

Talvivaaran ympäristön radiologinen perustilaselvitys

Loppuraportti 31.3.2012



Dina Solatie, Ari-Pekka Leppänen, Jarkko Ylipieti, Heikki Reisbacka ja
Pia Vesterbacka

Säteilyturvakeskus

Luovutettu	Tekijät	pvm	(nimikirjoitus)
	Dina Solatie		
	Ari-Pekka Leppänen		
	Tarkastajat		
	Raimo Mustonen		
	Tarja K. Ikäheimonen		

Yhteenveto

Tässä Talvivaara Sotkamo Oy:n Säteilyturvakeskukselta (STUK) tilaamassa radiologisessa perustilaselvityksessä kartoitettiin radiologinen tilanne Talvivaaran kaivosalueen ympäristössä. Hankkeessa tarkasteltiin luonnon radioaktiivisten aineiden määriä siinä ympäristössä, johon kaivostoiminnalla ja siihen liitettävällä uraanin talteenotolla voi olla vaikutusta. Hankkeen tuloksena saatiin yksityiskohtainen tieto Talvivaaran ympäristön radioaktiivisuustasoista. Hanke oli kaksivuotinen ja alkoi heinäkuussa 2010. Tässä loppuraportissa esitetään eri ympäristönäytteiden radioaktiivisuustuloksia sekä paikan päällä tehtyjen gammaspektrometrinen *in-situ* -mittausten tuloksia vuosilta 2010 ja 2011.

Selvityksessä analysoitiin seuraavia luonnon radioaktiivisia aineita: uraani (U-238, U-235), torium (Th-228, Th-232), radium (Ra-226, Ra-228), lyijy (Pb-210), polonium (Po-210) ja radon (Rn-222) erilaisista ympäristönäytteistä kuten jokivesi, jokisedimentti, järvivesi, järvisedimentti, näkinsammal, kalanliha, sienet, marjat, hirvenliha, pohjavesi, maaperä, ulkoilma, mansikka, viinimarja ja peruna. Lisäksi tehtiin paikan päällä gammaspektrometrisiä *in-situ* -mittauksia. Analyysit ja mittaukset tehtiin sekä vuonna 2010 että 2011.

Tulokset osoittivat, että Talvivaaran alueella ympäristönäytteiden radioaktiivisuuspitoisuudet olivat matalia. Tulokset eivät poikkea muualta Suomesta mitatuista vastaavien näytteiden tuloksista ja alueen ympäristön luonnontuotteita sekä elintarvikkeita voidaan käyttää normaaliin tapaan. Perustilaselvityksen avulla voidaan arvioida tulevaisuudessa kaivostoiminnan ja uraanin talteenoton vaikutuksia ympäristön radioaktiivisuuteen, kun tehdään säännöllistä ympäristön säteilytarkkailua käyttäen hyväksi samoja näytteenottopisteitä ja näytelajeja.

Sisällys

Yhteenveto	2
Sisällys	3
1. Johdanto	4
2. Luonnon radioaktiivisuus Talvivaaran prosessissa.....	5
3. Radiologiset tutkimukset Talvivaaran ympäristössä	6
3.1 Määrittämenetelmät ja laadunhallinta	6
3.2 Näytteiden otto	7
3.3 Näytteiden esikäsittely	12
3.4 Näytteiden analysointi.....	12
3.4.1 Gammaspektrometria.....	12
3.4.2 Näytteiden radiokemialliset analyysit ja alfaspektrometria	14
3.4.3 <i>In-situ</i> -mittaukset.....	14
3.4.4 Ulkoilman radonmittaukset	15
3.4.5 Ulkoilman pölymittaukset	16
4. Tulokset ja tulosten tulkintaa.....	18
4.1 Gammaspektrometrinen mittausten tulosten yhteenvedot.....	18
4.1.1 Ilmapölynäytteet.....	18
4.1.2 Sedimentti- ja vesinäytteet.....	20
4.1.3 Näkinsammal.....	25
4.1.4 Kalan- ja ravunliha	25
4.1.5 Marjat, sienet, peruna, sammaleet, jäkälät, maito ja hirvenliha.....	25
4.1.6 Maaperä.....	26
4.2 Radonpitoisuudet vesissä.....	27
4.3 Radonpitoisuudet ulkoilmassa	28
4.4 Radiokemiallisten uraanianalyysien tulokset.....	31
4.4 Radiokemiallisten polonium- ja lyijyanalyysien tulokset	33
4.5 Tulokset <i>in-situ</i> -mittauksista	34
5. Johtopäätökset.....	35
Liitteet.....	36
Viitteet	37

1. Johdanto

Sotkamon kunnassa sijaitseva Talvivaaran kaivos hyödyntää alueen monimetalliesiintymiä ja rikastaa niistä nikkeliä, sinkkiä, kuparia ja kobolttia sisältäviä sulfideja metalliteollisuuden raaka-aineiksi. Kaivostoiminta on aloitettu keväällä 2008 ja metallien tuotanto syksyllä 2008, joten täysin neitseellistä ympäristön radiologista perustilaa ei enää voida selvittää. Valtioneuvosto teki ydinenergialain nojalla 1.3.2012 päätöksen, jolla se myönsi Talvivaara Sotkamo Oy:lle luvan uraanin talteenottamiseksi sivutuotteena.

Talvivaara Sotkamo Oy tilasi 8.7.2010 STUK:lta Talvivaaran kaivosalueen ympäristön radiologisen perustilaselvityksen. Selvitys tehtiin palveluhankkeena. Selvityksessä kartoitettiin radiologinen perustila Talvivaaran kaivosalueen ympäristössä ja selvitettiin luonnon radioaktiivisten aineiden määriä siinä ympäristössä, johon uraanin talteenottotoiminnalla ja muulla kaivostoiminnalla voi olla vaikutusta. Vuonna 2010 kerättiin ja analysoitiin ympäristönäytteitä. Vastaavat näytteenotot ja analyysit toistettiin vuonna 2011. Lisäksi alueella tehtiin paikan päällä gammaspektrometrisiä *in-situ* -mittauksia sekä ulkoilman radon- ja ilmapölymittauksia.

Hankkeen projektipäällikkönä toimi STUK:n Tutkimus ja ympäristövalvonta -osaston Pohjois-Suomen aluelaboratorion laboratorionjohtaja Dina Solatie. Solatie teki selvityksestä projektisuunnitelman, jonka katselmoi ja hyväksyi Tutkimus ja ympäristövalvonta -osaston apulaisjohtaja Raimo Mustonen. Hankkeen ohjausryhmään kuuluivat: Eeva Ruokonen ja Kari Vyhtinen, Talvivaara Oy; Antti Lankinen, Kainuun luonnonsuojelupiiri; Tarja K. Ikäheimonen ja Raimo Mustonen, STUK.

2. Luonnon radioaktiivisuus Talvivaaran prosessissa

Talvivaaran alueen kallioperä ja nikkelimalmi sisältävät uraania keskimäärin 20 ppm eli 250 Bq/kg. GTK:n litogeokemian tietokannan (RGDB; Rasilainen et al., 2007, 2008) perusteella uraanipitoisuuksien vaihtelu Suomen kallioperässä on välillä 0,08-55 ppm satunnaisesti otetuissa näytteissä (Lauri et al., 2010). Uraani liukenee Talvivaaran päätuotteiden tapaan metallien käsittelyn pääliuokseen. Sen sijaan uraanin hajoamistuotteiden aktiivisuuspitoisuudet pääliuoksessa ovat pieniä, mikä osoittaa, että bioliuotuksessa ne eivät liukene pääliuokseen, vaan jäävät bioliuotuskasoihin. Mittaustulokset osoittavat uraanipitoisuuden kipsijätesakassa olevan suuruusluokkaa 300–900 Bq/kg, kun taas uraanin hajoamistuotteiden pitoisuudet ovat vähäiset, esim. radiumin pitoisuudeksi on mitattu alle 10 Bq/kg (Talvivaaran YVA -selostus, 2010). Yleistä tietoa luonnon radioaktiivisuudesta on Liitteessä 1.

3. Radiologiset tutkimukset Talvivaaran ympäristössä

3.1 Määrittämenetelmät ja laadunhallinta

STUK:n Tutkimus ja ympäristövalvonta -osasto on FINAS -akkreditointipalvelun akkreditoima testauslaboratorio T167. Akkreditoinnissa sovelletaan standardia EN ISO/IEC 17025:2005.

STUK:n keräämät näytteet otettiin akkreditoituilla näytteenottomenetelmillä. Näytteenottajina toimivat akkreditoitu näytteenottaja Kari Huusela ja sertifioitu eliöstö-, vesi- ja vesistönäytteenottaja Hannele Koukkula. Kala-, rapu-, riista- ja osa marja-, sieni- ja elintarvikenäytteistä saatiin paikallisilta asukkailta.

Kaikille näytteille tehtiin gammaspektrometrinen mittausta STUK:n Pohjois-Suomen aluelaboratoriossa. Polonium (Po-210) ja lyijy (Pb-210) määritettiin radiokemiallisella menetelmällä. Uraani (U-234, U-238) määritettiin radiokemiallisesti vesinäytteistä ja kuudesta elintarvikenäytteestä STUK:n Nuklidianalytiikan laboratoriossa Helsingissä. Muista näytteistä uraanipitoisuus (U-238) laskettiin sen radioaktiivisten hajoamistuotteiden perusteella hyvän energian erotuskyvyn gammaspektrometrisissä mittauksissa. Radonmääritykset vesinäytteistä tehtiin heikomman energian erotuskyvyn gammaspektrometrialla (NaI(Tl)- ilmaisimella).

Gammaspektrometriset *in-situ* -mittaukset teki STUK:n Turvateknologia-laboratorio ja radonmittaukset ulkoilmasta STUK:n Terveysriskit ja radonturvallisuus -laboratorio. Tarkemmat kuvaukset käytetyistä analysointimenetelmistä nuklidikohtaisesti on esitetty Taulukossa 1.

Raportissa esitetyt tuulen suunta ja nopeus -tiedot on hankittu Ilmatieteen laitoksen Sotkamon mittauspisteestä, joka on kaivosta lähinnä oleva mittauspiste.

Taulukko 1. Analysoidut radionuklidit ja mittausten menetelmät.

Radionuklidi	Mittausmenetelmä	Viittaus ja STUK:n sisäinen ohje
U-235, U-238, Ra-226, Ra-228, Th-228 ja Th-232	Gammaspektrometria, germanium-ilmaisimet	IEC 1452: 1995 STUK TKO 4.5
Po-210 ja Pb-210	Alfaspektrometria	Vesterbacka ja Ikäheimonen, 2005 STUK OHJE TKO 4.14
U-234 ja U-238	Alfaspektrometria	Vesterbacka et al., 2009 STUK OHJE TKO 4.14
Rn-222	Gammaspektrometria, NaI-ilmaisimet (vesinäytteet) Alfajälki (ulkoilma)	Mäkinen ja Hanste, 2009 STUK OHJE TKO 4.13 STUK OHJE TKO 4.10

3.2 Näytteiden otto

Näytteenottopaikkoja ja näytelajeja valittaessa on otettu huomioon, että radionuklidit voivat levitä kaivos- ja rikastamoalueelta useita eri leviämisreittejä pitkin. Mahdollisia leviämisreittejä ovat leviäminen pinta- ja pohjavesien mukana joko veteen liuenneena tai hiukkasiin kiinnittyneinä, tuulen levittämän pölyn mukana tai kun kysymys on radonista, erittymällä jätteistä tai maaperästä kaasumaisena ilmaan. Näytelajeja valittaessa otettiin huomioon myös luonnontuotteet sekä lähitilojen elintarvikkeet. Näytteenotto tehtiin kahtena eri vuonna, koska luonnon radionuklidien aktiivisuuspitoisuuksissa esiintyy luonnollista vaihtelua. Vuonna 2011 otettiin huomioon myös kaivospiirin mahdollinen laajeneminen ja marja- sekä sieninäytteitä otettiin laajemmalla alueella. Laajenemisalueelle on suunniteltu liuotuskasoja ja sivukiven läjitäyttöalueita.

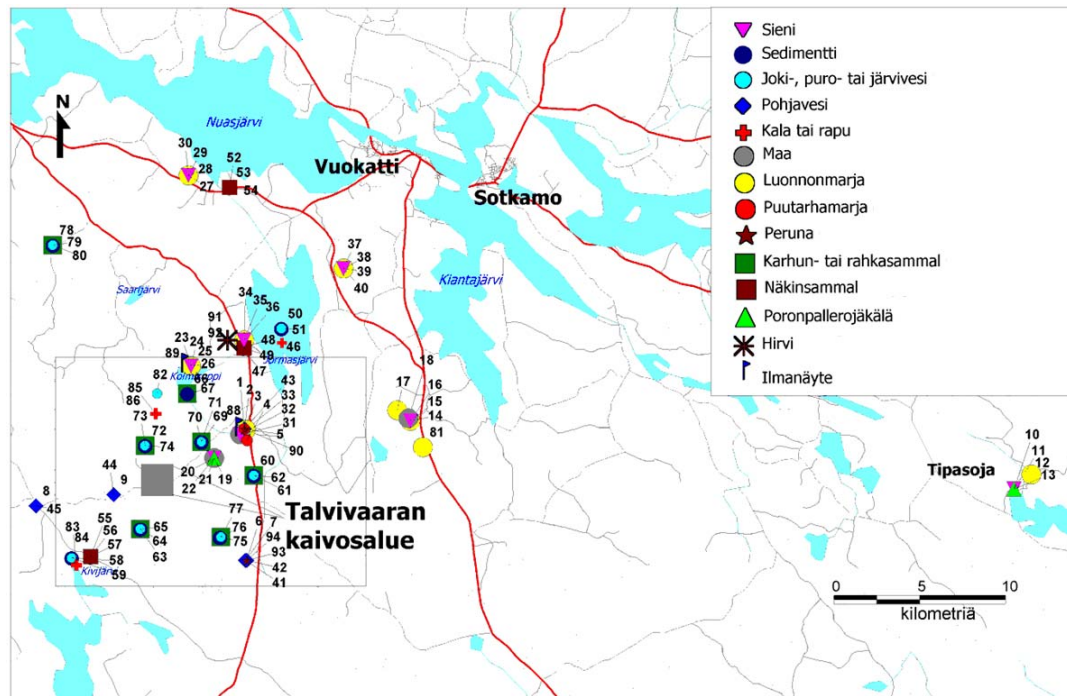
Taulukossa 2 on listattu kerätyt näytteet, näytemäärät (kpl) ja määritetyt radionuklidit. Kuvissa 1-4 näytteenottopisteet on esitetty kartoilla. Liitteessä 2 on esitetty yksityiskohtaiset näytetiedot koordinaatteineen ja näytepainoineen. Kuvat 5-7 kuvaavat näytteenottoa.

Joki- ja järvivesinäytteet otettiin suoraan 5–20 litran kanistereihin, radonmittauksiin vedet otettiin lasisiin yhden litran keräysastioihin. Näyteastiat huuhdottiin näytevedellä ennen varsinaista näytteenottoa. Jokisedimenttinäytteet otettiin (joko sukeltamalla tai kahlaamalla varovasti) noin 1-2 metrin syvyydestä, STUK-putkinoutimen pelkällä sisäputkella (halkaisija 64 mm). Näytepropun pituus putkessa mitattiin, minkä jälkeen koko proppu laitettiin näyteastiaan ja pakastettiin. Järvistä

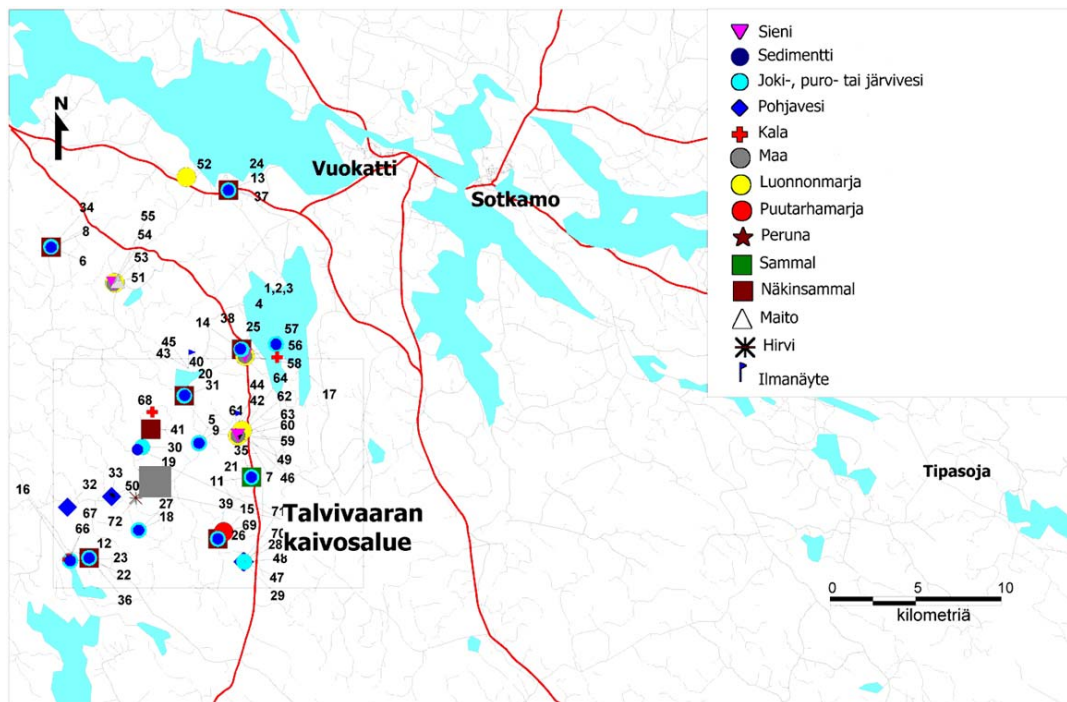
sedimenttinäytteet otettiin STUK-putkinoutimella siten, että yhteen näytteeseen otettiin kaksi tai kolme nostoa. Näytepropot mitattiin ja viipaloitiin 2 cm siivuiksi pinnalta alaspäin. Vuonna 2010 rinnakkaiset siivut yhdistettiin yhdeksi näytteeksi, vuonna 2011 yhdistettiin kolme rinnakkaista siivua.

Taulukko 2. Kerätyt näytteet, näytemäärät ja radionuklidit 2010 ja 2011.

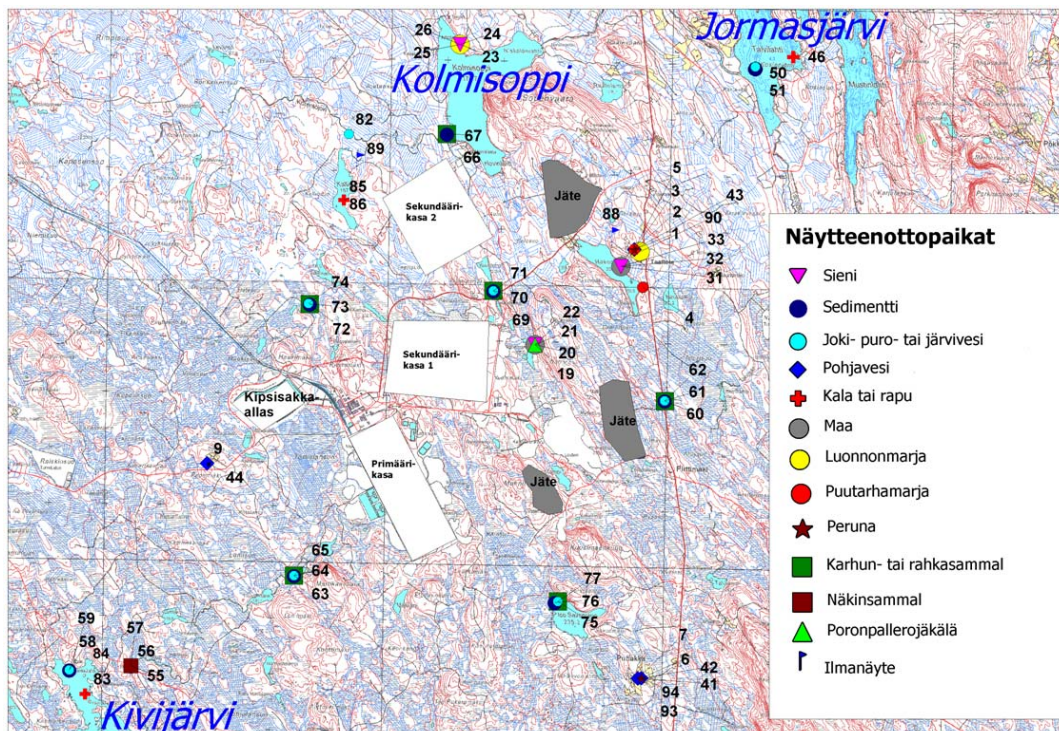
Jokivesi	20	Gammanuklidit, Po/Pb, U-234, U-238
Jokisedimentti	20	Gammanuklidit, Po/Pb
Näkinsammal	10	Gammanuklidit, Po/Pb
Sammal	8	Gammanuklidit, Po/Pb
Järvivesi (Jormas- ja Kivijärvi)	4	Gammanuklidit, Po/Pb, U-234, U-238
Järvisedimentti, (Jormas- ja Kivijärvi) 2 paikkaa 10 x 2 cm	40	Gammanuklidit, Po/Pb
Sienet (haperot, tatit, rouskut, kantarelli)	15	Gammanuklidit, Po/Pb
Marjat (mustikka, puolukka, karpalo)	22	Gammanuklidit, Po/Pb
Pohjavesi (lähde, porakaivo)	20	Gammanuklidit, Po/Pb U-234, 238, Rn-222
Kalat (hauki ja ahven, Kallio- ja Kivijärvi) ja rapu	11	Gammanuklidit, Po/Pb
Hirvenliha	3	Gammanuklidit, Po/Pb
Elintarvikkeet (mansikka, peruna, viinimarja)	9	Gammanuklidit, Po/Pb, kolmesta näytteestä uraanin isotoopit
Ulkoilman pöly	6	Gammanuklidit, Po/Pb
Ulkoilman radon	400	Rn
Maaperä	6	Gammanuklidit, Po/Pb



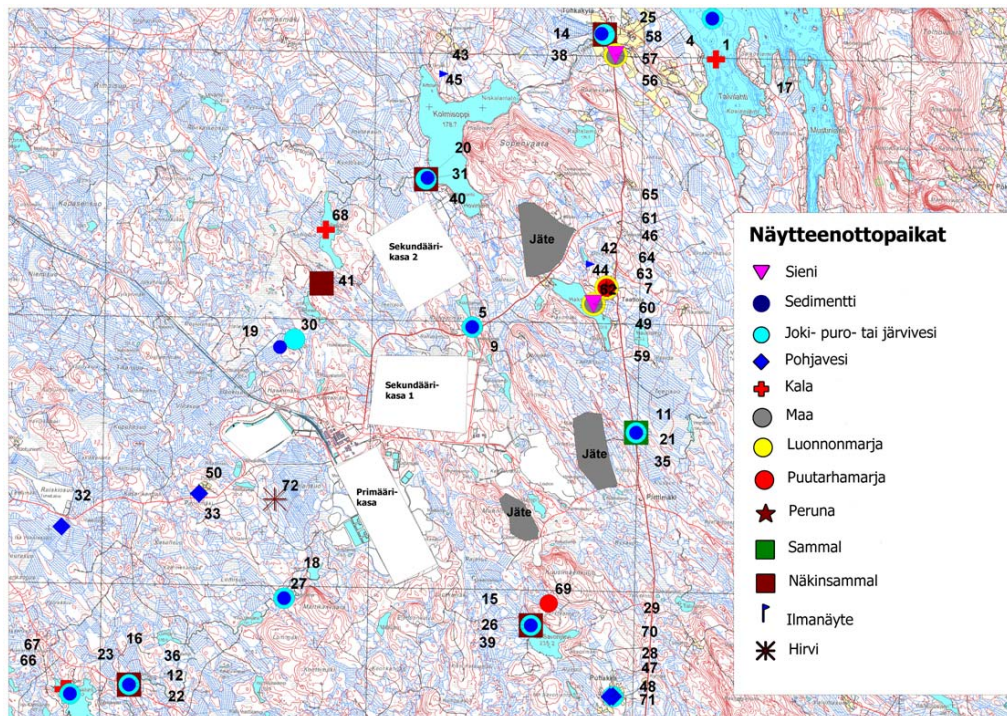
Kuva 1. Talvivaaran kaivosalueen ympäristöstä otetut näytteet ja näytepaikat 2010. Muutama marja- ja sieninäyte otettiin vertailun vuoksi Tipasojalta. Kuvassa esiintyvät numerot viittaavat yksittäisen näytteen näytenumeroon (TV XX/10).



Kuva 2. Talvivaaran kaivosalueen ympäristöstä otetut näytteet ja näytepaikat 2011. Kuvassa esiintyvät numerot viittaavat yksittäisen näytteen näyttenumeroon (TV XX/11).



Kuva 3. Näytteenottoaikat kaivosalueen läheltä 2010. Kuvassa esiintyvät numerot viittaavat yksittäisen näytteen näyttenumeroon (TV XX/10).



Kuva 4. Näytteenottopaikat kaivosalueen läheltä 2011. Kuvassa esiintyvät numerot viittaavat yksittäisen näytteen näytenumeroon (TV XX/11).



Kuva 5. Sedimenttinäytteenotto Tuhkajoelta 2010.



Kuva 6. Vesinäytteenottoa Härkäpalolta 2011.



Kuva 7. Ilmapölykeräin Yks-sopessa kesäkuussa 2011.

3.3 Näytteiden esikäsittely

Näytteet punnittiin ennen esikäsittelyä. Osa näytteistä pakastettiin pilaantumisen estämiseksi. Marja-, sieni-, peruna- ja sammalnäytteet puhdistettiin roskista. Sienet, perunat ja lihat paloiteltiin. Näytteet kuivattiin lämpökaapissa tai kylmäkuivurissa, jonka jälkeen ne homogenisoitiin. Sedimentti-, hiekka- ja maaperänäytteet seulottiin 2 mm seulalla. Seulaan jäänyt orgaaninen aines ja kivet punnittiin erikseen. Gammamittauksiin menevät vesinäytteet haihdutettiin kuiviin infrapunalamppujen alla haihdutusmaljoissa ja poltettiin tuhkaksi posliiniupokkaissa. Gammamittauksia varten näytteet purkitettiin 35 ml:n tai 100 ml:n purkkeihin, punnittiin ja vakumoitiin.

3.4 Näytteiden analysointi

Selvityksessä analysoitiin luonnon radioaktiivisten aineiden, uraanin (U-238, U-235, U-234), toriumin (Th-228, Th-232), radiumin (Ra-226, Ra-228), lyijyn (Pb-210), poloniumin (Po-210) ja radonin (Rn-222) aktiivisuuspitoisuudet erilaisista ympäristönäytteistä.

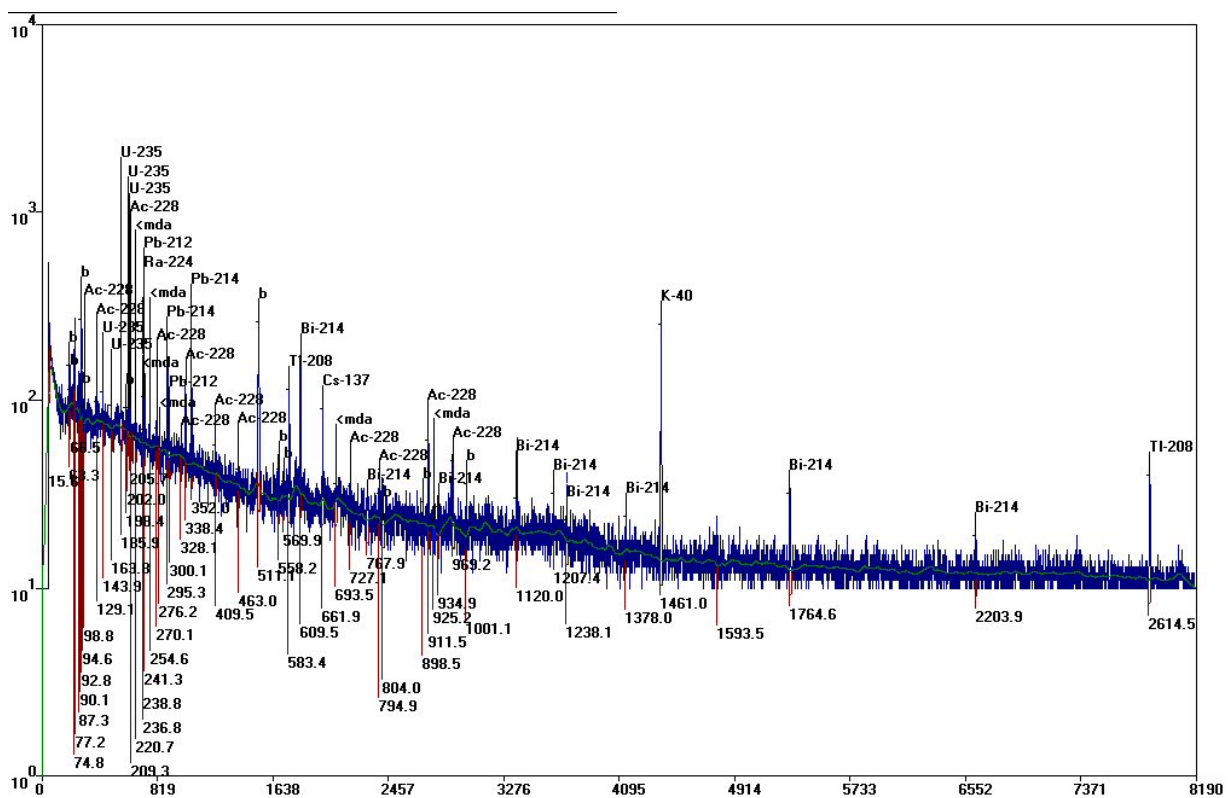
3.4.1 Gammaskpektrometria

Näytteiden gammaskpektrometrisesti analysoitavat nuklidit olivat Ra-226, Ra-228, Th-228, Th-232, sekä U-235 ja U-238, silloin, kun uraanipitoisuudet olivat tarpeeksi suuria. Raportissa on ilmoitettu myös Cs-137:n ja K-40:n pitoisuudet, mikäli niitä havaittiin. Vesinäytteiden Rn-222 -pitoisuudet määritettiin NaI-ilmaisimella samana päivänä.

Ennen mittauksia selvitettiin laboratorion luonnontaustasäteily, jotta se voitiin ottaa asianmukaisesti huomioon tulosten laskennassa. Näytteet vakumoitiin alumiinisten pussien sisälle radonin vapautumisen estämiseksi (pois luettuna Rn-222 -määritykset vedestä). Kuvassa 8 on alumiiniseen pussiin vakumoitu näyteastia. Tämän jälkeen näytteitä seisotettiin kolme viikkoa, jotta radonin hajoamistuotteet olivat radioaktiivisessa tasapainossa radiumin kanssa. Mitattavista radionuklideista vain muutaman aktiivisuuspitoisuus pystyttiin määrittämään suoraan nuklidista lähtevän säteilyn perusteella. Muiden nuklidien pitoisuudet määritettiin hajoamistuotteiden (tytärnuklidien) pitoisuuksien perusteella. Näytteiden mittausaika vaihteli näytteestä riippuen kahdesta tunnista aina kolmeen päivään. Kuvassa 9 on esimerkkinä gammaskpektri Tammapuron sedimenttinäytteen mittauksesta. Nuklidit tunnistettiin piikkien energioiden perusteella. Kuvassa tunnistetut piikit on nimetty nuklidin mukaan.



Kuva 8. Vakuumoitu sedimenttinäyte. Näyteastia (100 ml) on kuvan keskellä alumiinisen pussin sisällä.



Kuva 9. Tammapuron sedimenttinäytteestä (Kuva 8) mitattu gammaspektri. X-akselilla on fotonin energia kanavina ja Y-akselilla piikin intensiteetti. Kuvassa näkyvät myös käytetyn analyysiohjelman tunnistamat ja nimeämät piikit ja niitä vastaavat energiat (keV).

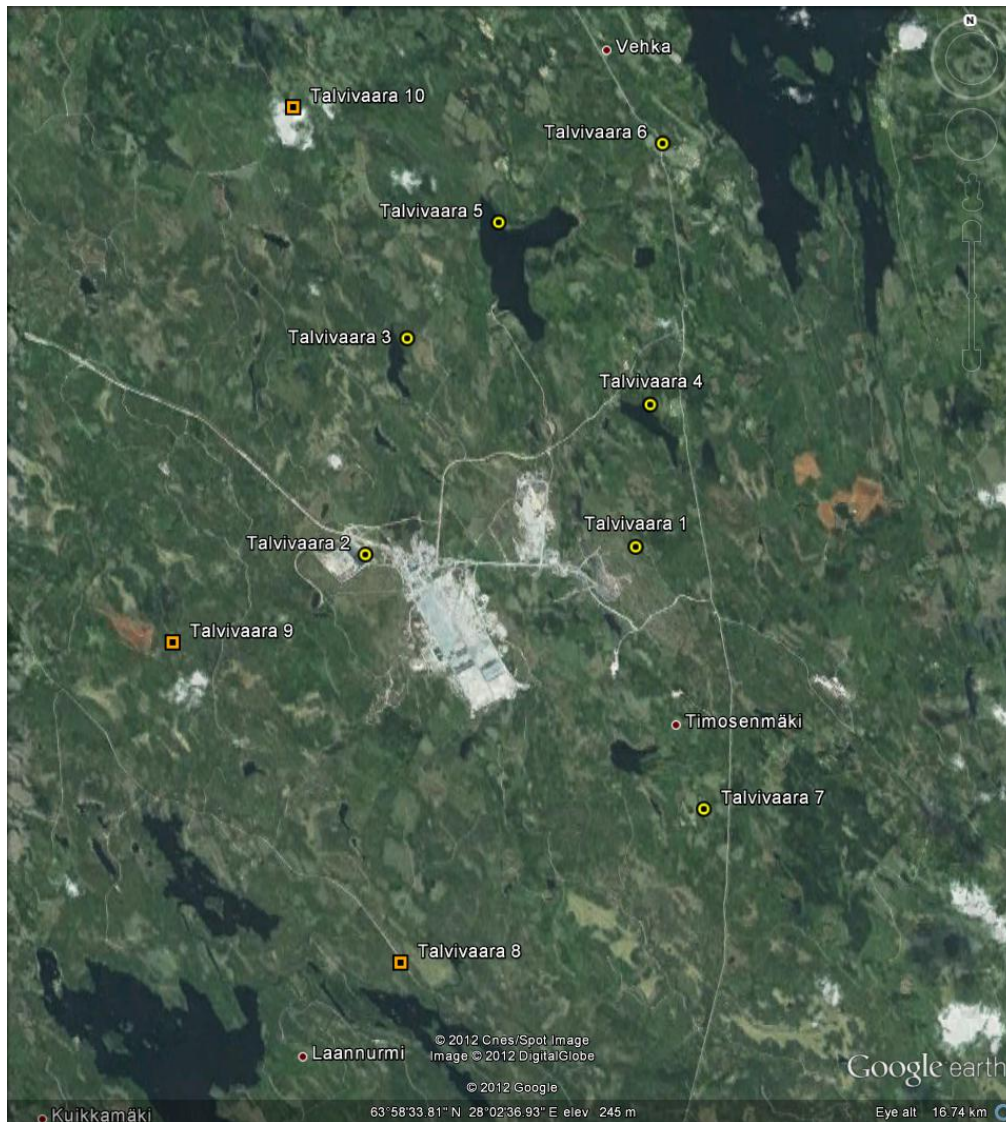
3.4.2 Näytteiden radiokemialliset analyysit ja alfaspektrometria

Vesinäytteistä sekä kuudesta elintarvikenäytteestä analysoitiin uraani radiokemiallisesti. Uraani erotettiin muista aineista ioninvaihtomenetelmällä ja näytteet mitattiin alfaspektrometrisesti. Näytteen uraanipitoisuuden laskeminen perustuu analyysin alussa lisätyn sisäisen merkkiaineen määrään, joka tunnetaan tarkasti. Merkkiaineena käytettiin U-232 -isotooppia.

Poloniumin radiokemiallisessa erotuksessa käytettiin hyväksi poloniumin kykyä saostua spontaanisti hopealevyille. Radiokemiallisen erotuksen jälkeen näytteet mitattiin alfaspektrometrilla. Lyijy-210 määritettiin samasta näytteestä, josta Po-210 ensin saostettiin ja johon Po-210:n sen jälkeen annettiin kasvaa sisään noin puolen vuoden ajan. Tämän jälkeen Po-210- ja Pb-210 -tulokset laskettiin näytteenottohetkeen. Ensimmäisessä saostuksessa käytettiin merkkiaineena Po-209:ää ja toisessa käytetään Po-208:aa.

3.4.3 *In-situ* -mittaukset

Gammaspektrometrisillä *in-situ* -mittauksilla kartoitettiin maanpinnan gammasäteilyä lähettävien radionuklidien aktiivisuuspitoisuuksia. Mittauksessa käytettiin HPGe-ilmaisinta, joka oli sijoitettu noin metrin korkeuteen kolmijalan päälle. Mittausaika oli 30 minuuttia/piste. Mittauspisteet valittiin kaivoksen länsipuolelta asutuksen ja päätuulensuunnan mukaan. Kuvassa 10 on esitetty mittauspisteet. Vuonna 2011 huomioitiin myös kaivospiirin mahdollinen laajeneminen ja *in-situ* -mittauksia tehtiin kolme enemmän kaivoksen etelä-, länsi- ja pohjoispuolella. Mittauspiste 1 oli avolouhoksen ja piste 2 kipsisakka-altaan vieressä, muut pisteet sijaitsivat kaivosalueen ulkopuolella. Kaivoksen louhittu alue laajeni tutkimuksen aikana niin, että mittauspiste 1 on todennäköisesti louhittu pois.



Kuva 10. *In-situ* -mittauspisteiden paikat vuosina 2010 ja 2011. Vuonna 2010 mitattiin pisteet 1-7 ja 2011 pisteet 1-10.

3.4.4 Ulkoilman radonmittaukset

23.–24.9.2010 Talvivaaran kaivosalueen ympäristöstä valittiin 50 mittauspistettä ulkoilmassa olevan kaasumaisen radonin mittaamiseksi. Mittauspisteiden koordinaatit otettiin Nokia E71 -puhelimella. Ulkoilman radonmittaus suoritettiin jokaisessa mittauspisteessä neljällä STUK:n radonmittauspurkillä. Mittauspisteessä maahan iskettiin rima ja siihen kiinnitettiin metrin korkeudelle muovipullo, jonka pohja oli poistettu. Pullon sisään sääsuojaan sijoitettiin neljä radonmittauspurkkia (Kuva 11). Mittaukset lopetettiin 2.-3.12.2010. Uusintamittaukset samoissa mittauspisteissä suoritettiin 22.6.–22.9.2011 välisenä aikana.



Kuva 11. Ulkoilman radonmittauspiste.

3.4.5 Ulkoilman pölymittaukset

Vuonna 2010 ilmapölynäytteitä otettiin kahdesta paikasta 2.-3.11.2010 välisenä aikana. Keräimiä oli kaksi, ”Pikkupoika” ja ”Lilliput”. Pikkupoika -keräimen keräysnopeus on $150 \text{ m}^3/\text{h}$, kun taas Lilliput -keräin on pienempi kooltaan ja imuteholtaan noin $13 \text{ m}^3/\text{h}$. Keräimet sijoitettiin kaivosalueen ulkopuolelle tuulen alapuolelle niin, että Pikkupoika -keräin oli Hakosenjärven rannalla olevan saunamökin terassilla Taattolassa ja Lilliput Kolmisopen pohjoispäässä Nurminiemen Yks-sopessa. Molemmat paikat sijaitsivat noin 2-3 km päässä Kolmisopen avolouhoksesta. Talvivaaran ympäristössä lounaistuuli on vallitseva ja pääasiassa tuulen suunta on Taattolaan päin. Kuvassa 8 ilmapölykeräyspisteet ovat pisteissä Talvivaara 4 ja 5. Samoissa pisteissä tehtiin myös gammaspektrometriset *in-situ* -mittaukset. Keräysjakson aikana 2.11. tuulen suunta oli lounaasta, sää aurinkoinen ja kuiva ja lämpötila $+2 \text{ }^\circ\text{C}$. 3.11. satoi vettä ja räntää, tuulen suunta oli sama. Keräysaikana kaivoksella ei räjäytetty.

Vuonna 2011 otettiin yhteensä neljä ilmapölynäytettä. Näytteet TV 42/11 ja TV 44/11 otettiin Taattolan tilan saunamökiltä 13.6.-15.6. Kaivosyhtiön mökin terasilta Yks-sopesta otettiin kaksi näytettä 13.6.-15.6. (TV 43/11) ja 15.6.-17.6. (TV 44/11). Pääasiallinen tuulen suunta 13.-14.6.2011 oli idästä ja kaakosta, kun taas 15.-17.6. tuuli kääntyi puhaltamaan lännestä, luoteesta ja

pohjoisesta. Kaivoksen louhoksella räjäytettiin 14.6.2011 klo 13:45 ja 16.6.2011 räjäytettiin kipsisakka-alueen rakennustyömaalla klo 10.

4. Tulokset ja tulosten tulkintaa

Tässä kappaleessa on esitetty vuoden 2010 ja 2011 gammaspektrometrysten analyysien, uraanin, poloniumin ja lyijyn radiokemiallisten analyysien tulosten yhteenvedot, *in-situ* -mittausten tulokset sekä ulkoilman radonmittausten tulokset. Yksityiskohtaiset gammaspektrometrysten analyysien tulokset on esitetty Liitteessä 3, uraaniaanalyysien tulokset Liitteessä 4, radonmittausten tulokset ulkoilmassa Liitteessä 5 sekä Po-210/Pb-210 -tulokset Liitteessä 6.

Tulokset eivät poikkea muualta Suomesta mitatuista vastaavien näytteiden tuloksista ja alueen ympäristön luonnontuotteita sekä elintarvikkeita voidaan käyttää normaaliin tapaan. Ainoastaan yhdessä mitatuista porakaivovesistä radonpitoisuus ylitti yksityiselle kaivovedelle asetetun toimenpiderajan 1000 Bq/l. Kyseinen kaivo ei ole vakituksessa käytössä. Mahdollisiin toimenpiteisiin veden aktiivisuuden alentamiseksi vaikuttaa kaivon vuotuinen käyttöaika. Vuoden 2011 kaivoksen mangaani ja sulfaattipäästöt eivät ole vaikuttaneet radioaktiivisten aineiden pitoisuuksiin ympäristössä.

4.1 Gammaspektrometrysten mittausten tulosten yhteenvedot

Yksikkönä taulukoissa on käytetty Bq/kg kuivapainoa (k.p.) kohden. Vesien tulokset on ilmoitettu Bq/kg. Taulukoissa ja liitetiedostoissa käytetty merkintä a.m. tarkoittaa, että tulos on ollut alle määrittämissä. Määrittämissä on pienin aktiivisuuspitoisuus, joka voidaan määrittää luotettavasti käyttäen kyseistä analysointimenetelmää. Määrittämissä riippuu näytteen koosta, nuklidista, käytetystä mittausajasta sekä ilmaisimesta.

4.1.1 Ilmapölynäytteet

Nuklidien pitoisuudet ilmapölynäytteissä on esitetty Taulukossa 3. Vertailupisteeksi valittiin kansallisen ympäristön säteilyvalvontaverkon Kajaanin ilmapölykeräysaseman tulokset samoilta ajoilta (1.–8.11.2010 ja 13.–20.6.2011). Taattolan tilan ja Yks-sopen mittauspisteissä vuonna 2010 näkyy kaivoksen vaikutus kohonneina pitoisuuksina Kajaanin tuloksiin verrattuna, kun tuulen suunta oli kaivokselta mittauspisteisiin päin (Taulukko 3). Vuonna 2011 tuulen suunta vaihteli enemmän niin, että keräysjakson loppuvaiheilla tuuli puhalsi kaivokselta poispäin mittauspisteisiin nähden. Tämän voi todeta Kuvista 12 ja 13, missä on esitetty tuulen suunta ja nopeus, nk. ”tuuliruuus”, keräysjaksojen ajalta. Tuulen suunnan vaihtelun vuoksi vuoden 2011 ilmapölynäytteissä näkyy kaivoksen pölyn aiheuttamaa radioaktiivisuutta vähemmän kuin vuonna 2010. Molempina vuosina pitoisuudet olivat korkeampia kuin mitä vastaavina ajanjaksoina

havaittiin Kajaanin valvonta-aseamalla. Yleisesti aktiivisuuspitoisuudet mittaushetkillä olivat kuitenkin erittäin pieniä, mikroBq/m³ tasoa, eikä niistä aiheudu haittaa ympäristölle.

Taulukko 3. Ilmapölynäytteissä havaitut radionuklidit vuosilta 2010 ja 2011. Pitoisuudet on ilmoitettu yksikössä mikroBq/m³.

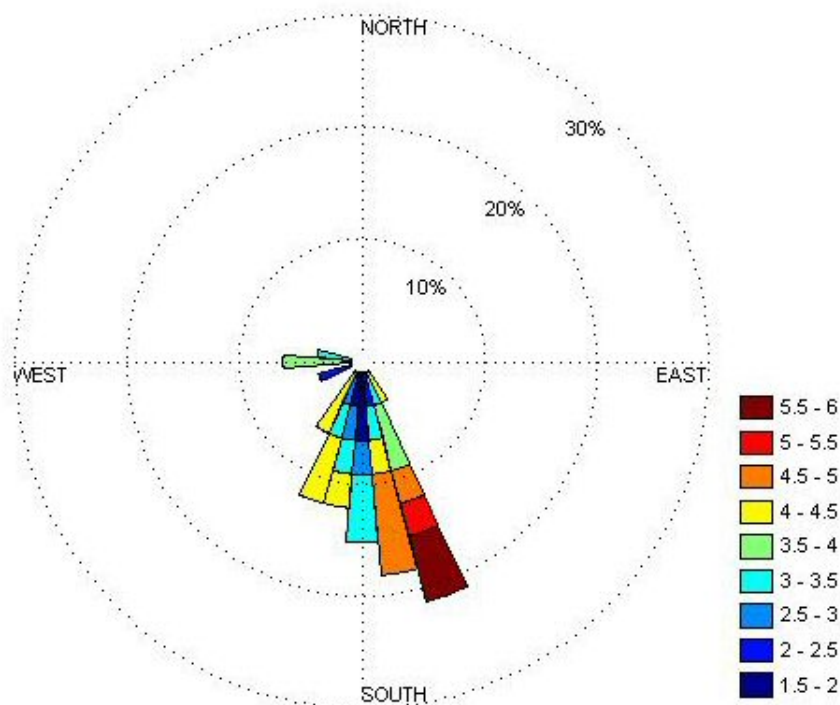
2010

Paikka	Keräysaika	Pb-210	Ac-228	Bi-214	Pb-212	Pb-214	Tl-208	U-235	K-40
Taattolan tila	2.-3.11.2010	a.m.	24	a.m.	20	a.m.	a.m.	11	1750
Yks-soppi	2.-3.11.2010	325	a.m.	104	136	74	a.m.	a.m.	940
Kajaani	1.-8.11.2010	a.m.	8	5	6	5	5	1,6	107

2011

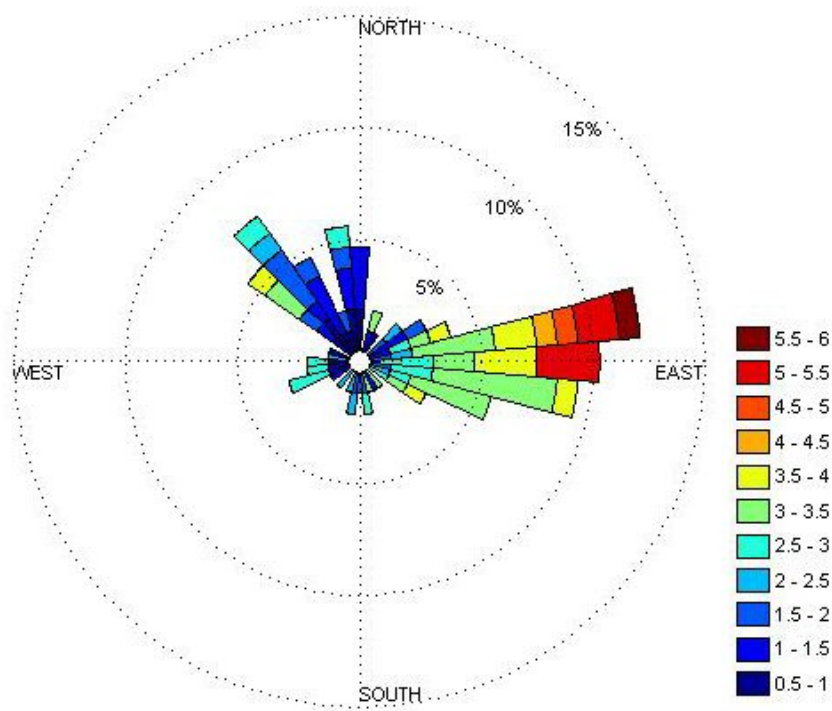
Paikka	Keräysaika	Pb-210	Ac-228	Bi-214	Pb-212	Pb-214	Tl-208	U-235	K-40
Taattolan tila	13.-15.6.2011	140	18	24	9	11	a.m.	a.m.	370
	15.-17.6.2011	240	27	a.m.	11	a.m.	a.m.	a.m.	320
Yks-soppi	13.-15.6.2011	130	a.m.	a.m.	a.m.	a.m.	a.m.	a.m.	370
	15.-17.6.2011	240	25	30	a.m.	a.m.	a.m.	a.m.	550
Kajaani	13.-20.6.2011		5	6	4	6	3	a.m.	230

Sotkamossa mitattu tuulen suunta ja nopeus 2.-3.11.2010



Kuva 12. Sotkamosta mitattu tuulen suunta (=mistä tuulee) ja nopeus ajalta 2.-3.11.2010. Vasemmalla oleva palkki värikoodeineen ilmaisee tuulen nopeuden. Katkoviivaympyrät ilmoittavat ko. tuulen suunnan prosenttiosuuden. Tiedot toimitti Ilmatieteen laitos.

Sotkamossa mitattu tuulen suunta ja nopeus 13.-17.6.2011



Kuva 13. Sotkamosta mitattu tuulen suunta (=mistä tuulee) ja nopeus ajalta 13.-17.6.2011. Vasemmalla oleva palkki värikoodeineen ilmaisee tuulen nopeuden. Katkoviivaympyrät ilmoittavat ko. tuulen suunnan prosenttiosuuden. Tiedot toimitti Ilmatieteen laitos.

4.1.2 Sedimentti- ja vesinäytteet

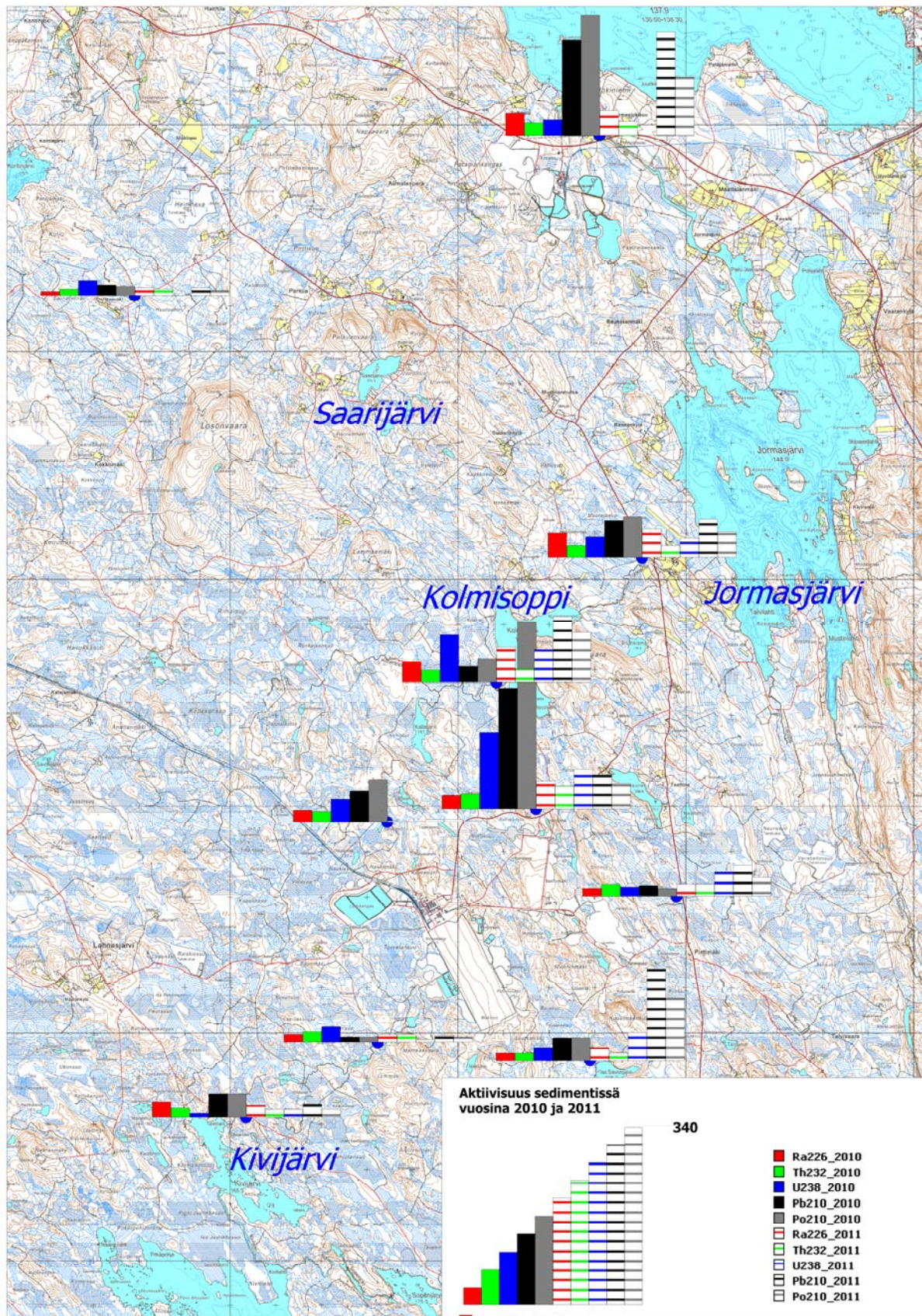
Sedimentti- ja vesinäytteitä otettiin seitsemästä pisteestä, joissa on jo ennestään vesien tarkkailua, sekä kolmesta uudesta pisteestä. Kaivoksesta johdetaan puhdistettua prosessivettä kahteen suuntaan: Jormas- ja Kivijärviin. Tuhkajokea pitkin vedet kulkevat Jormasjärveen ja Lumijokea pitkin Kivijärveen. Näytteitä kerättiin Kalliojoensuulta läheltä Kolmisopen avolouhosta, Kivijärven suulta, Jormasjoesta, Tuhkajoesta, Härkäpurosta (ei johdeta kaivoksen puhdistettua prosessivettä), pohjoisen vesien jälkikäsittely-yksikön jälkeen Kärsälammesta sekä eteläisen vesien jälkikäsittely-yksikön jälkeen Korpelammesta, Tammapurosta ja Ruunakorvenpurosta.

Joki- ja purosedimentit

Tulokset joki- ja purosedimenttien pitoisuuksista on esitetty Taulukossa 4 ja Kuvassa 14. Tulokset eivät poikkea normaalista Suomen tasosta.

Taulukko 4. Pintasedimenttinäytteistä mitattujen aktiivisuuspitoisuuksien vaihteluvälit vuonna 2010 ja 2011.

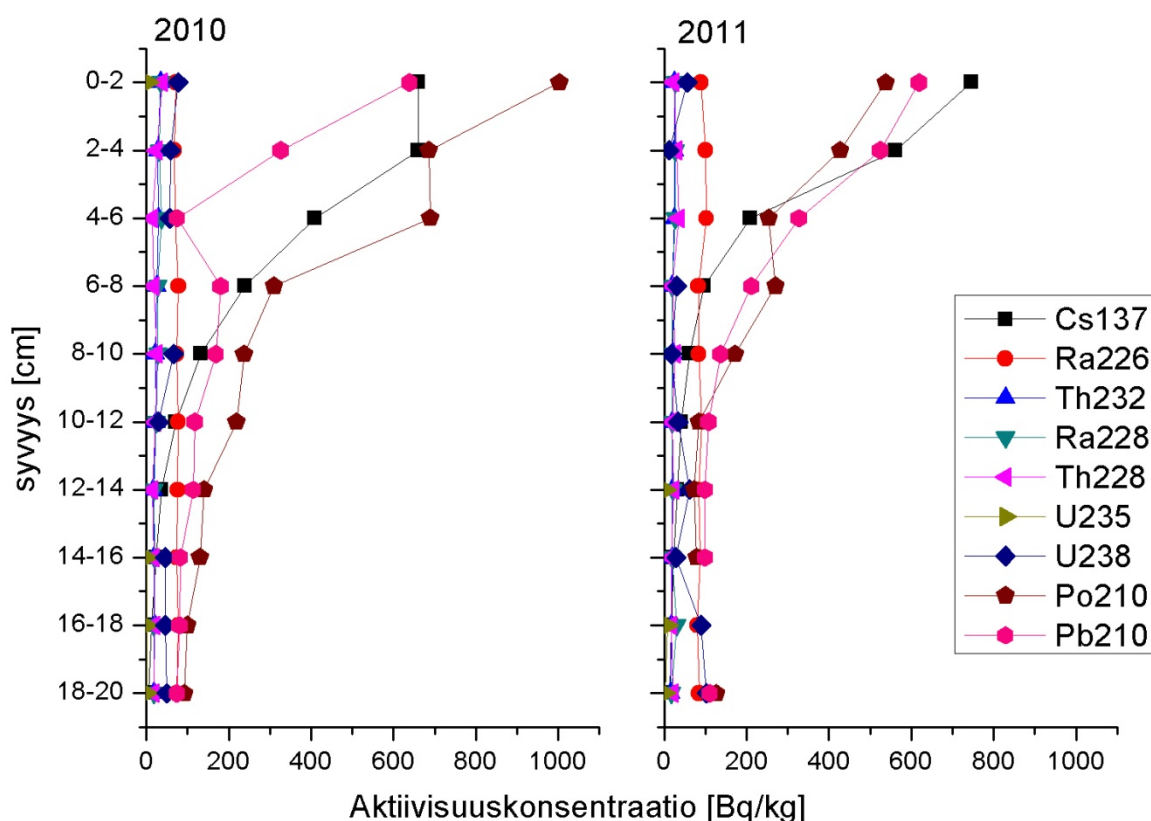
	2010	2011
Nuklidi	Vaihteluväli [Bq/kg]	Vaihteluväli [Bq/kg]
Ra-226	14–46	3,1–64
Ra-228	12–23	39 tai alle
Th-228	10–39	1,6–43
Th-232	12–26	40 tai alle
U-235	11 tai alle	5,1 tai alle
U-238	22–140	33 tai alle



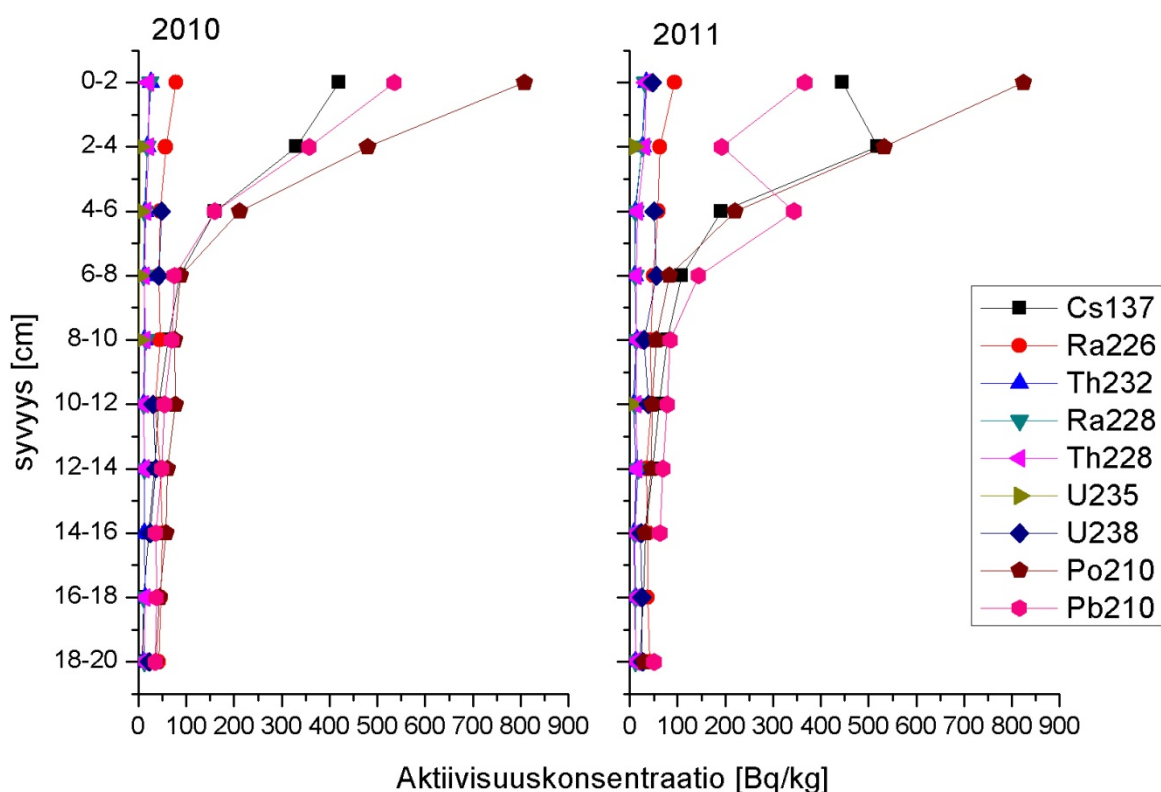
Kuva 14. Sedimenttinäytteiden aktiivisuuspitoisuudet 2010 ja 2011.

Järvisedimentit

Kivijärven sedimentinäytteet otettiin molempina vuosina samasta kohdasta, kun taas Jormasjärvestä otettiin sedimenttiprofiilit hieman eri paikoista niin, että vuonna 2011 sedimenttiprofiilin näytteenottopaikka oli lähempänä rantaa. Mahdollisesti tämän takia Ra-226 näkyy aavistuksen suurempina pitoisuuksina. Profiileissa näkyy Tshernobylin onnettomuuden aiheuttama ^{137}Cs -piikki. Po-210 ja Pb-210 -pitoisuudet olivat suurimmat pintasedimentissä johtuen siitä, että niitä syntyy pinnalle koko ajan lisää radonin hajoamistuotteina. Ra-, Th- ja U-nuklidien pitoisuudet olivat sen sijaan eri syvyyksillä lähes samoja. Tämä kertoo sen, ettei järviin ole tullut vuosien saatossa ulkopuolisia luonnon radioaktiivisuuskonkrementtejä. Kuvissa 13 ja 14 on esitetty järvisedimenttien pitoisuudet syvyyden funktiona.



Kuva 15. Jormasjärven sedimenttiprofiilin radioaktiivisuuspitoisuudet.



Kuva 16. Kivijärven sedimenttiprofiilin aktiivisuuspitoisuudet.

Pintavedet

Pintavesivesinäytteiden aktiivisuuspitoisuudet olivat suurimmassa osassa näytteitä havaitsemisrajan alapuolella. Mitatuista näytteistä vain muutamasta saatiin mittaustulos, ja pitoisuudet osoittautuivat hyvin pieneksi. Vesinäytteiden mittaustulosten vaihteluvälit on esitetty Taulukossa 5. Vesistä tehtiin myös radiokemialliset uraanianalyysit. Näiden tulokset on esitetty kappaleessa 4.4.

Taulukko 5. Vesinäytteistä mitattujen aktiivisuuspitoisuuksien vaihteluvälit 2010 ja 2011.

	2010	2011
Nuklidi	Vaihteluväli [Bq/kg]	Vaihteluväli [Bq/kg]
Ra-226	0,017 tai alle	0,006 tai alle
Ra-228	0,006 tai alle	0,004 tai alle
Th-228	0,004 tai alle	0,004 tai alle
Th-232	0,005 tai alle	a.m.

4.1.3 Näkinsammal

Näkinsammal on vesiympäristössä hyvä indikaattorilaji, koska se kerää itseensä tehokkaasti vesistöissä liikkuvia epäpuhtauksia. Taulukossa 6 on esitetty näkinsammalnäytteiden mittaustuloksien vaihteluvälit 2010 ja 2011.

Taulukko 6. Näkinsammalnäytteistä mitattujen aktiivisuuspitoisuuksien vaihteluvälit.

	2010	2011
Nuklidi	Vaihteluväli [Bq/kg]	Vaihteluväli [Bq/kg]
Ra-226	35–540	32–610
Ra-228	37–230	19–260
Th-228	17–45	16–76
U-235	a.m.	8,8 tai alle
U-238	44 tai alle	42 tai alle

4.1.4 Kalan- ja ravunliha

Luonnon radioaktiivisten aineiden pitoisuudet kalan- ja ravunlihassa olivat kaikki alle mittalaitteiston määrittämissä raja-arvoissa. Vuoden 2011 kaloista tehtiin myös tarkemmat radiokemialliset uraanianalyysit. Näiden tulokset on esitetty kappaleessa 4.4. Radioaktiivisuuden suhteen alueen kaloja sekä rapuja on turvallista nauttia.

4.1.5 Marjat, sienet, peruna, sammaleet, jäkälät, maito ja hirvenliha

Mitatuissa näytteissä aktiivisuuspitoisuudet olivat pieniä ja lähellä mittalaitteistojen määrittämissä raja-arvoissa. Taulukossa 7 on esitetty tuloksista yhteenveto. Tulokset ovat laskettu kuivapainoa kohden, kuiva-aineprosentti riippuu näytteestä (marjat n. 10-15 %, lihat n. 15-30 %, peruna n. 20 %, sienet n. 10 %). Tuoreen näytteen pitoisuus on siis esimerkiksi sienissä kymmenen kertaa matalampi kuin kuivatun näytteen pitoisuus.

Taulukko 7. Yhteenveto radiumin, toriumin ja uraanin eri isotooppien aktiivisuuspitoisuuksista marjoissa, sienissä, perunassa, sammaleissa, jäkälässä ja hirvenlihassa 2010 ja 2011.

2010 näytteet

Nuklidi	Ra-226 [Bq/kg k.p.]	Ra-228 [Bq/kg k.p.]	Th-228 [Bq/kg k.p.]	U-235 [Bq/kg k.p.]	U-238 [Bq/kg k.p.]
Peruna, mansikka ja punaherukka	4,0 tai alle	a.m.	a.m.	a.m.	a.m.
Luonnonmarjat	1,4–6,0	1,3–11	0.4-2.6	a.m.	a.m.
Sienet	a.m.	a.m.	a.m.	a.m.	a.m.
Hirvenliha	a.m.	a.m.	a.m.	a.m.	a.m.
Sammaleet	0,5–6,6	10 tai alle	8,9 tai alle	a.m.	8,7 tai alle
Jäkälä	7,6 tai alle	3,8 tai alle	1,5–4,1	a.m.	a.m.

2011 näytteet

Nuklidi	Ra-226 [Bq/kg k.p.]	Ra-228 [Bq/kg k.p.]	Th-228 [Bq/kg k.p.]	U-235 [Bq/kg k.p.]	U-238 [Bq/kg k.p.]
Peruna, mansikka ja punaherukka	a.m.	a.m.	a.m.	a.m.	a.m.
Luonnonmarjat	am	1.0 tai alle	a.m.	a.m.	a.m.
Sienet	a.m.	a.m.	a.m.	a.m.	a.m.
Hirvenliha	a.m.	a.m.	a.m.	a.m.	a.m.
Sammal	9,3	10	8,9	a.m.	20
Maito	a.m.	a.m.	a.m.	a.m.	a.m.

4.1.6 Maaperä

Maaperänäytteitä kerättiin yhteensä kolmesta eri paikasta. Vuonna 2010 näytteet otettiin tehdasalueelta, Ohra-ahosta ja Taattolasta ja vuonna 2011 Taattolasta, Parkuasta ja Tuhkakylästä. Maaperän aktiivisuuspitoisuudet olivat matalia (Taulukko 8).

Taulukko 8. Maaperänäytteistä mitattujen aktiivisuuspitoisuuksien vaihteluvälit 2010 ja 2011.

	2010	2011
Nuklidi	Vaihteluväli [Bq/kg]	Vaihteluväli [Bq/kg]
Ra-226	9,3–40	16–28
Ra-228	4,4–14	11–31
Th-228	4,3–11	9,4–38
Th-232	4,3–12	10–25
U-235	a.m.	a.m.
U-238	a.m.	a.m.

4.2 Radonpitoisuudet vesissä

Taulukossa 9 on esitetty radonpitoisuudet pohjavesissä. Talvivaaran lähdevesien radonpitoisuudet olivat suurimmillaan 170 Bq/l. Porakaivovesien pitoisuudet Taattolassa ja Puhakassa vaihtelivat välillä 50–134 Bq/l. Vuonna 2011 Puhakan tilalta otettiin kahteen otteeseen näytteet lähde- ja porakaivovedestä. Pitoisuudet molemmissa vesilähteissä olivat alhaisia. Lahnasjärven metsästysmajan porakaivon radonpitoisuus (6200 Bq/l) oli korkea ja kuusinkertainen verrattuna yksityiselle kaivovedelle asetettuun toimenpiderajaan. Tämä radonpitoisuus ei kuitenkaan ole poikkeava verrattuna Kajaanin graniittirikkaiden alueiden porakaivovesiin (STUK A-171, 2000).

Sosiaali- ja terveysministeriön pieniä vedenkäyttöyksiköitä koskevassa asetuksessa (401/2001) on annettu yksityisessä käytössä olevien kaivojen vedelle radonia koskeva toimenpideraja 1000 Bq/l. Säteilylakiin 592/91 perustuen STUK on antanut ohjeen ST-12.3 vuonna 1993. Sen mukaan vesilaitosveden radonpitoisuus saa olla enintään 300 Bq/l. Jos vedessä on muita radioaktiivisia aineita, radonpitoisuuden on oltava edellä mainittua arvoa pienempi. Suomessa talousveden (verkostovesi) keskimääräinen radonpitoisuus on 27 Bq/l ja porakaivoveden 460 Bq/l (Säteily ympäristössä, 2003, STUK A-199, 2004). Maaperän pohjavedessä korkeimmat radonpitoisuudet ovat olleet 900 Bq/l (GTK -155, 2002).

Talvivaaran pohjavesien radonpitoisuudet olivat alhaisia ja alittivat selkeästi talousvedelle asetetut toimenpiderajat lukuun ottamatta Lahnasjärven metsästysmajan porakaivovettä.

Taulukko 9. Radonpitoisuudet pohjavesissä 2010 ja 2011.

	2010	2011
Näyte	Rn-222	Rn-222
Näytteenottopaikka	Bq/l	Bq/l
Lähdevesi Pappila (kaivo) ja Puhakka (luonnonlähde)	68 ja 70	70 ja 170
Porakaivovesi Taattola ja Puhakka	50 ja 134	a.m. ja 80
Porakaivovesi Lahnasjärven läheltä, metsästysmajan pihakaivo	6180	6200

a.m. = alle määrittäysrajan, määrittäysraja 50 Bq/l.

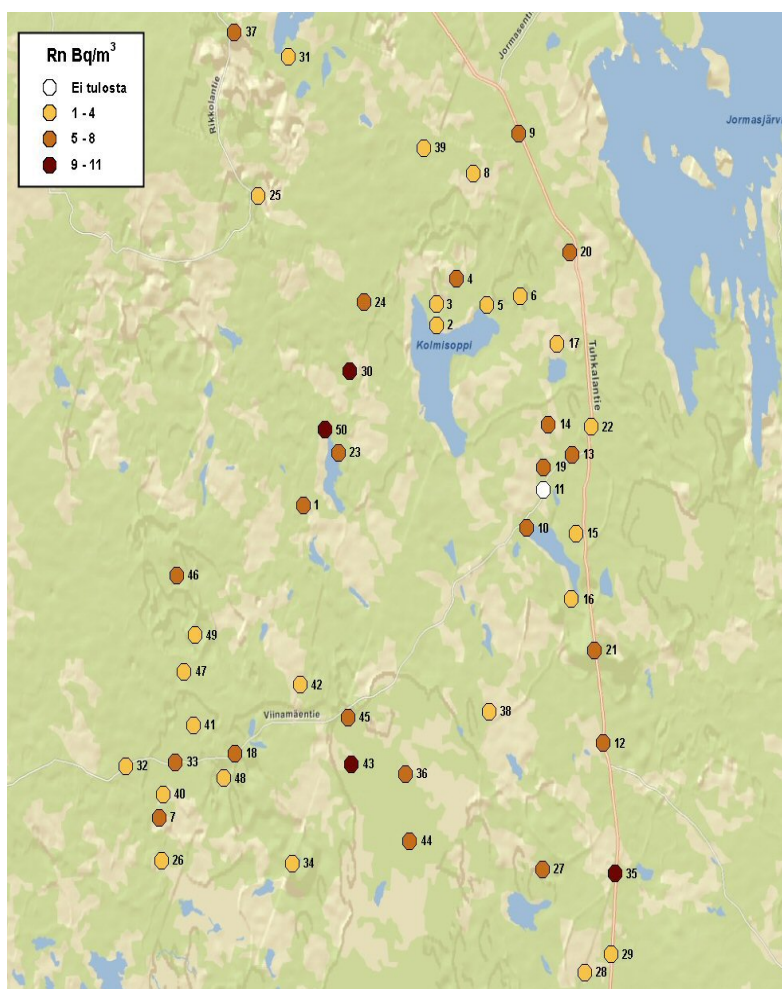
4.3 Radonpitoisuudet ulkoilmassa

Kuvissa 17 ja 19 on esitetty mittauspisteet sekä radonpitoisuudet ja Kuvissa 18 ja 20 Ilmatieteen laitokselta saadut kuvat tuulen suunnista ja nopeuksista mittausjaksojen aikoina. Mittauspisteen radonpitoisuus on mittauspisteessä olleiden neljän purkin radonmittauksen keskiarvo. 2010 mittauspurkkien radonpitoisuuden keskiarvo oli 5 Bq/m³, ja mittauspisteiden radonpitoisuuksien vaihteluväli oli 1-11 Bq/m³. Mittauspisteistä 11 ei saatu tuloksia. 2011 mittauspurkkien radonpitoisuuden keskiarvo oli 9 Bq/m³, ja mittauspisteiden radonpitoisuuden vaihteluväli oli 4-20 Bq/m³. Mittauspisteistä 38 ja 45 ei saatu tuloksia, koska toinen oli kadonnut ja toinen kaatunut maahan. Ulkoilman radonpitoisuudet kaikissa mittauspisteissä olivat matalia, hyvin lähellä menetelmän havaitsemisrajaa. Molemmilla mittauskerroilla kaivosalueen länsipuolen mittauspisteissä oli radonpitoisuuden keskiarvon ylittäviä mittaus tuloksia. Tähän voi vaikuttaa esimerkiksi erot maaperän karkeudessa. Tuulen vaikutustakaan ei voi kokonaan sulkea pois. Mittauspisteiden radonpitoisuudet ovat matalia ja niiden väliset erot ovat pieniä, joten muutkin tekijät voivat selittää nämä erot radonpitoisuuksissa.

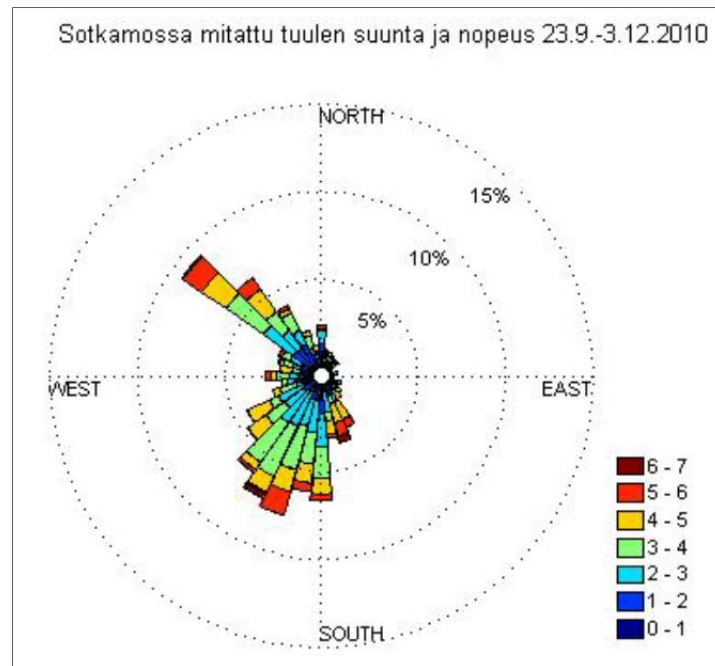
UNSCEAR -raportissa arvioidaan ulkoilman radonpitoisuuden keskiarvoksi 10 Bq/m³. Matalimmat ulkoilman radonpitoisuudet ovat merialueilla. Mantereilla ulkoilman radonpitoisuuksissa on suurta vaihtelua, korkeimmat mitatut radonpitoisuudet ovat olleet satoja Bq/m³. 1985 Paukkajanvaaran

vanhan uraanikaivosalueen jätekentän yläpuolella 1 m korkeudella mitattiin 160 Bq/m³ radonpitoisuus kolmen kuukauden keskiarvona ennen alueen kunnostamista (STUK B-VALO 56). Tampereen Pispalanharjulla 6.7.2008–19.5.2010 välisen ajan kuuden mittauspisteen keskiarvo oli 22 Bq/m³ metrin korkeudella. Pispalanharjun asunnoissa on mitattu runsaasti korkeita radonpitoisuuksia, ja alueella on lisäksi toiminnassa olevia radonkaivoja, joilla asuntojen radonpitoisuutta pienennetään (Arvela H, Suullinen tiedonanto. Säteilyturvakeskus; 2011).

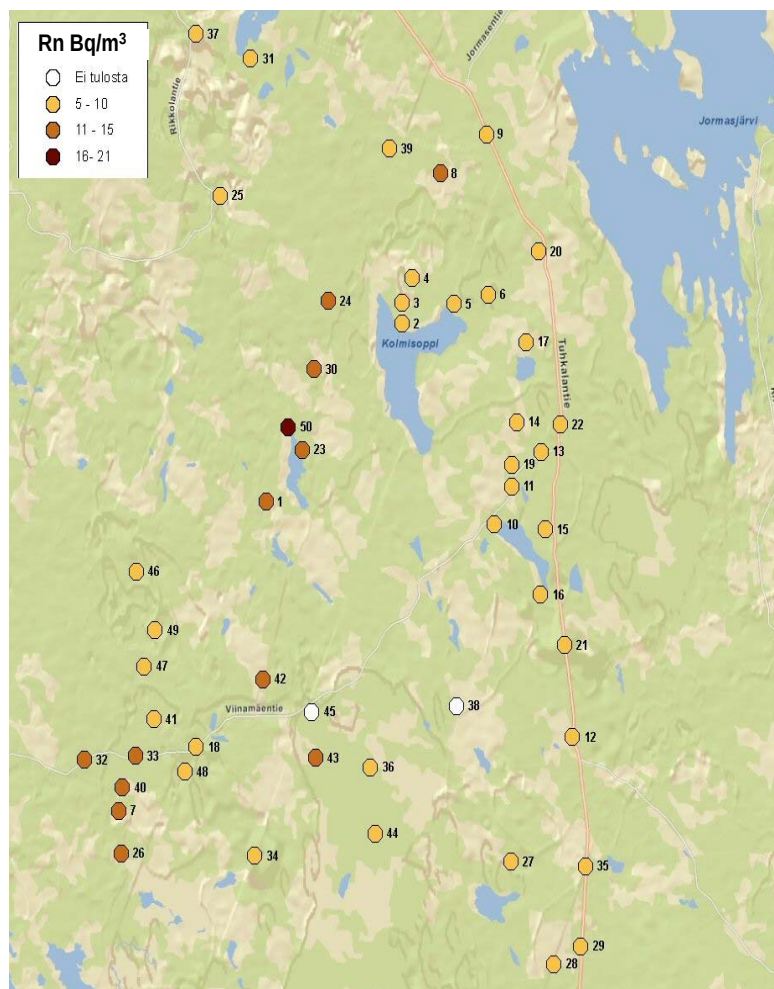
Radonkaasun pitoisuus laimenee tavallisesti nopeasti ulkoilmassa. Tampereen Pispalanharjulla puhallettiin maasta 1200 m³ tunnissa ilmaa, jonka radonpitoisuus oli 80 000 Bq/m³. Aivan kaivon vieressä ulkoilman radonpitoisuus oli 20 000–30 000 Bq/m³, ja 10 m päässä se oli laimentunut 200–300 Bq/m³ radonpitoisuuteen.



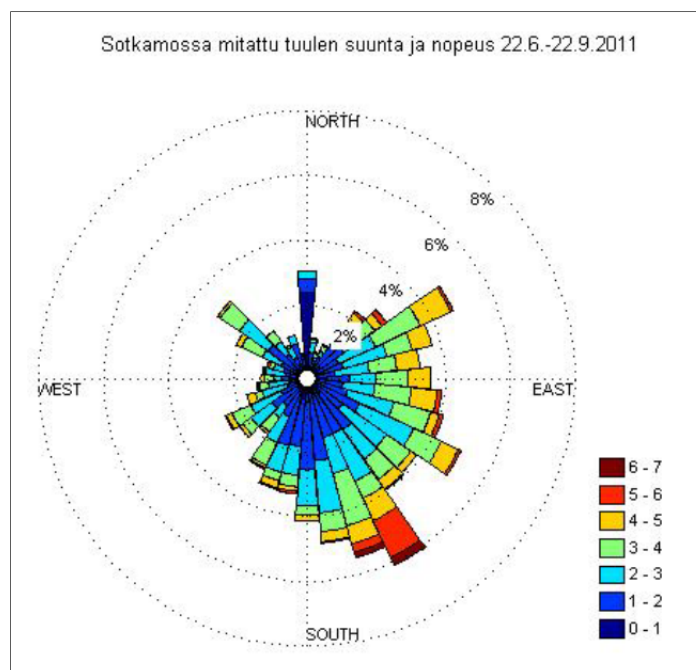
Kuva 17. Radonmittauspisteiden sijainti ja ulkoilman radonpitoisuudet 2010. Radonin keskiarvo 5 Bq/m³. Vaihteluväli 1-11 Bq/m³.



Kuva 18. Sotkamossa mitattu tuulen suunta ja nopeus vuoden 2010 mittausjaksolta.



Kuva 19. Radonmittauspisteiden sijainti ja ulkoilman radonpitoisuudet 2011. Radonin keskiarvo 9 Bq/m³. Vaihteluväli 4-20 Bq/m³.



Kuva 20. Sotkamossa mitattu tuulen suunta ja nopeus vuoden 2011 mittausjaksolta.

4.4 Radiokemiallisten uraanianalyysien tulokset

Taulukossa 10 on esitetty vesien uraanipitoisuuksien yhteenvedot vertailuineen. Vertailussa on käytetty hyväksi koko Suomen kattavaa aineistoa. Taulukossa 11 on esitetty elintarvikenäytteiden uraanipitoisuudet. Elintarvikkeiden pitoisuudet olivat pieniä ja useimmiten hyvin lähellä määritysmenetelmän havaitsemisrajaa. Mitatut aktiivisuuspitoisuudet ovat samaa suuruusluokkaa kuin vastaavissa elintarvikkeissa muualla Suomessa.

Kaikkien mitattujen vesinäytteiden uraanipitoisuudet olivat samaa tasoa kuin aikaisemmin raportoidut uraanipitoisuudet vastaavissa vesilähteissä (Talvivaara YVA -selostus, 2010). Isotooppisuhteet (U-234/U238) vaihtelivat 1–2 välillä, mikä on normaali isotooppisuhde luonnonvesissä.

Mitattujen porakaivojen uraanipitoisuudet olivat matalia verrattuna valtakunnallisessa otantatutkimuksessa mitattujen porakaivovesien keskiarvopitoisuuteen. Yhdessä porakaivossa (Lahnasjärven metsästysmajan kaivo) pitoisuus oli korkeampi (14,4 µg/l) verrattuna kahden muun porakaivon uraanipitoisuuteen. Kyseisessä porakaivossa U-238 -pitoisuus ei kuitenkaan ylittänyt Säteilyturvakeskuksen suosittelemaa toimenpiderajaa 100 µg/l, mikä perustuu uraanin

haitallisuuteen radioaktiivisena aineena. Mitatut pitoisuudet jäivät myös alle WHO:n asettaman suositusarvon, 30 µg/l, mikä perustuu uraanin kemialliseen myrkyllisyyteen.

Purovesien keskimääräiset aktiivisuuspitoisuudet ovat alhaisia, koska uraani on voimakkaasti sitoutuneena orgaaniseen ainekseen ja pysyy orgaanisissa järvi- ja jokisedimenteissä. Hapettavissa olosuhteissa uraani on kuitenkin liikkuvampi ja voi kulkeutua puroihin ja järvioltaisiin.

Kahdessa mitatussa järvivedessä uraanipitoisuus oli samaa tasoa kuin uraanipitoisuus suomalaisessa vesilaitosvedessä, kun vesilaitos käyttää raakavesilähteenä pintavettä. Pintavesi on tyypillisesti järvi- tai jokivettä.

Taulukko 10. Vesien uraanipitoisuudet, yhteenveto.

Näyte	Lkm	U-234 (mBq/l)	U-238 (mBq/l)	U-238 max. (µg/l)	Vertailuarvo U-238	
					Keskiarvo (µg/l)	Maksimi (µg/l)
Porakaivovesi	6	3-293	2,1-180	14,4	21	12200
Lähdevesi	3	2,2-3,9	1,8-2,1	0,2	1,2	88
Puro- ja jokivesi	20	2,2-66	1,8-68	5,4	0,21*	13,6
Järvivesi	4	2,6-2,8	1,9-2,1	0,2	**0,23	2,8

*= Koko Suomen aineiston mediaaniarvo

** = Suomen vesilaitosveden uraanipitoisuus pintavedessä

Taulukko 11. Elintarvikenäytteiden uraanipitoisuudet.

Näyte, vuosi	Paikka	U-234 (mBq/kg k.p.)	U-238 (mBq/kg k.p.)
Mansikka, 2010	Taattola	< 100	< 100
Punaherukka, 2010	Taattola	130 ± 26	110 ± 22
Peruna, 2010	Puhakka	340 ± 70	210 ± 40
Hauenliha, 2011	Jormasjärvi	<100	<100
Tatit, 2011	Taattola	<100	<100
Mustikka, 2011	Taattola	<100	<100
Ahvenenliha, 2011	Kivijärvi	<100	<100

4.4 Radiokemiallisten polonium- ja lyijyanalyysien tulokset

Taulukossa 12 on esitetty Po-210:n ja Pb-210:n radiokemiallisten analyysien tulosten yhteenvedot. Tulokset on ilmoitettu Bq/kg kuiva-aine -pitoisuutta kohden (vedet Bq/l, ilmapölyt Bq/m³). Suurimmat pitoisuudet mitattiin sedimenttiprofiilien ylimmistä kerroksista (1003 Bq/kg), näkinsammaleesta (207 Bq/kg) ja tateista (154 Bq/kg). Nämä näytteet keräävät tehokkaasti poloniumia ja lyijyä. Pitoisuudet ovat kuitenkin samaa tasoa tai matalampia kuin muualla Suomessa mitatuissa vastaavissa näytteissä. Esimerkiksi Rovaniemen Kivalosta kerätyissä tateissa on analysoitu yli 2000 Bq/kg olevia poloniumpitoisuuksia (Vaaramaa K. et al. 2009) ja Soklin ympäristön näkinsammalista yli 1000 Bq/kg pitoisuuksia (Soklin radiologinen perustilaselvitys, 2010). Saastuneelta alueelta Enon Paukkajanvaaran vanhalta uraankaivosalueelta on mitattu yli 190000 Bq/kg sedimenttien ja 13000 Bq/kg näkinsammalten poloniumpitoisuuksia ennen alueen kunnostamista (STUK-B-VALO 56).

Taulukko 12. Po-210 ja Pb-210 -tulosten yhteenvedot.

Näyte	Pb-210 2010	Po-210 2010	Pb-210 2011	Po-210 2011
Lähdevesi	0,03	0,008		
Jokivesi	0,0006 - 0,007	0,0018 - 0,013	0,001 - 0,006	0,001 - 0,006
Järvivesi	0,0038 - 0,0053	0,0025 - 0,0045	0,003 - 0,005	0,0035 - 0,0054
Kaivovedet	0,020 - 1,5	0,005 - 4,8	0,017 - 0,7	0,0012 - 0,52
Maat	45 - 231	53 - 274	60 - 263	46 - 142
Sedimentit	11 - 218	18 - 344	6 - 187	3 - 113
Sedimenttiprofiilit	35 - 639	37 - 1003	51 - 619	30 - 824
Sammalet	44 - 177	10 - 107		
Näkinsammal	119 - 207	109 - 165	71 - 409	51 - 192
Hilla			1,1	0,5
Puolukka	2,6 - 3,9	0,7 - 1,8	2,3 - 3,8	0,4 - 0,5
Mustikka	3,5 - 4,9	1,1 - 1,9	1,5 - 2,9	0,3 - 0,5
Karpalo	2,9	0,9		
Mansikka		< 0,02	0,8	0,1
Punaviinmarja		< 0,1	2,3	0,5
Ahven	0,3 - 0,5	0,5 - 2,4	0,3 - 0,7	0,6 - 0,7
Hauki	0,35 - 0,39	2,76 - 4,38	0,39 - 0,47	1,13 - 1,28
Kuha			0,21 - 0,35	0,28 - 0,3
Made			0,78	3,65
Ilmapölynäyte	0,00013 - 0,00015	0,000045 - 0,00012	0,00013 - 0,00024*	
Hapero ja rousku	3,9 - 6,3	6 - 9	9,4 - 9,6	4 - 11
Tatti	1,9 - 2,4	115 - 154	3,4	135
Kantarelli	5	6		
Hirvenliha	0,28 - 0,37	0,42 - 0,58		1,85 - 2,00
Peruna	0,09	< 0,07	0,32	0,09
Maito			0,34	0,15
Rapu	1,28 - 1,33	7		

*tämä tulos on mitattu gammaspektrometrisesti.

4.5 Tulokset *in-situ* -mittauksista

Taulukossa 13 on esitetty *in-situ* -mittausten tulokset eri mittauspisteissä. Tässä selvityksessä mitattuja aktiivisuuskatteita voidaan käyttää verrokkiaineistona tulevilla ympäristöselvityksissä. Aktiivisuuskatteella tarkoitetaan maanpinnassa olevaa aktiivisuutta joka lasketaan Bq/m² kohden.

Aktiivisuuskatteissa näkyy selkeitä eroja vuosien 2010 ja 2011 välillä. Suurimmat erot löytyvät Bi-214:n ja Pb-214:n välillä, jotka ovat radonin (Rn-222) hajoamistuotteita. Vuonna 2010 mittauksia tehtäessä satoi vettä ja räntää, kun taas vuonna 2011 mittaushetkellä oli poutasää. Sade huuhtelee ilmassa leijuvat radonin hajoamistuotteet maahan, mikä näkyy suurempina aktiivisuuskatteina näiden isotooppien kohdalla vuoden 2010 mittauksissa. Tämän lisäksi satanut vesi lisää maaperän kosteutta, mikä vaimentaa suoraan maasta tulevaa säteilyä. Tämä näkyy maaperässä olevien Ac-228-, Cs-137- ja K-40-aktiivisuuskatteiden muutoksina. Ac-228 sekä K-40 ovat luonnossa normaalisti esiintyviä radioaktiivisia isotooppeja kun taas Cs-137 on jäännös Tshernobylin ydinvoimalaitosonnettomuudesta. Pisteissä Talvivaara 1, 2 ja 3 voidaan havaita nousua Ac-228-aktiivisuuskatteissa, kun taas Cs-137- ja K-40-aktiivisuuskatteet pysyvät melko samoina. Pisteissä Talvivaara 4 ja 5 aktiivisuuskatteet pysyvät tasaisina eri vuosina pois lukien sateen aiheuttamaa aktiivisuuksien nousua. Pisteissä Talvivaara 6 ja 7 erot vuosien 2010 ja 2011 välillä ovat suuret. Piste Talvivaara 6 sijaitsee Tuhkakylän entisen koulun pihalla, jota oltiin kunnostamassa mittaushetkellä. Pihamaata on todennäköisesti muokattu mittauksien välillä esim. tuomalla multaa. Mittauspiste Talvivaara 7 on taas maanviljelyskäytössä olevalla pellolla, jota kynnetään joka vuosi. Näin ollen aktiivisuuskatteiden muutokset vuosien välillä ovat odotettuja.

Taulukko 13. *In-situ* -mittaustulokset vuosilta 2010 ja 2011. Taulukossa esitetty tulokset ovat yksikössä Bq/m².

2010										
In-situ piste	koord. N	koord. E	Ac-228	Bi-214	Pb-212	Pb-214	Tl-208	U-235	Cs-137	K-40
Talvivaara 1	63.97851	28.09178	290	9500	170	1980	1000	<740	590	8240
Talvivaara 2	63.97908	27.98736	340	3930	300	1430		<670		34300
Talvivaara 3	64.01545	28.00684	670	2920	630	1090	390	<690	300	22300
Talvivaara 4	64.00249	28.09979	580	1680	270	690	240	<670	180	15600
Talvivaara 5	64.03453	28.04407	400	1060	630	480	440	<610	1000	12200
Talvivaara 6	64.04683	28.10897	520	990	190	480	390	<650	1390	14800
Talvivaara 7	63.93370	28.11385		940	62	390	100		270	4060

2011										
In-situ piste	koord. N	koord. E	Ac-228	Bi-214	Pb-212	Pb-214	Tl-208	U-235	Cs-137	K-40
Talvivaara 1	63.97846	28.09159	570	890	230	310	170	<680	830	13000
Talvivaara 2	63.97903	27.98745	510	170	250	140	1450	<640		27100
Talvivaara 3	64.01542	28.00685	1100	1900	490	990	270	<760	300	23900
Talvivaara 4	64.00247	28.09985	490	700	380	430	150	<750	270	18600
Talvivaara 5	64.03454	28.04412	430	600	250	250	90	<600	1140	13500
Talvivaara 6	64.04687	28.10904			300	370	120	<710		
Talvivaara 7	63.93375	28.11449	130		380	110	63	<510	410	8600
Talvivaara 8	63.90964	27.99454	640	740	410	310		<690	360	20600
Talvivaara 9	63.96549	27.91155	540	400	140			<690	950	17900
Talvivaara 10	64.05524	27.96639	400	700	160	220	110	<660	1060	13400

5. Johtopäätökset

Selvityksessä analysoitiin Talvivaaran kaivosalueen lähiympäristön ympäristönäytteiden radioaktiivisuuspitoisuuksia ja tehtiin gammaspektrometrisiä mittauksia paikan päällä. Selvityksen tuloksia hyödyntämällä voidaan tulevaisuudessa arvioida uraanin talteenoton vaikutuksia ympäristön radioaktiivisuuteen toistamalla samoja mittauksia. Vuoden 2010 ja 2011 tulokset osoittivat, että Talvivaaran ympäristössä radioaktiivisuuspitoisuudet ovat normaalia tasoa. Tulokset eivät poikkea muualta Suomesta mitatuista vastaavien näytteiden tuloksista, ja alueen ympäristön luonnontuotteita sekä elintarvikkeita voidaan käyttää normaaliin tapaan.

Kun Talvivaara saa luvan uraanin talteenottoon ja toiminta aloitetaan, Säteilyturvakeskus edellyttää, että uraanin erotusprosessin ja ympäristön säteilytilannetta seurataan säännöllisin mittauksin. Toiminta on suunniteltava ja toteutettava niin, että ympäristön säteilyaltistus ei kohoa ja että työntekijöiden säteilyannos normaaliolosuhteissa jää murto-osaan säteilyasetuksessa säädettyistä annosrajoista.

Liitteet

LIITE 1. Radiologisia suureita ja yksiköitä sekä yleistä tietoa luonnon radioaktiivisuudesta

LIITE 2. Analysoidut näytteet 2010

LIITE 3. Gammaspektrometrysten analyysien tulokset

LIITE 4. Radiokemiallisten uraanianalyysien tulokset vesistä

LIITE 5. Ulkoilman radontulokset

LIITE 6. Radiokemiallisten Po-210- ja Pb-210-analyysien tulokset

Viitteet

IEC 1452: 1995, International standard IEC 1452 (1995), Nuclear instrumentation-Measurement of gamma-ray emission rates of radionuclides-Calibration and use of germanium spectrometers.

Lahermo P, Tarvainen T, Hatakka T, Backman B, Juntunen R, Kortelainen N, Lakoma T, Nikkarinen M, Vesterbacka P, Väisänen U, Suomela P. Tuhat kaivoa – Suomen kaivovesien fysikaalis-kemiallinen laatu vuonna 1999. Tutkimusraportti 155. Geologian tutkimuskeskus 2002: 1-92.

Lauri L. S., Pohjolainen E. ja Äikäs O., 2010, Selvitys Suomen kallioperän U-pitoisuudesta. Geologian tutkimuskeskus, raportti M10/2010/53.

Mäkinen I, Hanste U-M. Proficiency testing for measurement of radon (^{222}Rn) in drinking water. Accreditation and Quality Assurance 2009; 14: 473-476.

Pöllänen R. 2003. Säteily ympäristössä, toim. Roy Pöllänen, Säteilyturvakeskus, Helsinki.

Rasilainen, K., Lahtinen, R., Bornhorst, T.J. 2007. The Rock Geochemical Database of Finland Manual. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti Geological Survey of Finland, Report of Investigation 164, 38 p.

Rasilainen, K., Lahtinen, R., Bornhorst, T.J. 2008. Chemical characteristics of Finnish bedrock - 1:1 000 000 scale bedrock map units. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti Geological Survey of Finland, Report of Investigation 171, 94 p.

Sillanpää T, Ikäheimonen T, Salonen I, Taipale T ja Mustonen R. Paukkajanvaaran vanhan uraanikaivos- ja rikastamoalueen ja sen ympäristön radioaktiivisuustutkimukset. STUK-B-VALO 56. Helsinki, Säteilyturvakeskus;1989.

Soklin radiologinen perustilaselvitys, loppuraportti 31.5.21010, STUK 2010.

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

STUK-A199 Vesterbacka P, Mäkeläinen I, Tarvainen T, Hatakka T, Arvela H. Kaivoveden luonnollinen radioaktiivisuus – otantatutkimus 2001. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2004.

STUK-B-VALO 56, Paukkajanvaaran vanhan uraanikaivos- ja rikastamoalueen ja sen ympäristön radioaktiivisuustutkimukset, 1989.

Talvivaara YVA –selostus, Uraanin talteenoton ympäristövaikutusten arviointi, 2010.

UNSCEAR, Effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2006 report, Volume II. United Nations, New York.2009.

Vaaramaa K, Solatie D, Aro L. Distribution of ^{210}Pb and ^{210}Po concentrations in wild berries and mushrooms in boreal forest ecosystems. Science of the Total Environment 2009; 408: 84-91.

Vesterbacka P, Ikäheimonen TK. Optimization of ^{210}Pb Determination via Spontaneous Deposition of ^{210}Po on a Silver Disk. Analytica Chimica Acta 2005; 545: 252–261.

Vesterbacka P, Klemola S, Salahel-Din K, Saman M. Comparison of analytical methods used to determine ^{235}U , ^{238}U and ^{210}Pb from sediment samples by alpha, beta and gamma spectrometry. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 2009; 281: 441-448.