



# Talvivaaran ympäristön radiologisen perustilaselvityksen laajennus

Loppuraportti

Säteilyturvakeskus  
7.5.2014

## Tiivistelmä

Tässä Talvivaaran ympäristön radiologisen perustilaselvityksen laajennuksessa kartoitettiin radiologinen tilanne Talvivaaran kaivosalueen ympäristössä marraskuussa 2012 sattuneen ympäristövahingon jälkeen. Talvivaaran ympäristön radiologinen perustilaselvitys tehtiin vuosina 2010–2011. Ympäristövahingon seurauksena radioaktiivisuus kaivosalueen ympäristössä muuttui, minkä vuoksi radiologista perustilaselvitystä jouduttiin osittain päivittämään.

Tämä perustilaselvityksen laajennus koskee vesistöjä, joissa on todettu vuodosta johtuneita vedenlaatumuutoksia. Selvityksessä analysoitiin uraanipitoisuuksia erilaisista vesistönäytteistä kuten kaloista, perifytonista, näkinsammaleesta, pohjasedimenteistä, pohjavesistä sekä joki- ja järvivesistä.

Vuonna 2012 tapahtunut ympäristövahinko on nostanut Talvivaaran kaivoksen lähivesistöjen, pohjasedimenttien ja vesikasvien uraanipitoisuuksia. Erityisesti kaivosta lähimpien jokien ja järvien pitoisuuksissa on nähtävissä uraanipitoisuuden nousu. Kaivosalueella Salmisen järvi on saastunut, ja uraanipitoisuus järvessä on suuri. Salmisen järvessä vesi on kovasti kerrostunut ja pintaosassa vedenlaatu on selvästi pohjaosaa parempi. Kaivosalueen ulkopuolisten järvien pintaosien vedet ovat puhtaita, mutta vedet järvissä ovat myös kerrostuneita ja kohonneita uraanipitoisuuksia on havaittu järvien pohjaosiin kerrostuneessa raskaammassa vesikerroksessa (Kivijärvi, Kalliojärvi). Etelässä vesistöjen uraanipitoisuudet Kivijärvessä laimenevat ja sen jälkeisissä vesistöissä uraanipitoisuus on merkittävästi pienempi. Vastaavasti kaivoksen pohjoispuolella merkittävä vesistö on Kolmisopin järvi, jossa uraanipitoisuudet laimenevat jo niin paljon, että tämän jälkeisissä vesistöissä ei havaita merkittäviä muutoksia luonnossa esiintyvistä pitoisuuksista. Kaloissa ei havaittu uraanipitoisuuksien nousua. Kokonaisuudessaan ympäristövaikutuksiin liittyviä tarkempia arvioita pystytään arvioimaan vasta pitkällä aikavälillä.

Perustilaselvitysten avulla voidaan arvioida tulevaisuudessa kaivostoiminnan ja mahdollisen uraanin talteenoton vaikutuksia ympäristön radioaktiivisuuteen, kun tehdään säännöllistä ympäristön säteilytarkkailua käyttäen hyväksi samoja näytteenottopisteitä ja näytelajeja.

Raportin laatijat:

Näytteenotto:

Gammamittaukset:

Radiokemialliset uraanit:

Kartat:



Pia Vesterbacka ja Dina Solatie

Kari Huusela, Mikko Teräväinen, Pöyry Oy ja Evira

Vesa-Pekka Vartti

Tarja Heikkinen

Jarkko Ylipieti

Tarkastaja:



Tarja K. Ikäheimonen

## Sisällysluettelo

1.	Johdanto.....	4
2.	Näytteenotto Talvivaaran kaivoksen ympäristössä.....	4
3.1	Perifyton .....	5
3.2	Näkinsammal .....	5
3.3	Kalat.....	5
3.4	Pohjasedimentit.....	6
3.5	Pohjavedet.....	6
3.6	Joki-, järvi- ja purovedet.....	6
4.	Näytteiden käsittelyssä ja analysoinnissa käytetyt menetelmät .....	7
4.1	Näytteiden esikäsittely .....	8
4.2	Gammaspektrometrinen määrittäminen.....	8
4.3	Radiokemiallinen uraanimäärittäminen.....	8
5.	Tulokset .....	8
5.1	Perifyton .....	8
5.2	Näkinsammal .....	9
5.3	Kalat.....	9
5.4	Pohjasedimentit.....	9
5.5	Pohjavedet.....	11
5.6	Joki-, järvi- ja purovedet.....	11
6.	Johtopäätökset .....	15
7.	Kirjallisuusviitteet.....	15

## 1. Johdanto

Marraskuun 4. päivänä 2012 Talvivaaran kaivoksen kipsisakka-altaasta alkoi vuoto. Vuotava jätevesi oli erittäin hapanta ja se sisälsi suuria raskasmetallipitoisuuksia. Normaalisti kipsisakka-altaan veden uraanipitoisuus on pieni, alle 1 Bq/l:ssa, mutta runsassateisen syksyn vuoksi kipsisakka-altaisiin johdettiin kaivosalueelta ylimääräisiä hyvin happamia vesiä, jolloin kipsisakka-altaan veden pH laski niin alhaiseksi, että uraania liukeni kipsistä veteen. Suurin osa vuodosta saatiin pysäytettyä kaivosalueelle, mutta osa pääsi kaivosalueen ulkopuolelle luonnon vesiin. Tämänhetkisen arvion mukaan pohjoisen suuntaan, Oulunjoen vesistöön, pääsi käsittelemätöntä jätevettä n. 20 000 m<sup>3</sup>. Etelän suuntaan, Vuoksen vesistöön, vuosi vettä n. 200 000 m<sup>3</sup>, joka oli patojen läpi suotautunutta vettä.

Talvivaaran ympäristön radiologinen perustilaselvitys tehtiin vuosina 2010 - 2011. Ympäristövahingon seurauksena radioaktiivisuus kaivosalueen ympäristössä muuttui, minkä vuoksi radiologisen perustilaselvityksen osittainen päivittäminen oli tarpeen. Tämä perustilaselvityksen laajennus koskee vesistöjä joissa on todettu vuodosta johtuneita vedenlaatumuutoksia ja niissä olevaa kasvistoa. Näytteistä on analysoitu uraani. Toriumia tai uraanin ja toriumin hajoamistuotteita ei analysoitu, koska kipsisakka-altaassa ja vuotovesissä näiden aineiden pitoisuudet ovat erittäin pieniä ja säteilysuojelullisesti niillä ei ole merkitystä. Perustilaselvitysten avulla voidaan tulevaisuudessa arvioida kaivostoiminnan ja mahdollisen uraanin talteenoton vaikutuksia ympäristön radioaktiivisuuteen, kun tehdään säännöllistä ympäristön säteilytarkkailua käyttäen hyväksi samoja näytteenottopisteitä ja näytelajeja.

## 2. Näytteenotto Talvivaaran kaivoksen ympäristössä

Radiologinen perustilaselvityksen laajennus alkoi kesällä 2013. Pöyry Oy otti perifyton-, näkinsammal- ja pohjavesinäytteet. Kalanäytteet saatiin Eviran kautta. STUK otti kaivosalueen ympäristön järvistä ja joista sedimenttinäytteet sekä järvi- ja jokivesinäytteet.

Taulukossa 1 on listattu tässä selvityksessä kerätyt näytteet, näytemäärät (kpl) ja näytteenottajat. Kuvissa 1 ja 2 on esitetty eri ympäristönäytteiden näytteenottopisteet kartoilla. Liitteessä 1 on esitetty yksityiskohtaiset näytetiedot.

Taulukko 1. Perustilaselvityksen laajenuksessa kerätyt näytteet, näytemäärät, analysoidut radionuklidit ja näytteenottajat.

Näytematriisi	Näyte- määrä	Näytteenottaja
Perifyton	4	Pöyry Oy
Näkinsammal	4	Pöyry Oy
Kalat	6	Evira
Pohjasedimentti	30	STUK
Pohjavedet	4	Pöyry Oy
Joki, järvi- ja purovedet	27	STUK

### 3.1 Perifyton

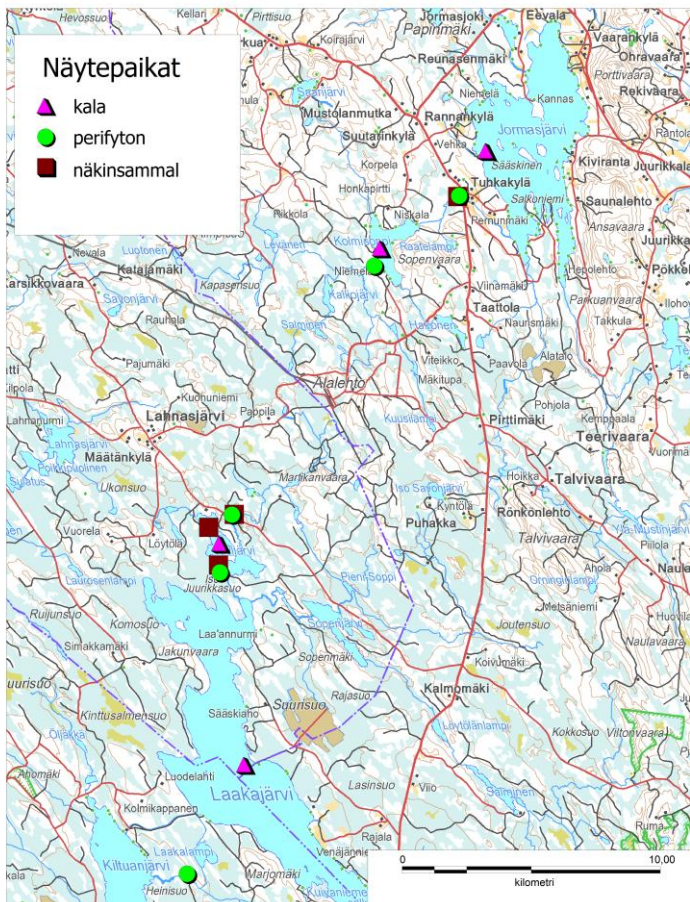
Perifytonnäytteet otettiin Kalliojoesta, Tuhkajoesta, Lumijoesta ja Kivijoesta. Näytteet kerättiin kivien ja kasvien pinnoilta. Näytemäärä oli hyvin pieni, korkeintaan 1 litra.

### 3.2 Näkinsammal

Näkinsammalnäytteet otettiin Kalliojoesta, Tuhkajoesta, Lumijoesta ja Kivijoesta. Näytteet ovat useiden eri otosten kokoomanäytteitä. Näytteissä oli mukana koko versotupas, joka katkaistiin tyveltä läheltä kasvualustaa ja huuhdottiin vedessä, jolloin humus ja muu sakka kasvustosta poistui. Näytteet kerättiin ajalla 31.7 – 1.8.2013. Näytemäärä oli noin 2 litraa, mikä vastaa massapainona noin 1,5 – 2 kg märkääpainoa .

### 3.3 Kalat

Kalanäytteet kalastettiin kesän 2013 aikana Kiltuanjärvestä, Jormasjärvestä, Kivijärvestä, Kolmisopesta ja Laakajärvestä. Analysoitavina lajeina olivat ravinnoksi käytettävät kalalajit kuten hauki ja kuha.



Kuva 1. Kala-, perifyton- ja näkinsammalnäytteiden näyteenottoaikat.

### 3.4 Pohjasedimentit

Salmisen järvestä, Kolmisoppesta, Ylä-Lumijärvestä, Lumijärvestä, Kivijärvestä, Laakajärvestä, Lumijoesta, Viitapurosta, Kalliojoesta, Kalliojärvestä ja Jormasjärvestä otettiin sedimenttinäytteitä 64 mm putkinoutimella. Sedimenttinäytteet tutkittiin järvestä tai joesta riippuen kerroksittain. Sedimenttinäytteet otettiin seuraavasti:

- Kalliojokisuu 0 – 5 cm näyte.
- Tuhkajoki 0 – 10 cm näyte.
- Lumijoki 0 – 15 cm näyte.
- Jormasjärvi 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10- 15 cm näytteet
- Viitapuro 0 – 10 cm näyte
- Laajajärvi 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10- 15 cm näytteet
- Ylä-Lumijärvi 0 – 10 cm näyte
- Lumijärvi 0 -20 cm näyte
- Kivijärvi 0 – 2 cm, 2 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10- 15 cm ja 15 – 20 cm näytteet
- Kolmisoppi 0 – 2 cm, 2 – 5 cm, 5 – 10 cm ja 10- 15 cm näytteet
- Kalliojärvi 0 – 2 cm, 2 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10- 15 cm ja 15 – 20 cm näytteet
- Salminen 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10- 15 cm ja 15 – 20 cm näytteet

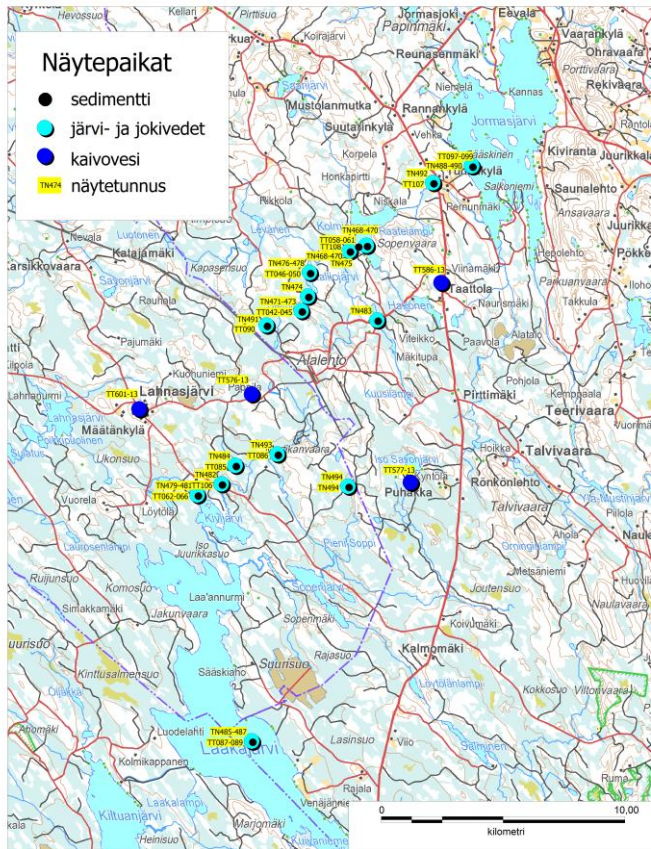
Niistä paikoista, joissa sedimentti oli liian löyhää tutkittavaksi kerroksittain, tutkittiin yksi isompi sedimenttikerros. Näytteenottopisteiden sijainnit on esitetty kuvassa 2.

### 3.5 Pohjavedet

Pohjavesinäytteitä otettiin Puhakantilan, Taattolan, Pappilan ja Lahnasjärven kaivoista. Näytteet otettiin ajalla 27.8 – 10.9.2013. Pohjavesinäytteet otettiin 5 litran kanistereihin. Näytteenottopisteiden sijainnit on esitetty kuvassa 2.

### 3.6 Joki-, järvi- ja purovedet

Joki-, järvi- ja purovesinäytteitä otettiin kaivosalueelta ja sen ympäristöstä. Näytteenottopisteiden sijainnit on esitetty kuvassa 2. Vesinäytteet otettiin 8.10. – 10.10.2013 välisenä aikana. Järvistä vesinäytteet otettiin eri syvyyksiltä, joista ja puroista pinnasta suoraan litran kanistereihin. Näyteastiat huuhdottiin näytevedellä ennen varsinaista näytteenottoa.



Kuva 2. Sedimentti-, järvi-, joki- ja kaivovesinäytteiden näytteenottoaikat.

#### 4. Näytteiden käsittelyssä ja analysoinnissa käytetyt menetelmät

Säteilyturvakeskuksen ympäristön säteilyvalvontaosasto on akkreditoitu ISO standardin 17025:2005 mukaan, akkreditointitunnus T167. Kaikki selvityksessä käytetyt analyysimenetelmät ovat akkreditoituja mukaan lukien ympäristönäytteiden näytteenotto (taulukko 2).

Gammaspektrometrinen analyysi on menetelmä, jossa yhdellä mittauksella voidaan määrittää kaikkien gammasäteilyä lähettävien aineiden määrät näytteessä. Tyypillisiä gammaspektrometrisesti määritettäviä luonnon radioaktiivisia aineita ovat kalium-40, lyijy-210, uraani-238, radium-226 ja radium-228. Näytteen mittausaika on muutamasta tunnista kolmeen vuorokauteen. Radiokemiallista menetelmää käytetään, jos radioaktiivisen aineen aktiivisuuspitoisuus on niin pieni, ettei sitä pystytä mittaamaan gammaspektrometrisesti tai jos analysoitava radionuklidi ei lähetä gammasäteilyä. Radiokemiallinen määrittäminen vaatii lähes aina alkuaineen erottamisen muista mittausta häiritsevistä aineista. Radiokemiallinen määrittäminen voidaan tehdä kaikille näytteille, jotka voidaan saattaa liuosmuotoon.

Helsingissä valvonta- ja mittaustalvontiosastossa tehtiin kaikkien näytteiden esikäsittely paitsi kalojen, jotka esikäsiteltiin Pohjois-Suomen aluelaboratoriossa. Uraani määritettiin (U-234, U-238) radiokemiallisesti perifytonista, näkinsammaleesta ja kaloista. Vesinäytteistä uraanipitoisuus analysoitiin ICP-MS (induktiivisesti kytketty plasma – massaspektrometri) menetelmällä ulkopuolisessa akkreditoitussa laboratoriossa. Sedimenttinäytteistä uraanipitoisuus (U-238)

laskettiin sen radioaktiivisten hajoamistuotteiden perusteella gammaspektrometrinen mittausten perusteella.

Taulukko 2. Analysoinnissa käytetyt määrittämenetelmät.

<b>Määritettävä radionuklidi</b>	<b>Käytetty analysointi menetelmä</b>	<b>Viittaus</b>
Uraani (U-234, U-238)	Radiokemiallinen erotus ja alfaspektrometrinen mitta	Vesterbacka et al., 2009 STUK OHJE VALO 4.6.5
Uraani (U-238)	Gammaspektrometrinen mitta	IEC 1452: 1995 STUK VALO 4.5
Kokonaisuraani (U-238, U-235 ja U-234)	ICP-MS	Ulkopuolinen akkreditoitu laboratorio

#### 4.1 Näytteiden esikäsittely

Näytteet punnittiin ennen esikäsittelyä. Osa näytteistä muun muassa kalat, perifyton ja näkinsammal pakastettiin pilaantumisen estämiseksi. Näkinsammalnäytteet puhdistettiin roskista. Kalanäytteet suomustettiin ja fileoitiin ennen kuivausta. Näytteet kuivattiin lämpökaapissa, minkä jälkeen ne homogenisoitiin. Uraanianalyysia varten näytteet vielä tuhitettiin. Sedimentti- ja pohja-ainesnäytteet kuivattiin kylmäkuivurissa ja homogenisoitiin ennen gammamittausta. Kalanäytteiden uraanin aktiivisuuspitoisuudet on laskettu Bq/kg lihaa kohden. Elintarvikkeiden ja ympäristönäytteiden tulokset on ilmoitettu kuivattua näytettä kohden. Aktiivisuuspitoisuudet kuivatuissa näytteissä ovat moninkertaisia verrattuna tuoreiden näytteiden aktiivisuuspitoisuuksiin. Esimerkiksi tuoreiden kalojen aktiivisuuspitoisuudet ovat 4 – 5 kertaa pienempiä kuin kuivattujen näytteiden vastaavat pitoisuudet.

#### 4.2 Gammaspektrometrinen määrittä

Uraani (U-238) voidaan määrittää gammaspektrometrisesti silloin, kun uraanipitoisuus näytteessä on riittävän suuri. U-238 aktiivisuuspitoisuus määritetään hajoamistuotteiden (tytärnuklidien) pitoisuuksien perusteella.

#### 4.3 Radiokemiallinen uraanimäärittä

Radiokemiallisessa uraanimäärittäksessä voidaan määrittää erittäin pienetkin uraanin eri isotooppien (U, 234, U-235 ja U-238) aktiivisuuspitoisuudet. Näyte saatetaan ensin liuosmuotoon märkäpolttamalla se mikroaaltouunissa. Tämän jälkeen näytteestä poistetaan erotusta häiritsevät aineet kuten esimerkiksi silikaatti ja orgaaninen aines. Uraani erotetaan ioninvaihdolla muista radioaktiivisista aineista ja saostetaan sen jälkeen yhdessä keriumfluoridin kanssa. Näytepreparaatit mitataan alfaspektrometrisesti. Näytteen uraanipitoisuus lasketaan analyysin alussa lisätyn sisäisen merkkiainemäärän avulla. Uraanianalyysissä merkkiaineena käytettiin U-232 -isotooppia.

### 5. Tulokset

#### 5.1 Perifyton

Perifyton kerää tehokkaasti vedestä haitta-aineita, ja sen vuoksi se on hyvä indikaattorikasvi. Perifytonin uraanipitoisuudet olivat alhaisimmat Tuhkajoessa, joka on tutkituista joista kauimpana kaivoksesta (taulukko 3). Korkeimmat uraanipitoisuudet olivat kaivosta lähimmissä joissa, Kalliojoessa ja Lumijoessa. Kivijoessa uraanipitoisuus oli jonkin verran Tuhkajoen uraanipitoisuutta suurempi. Kivijoki on Kivijärven ja Laakajärven välinen joki, ja siinä uraanin vaikutus näkyy nopeammin kuin Tuhkajoessa. Kolmisopen järvessä uraanipitoinen vesi laimenee niin paljon, että Tuhkajoen perifytonissa uraanipitoisuus on pienempi. Uraanin pitoisuudet perifytonissa ja näkinsammalissa olivat isompia samoissa joissa.



Vertailua aikaisempaan Talvivaaran perustilaselvitykseen vuosilta 2010 – 2011 ei voitu tehdä, koska aiemmassa selvityksessä ei tutkittu perifytonnäytteitä.

Taulukko 3. Perifytonnäytteiden uraanin aktiivisuuspitoisuudet Talvivaaran ympäristövahingon jälkeen epävarmuuksineen. Tulokset on ilmoitettu Bq/kg kuivapainoa kohden.

Näytteenottoaika / Radionuklidi	Kalliojoki	Tuhkajoki	Lumijoki	Kivijoki
STUKin näytetunnus	TT582-13	TT585-13	TT584-13	TT583-13
U-234 (Bq/kg, k.p.)	194 ± 29	77 ± 12	199 ± 30	117 ± 18
U-238 (Bq/kg, k.p.)	189 ± 28	65 ± 10	185 ± 28	115 ± 18

## 5.2 Näkinsammal

Näkinsammal kerää myös tehokkaasti vedestä haitta-aineita, ja sen vuoksi se on hyvä indikaattorikasvi. Näkinsammalnäytteet kerättiin samoista joista kuin perifytonnäytteetkin Kalliojoesta, Tuhkajoesta, Lumijoesta ja Kivijoesta (taulukko 4). Pienimmät uraanipitoisuudet olivat Tuhkajoessa ja suurimmat Kallio- ja Lumijoessa. Ennen ympäristövahinkoa Talvivaaran alueen joista mitatut näkinsammaleiden uraanipitoisuudet (U-238) vaihtelivat alle havaitsemisrajasta 44 Bq/kg (k.p.). Näihin verrattuna nyt Talvivaaran alueelta mitatut uraanin aktiivisuuspitoisuudet poikkesivat Kalliojoen, Kiviojoen ja Lumiojoen osalta aikaisemmin ympäristöstä mitatuista näkinsammaleiden pitoisuuksista. Ainoastaan Tuhkajoessa pitoisuudet olivat samaa tasoa kuin ennen ympäristövahinkoa.

Taulukko 4. Näkinsammaleiden uraanipitoisuudet epävarmuuksineen. Tulokset ilmoitettu Bq/kg kuivapainoa kohden.

Näyte / Radionuklidi	Kalliojoki	Tuhkajoki	Lumijoki	Kivijoki
STUKin näytetunnus	TT755-13	TT756-13	TT757-13	TT758-13
U-234 (Bq/kg, k.p.)	184 ± 30	26 ± 4	186 ± 35	156 ± 26
U-238 * (Bq/kg, k.p.)	169 ± 28	23 ± 3	182 ± 34	148 ± 25

## 5.3 Kalat

Kalojen uraanipitoisuuksissa ei havaittu tausta-arvoja ylittäviä pitoisuuksia (taulukko 5). Eviran aikaisempien mittausten mukaan Talvivaaran ympäristöstä kalastettujen kalojen uraanipitoisuudet ovat olleet alle 5 mikrogrammaa kilossa tuorepainoa kohden. Tässä tutkimuksessa pitoisuudet olivat alle 0,4 mikrogrammaa kilossa kuivapainoa kohden kaikissa tutkituissa kaloissa. Talvivaaran kaivoksen ympäristön perustilaselvityksessä 2010 – 2011 pyydettyjen kalojen lihan uraanipitoisuudet (U-238) ja U-234 olivat alle havaitsemisrajan (Kivijärveltä pyydetyn ahvenen lihan U-238 ja U-234 pitoisuudet alle 100 mBq/kg k.p.).

Taulukko 5. Kalojen uraanipitoisuudet epävarmuuksineen. Tulokset ilmoitettu mBq/kg kuivapainoa kohden (1 mBq = 0,001 Bq), U-238 myös massapitoisuutena (µg/kg).

Näyte / Radionuklidi	Hauki	Hauki	Hauki	Hauki	Hauki	Kuha
STUKin näytetunnus	TV01-13	TV03-13	TV010-13	TV011-13	TV012-13	TV09-13
Näytteenottoaika	Laakajärvi	Kivijärvi	Jormasjärvi	Kolmisoppi	Kivijärvi	Jormasjärvi
U-234 (mBq/kg)	<4	<4	<4	<4	5,1 ± 1,0	<4
U-238 (mBq/kg)	<4	<4	<4	<4	4,6 ± 0,9	<4
U-238 (µg/kg)	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,37 ± 0,07	<0,3

## 5.4 Pohjasedimentit

Sedimenttinäytteistä määritettiin uraanin aktiivisuuspitoisuudet Bq/kg kuivapainoa kohden. Sedimenttinäytteet tutkittiin kerroksittain 2 cm tai 5 cm paksuina leikkeinä. Tuhkajoen, Lumiojoen,

Viitapuron, Lumijärven ja Ylä-Lumijärven sedimentit analysoitiin 10 – 20 cm kokoomanäytteinä, joiden tulokset on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Pohjasedimenttien uraanipitoisuudet epävarmuuksineen. Tulokset on ilmoitettu Bq/kg kuivapainoa kohden.

Näytepaikka	U-238 (Bq/kg k.p.)	Epävarmuus (%)
<b>Kalliojokisuu</b>		
0 – 5 cm	66,1	22
<b>Tuhkajoki</b>		
0 – 10 cm	31,8	48
<b>Lumijoki</b>		
0 – 15 cm	87,4	21
<b>Jormasjärvi</b>		
0 – 5 cm	92,2	20
5 – 10 cm	<53	-
10 – 15 cm	<45	-
<b>Viitapuro</b>		
0 – 10 cm	692	8
<b>Laakajärvi</b>		
0 – 5 cm	<101	-
5 – 10 cm	<44	-
10 – 15 cm	<44	-
<b>Ylä-Lumijärvi</b>		
0 – 10 cm	1430	16
<b>Lumijärvi</b>		
0 – 20 cm	<55	-
<b>Kivijärvi</b>		
0 – 2 cm	152	17
2 – 5 cm	71	56
5 – 10 cm	50	30
10 – 15 cm	40	40
15 – 20 cm	63	26
<b>Kolmisoppi</b>		
0 – 2 cm	141	24
2 – 5 cm	57	49
5 – 10 cm	<43	-
10 – 15 cm	<53	-
<b>Kalliojärvi</b>		
0 – 2 cm	986	8
2 – 5 cm	86	22
5 – 10 cm	67	30
10 – 15 cm	<58	-
15 – 20 cm	<53	-
<b>Salminen</b>		
0 – 5 cm	1520	12
5 – 10 cm	<59	-
10 – 15 cm	<51	-
15 – 20cm	<81	-

Aikaisemmassa Talvivaaran kaivoksen ympäristön perustilaselvityksessä 2010 – 2011 kerättyjen pohjasedimenttien uraanipitoisuus (U-238) vaihteli alle havaitsemisrajasta 140:een Bq/kg (k.p.). Kivijärven sedimenttiprofiilista korkein mitattu pitoisuus ennen ympäristövahinkoa oli 48 Bq/kg

(k.p.). Jormasjärven sedimenttiprofiilin suurin uraanipitoisuus ennen ympäristövahinkoa oli 77 Bq/kg (k.p.). Kaikista nyt tutkituista pohjasedimenteistä ei ole tiedossa uraanipitoisuutta ennen ympäristövahinkoa.

Uraanipitoisuudet Viitapuron, Kalliojärven, Ylä-Lumijärven ja Salmisen järven sedimenteissä olivat satoja becquerellejä kilossa. Pitoisuudet ovat selvästi suurempia verrattuna Talvivaaran perustilaselvityksessä ennen ympäristövahinkoa kerättyjen sedimenttien uraanipitoisuuksiin. Myös Kivijärven sedimentin pintakerroksessa voidaan havaita selvä uraanipitoisuuden nousu ympäristövahingon jälkeen. Jormasjärven sedimenttien pitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa ennen ja jälkeen ympäristövahingon.

Kaikissa analysoiduissa sedimenteissä uraani oli sedimenttiprofiilin ylimmässä kerroksessa. Osa sedimenteistä oli sen verran löysärakenteisia, ettei niitä voitu analysoida kerroksittain. Näistä näytteistä ei tämän vuoksi voi sanoa onko uraani sedimentin pintakerroksessa vai hieman syvemmässä kerroksessa.

## 5.5 Pohjavedet

Tutkittujen pohjavesikaivojen uraanipitoisuudet eivät poikenneet normaaleista pohjavedessä esiintyvistä uraanipitoisuuksista (taulukko 7). Lahnasjärven kaivossa oli muita suurempi uraanipitoisuus johtuen siitä, että kyseinen kaivo on porakaivo. Nyt mitattu uraanipitoisuus ei poikkea tyypillisestä porakaivoveden uraanipitoisuudesta. Suomessa keskimääräinen uraanipitoisuus verkostovedessä on alle 1 µg/l, rengaskaivovedessä noin 1 µg/l ja porakaivovedessä 21 µg/l (taulukko 8). Ennen ympäristövahinkoa Lahnasjärven kaivoveden uraanipitoisuus oli samaa suuruusluokkaa kuin nyt mitattu pitoisuus (vuonna 2010 12,8 µg/l ja vuonna 2011 14,4 µg/l). Muissa kaivoissa veden uraanipitoisuudet olivat nyt hieman pienempiä kuin ennen ympäristövahinkoa mitatut pitoisuudet.

Taulukko 7. Kaivovesien uraanipitoisuudet epävarmuuksineen. Tulokset on ilmoitettu mikrogrammaa litrassa (µg/l). Tulosten epävarmuus on 20 %.

Näytetyppi	Puhakan tila	Taattola	Pappila	Lahnasjärvi
Kaivotyyppi	Porakaivo	Porakaivo	Lähdevesikaivo	Porakaivo
STUKin näytetunnus	TT577-13	TT586-13	TT576-13	TT601-13
U-238 (µg/l)	0,09	0,29	0,03	15

Taulukko 8. Tyypillisiä uraanipitoisuuksia eri vesilähteissä STUKin aineiston perusteella Suomessa (Vesterbacka 2005).

Näyte	Vertailuarvo U-238	
	Keskiarvo (µg/l)	Maksimi (µg/l)
Porakaivovesi	21	12200
Lähdevesi	1,2	88
Puro- ja jokivesi	0,21*	13,6
Järvivesi	0,23**	2,8

\* = Koko Suomen aineiston mediaaniarvo

\*\* = Suomen vesilaitosveden uraanipitoisuus pintavedessä

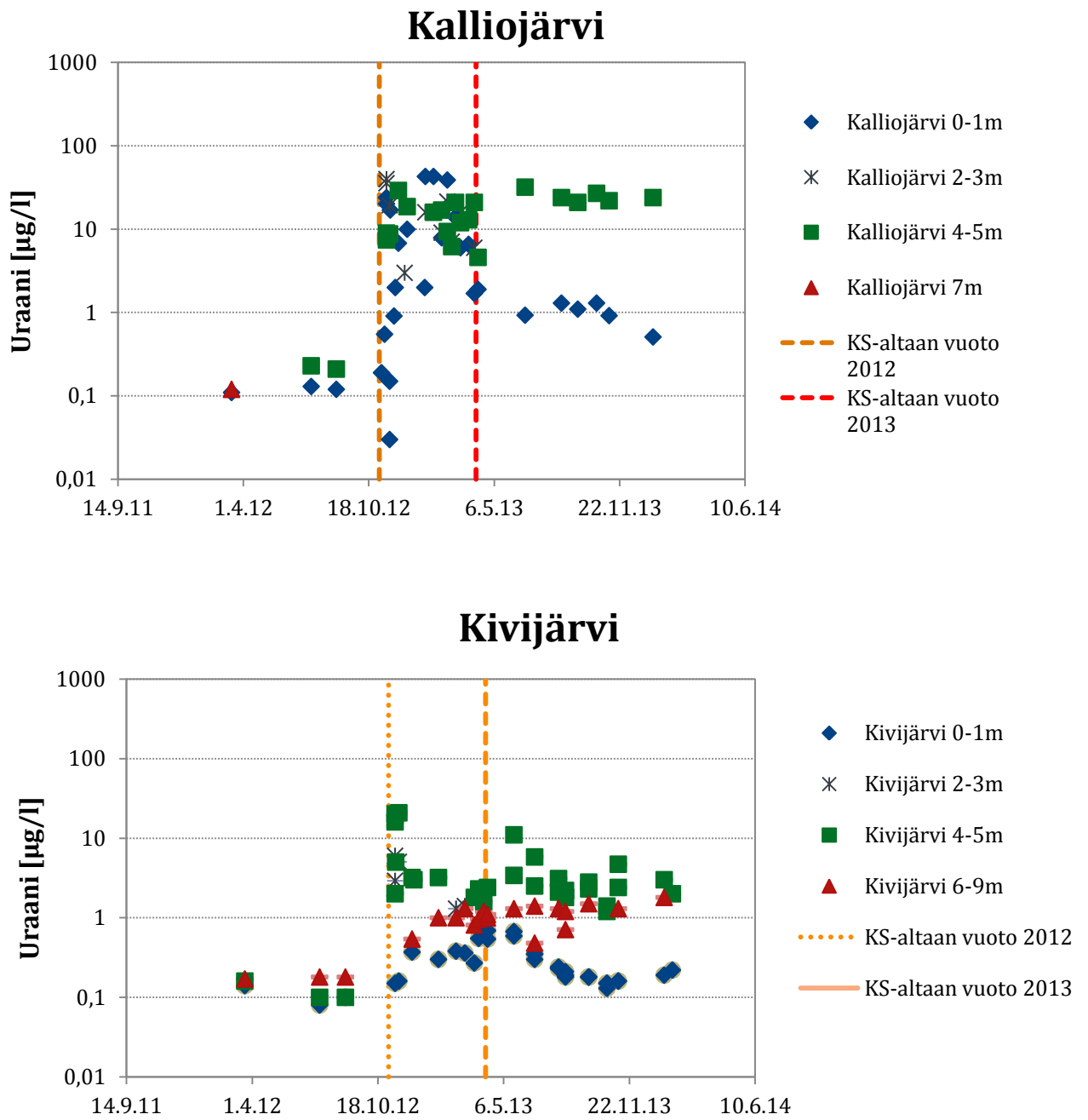
## 5.6 Joki-, järvi- ja purovedet

Joki-, järvi- ja purovesistä määritettiin uraanin pitoisuudet. Tulokset on esitetty taulukossa 9. Aikaisemman perustilaselvityksen perusteella puro-, järvi- ja jokivesien uraanipitoisuudet ovat olleet pieniä, koska uraani on luonnon olosuhteissa sitoutuneena orgaaniseen ainekseen ja pysyy orgaanisissa järvi- ja jokisedimenteissä. Hapettavissa olosuhteissa uraani voi olla liikkuvampi ja kulkeutua puroihin ja järvi-altaisiin veden mukana.

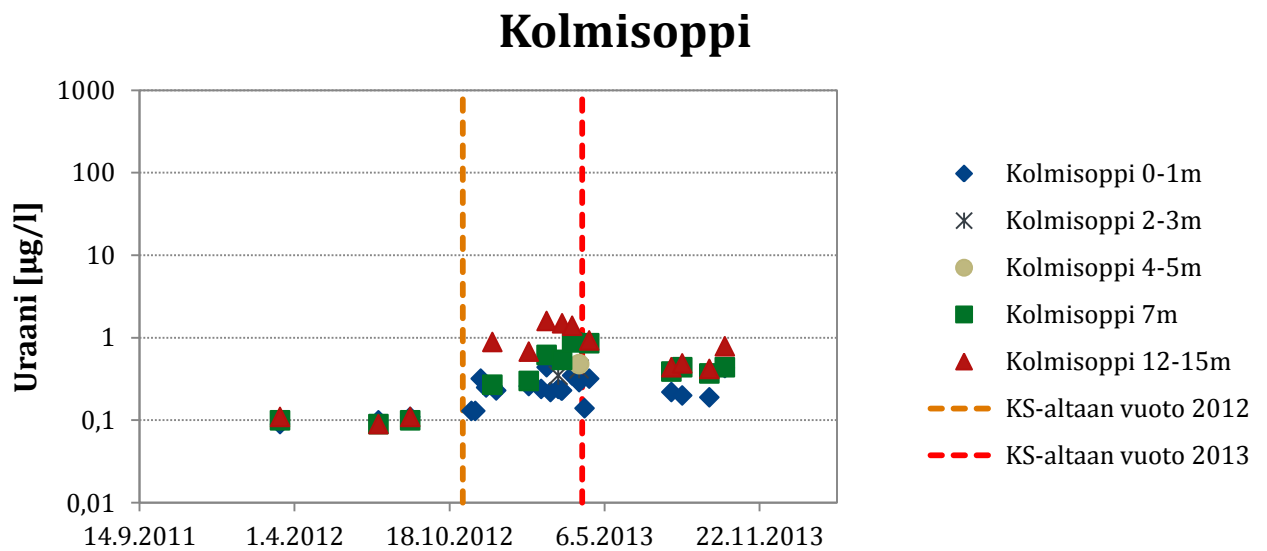
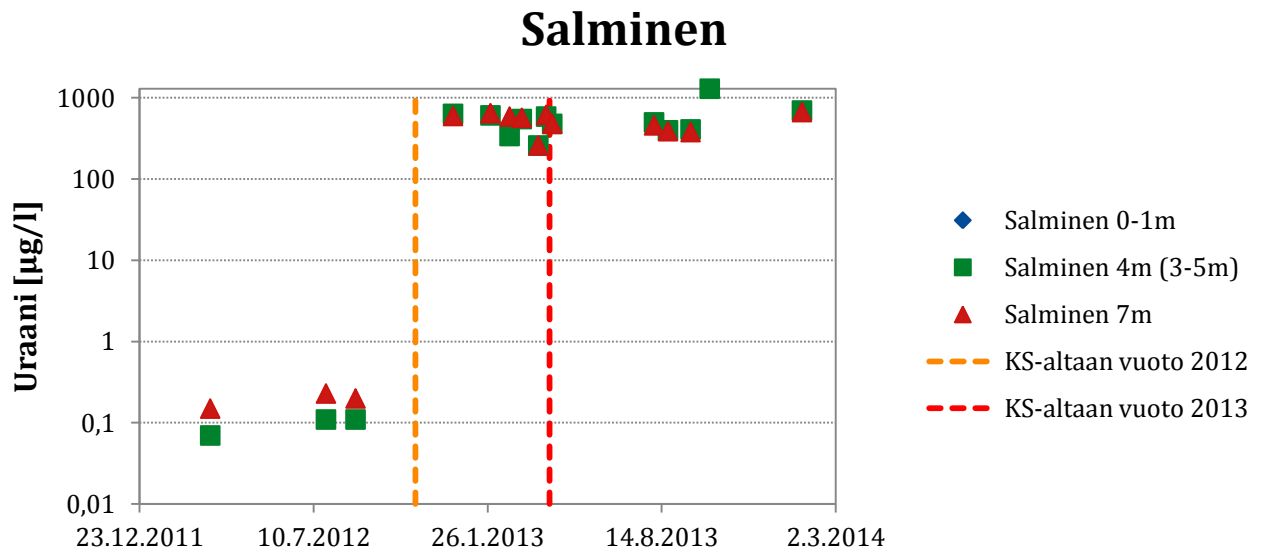
Ympäristövahingon seurauksena uraania pääsi kaivosalueen ja sen ympäristön vesistöihin. Kaivosalueella Salmisen järvi on pahasti saastunut, ja uraanipitoisuus vedessä on suuri yli 1000 mikrogrammaa litrassa 4 m syvyydellä (kuva 4). Pintaosassa vedenlaatu on selvästi parempi. Kaivosalueen ulkopuolisten järvien pintaosien vedet ovat puhtaita, mutta vedet ovat kerrostuneita ja kohonneita uraanipitoisuuksia on havaittu järvien pohjaosiin kerrostuneessa raskaammassa vesikerroksessa yli 2 m syvyydessä. Etelässä vesistöjen uraanipitoisuus laimenee Kivijärvässä ja sen jälkeisissä vesistöissä uraanipitoisuus on merkittävästi pienempi (kuva 3). Vastaavasti kaivoksen pohjoispuolella merkittävä vesistö on Kolmisopin järvi, jossa uraanipitoisuudet laimenevat jo niin paljon, että tämän jälkeisissä vesistöissä veden uraanipitoisuudet vastaavat luonnossa esiintyviä pitoisuuksia (kuva 4). Kaikkien lähialueen vesistöjen uraanipitoisuudet ovat suurempia verrattuna luonnon vesien uraanipitoisuuteen ennen ympäristövahinkoa. Kuvissa 3 ja 4 on esitetty Kalliojärven, Kivijärven, Salmisen järven ja Kolmisopen vesien uraanipitoisuudet ennen ympäristövahinkoa ja sen jälkeen. Isoimmat muutokset on havaittavissa Salmisen järvässä, Lumijärvässä, Ylä-Lumijärvässä ja Kalliojärvässä. Kuvien mittaustulokset ovat Talvivaaran ympäristön tarkkailuohjelmasta.

Taulukko 9. Joki- ja järvesinäytteiden uraanipitoisuudet. Tulokset on ilmoitettu yksikössä mikrogrammaa litrassa ( $\mu\text{g/l}$ ). Tulosten epävarmuus on 20 %.

Näytteenottoaika	pH-arvo	Uraani ( $\mu\text{g/l}$ )
Järvivesi, Kolmisoppi, pinnalta otettu näyte	6,6	0,43
Järvivesi, Kolmisoppi, 6 m syvyydeltä otettu näyte	6,3	0,44
Järvivesi, Kolmisoppi, 11,5 m syvyydeltä otettu näyte	6,1	0,79
Järvivesi, Salminen, pinnalta otettu näyte	5,8	1,4
Järvivesi, Salminen, 2 m syvyydeltä otettu näyte	3,5	880
Järvivesi, Salminen, 4 m syvyydeltä otettu näyte	3,4	1300
Purovesi, Salmisenpuro	5,5	1,4
Purovesi, Kalliojoki	5,7	0,47
Järvivesi, Kalliojärvi, pinnalta otettu näyte	5,3	2,4
Järvivesi, Kalliojärvi, 3 m syvyydeltä otettu näyte	3,8	47
Järvivesi, Kalliojärvi, 4,5 m syvyydeltä otettu näyte	3,9	62
Järvivesi, Kivijärvi, pinnalta otettu näyte	5,8	0,32
Järvivesi, Kivijärvi, 5 m syvyydeltä otettu näyte	5,1	0,68
Järvivesi, Kivijärvi, 7,5 m syvyydeltä otettu näyte	5,9	0,92
Jokivesi, Lumijoki	6,4	0,47
Purovesi, Härkäpuro	10,6	0,01
Järvivesi, Lumijärvi	6,2	0,34
Järvivesi, Laakajärvi, pinnalta otettu näyte	7,0	0,08
Järvivesi, Laakajärvi, 3 m syvyydeltä otettu näyte	6,5	0,07
Järvivesi, Laakajärvi, 6 m syvyydeltä otettu näyte	7,2	0,08
Järvivesi, Jormasjärvi, pinnalta otettu näyte	6,0	0,15
Järvivesi, Jormasjärvi, 4 m syvyydeltä otettu näyte	6,8	0,12
Järvivesi, Jormasjärvi, 6,5 m syvyydeltä otettu näyte	7,1	0,11
Purovesi, Viitapuro	6,5	0,81
Jokivesi, Tuhkajoki	6,5	0,33
Ylälumijärvi	6,8	2,5
Purovesi, Mäkijärvenpuro	6,8	0,04



Kuva 3. Kalliojärven ja Kivijärven vesien uraanipitoisuudet ennen ympäristövahinkoa ja sen jälkeen.



Kuva 4. Salmisen järven ja Kolmisoppi järven vesien uraanipitoisuudet ennen ympäristövahinkoa ja sen jälkeen.

## 6. Johtopäätökset

Perustilaselvityksen laajenuksessa analysoitiin vesistöjen vesien, sedimenttien, kasvien ja kalojen uraanipitoisuudet. Analysoitujen näytteiden perusteella vuonna 2012 tapahtunut ympäristövahinko on nostanut vesistöjen, pohjasedimenttien ja vesikasvien uraanipitoisuuksia. Erityisesti kaivosta lähimpänä olevissa joissa ja järvissä (Salmisen järvi, Kalliojärvi ja Kivijärvi) on nähtävissä uraanipitoisuuden nousu. Kalojen uraanipitoisuus ei sen sijaan ole suurentunut ympäristövahingon seurauksena.

Kaivosalueella Salmisen järvi on pahasti saastunut ja veden uraanipitoisuus on suuri. Kaivosalueen ulkopuolisten järvien (Kalliojärvi, Kivijärvi) pintaosien vedet ovat puhtaita, mutta vedet ovat kerrostuneita ja kohonneita uraanipitoisuuksia on havaittu järvien pohjaosien raskaammassa vesikerroksessa. Etelässä vesistöjen uraanipitoisuutta laimentaa Kivijärven vesimassa ja sen jälkeisissä vesistöissä uraanipitoisuus on merkittävästi pienempi. Vastaavasti kaivoksen pohjoispuolella merkittävä vesistö on Kolmisopin järvi, jossa vedet laimenevat jo niin paljon, että tämän jälkeisissä vesistöissä veden uraanipitoisuudessa ei havaita merkittäviä muutoksia luonnossa esiintyviin pitoisuuksiin nähden.

Uraanin poistuminen vedestä pohjasedimenttiin ja vesistöjen maaympäristöön, esimerkiksi rannoille, riippuu ympäristöolosuhteista kuten esimerkiksi vesistöjen happamuudesta tai tulvimisalueesta. Kun uraanipitoinen vesi kulkeutuu isoihin vesistöihin, se sekoittuu puhtaampiin vesiin ja sen uraanipitoisuus pienenee. Uraanipitoisten vesien laimentuessa myös veden happamuus muuttuu neutraaliksi, jolloin uraani kiinnittyy vedessä oleviin pieniin hiukkasiin ja sedimentoituu vähitellen vesistöjen pohjaan.

Kohonneita, yli 100 mikrogrammaa litrassa, uraanipitoisuuksia on havaittu kaivosalueen ulkopuolisissa vesistöissä Salmisen järvessä, Ylä-Lumijärvessä ja Lumijärvessä. Näiden järvien vesiä ei pidä käyttää jatkuvasti ruoka- ja juomavetenä niin kuin ei pintavesiä yleensä. Muuta veden käyttöä ei uraanin radioaktiivisuuden takia tarvitse rajoittaa. Muissa kaivosalueen ulkopuolisissa vesistöissä pitoisuudet ovat niin pieniä, että niillä ei ole säteilysuojelullista merkitystä ihmiselle, eläimille tai ympäristölle. Näin alhaisista pitoisuuksista ei aiheudu ihmisille terveyshaittaa. Uraanin pitoisuudet alittavat myös Maailman terveysjärjestön (WHO) asettaman uraanipitoisuuden ohjearvon 30 mikrogrammaa litrassa. Tällä hetkellä säteilyn suhteen ei ole rajoituksia alueen ympäristön luonnontuotteiden sekä elintarvikkeiden käytölle. Kokonaisuudessaan Talvivaaran kaivoksen ympäristövahingon aiheuttamia ympäristövaikutuksia pystytään arvioimaan vasta pitkällä aikavälillä.

## 7. Kirjallisuusviitteet

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

Talvivaaran radiologinen perustilaselvitys, loppuraportti 31.3.2012, STUK 2012.

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

Vesterbacka, P.  $^{238}\text{U}$ -series radionuclides in Finnish groundwater-based drinking water and effective doses. Doctoral thesis, University of Helsinki, Radiation and nuclear safety authority STUK-A213, 2005.

## Liite 1: Vuonna 2013 kerättyjen näytteiden näytteenottotiedot

VESIKASVIT	Näytteenottopäivä	Näytemäärä, kg	Näytteenottoaika	Näytetunnus
Näkingsammal	31.7 - 1.8.2013	1,5 - 2	Kalliojoki	TT755-13
Näkingsammal	31.7 - 1.8.2013	1,5 - 2	Tuhkajoki	TT756-13
Näkingsammal	31.7 - 1.8.2013	1,5 - 2	Lumijoki	TT757-13
Näkingsammal	31.7 - 1.8.2013	1,5 - 2	Kivijoki	TT758-13

LEVÄT	Näytteenottopäivä	Näytemäärä	Näytteenottoaika	Näytetunnus
Perifyton	3.9.2013	noin 1 litra	Kalliojoki	TT582-13
Perifyton	3.9.2013	noin 1 litra	Kivijoki	TT583-13
Perifyton	3.9.2013	noin 1 litra	Lumijoki	TT584-13
Perifyton	3.9.2013	noin 1 litra	Tuhkajoki	TT585-13

KALAT	Näytteenotto-päivä	Näytemäärä kg	Lisätiedot	Näytteenotto-paikka	Näyte-tunnus
Hauki	28-29.1.2013	8,9	Näytteenotto: Evira	Laakajärvi	TVO1-13
Hauki	1.2-26.2.2013	4,1	Näytteenotto: Evira	Kivijärvi	TVO3-13
Hauki	5.6-10.6.2013	1,6	Näytteenotto: Evira	Laakajärvi	TVO10-13
Hauki	30.5-6.6.2013	6,9	Näytteenotto: Evira	Kolmisoppi	TVO11-13
Hauki	28.5-3.6.2013	9,0	Näytteenotto: Evira	Kivijärvi	TVO12-13
Kuha	11.6-14.6.2013	2,0	Näytteenotto: Evira	Jormasjärvi	TVO9-13

SEDIMENTTI	Näytteenotto päivä	Lisätiedot	Näytteenotto-paikka	Näytetunnus
Sedimentti	8.10.2013	0 - 5 cm	Kalliojokisuu	TT108-14
Sedimentti	10.10.2013	0 - 10 cm	Tuhkajoki	TT107-14
Sedimentti	9.10.2013	0 - 15 cm	Lumijoki	TT106-14
Sedimentti	10.10.2013	0 - 5 cm, 5 - 10 cm, 10- 15 cm	Jormasjärvi	TT097-14 - TT099-14
Sedimentti	10.10.2013	0 - 10 cm	Viitapuro	TT090-14
Sedimentti	10.10.2013	0 - 5 cm, 5 - 10 cm, 10- 15 cm	Laakajärvi	TT087-14 - TT089-14
Sedimentti	10.10.2013	0 - 10 cm	Ylä-Lumijärvi	TT086-14
Sedimentti	9.10.2013	0 -20 cm	Lumijärvi	TT085-14
Sedimentti	9.10.2013	0 - 2 cm, 2 - 5 cm, 5 - 10 cm, 10- 15 cm ja 15 - 20 cm	Kivijärvi	TT062-14 - TT066-14
Sedimentti	8.10.2013	0 - 2 cm, 2 - 5 cm, 5 - 10 cm ja 10- 15 cm	Kolmisoppi	TT058-14 - TT061-14
Sedimentti	9.10.2013	0 - 2 cm, 2 - 5 cm, 5 - 10 cm, 10- 15 cm ja 15 - 20 cm	Kalliojärvi	TT046-14 - TT050-14
Sedimentti	8.10.2013	0 - 5 cm, 5 - 10 cm, 10- 15 cm ja 15 - 20 cm	Salminen	TT042-14 - TT045-14



LUONNON VEDET	Näytteenotto- päivä	Näytemäärä, litraa	Näytteenottopaikka	Näytetunnus
Järvivesi	8.10.2013	1 litra	Kolmisoppi, pinnalta otettu näyte	TN468
Järvivesi	8.10.2013	1 litra	Kolmisoppi, 6 m syvyydeltä otettu näyte	TN469
Järvivesi	8.10.2013	1 litra	Kolmisoppi, 11,5 m syvyydeltä otettu näyte	TN470
Järvivesi	8.10.2013	1 litra	Salminen, pinnalta otettu näyte	TN471
Järvivesi	8.10.2013	1 litra	Salminen, 2 m syvyydeltä otettu näyte	TN472
Järvivesi	8.10.2013	1 litra	Salminen, 4 m syvyydeltä otettu näyte	TN473
Purovesi	8.10.2013	1 litra	Salmisen puro	TN474
Purovesi	8.10.2013	1 litra	Kalliojoki	TN475
Järvivesi	9.10.2013	1 litra	Kalliojärvi, pinnalta otettu näyte	TN476
Järvivesi	9.10.2013	1 litra	Kalliojärvi, 3 m syvyydeltä otettu näyte	TN477
Järvivesi	9.10.2013	1 litra	Kalliojärvi, 4,5 m syvyydeltä otettu näyte	TN478
Järvivesi	9.10.2013	1 litra	Kivijärvi, pinnalta otettu näyte	TN479
Järvivesi	9.10.2013	1 litra	Kivijärvi, 5 m syvyydeltä otettu näyte	TN480
Järvivesi	9.10.2013	1 litra	Kivijärvi, 7,5 m syvyydeltä otettu näyte	TN481
Jokivesi	9.10.2013	1 litra	Lumijoki	TN482
Purovesi	9.10.2013	1 litra	Härkäpuro	TN483
Järvivesi	9.10.2013	1 litra	Lumijärvi	TN484
Järvivesi	10.10.2013	1 litra	Laakajärvi, pinnalta otettu näyte	TN485
Järvivesi	10.10.2013	1 litra	Laakajärvi, 3 m syvyydeltä otettu näyte	TN486
Järvivesi	10.10.2013	1 litra	Laakajärvi, 6 m syvyydeltä otettu näyte	TN487
Järvivesi	10.10.2013	1 litra	Jormasjärvi, pinnalta otettu näyte	TN488
Järvivesi	10.10.2013	1 litra	Jormasjärvi, 4 m syvyydeltä otettu näyte	TN489
Järvivesi	10.10.2013	1 litra	Jormasjärvi, 6,5 m syvyydeltä otettu näyte	TN490
Purovesi	10.10.2013	1 litra	Viitapuro	TN491
Jokivesi	10.10.2013	1 litra	Tuhkajoki	TN492
Järvivesi	10.10.2013	1 litra	Ylälumijärvi	TN493
Purovesi	9.10.2013	1 litra	Mäkijärvenpuro	TN494
Kaivovesi	-	5 litraa	Puhakantila	TT577-13
Kaivovesi	-	5 litraa	Taattola	TT586-13
Kaivovesi	-	5 litraa	Pappila	TT576-13
Kaivovesi	-	5 litraa	Lahnasjärvi	TT601-13