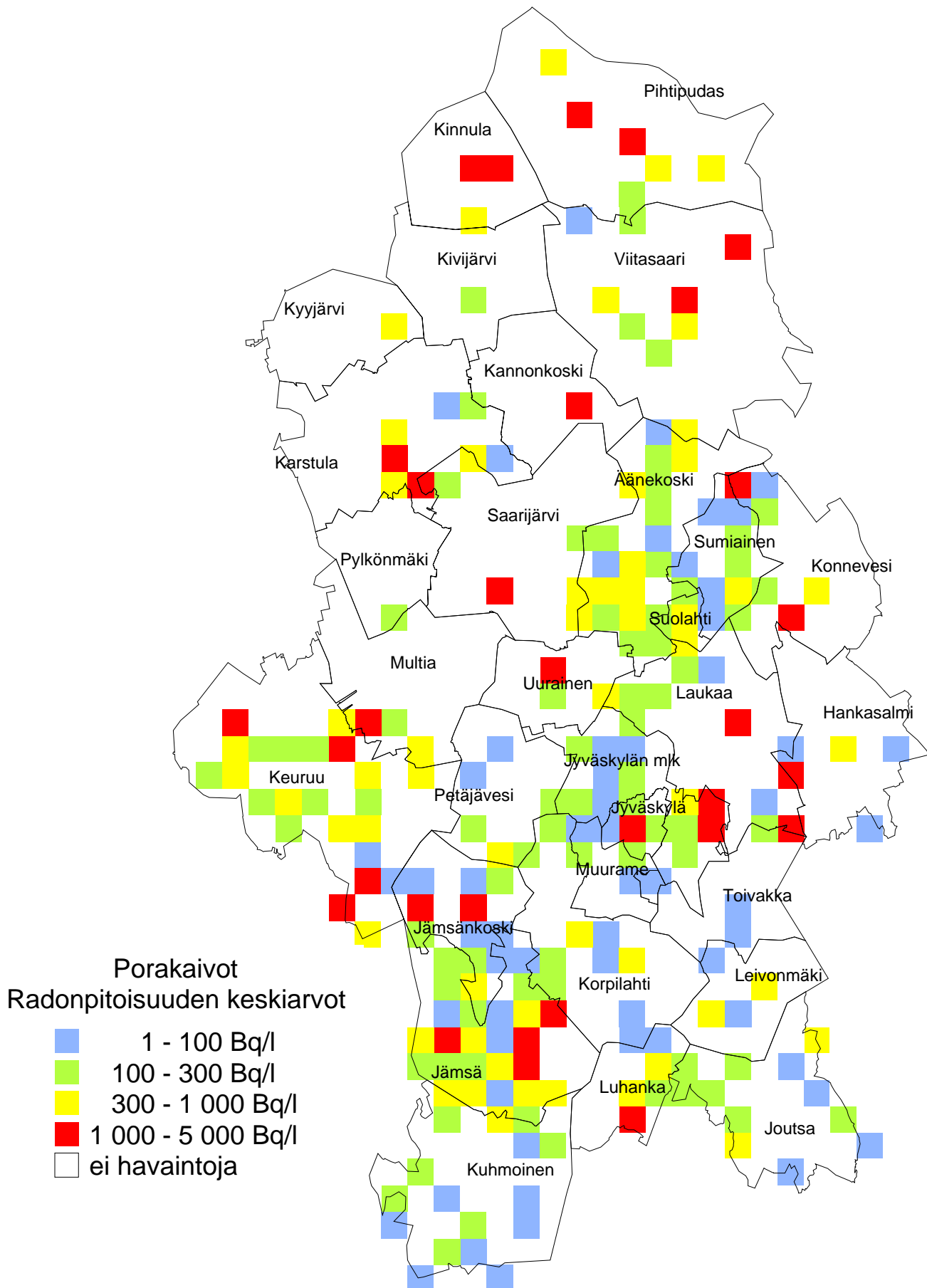
Porakaivot Radonpitoisuuden keskiarvot



Pohjois-Karjalan ympäristökeskus



Keski-Suomen ympäristökeskus

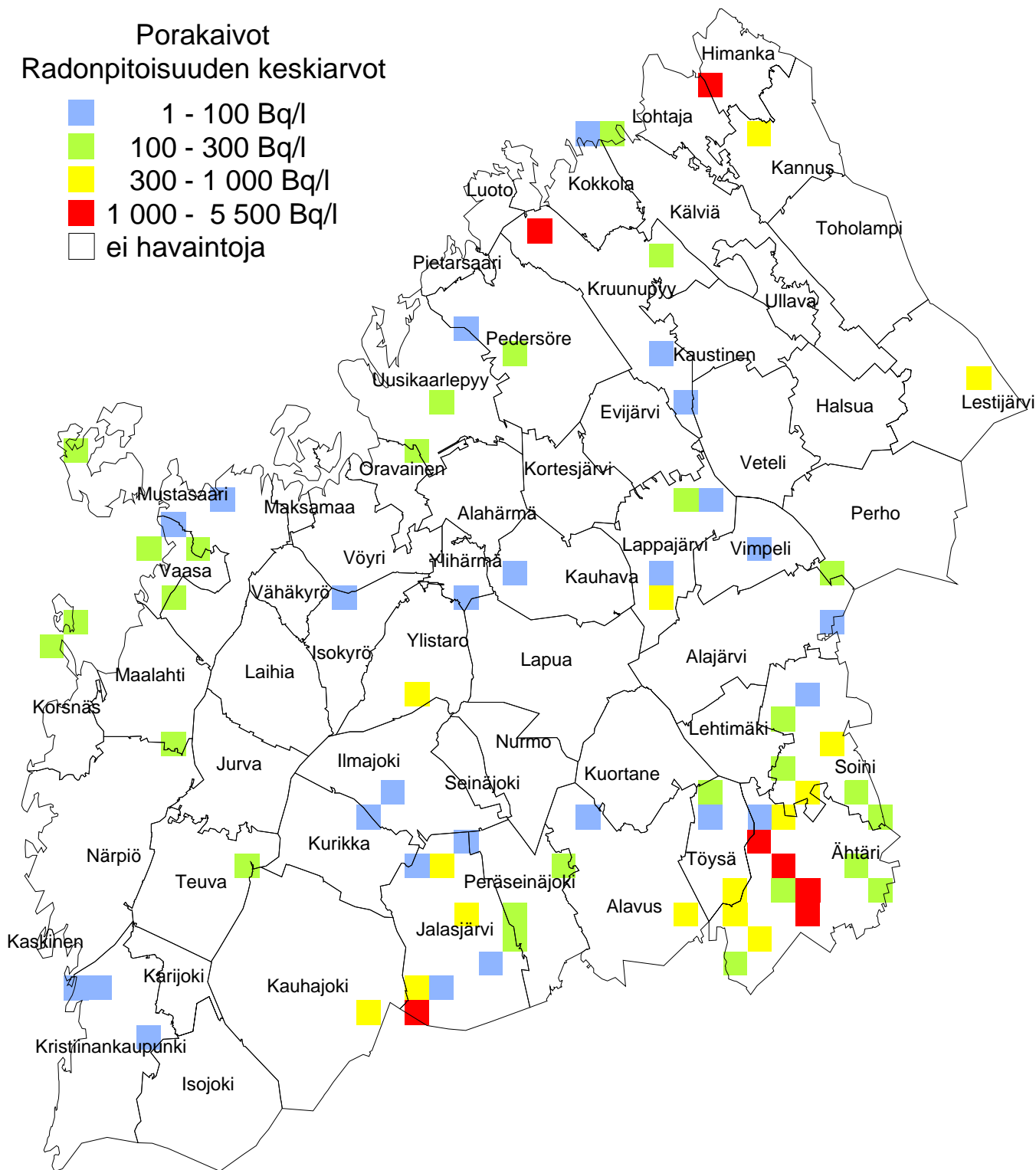


Länsi-Suomen ympäristökeskus

Porakaivot

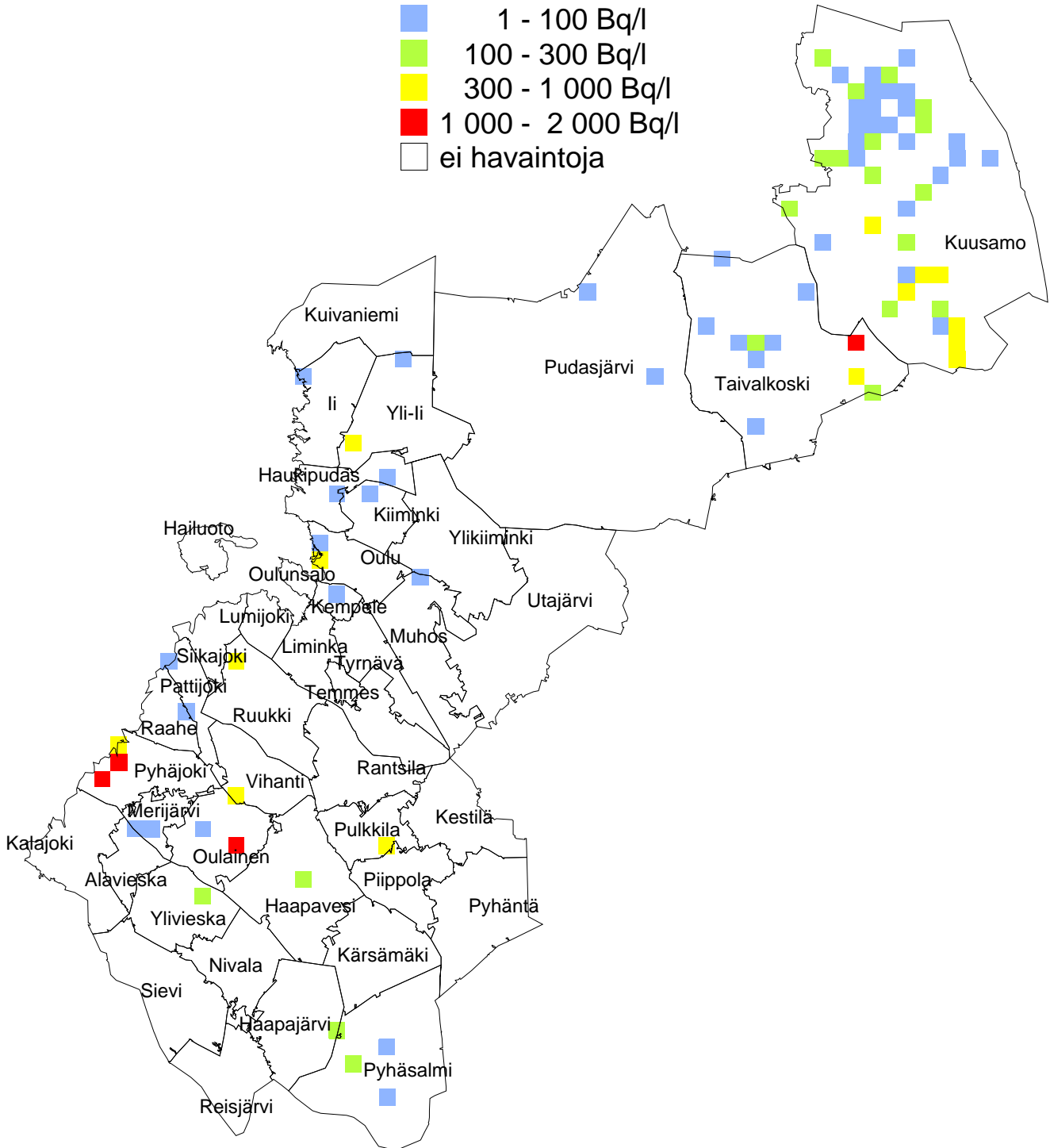
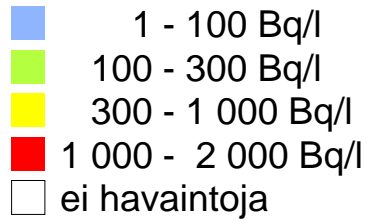
Radonpitoisuuden keskiarvot

- 1 - 100 Bq/l
- 100 - 300 Bq/l
- 300 - 1 000 Bq/l
- 1 000 - 5 500 Bq/l
- ei havaintoja



Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus

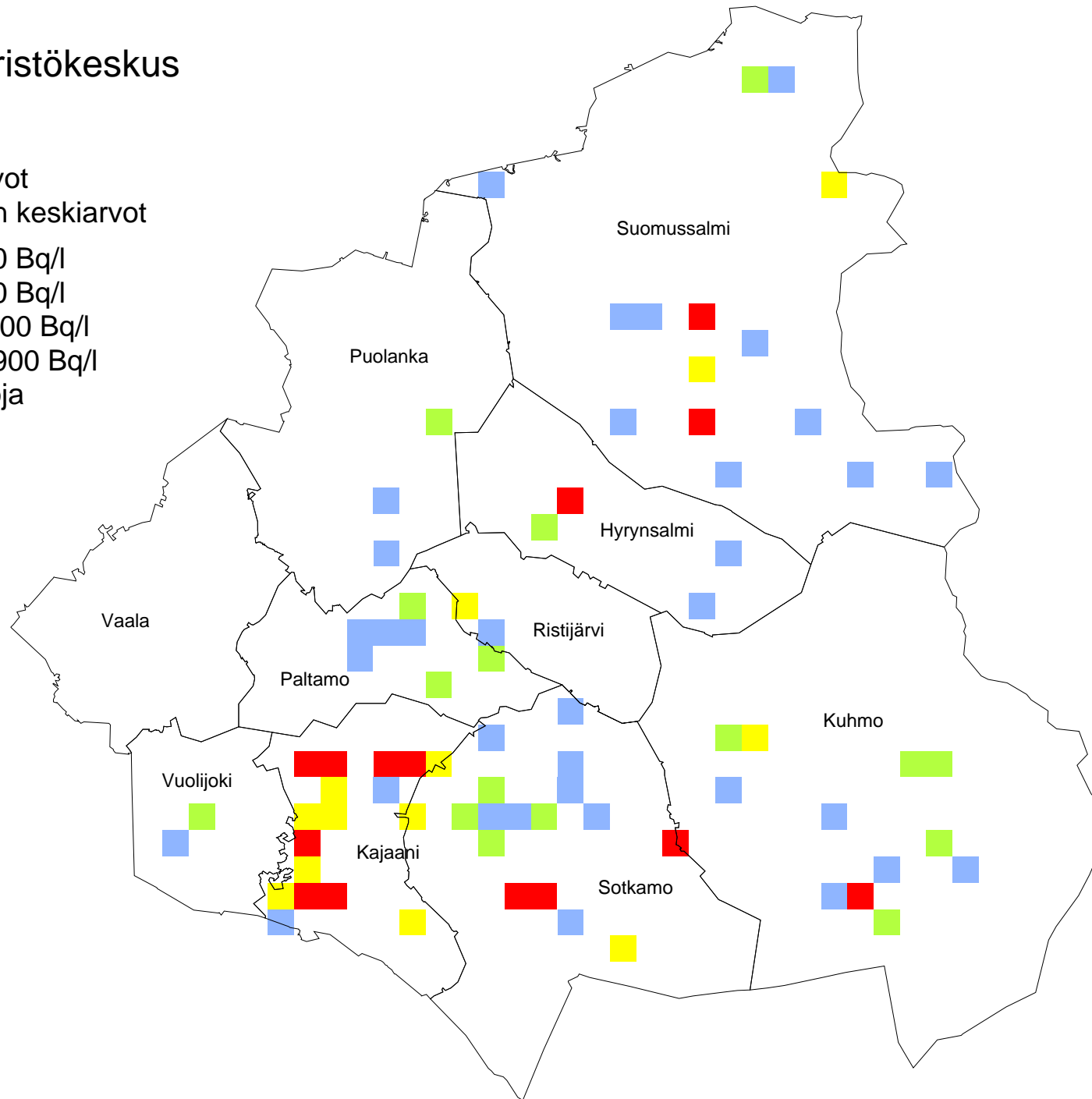
Porakaivot Radonpitoisuuden keskiarvot



Kainuun ympäristökeskus

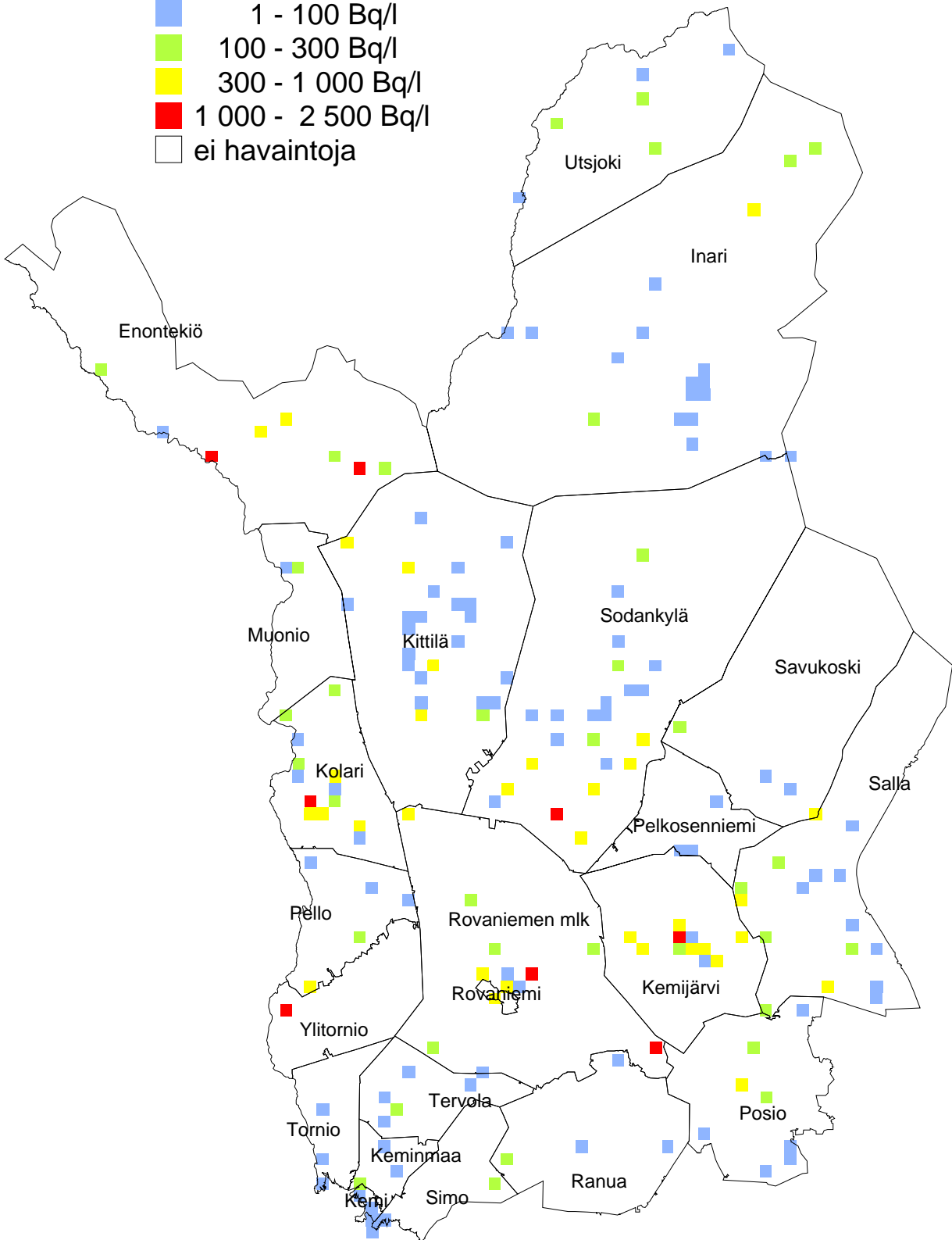
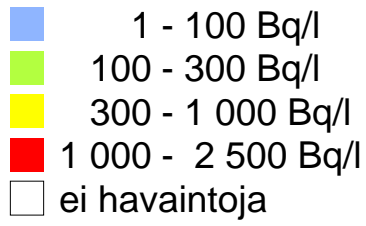
Porakaivot
Radonpitoisuuden keskiarvot

- 1 - 100 Bq/l
- 100 - 300 Bq/l
- 300 - 1 000 Bq/l
- 1 000 - 3 900 Bq/l
- ei havaintoja



Lapin ympäristökeskus

Porakaivot
Radonpitoisuuden keskiarvot



Ahvenanmaa / Åland

