



Luonnonvara- ja  
biotalouden  
tutkimus 19/2016

# Talvivaaran nikkeli- ja kromikaivoksen jätevesipäästöjen vaikutukset kaloihin

Loppuraportti

Pekka K. Korhonen, Eija-Riitta Venäläinen ja  
Anna Maria Eriksson-Kallio

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 19/2016

# **Talvivaaran nikkeli- ja kromikaivoksen jätevesipäästöjen vaikutukset kaloihin**

Loppuraportti

Pekka K. Korhonen, Eija-Riitta Venäläinen ja  
Anna Maria Eriksson-Kallio



ISBN: 978-952-326-221-8 (Painettu)

ISBN: 978-952-326-222-5 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-222-5>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Pekka K. Korhonen, Eija-Riitta Venäläinen ja Anna Maria Eriksson-Kallio

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2016

Julkaisuvuosi: 2016

Kannen kuva: Ari Leinonen / Luke

Painopaikka ja julkaisumyynti: Juvenes Print, <http://luke.juvenesprint.fi>

## Tiivistelmä

Pekka K. Korhonen <sup>1)</sup>, Eija-Riitta Venäläinen <sup>2)</sup> ja Anna Maria Eriksson-Kallio <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Luonnonvarakeskus, Manamansalontie 90, 88300 Paltamo

<sup>2)</sup> Elintarviketurvallisuusvirasto Evira, Mustialankatu 3, 00790 Helsinki

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos (RKTL, 1.1.2015 lähtien Luonnonvarakeskus Luke) ja Elintarviketurvallisuusvirasto Evira toteuttivat maa- ja metsätalousministeriöstä (MMM) saadun toimeksiannon mukaisesti tutkimuksen, jossa oli tavoitteena selvittää Talvivaaran kaivosalueelta vesistöihin päässeiden jätevesien mahdollisesti aiheuttamat kudosuutokset kaloissa sekä kudoksiin kertyneet raskasmetallipitoisuudet. Näytteenotto (viisi kierrosta 15.11.2012-17.07.2015 välisenä aikana) keskitettiin kaivoksen vaikutusalueella Kivijärvelle ja Laakajärvelle (Vuoksen vesistö) sekä Oulujoen vesistöalueella Kalliojärvelle, Kolmisoppeen ja Jormasjärvelle. Lisäksi mukana oli neljä vertailujärveä. Tulosten perusteella pyrittiin arvioimaan Talvivaaran kaivoksen päästöjen vaikutuksia kaloihin sekä kalojen käyttökelpoisuutta elintarvikkeena.

Talvivaaran kaivoksen vaikutukset kuormitusalueen kalojen raskasmetallipitoisuuksiin näkyivät pääosin yksittäisinä kohonneina arvoina. Mitatut arseenin, kromin, lyijyn, nikkelin ja uraanin sekä hivenaineiden kuparin, raudan, seleenin ja sinkin pitoisuudet olivat pieniä, usein alle määrittämissä rajojen. Kuitenkin kohonneita, sallitun enimmäispitoisuusrajan ylittäviä yksittäisiä kadmiumpitoisuuksia esiintyi kuormitus-alueella etenkin ensimmäisillä näytteenottokierroksilla. Näitä ylityksiä havaittiin Jormasjärven ja Kolmisoppeen särkinäytteistä vielä kolmannella kierroksella. Seurannan jatkuessa niin kadmiumpitoisuudet kuin alkuaineista mangaanipitoisuudet pienenevät, mutta elohopean osalta raja-arvojen ylityksiä esiintyi kaikilla tutkimuskierroksella. Ahvenen elohopeapitoisuudet ylittivät Talvivaaran kuormitusalueella yleisesti sallitun lainsäädännöllisen enimmäismäärän ja olivat korkeammat kuin kolmella vertailujärvellä (Kivesjärvi, Teerijärvi, Kiantajärvi). Raja-arvon ylityksiä oli etenkin kooltaan yli 100 gramman ahvenissa.

Marraskuussa 2012 tapahtuneen kipsisakka-altaan vuodon jälkeen Kainuun maakunta - kuntayhtymä (nyk. Kainuun sote -kuntayhtymä/ympäristöterveydenhuolto) sekä Kainuun Ely-keskus antoivat käyttösuosituksensa Talvivaaran kaivoksen läheisille vesialueille (Kalliojärvi, Kolmisoppi ja Kivijärvi). Suositusten mukaisesti em. vesistöistä pyydettyä kalaa ei nk. varovaisuusperiaatteen mukaisesti suositeltu syötäväksi. Viiden kalastuskierroksen tulokset osoittavat raskasmetallipitoisuuksien kaloissa laskeneen. Annettua suositusta ei ole kuitenkaan purettu. Kaivosalueen lähijärvien pohjasedimenttiin varastoituneet raskasmetallit muodostavat edelleen riskin niiden kertymisestä kaloihin näillä alueilla, ja kalojen metallipitoisuuden seuranta tuleekin jatkaa mm. tarkkailuohjelman mukaisesti.

Asiasanat: Talvivaara, nikkelikaivos, vaikutukset, kalakannat, kuormitusjärvet, vertailujärvet, raskasmetallit, kudosuutokset

# Sisällys

<b>1. Johdanto .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Tutkimusalue .....</b>	<b>6</b>
<b>3. Aineisto ja menetelmät .....</b>	<b>8</b>
<b>4. Analyysit .....</b>	<b>12</b>
<b>5. Tulokset .....</b>	<b>13</b>
5.1. Kalojen kokojakauma .....	13
5.2. Raskasmetalli- ja hivenainepitoisuudet .....	14
5.3. Kadmium ja lyijy .....	14
5.3.1. Elohopea .....	15
5.3.2. Uraani .....	18
5.3.3. Alumiini .....	18
5.3.4. Mangaani .....	18
5.3.5. Nikkeli .....	18
5.3.6. Kromi .....	19
5.3.7. Kupari ja sinkki .....	19
5.3.8. Rauta .....	19
5.3.9. Arseeni .....	19
5.3.10. Seleenit .....	19
5.4. Kalanäytteiden histologiset tutkimukset .....	19
5.4.1. Kidusmuutokset marraskuussa 2012 .....	19
5.4.2. Kidusmuutokset kesällä 2013 .....	19
5.4.3. Muutokset maksaleikkeissä marraskuussa 2012 .....	20
5.4.4. Muutokset maksaleikkeissä kesällä 2013 .....	20
5.4.5. Muutokset munuaisleikkeissä marraskuussa 2012 .....	21
5.4.6. Muutokset munuaisleikkeissä kesällä 2013 .....	21
<b>6. Tulosten tarkastelu .....</b>	<b>22</b>

# 1. Johdanto

Marraskuussa 2012 Sotkamon Talvivaaran kaivosalueella tapahtui kipsisakka-altaan vuoto, kun patorakenteen vettä pidättävä muovikalvo rikkoutui, ja metallipitoinen, mm. alumiinia, nikkeliä, sinkkiä, kadmiumia ja uraania sisältävä jätevesi pääsi patorakenteen läpi kaivosalueelle. Pääosa kaivosalueen ulkopuolelle päässeestä vuodosta suuntautui eteläisiin lähivesiin (Lumijoki-Kivijärvi; 200 000 m<sup>3</sup>). Oulujoen vesistön (Salminen-Kolmisoppi) vastaanottama jätevesikuorma oli noin 20 000 m<sup>3</sup> (Kauppi ym. 2013).

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos (RKTL, 1.1.2015 lähtien Luonnonvarakeskus Luke), Elintarviketurvallisuusvirasto Evira ja Kainuun Ely-keskus laativat 12.11.2012 maa- ja metsätalousministeriöstä (MMM) saadun toimeksiannon mukaisesti kalojen näytteenotto- ja analyysisuunnitelman Talvivaaran kaivosalueen jätevesien vaikutusalueelle. Tavoitteena oli selvittää sen hetkinen tilanne vesistöihin päässeiden jätevesien mahdollisesti aiheuttamista kudosmuutoksista kaloissa sekä kudoksiin kertyneet raskasmetallipitoisuudet. Mahdollisten kalastovaikutusten selvittämistä ei sisällytetty suunnitelmaan.

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos aloitti suunnitelman mukaiset näytteenotot 15.11.2012. Akuutin vaiheen näytteitä kerättiin marraskuun lopulle asti (I näytteenottokierros). Joulukuussa 2012 alkuperäistä näytteenottosuunnitelmaa päivitettiin niin, että näytteiden keruuta päätettiin jatkaa vielä talvella ja alkukesällä 2013 (II ja III näytteenottokierros). Samalla näytteenottoa laajennettiin myös vertailujärville. Vuoden 2013 lopulla laadittuun työraporttiin koottiin näytteenottokierrosten I-III tulokset. Lisäksi Evira julkaisi kolme lehdistötiedotetta näytteenottokierrosten tuloksista.

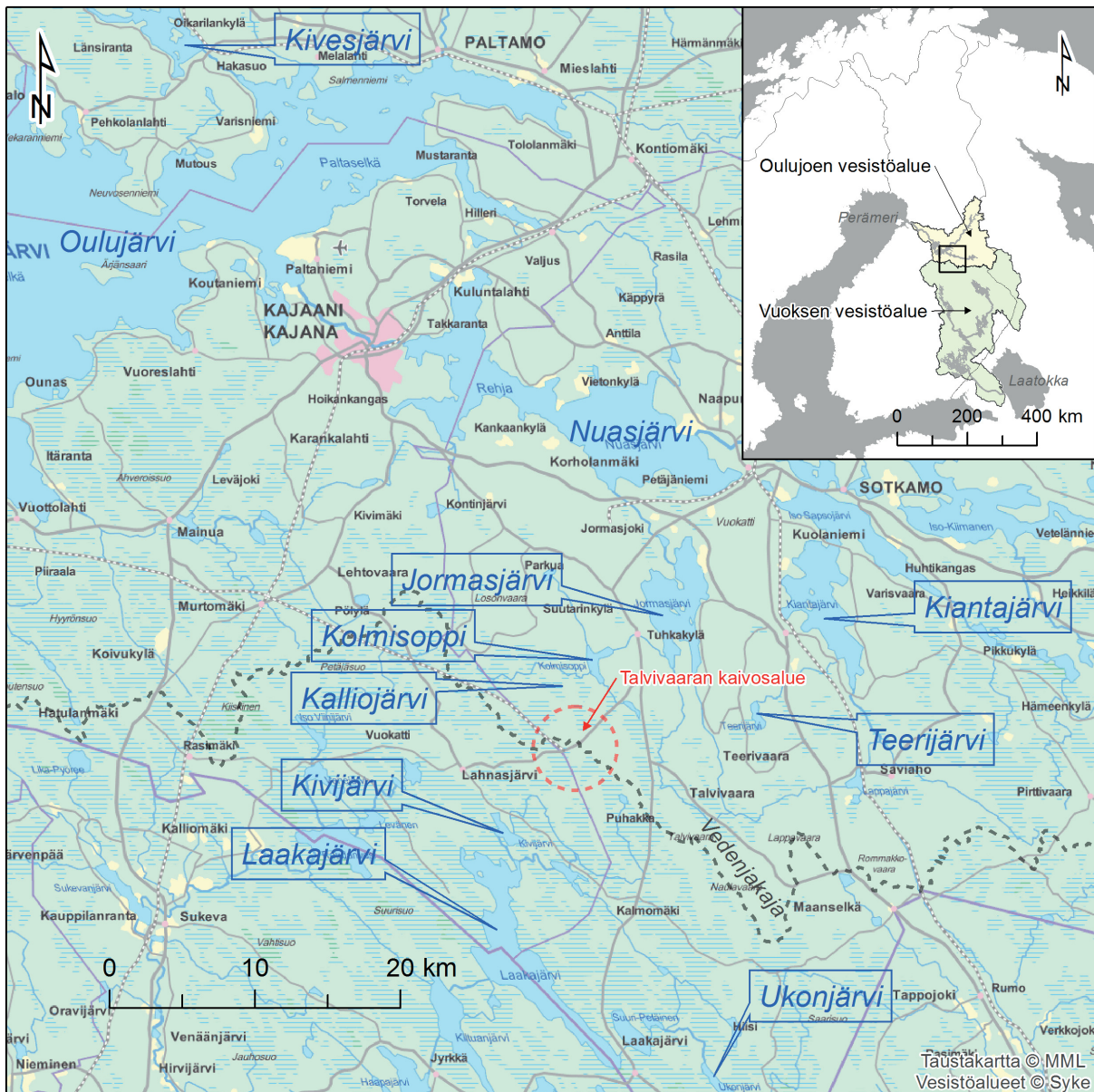
Kainuun Ely-keskus ja ympäristöterveydenhuolto antoivat kipsisakka-allasvuodon jälkeen 29.11.2012 suosituksen, jonka mukaan Oulujoen vesistön suunnassa Salmisenpuron, Salmisen, Kalliojärven ja Kolmisopen sekä Vuoksen vesistön suunnassa Lumijoen, Ylä-Lumijärven ja Kivijärven alueella suositellaan pidättäytymään vesistöjen talousvesi- ja virkistyskäytöstä sekä varovaisuussyistä em. vesistöistä pyydetyn kalan syömisestä.

Talvivaaran kaivoksen ympäristövaikutusten tutkimuksiin osallistuvien tahojen välisissä neuvotteluissa keväällä 2014 todettiin, että lisätietoa päästöjen pidemmän aikavälin vaikutuksista tarvitaan, sillä sedimenttiin kertyvien metallien kulkeutuminen kaloihin ei välttämättä tapahdu kovin nopeasti. Vaikka aikaisempien mittaustulosten perusteella kaloja voi syödä, jatkoseuranta olisi tarpeen, jotta pystytään selvittämään, näkyykö pitoisuuksissa muutoksia pitemmällä aikavälillä. Erityisesti haluttiin selvittää kadmiumpitoisuuden muutokset kaloissa, koska aikaisemmissa tutkimuksissa todettiin kadmiumin enimmäispitoisuusrajojen ylityksiä. MMM myönsi syksyllä 2014 määrärahan Talvivaaran kaivoksen jätevesipäästöjen kalavaikutusten selvittämisen jatkamiseksi. Suunnitelman mukaisesti näytteiden otto ja niiden analysointia jatkettiin vuosina 2014 (IV näytteenottokierros) ja 2015 (V näytteenottokierros).

Tähän loppuraporttiin on koottu hankkeen aikana toteutettujen viiden näytteenottokierroksen tulokset. Niiden ja saatavilla olevien taustatietojen perusteella on pyritty arvioimaan Talvivaaran kaivoksen päästöjen vaikutuksia kaloihin sekä kalojen käyttökelpoisuutta elintarvikkeena.

## 2. Tutkimusalue

Talvivaaran kaivos sijaitsee Oulujoen ja Vuoksen vesistöjen vedenjakaja-alueella Sotkamon ja Kajaanin kuntien alueella. Molemmat vesistöt toimivat kaivosalueelta tulevien vesien purkualueena. Etelän suunnassa purkautumisreitti kulkee Lumijoen kautta Kivijärveen ja edelleen Kivijoen kautta Laakajärveen. Pohjoisen suunnalla reitti kulkee Salmisen, Kalliojärven, Kalliojoen, Kolmisopen ja Tuhkajoen kautta Jormasjärveen (kuva 1).



Kuva 1. Tutkimusvesistöt.

Kaivosalueen lähimmät järvet ovat kooltaan pieniä, tummavetisiä ja humuspitoisia latvajärviä. Näiden alapuoliset järvet Kolmisoppi ja Kivijärvi ovat matalia runsashumuksisia järviä, Laakajärvi runsashumuksinen järvi ja Jormasjärvi keskikokoinen humusjärvi.

Ihmistoiminnan vaikutukset ovat näkyneet alueen vesissä jo ennen kipsisakka-altaan vuotoa. Vuonna 2007 alkaneen kaivostoiminnan myötä kaivoksen lähimpien järvien (Salminen, Kalliojärvi, Kivijärvi) alusvedet ovat suolaantuneet, ja vastaavia muutoksia on tapahtunut myös Kolmisopessa.

Lievempiä vaikutuksia on nähtävissä myös suuremmissa järvissä, Jormasjärvestä ja Laakajärvestä (Kauppi ym. 2013).

Tarkempi kuvaus Talvivaaran lähivesistä ja niiden valuma-alueista löytyy ”Talvivaaran kaivoksen kipsisakka-altaan vuodon haittoja ja riskejä vesiympäristölle” arvioivassa raportissa (Kauppi ym. 2013).

Talvivaaran lähivesien kalalajiston muodostavat lähinnä ahven, särki ja hauki. Näiden lisäksi osassa järvistä on esiintynyt vaihtelevasti mm. madetta, muikkua ja siikaa sekä kuhaa. Kalastollisesti merkittävin virtavesialue on Kolmisopen ja Jormasjärven välillä sijaitseva Tuhkajoki, jossa esiintyy taimen, harjus ja istutettuna kirjolohi. Geneettisten määritysten perusteella Tuhkajoen taimenkanta on alkuperäinen, selvästi oma erillinen kantansa (Koskiniemi 2009).

Vaikutusalueen kalastusta ja kalasaaliita on selvitetty alueella tehdyissä kalastustiedusteluissa sekä ennen kaivostoiminnan alkamista että toiminnan käynnistymisen jälkeen. Lapin vesitutkimus Oy (2006) suoritti kaivoshankkeen luontoselvitysohjelmaan liittyvän kalastustiedustelun vuoden 2004 kalastuksesta. Talvivaaran kaivoksen lupaehtoihin liittyvää kalataloustarkkailuohjelmaa ovat toteuttaneet konsultit Pöyry Finland Oy ja Ramboll Oy. Ohjelma on käsittänyt vuosittaisen kalastus- ja ravustuskirjanpidon sekä Tuhkajoen sähkökoekalastukset. Määrävuosina tehtäviä tarkkailuja ovat laajemmat sähkökoekalastukset, verkkokoekalastukset sekä kalastus- ja ravustustiedustelut. Tulokset on raportoitu vuosittaisissa Talvivaaran ympäristötarkkailuraporteissa (Pöyry Environment Oy 2008, Pöyry Finland Oy 2009, Pöyry Finland Oy 2010, Pöyry Finland Oy 2011, Pöyry Finland Oy 2012a, Pöyry Finland Oy 2013, Pöyry Finland Oy 2014, Ramboll 2015). Vuonna 2012 on tehty lisäksi ylimääräisiä verkkokoekalastuksia, joiden tulokset on raportoitu erillisessä raportissa (Pöyry Finland Oy 2012b).

Talvivaara Sotkamo Oy on tutkituttanut kalojen metallipitoisuuksia Kalliojärvestä, Kolmisopesta ja Jormasjärvestä sekä Kivijärvestä ja Laakajärvestä kerätyistä näytteistä. Vuonna 2008 kerättyjen haukinäytteiden tarkoituksena oli määrittää metallipitoisuuksia ennen kaivostoiminnan alkamista. Vuosien 2008, 2010, 2012, 2013 ja 2014 tulokset on raportoitu Talvivaaran ko. vuosien ympäristötarkkailuraporteissa.

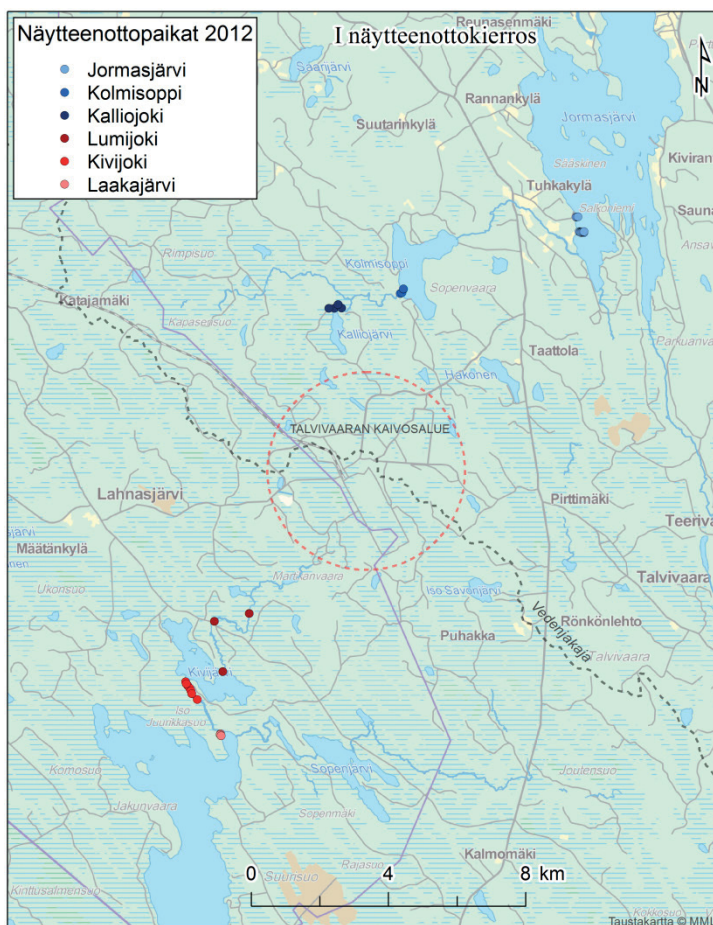


### 3. Aineisto ja menetelmät

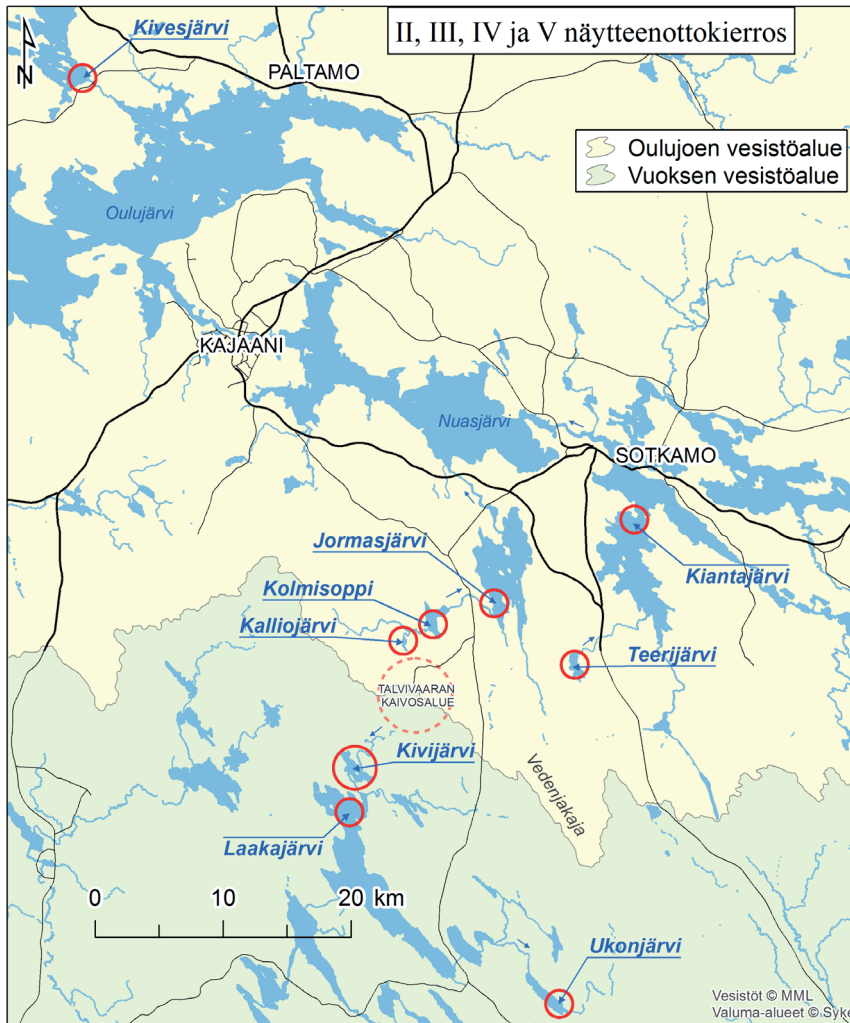
Hankkeen aikana toteutettiin kaikkiaan viisi näytteenottokierrosta (taulukko 1). Ensimmäisellä kierroksella marraskuussa 2012 koekalastukset keskitettiin näytteenottosuunnitelman mukaisesti kaivoksen vaikutusalueen jo osittain jäätyneille järville ja jokialueille (kuva 2). Tämän lisäksi vertailunäytteitä kerättiin Paltamon Kivesjärvestä. Seuraavilla kierroksilla näytteenottoa laajennettiin niin, että kuormitusalueen järvien lisäksi näytteitä kerättiin kaikkiaan neljältä vertailujärveltä (kuva 3). Järviä valittiin kaksi pienempää humusjärveä (Ukonjärvi ja Teerijärvi) sekä kaksi suurempaa Jormasjärven/Laakajärven kokoluokkaa olevaa järveä (Sotkamon Kiantajärvi ja Kivesjärvi). Vertailujärvet eivät sijoitu vaikutusalueen järvien tavoin Talvivaaran mustaliuskealueelle, mutta edustavat tyypillisiä kokoluokkansa kainuulaisia järviä. Metsätalous on tyypillisin ko. järvien ulkoinen kuormittaja.

**Taulukko 1.** Näytteenottokierrokset.

Näytteenottokierros	aika	alue
I	15.11. - 27.11.2012	vaikutusalue, 1 vertailujärvi
II	10.01. - 24.03.2013	vaikutusalue, vertailujärvet
III	22.05. - 19.07.2013	vaikutusalue, vertailujärvet
IV	16.10. - 22.12.2014	vaikutusalue, vertailujärvet
V	19.05. - 17.07. 2015	vaikutusalue, vertailujärvet



**Kuva 2.** Talvivaaran kaivoksen vaikutusalueelle sijoittuneet koekalastusalueet ensimmäisellä (I) näytteenottokierroksella.



**Kuva 3.** Toisen (II), kolmannen (III), neljännen (IV) ja viidennen (V) näytteenottokierroksen koekalastusalueet.

Koekalastukset toteutettiin pääsääntöisesti silmäharvuudeltaan 25 - 55 mm verkoilla sekä katiskoilla. Kalastukset pyrittiin kohdistamaan kullakin järvellä olosuhteiden salliessa aina samoille alueille. Tavoitteena oli kerätä kalanäytteiksi etenkin talouskaloina käytettäviä kalalajeja 6 - 10 kalaa/laji/järvi, joten pyyntiaika vaihteli kohdejärvestä muutamasta päivästä useaan viikkoon. Kalastusten yhteydessä kirjattiin ylös myös pyyntipaikkojen koordinaatit, saalistiedot lajeittain ja pyyntiponnistustiedot. Laakajärven kalanäytteitä kerättiin ensimmäisellä ja toisella näytteenottokierroksella myös paikalliselta ammattikalastajalta.

Hankkeen tarkoituksena oli selvittää jätevesien mahdollisesti aiheuttamat kudosuutokset kaloissa sekä kudoksiin kertyneet raskasmetallipitoisuudet. Raskasmetallimääryityksiä varten näytekalat nukutettiin (MS-222) ja tapettiin ennen mittausta ja punnitusta. Ikämääryityksiä varten näytekaloista otettiin suomu- tai otoliittinäyte. Lihasnäytteet sekä neljännellä ja viidennellä näytteenottokierroksella myös maksa-, munuais-, selkäranka- ja suolen sisältönäytteet säilöttiin yksilökohtaisesti näyteputkiin ja pakastettiin. Ensimmäisellä ja toisella kierroksella näytteiksi toimitettiin myös kokonaisia kaloja, joita säilytettiin maastossa jäähileessä ennen pakastusta. Kudosnäytteet sekä kokonaiset, pakastetut kalat (ylimääräisinä näytteinä) toimitettiin Eviraan näytteenottokierrosten lopussa. Osan kokonaisista näytekaloista Evira toimitti myös muille toimijoille (mm. STUK). Analysoituja raskasmetallinäytteitä kertyi vaikutusalueelta kaikkiaan 569 kpl (taulukko 2) ja vertailujärviltä 284 kpl (taulukko 3).

**Taulukko 2.** Talvivaaran kaivoksen vaikutusalueen järvien analysoidut raskasmetallinäytteet kalalajeittain (yht. 569 kpl).

	kierros	ahven	hauki	kuha	lahna	made	siika	särki	yht.
<b>Kalliojärvi</b>	<i>I*</i>	1	1	0	0	0	0	8	10
	<i>II</i>	0	1	0	0	0	0	0	1
	<i>III</i>	4	2	0	0	0	0	0	6
	<i>IV</i>	0	4	0	0	0	0	2	6
	<i>V</i>	10	2	0	0	0	0	3	15
<b>Kolmisoppi</b>	<i>I</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>II</i>	6	6	0	0	5	0	11	28
	<i>III</i>	10	7	0	0	0	0	9	26
	<i>IV</i>	10	2	7	0	1	3	5	28
	<i>V</i>	10	6	2	0	0	0	10	28
<b>Jormasjärvi</b>	<i>I</i>	6	0	1	0	6	2	6	21
	<i>II</i>	8	0	2	0	11	2	13	36
	<i>III</i>	10	2	8	1	0	1	9	31
	<i>IV</i>	10	6	6	0	5	4	10	41
	<i>V</i>	10	1	2	0	0	2	10	25
<b>Kivijärvi</b>	<i>I*</i>	4	1	0	0	2	0	6	13
	<i>II</i>	0	5	0	0	0	0	8	13
	<i>III</i>	10	11	0	0	0	0	10	31
	<i>IV</i>	8	6	0	0	1	3	10	28
	<i>V</i>	10	6	0	0	0	0	10	26
<b>Laakajärvi</b>	<i>I</i>	7	1	6	0	6	0	2	22
	<i>II</i>	4	9	10	0	11	0	5	39
	<i>III</i>	9	3	1	0	0	1	10	24
	<i>IV</i>	10	10	2	0	6	6	10	44
	<i>V</i>	10	6	6	0	2	2	1	27

\*= näytteet jokialueelta järven välittömästä läheisyydestä

**Taulukko 3.** Vertailujärvien analysoidut raskasmetallinäytteet kalalajeittain (yht. 284 kpl).

	kierros	ahven	hauki	kuha	lahna	made	siika	särki	yht.
<b>Kiantajärvi</b>	<i>II</i>	4	7	8	0	1	0	7	27
	<i>III</i>	4	0	5	1	0	4	0	14
	<i>IV</i>	10	4	10	0	0	9	10	43
	<i>V</i>	10	0	4	1	0	1	0	16
<b>Kivesjärvi</b>	<i>I</i>	4	8	0	0	1	0	4	17
	<i>II</i>	6	8	3	0	2	0	8	27
	<i>IV</i>	10	10	6	0	2	0	6	34
	<i>V</i>	8	3	8	0	0	0	0	19
<b>Teerijärvi</b>	<i>II</i>	0	5	0	0	3	0	3	11
	<i>III</i>	10	1	0	0	0	0	3	14
	<i>IV</i>	1	2	0	0	0	0	4	7
	<i>V</i>	7	4	0	0	0	0	6	17
<b>Ukonjärvi</b>	<i>II</i>	6	7	0	0	1	0	0	14
	<i>IV</i>	0	8	0	0	1	0	5	14
	<i>V</i>	3	4	0	0	0	0	3	10

Ensimmäisellä ja kolmannella näytteenottokierroksella kerätyt histologiset kudokset (yht. 134 kpl) otettiin maastossa. Nukutetut näytekalat tapettiin, ja mittausten jälkeen preparoidut kudokset (kidus, maksa, munuainen) säilöttiin välittömästi fiksointiliuokseen (fosfaattipuskurilla puskuroitu formaldehydi) lajikohtaisena kokoomänäytteenä. Näytteet lähetettiin tutkittavaksi Eviran Oulun toimipaikkaan.

## 4. Analyysit

Lihasnäytteistä tutkittiin raskasmetalleista arseeni, elohopea, kadmium, kromi, lyijy, nikkeli ja uraani. Samoista näytteistä tutkittiin myös alumiini sekä hivenaineet kupari, mangaani, rauta, seleeni ja sinkki. Määritykset tehtiin Eviran kemian ja toksikologian tutkimusyksikössä (akkreditoitu testauslaboratorio T014). Laboratorio toimii kansallisena referenssilaboratoriona raskasmetallien analyyseille sekä eläinperäisistä elintarvikenäytteistä että rehuista.

Elohopea määritettiin elohopea-analysaattorilla, jolloin ei tarvita näytteen esikäsittelyä vaan mitaus voidaan tehdä suoraan tuoreesta näytteestä. Menetelmän määritysraja on 0,010 mg/kg tuorepainoa kohti.

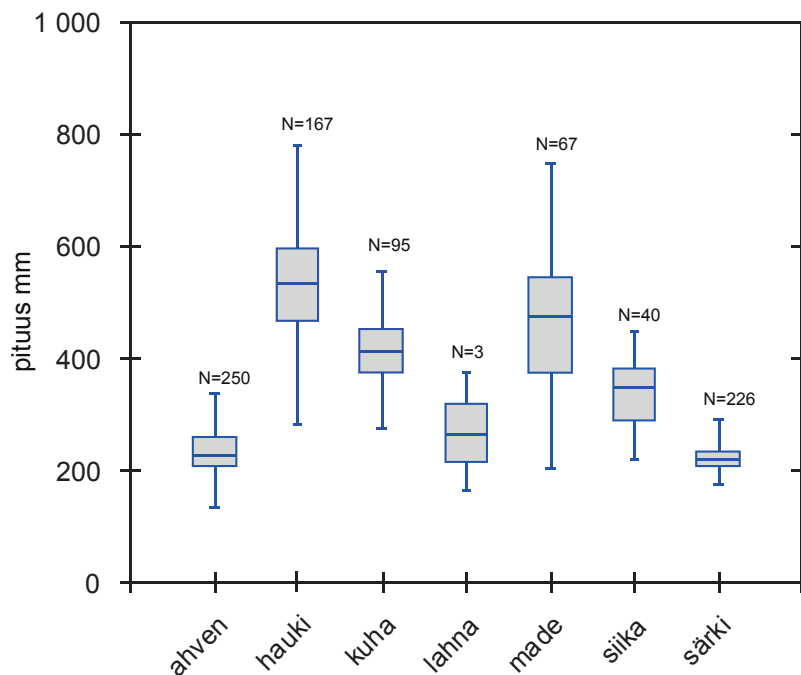
Muut alkuaineet määritettiin ICP-MS-tekniikalla (induktiivisesti kytketty plasma-massaspektrometria). Tässä menetelmässä näytteen sisältämä orgaaninen aines hajotetaan märkäpoltolla mikroaaltouunissa typpihapon ja vetyperoksidin avulla. Polttojäätös liuotetaan Milli-Q-vedellä, ja lopullinen näyteliuos on 2 % typpihapon suhteen. Näytteiden rinnalla analysoidaan laadunvarmistusnäytteitä kuten nollanäytteitä mahdollisen kontaminaation selvittämiseksi sekä valvontanäytteitä, joiden pitoisuus tunnetaan. Lisäksi joka sarjassa tehdään yksi näyte rinnakkaismäärityksenä.

Menetelmässä uraanin määritysraja on 0,0050 mg/kg, arseenin, kadmiumin, lyijyn ja seleenin määritysraja 0,010 mg/kg, kromin ja nikkelin 0,020 mg/kg, mangaanin 0,10 mg/kg, kuparin ja sinkin 0,20 mg/kg, alumiinin 0,25 mg/kg, ja raudan 0,50 mg/kg.

## 5. Tulokset

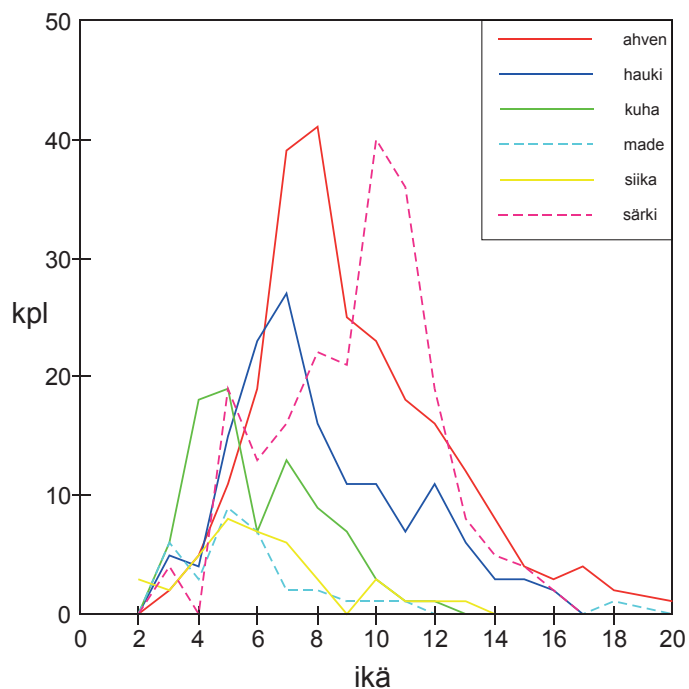
### 5.1. Kalojen kokojakauma

Näytekalojen kokovaihtelu oli lajikohtaista niin, että suurinta se oli petokaloissa (hauki, made) ja pienintä särjissä ja ahvenissa. Raskasmetalliseurannalla haluttiin saada kokonaiskuva vaikutusalueen ja vertailujärvien koko kalastosta, joten viitteellistä alamittarajausta (200 mm; 70 g) lukuun ottamatta näytteeksi valikoitui hyvin erikokoisia ja eri-ikäisiä kaloja (kuva 4 ja 5). Ahvenen, hauen ja särjen kokojakaumissa ei ollut merkittäviä eroja kuormitusjärvien ja vertailujärvien välillä.



**Kuva 4.** Näytekalojen kokojakauma (pituus mm) lajeittain. Laatikko kuvaa muuttujajakauman keskimmäisiä neljänneksiä (sis. 50 % havainnoista), viiva mediaania ja viikset ala- ja yläneljänneksiä (95 %).

Kokovaihtelu näkyi osalla lajeista myös näytteiksi otettujen kalayksilöiden ikäjakaumassa. Puolet (50 %) näyteahvenista edusti ikäluokkia 7 - 11 v, hauista vastaavasti ikäluokkia 6 - 10 v. Särjet olivat keskimäärin muita lajeja vanhempia edustetuimpien ikäluokkien ollessa 8 - 11 v (mediaani 10 v; kuva 5). Vertailujärvien haukiyksilöt olivat keskimäärin kaksi vuotta nuorempia kuin kuormitusalueen hauet.



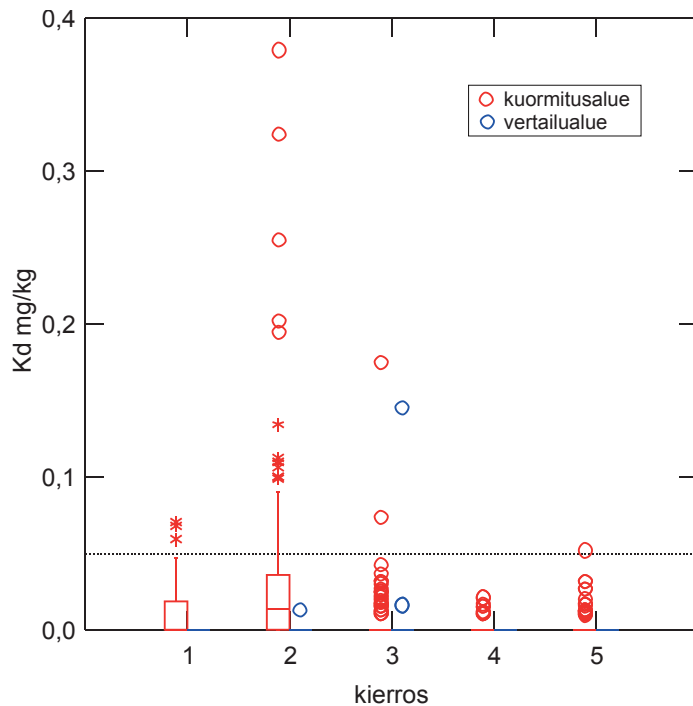
Kuva 5. Ikämääritettyjen näytekalojen jakauma lajeittain.

## 5.2. Raskasmetalli- ja hivenainepitoisuudet

EU on asettanut sallitut enimmäismäärät kadmiumille, lyijylle ja elohopealle asetuksessa N:o 1881/2006 (elintarvikkeissa olevien vierasaineiden enimmäismäärät) ja sen muutoksissa. Tutkittujen kalalajien kadmiumin sallittu enimmäismäärä on 0,050 mg/kg (EU: asetus N:o 488/2014), lyijyn 0,30 mg/kg (EU:n asetus N:o 2015/1005) ja elohopean sallittu enimmäismäärä hauelle on 1,0 mg/kg ja muiden kalalajien elohopean sallittu enimmäismäärä on 0,50 mg/kg (EU:n asetus N:o 629/2008). Muille tutkituille alkuaineille ei ole olemassa sallittuja enimmäismääriä.

## 5.3. Kadmium ja lyijy

Suurentuneita kadmiumpitoisuuksia ja osin myös sallitun enimmäispitoisuusrajan ylityksiä mitattiin lähinnä särjissä, mutta myös ahvenessa, mateessa ja hauessa. Ensimmäisellä kierroksella sallitun enimmäismäärän ylityksiä löytyi Jormasjärven, Kalliojoen ja Kivijärven kolmesta särjestä. Havaittavia pitoisuuksia, mutta kuitenkin reilusti alle sallitun enimmäismäärän oli myös Laakajärven, Kalliojärven ja Kivijoen särjissä sekä Laakajärven ahvenissa. Toisella kierroksella merkittävin havainto oli Jormasjärvestä ja Kolmisopesta pyydettyjen särkien suurentuneet kadmiumpitoisuudet, ja sallitun enimmäismäärän ylityksiä oli enemmän kuin ensimmäisellä kierroksella. Myös kahdessa Jormasjärven ja kahdessa Kolmisopen mateessa kadmiumpitoisuus ylitti raja-arvon. Kolmannella kierroksella oli edelleen kaloja, joissa oli suurentuneita kadmiumpitoisuuksia, mutta enimmäismäärän ylittäviä pitoisuuksia oli vähemmän kuin aikaisemmillä kierroksilla: vain kaksi särkeä (Kolmisoppi, Jormasjärvi) ja yksi siika (Kiantajärvi). Neljännellä kierroksella kadmiumpitoisuudet olivat menetelmän määrittämissä (0,010 mg/kg) tuntumassa. Viidennellä kierroksella yhden Kolmisopen särjen kadmiumpitoisuus (0,052 mg/kg) oli hiukan yli sallitun enimmäismäärän, muuten pitoisuudet olivat pieniä (kuva 6).



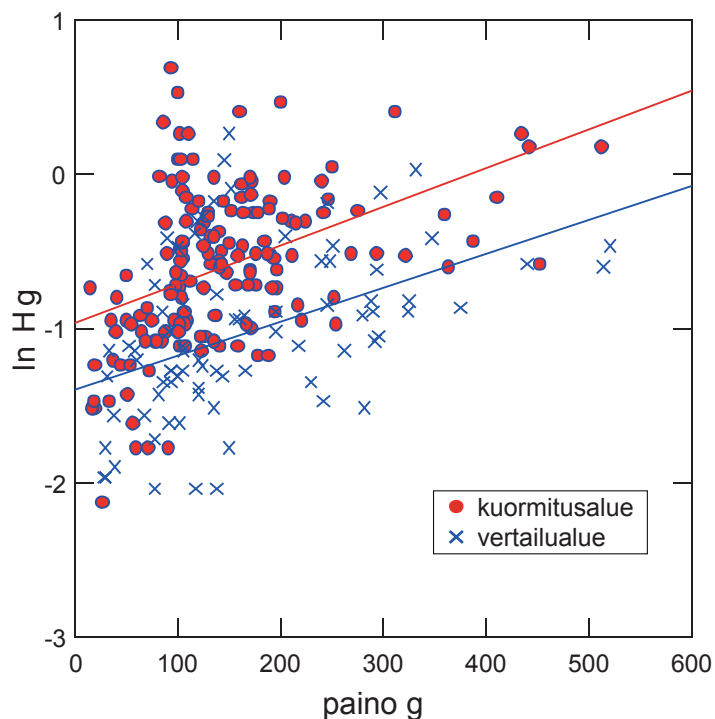
**Kuva 6.** Näytekalojen (kaikki lajit) kadmium-pitoisuus näytteenottokierroksittain kuormitusalueella ja vertailu-alueella. Laatikko kuvaa muuttujajakauman keskimäisiä neljänneksiä (sis. 50 % havainnoista), viiva mediaania, viikset ala- ja yläneljänneksiä ja symbolit jakauman uloimpia yksittäisiä havaintoja. Katkoviivalla on kuvattu kadmiumin sallittu enimmäismäärä, 0,050 mg/kg (EU: asetus N:o 488/2014).

Liijyn pitoisuudet ovat pysyneet koko tutkimuksen ajan pieninä, eikä muutoksia tai eroja järvien tai kalalajien välillä ole havaittavissa (liite 1).

### 5.3.1. Elohopea

Talvivaaran kuormitusalueella etenkin ahvenen elohopeapitoisuudet olivat keskimääräisesti suurempia kuin vertailujärvillä ja suurenvat kalan koon kasvaessa (kuva 7, taulukko 4). Keskiarvoeroja analysoitiin kovarianssianalyysillä siten, että näytteenottoalue oli faktorina ja ahvenen paino kovariaattina. Testi tehtiin logaritmi-muunnetuilla Hg-arvoilla testin oletusten täyttämiseksi.



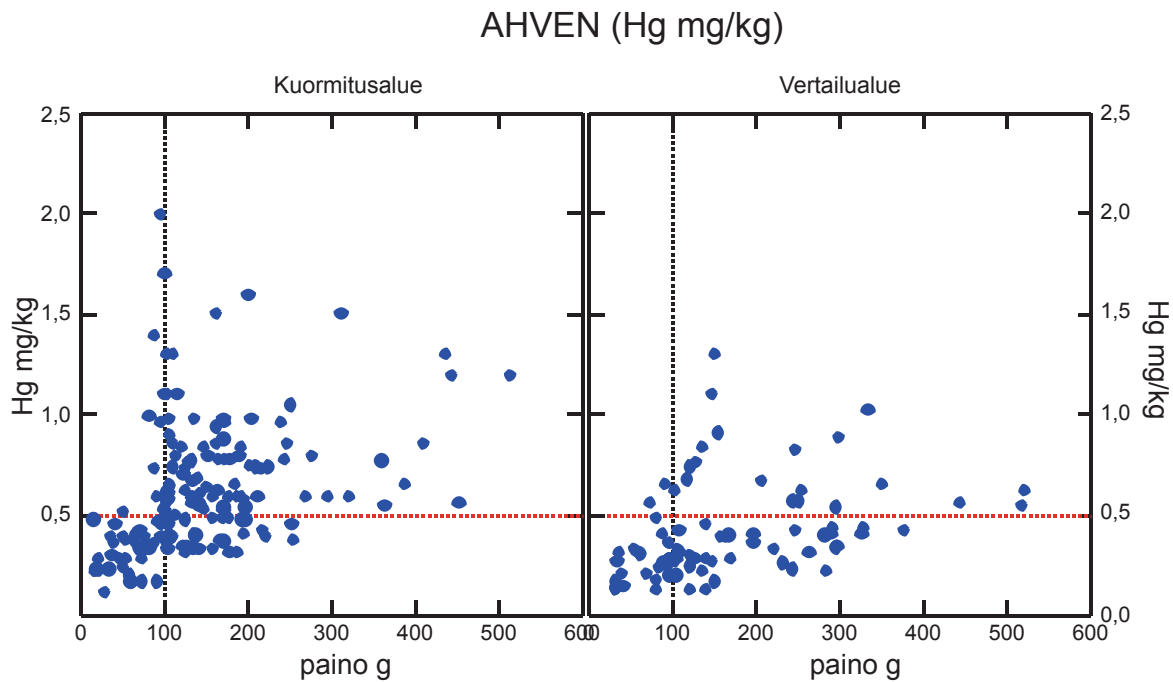


**Kuva 7.** Logaritmuutetut Hg-pitoisuudet suhteessa ahvenen painoon kuormitus- ja vertailualueella.

**Taulukko 4.** Ahvenen Hg-pitoisuuksien (ln-muunnettu) vertailu kuormitusalueella ja vertailualueella käyttäen kovarianssianalyysiä, kovariaattina ahvenen paino.

Vaihtelun lähde	Neliösumma	Vapausasteet	Keskineliö	F-testisuure	p-arvo
Alue	12,438	1	12,438	58,499	0,000
Paino	12,778	1	12,778	60,097	0,000
Virhe	52,093	245	0,213		

Kokoluokassa 100 g ja sitä suuremmat ahvenet raja-arvo 0,5 mg/kg ylittyi 53 % ahvennäytteistä, kun se vertailujärvillä oli 23 %. Kuormitusalueella ylityksiä oli etenkin Kolmisopessa ja vertailujärvistä Ukonjärvellä (kuva 8, liite 2).



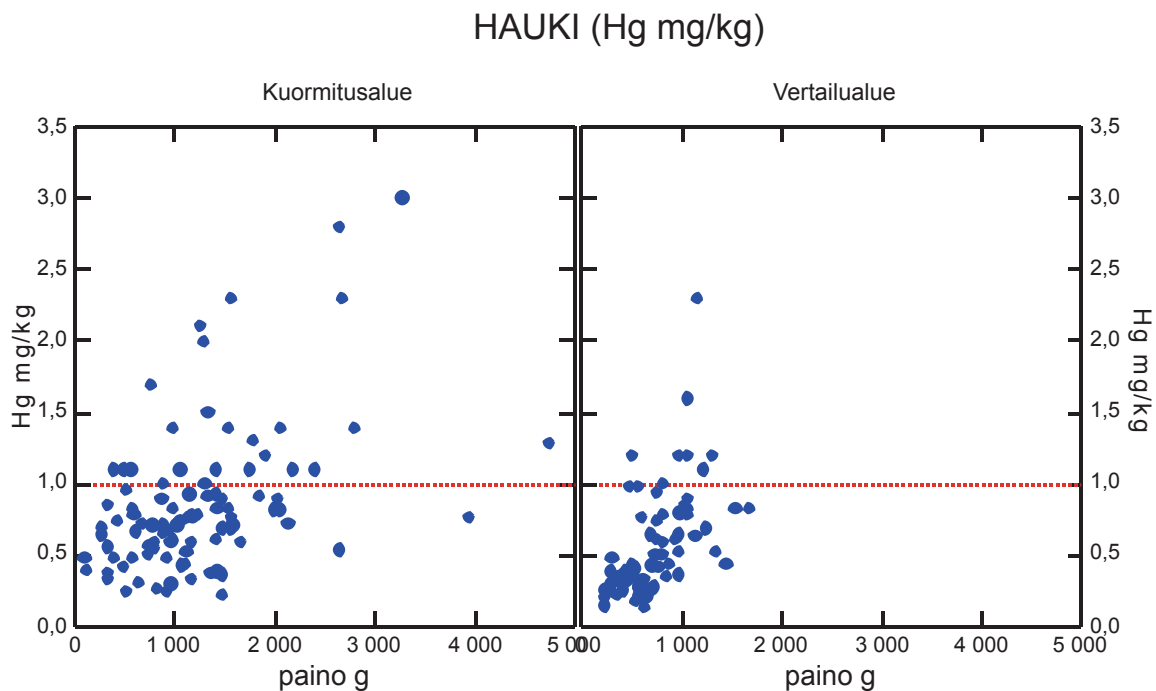
**Kuva 8.** Ahventen elohopeapitoisuudet (Hg mg/kg) Talvivaaran vaikutusalueen järvillä (kuormitusalue) ja vertailujärvillä. Punaisella katkoviivalla on kuvattu elohopean sallittu enimmäismäärä ahvenella, 0,50 mg/kg (EU:n asetus N:o 629/2008).

Myös haukien elohopeapitoisuudet olivat keskimääräisesti suurempia kuormitusalueella kuin vertailujärvillä ja suurentivat kalan koon kasvaessa (taulukko 5). Kuormitusalueella keskimääräinen hauen elohopeapitoisuus oli 0,86 mg/kg (kokoluokka 0 - 5 kg) ja vertailualueella vastaavasti 0,58 mg/kg. Raja-arvon 1,0 mg/kg ylityksiä oli kuormitusalueella 26 % näytelajeista ja vertailualueella 12 % (kuva 9). Suuria elohopeapitoisuuksia mitattiin etenkin Kalliojärven ja Kolmisopen sekä Ukonjärven hauista (liite 2).

**Taulukko 5.** Hauen (kokoluokka 0 -5 kg) Hg-pitoisuuksien (ln-muunnettu) vertailu kuormitusalueella ja vertailualueella käyttäen kovarianssianalyysiä, kovariaattina hauen paino.

Vaihtelun lähde	Neliösumma	Vapausasteet	Keskineliö	F-testisuure	p-arvo
Alue	2,002	1	2,002	7,888	0,006
Paino	9,888	1	9,888	38,959	0,000
Virhe	41,116	162	0,254		

Kolmisopessa elohopeaylityksiä (yli 0,50 mg/kg) esiintyi myös muissa vesistön kalalajeissa (made, kuha, siika).



**Kuva 9.** Haukien (kokoluokka 0 - 5 kg) elohopeapitoisuudet (Hg mg/kg) Talvivaaran vaikutusalueen järvillä (kuormitusalue) ja vertailujärvillä. Punaisella katkoviivalla on kuvattu elohopean sallittu enimmäismäärä haue-la, 1,0 mg/kg (EU:n asetus N:o 629/2008).

### 5.3.2. Uraani

Uraanipitoisuudet olivat kaikilla viidellä kierroksella alle menetelmän määrittämissä rajoissa, 0,0050 mg/kg.

### 5.3.3. Alumiini

Alumiinipitoisuudet olivat pääsääntöisesti alle menetelmän määrittämissä rajoissa (0,25 mg/kg) tai lähellä menetelmän määrittämissä rajoja. Vertailujärvien kalojen alumiinipitoisuus oli jonkin verran pienempi kuin kaivosalueen järvien kalojen (liite 4).

### 5.3.4. Mangaani

Mangaanin pitoisuudessa oli havaittavissa selvä pienentyminen tutkimuksen aikana. Ensimmäisellä kierroksella oli eroa kaivoksen vaikutusalueen (keskiarvo 2,9 mg/kg) ja vertailujärvien (0,83 mg/kg) välillä. Tosin ensimmäisellä kierroksella oli ainoastaan Kivesjärvi vertailujärvenä. Tutkimuksen edetessä ero kaventui. Kolmannella kierroksella mangaanipitoisuudet sekä kaivosalueen järvissä että vertailujärvissä kohosivat, mutta neljännellä kierroksella pitoisuudet pienenevät. Viidennellä kierroksella mangaanin keskiarvopitoisuudet olivat kaivosalueen järvien kaloissa 0,85 mg/kg ja vertailujärvien kaloissa 0,57 mg/kg (liite 5).

### 5.3.5. Nikkeli

Nikkelin keskiarvopitoisuudet olivat kaivosalueen järvissä 0,04 - 0,07 mg/kg ja vertailujärvissä keskimäärin 0,03 mg/kg tuorepainoa, eikä selviä muutoksia kierrosten välillä ollut havaittavissa (liite 6).

### 5.3.6. Kromi

Kromin kohdalla ero kaivoksen vaikutusalueen ja vertailujärvien välillä oli ensimmäisellä kierroksella selvästi isompi kuin viidennellä kierroksella. Mitatut maksimipitoisuudet olivat vertailujärvissä pienempiä (liite 7).

### 5.3.7. Kupari ja sinkki

Kuparin kohdalla oli havaittavissa pientä suurenemista ensimmäisen näytteenottokierroksen ja viidennen näytteenottokierroksen välillä. Kaivosalueen järvissä kuparipitoisuus oli suurentunut 0,26 mg/kg:sta 0,45 mg/kg:aan ja vertailujärvissä <0,20 mg/kg:sta 0,42 mg/kg:aan tuorepainoa kohti (liite 8). Sinkki oli vastaavasti pienentynyt kaivosalueen järvissä 8,3 mg/kg:sta 3,44 mg/kg:aan ja vertailujärvissä 6,59 mg/kg:sta 3,43 mg/kg:aan (liite 9).

### 5.3.8. Rauta

Raudan keskiarvopitoisuus oli 3,0 - 4,6 mg/kg tuorepainoa kohti sekä kaivosalueen järvissä että vertailujärvissä (liite 10).

### 5.3.9. Arseeni

Arseenipitoisuudet olivat pieniä sekä kaivosalueen järvissä (0,040-0,067 mg/kg) että vertailujärvissä (0,020-0,034 mg/kg) (liite 11).

### 5.3.10. Seleni

Kaivosalueen järvissä seleenipitoisuus oli keskimäärin 0,40 mg/kg. Vertailujärvissä kalojen seleenipitoisuus oli pienempi keskiarvon ollessa 0,26 mg/kg (liite 12).

## 5.4. Kalanäytteiden histologiset tutkimukset

Formaliiniin säilötyt kudosnäytteet kalojen kiduksista, maksasta ja munuaisista valmistettiin normaaliin valomikroskooppisten kudoksetleikkien tavalla, värjättiin hematoksyliini-eosiinillä ja tutkittiin ”sokkona”, eli leikkeitä mikroskoopilla tarkastellessaan tutkija ei tiennyt, mikä on näytekalan tausta (laji, pyyntipaikka jne.). Kudosmuutosten laajuus ja voimakkuus arvioitiin raportin liitteestä ilmenevällä tavalla (liite 13).

### 5.4.1. Kidusmuutokset marraskuussa 2012

Lieviä akuutteja kidusmuutoksia todettiin kahdella mateella (Laakajärvi), kahdella särjellä (Kalliojoki ja Jormasjärvi) ja kahdella hauella (kontrollialue ja Kalliojoki). Kroonisia kidusmuutoksia oli myös vähän, poikkeuksena erityisesti Kivijoesta pyydystetyt särjet, joista 4/5:llä todettiin luokan 2 yleistä ja 2/5:llä myös epiteelisolujen pesäkkeistä hyperplasiaa. Samoissa leikkeissä todettiin 2/5 kalalla kidusloisia (mahdollisesti Monogeeniloisia). Todennäköisesti Kivijoen särjillä todettu loistartunta on yhtenä syynä havaittuun kidusärsytykseen. Myös Jormasjärven särkien näytteissä todettiin hyperplasiaa, mutta vain luokan 1 muutoksia (3/6 kalalla).

### 5.4.2. Kidusmuutokset kesällä 2013

Lieviä akuutteja kidusmuutoksia todettiin yhdellä ahvenella Kivijärvellä, yhdellä hauella, yhdellä kullalla ja yhdellä siialla Jormasjärvellä, kahdella hauella Teerijärveltä ja yhdellä haulta Ukonjärveltä. Voimakkaampia akuutteja kudosmuutoksia todettiin ainoastaan yhdeltä haulta Ukonjärveltä.

Kroonisempaa kidusärsytystä eli yleistä kidushyperplasiaa todettiin pääosalla tutkituista kaloista vain niukasti tai ei ollenkaan. Voimakkaampaa kidushyperplasiaa todettiin yhdellä ahvenella Kolmisopissa, viidellä särjellä Jormasjärvellä, yhdellä särjellä ja yhdellä hauella Teerijärvellä sekä yhdellä särjellä ja yhdellä hauella Ukonjärvellä.

Pesäkkeistä kroonista kidusärsytystä todettiin myös pääosin niukasti tai ei ollenkaan. Voimakkaampia muutoksia todettiin Jormasjärvellä kolmella ahvenella, yhdellä hauella, yhdellä lahnalla, yhdellä särjellä ja yhdellä kuhalla, Kiantajärvellä yhdellä kuhalla ja yhdellä ahvenella, Kivijärvellä yhdellä särjellä ja yhdellä ahvenella, Teerijärvellä yhdellä särjellä ja yhdellä ahvenella sekä Ukonjärvellä kahdella hauella ja yhdellä ahvenella.

Kidusloisia todettiin yksittäisillä kaloilla Kivijärveltä (kolmella särjellä ja yhdellä ahvenella), Jormasjärveltä (kahdella särjellä), Laakajärveltä (yhdellä särjellä) ja Ukonjärveltä (yhdellä hauella).

### 5.4.3. Muutokset maksaleikkeissä marraskuussa 2012

Lajille ja vuodenajalle tyypillisesti mateitten maksassa todettiin yleisesti rasvoittumista, 10/14 kalan näytteissä jokseenkin koko maksasolun käsittäen ja 3/14 kalalla vähemmän. Yksittäisellä Kivijoesta pyydystetyllä 7 kg:n hauella todettiin rasvoittumiseen liittyen myös degeneratiivisia tumamuutoksia. Vähäistä tai luokan 2 rasvoittumista todettiin myös 10/16 ahvenella ja 11/15 särjellä. Maksan rasvoittumista ei voida pitää em. haukea lukuun ottamatta epänormaalina kalojen pyydystysajankohtaan nähden. Varsinaisia rappeumamuutoksia maksoissa ei todettu lukuun ottamatta yhden särjen kohtalaista maksan parenkymisolujen tumien pyknoosia (näytekala pyydystetty Laakajärvestä). Merkkejä loistartunnasta todettiin maksaleikkeissä kohtalaisen yleisesti: heisimotorakenteita havaittiin 7/52 kalalla ja todennäköisesti vanhoja loisinfektioita kuvastavia kroonisia tulehduspesäkkeitä 11/52 kalalla. Erityisesti näitä oli Laakajärven kaloissa (matorakenteita 5/16 kalalla ja pesäkkeitä 6/16 kalalla).

### 5.4.4. Muutokset maksaleikkeissä kesällä 2013

#### **Kivijärvi**

Voimakkaampaa rasvoittumista todettiin yhdellä ahvenella, yhdeksällä hauella ja yhdellä mateella. Loistartuntoja todettiin kahdeksalla ahvenella, ja ne olivat pääosin lieviä. Lieviä kuolioita todettiin neljällä ahvenella ja yhdellä hauella. Lieviä tulehdusmuutoksia todettiin yhdeksällä ahvenella ja kahdella hauella. Yhdellä ahvenella tulehdusreaktio oli voimakkaampaa.

#### **Laakajärvi**

Voimakkaampaa rasvoittumista todettiin neljällä hauella, lievä loistartunta yhdellä ahvenella ja kahdella hauella. Kuolioita oli 11 kalalla (ahven, hauki, särki), joista kolmella särjellä ne olivat voimakkaimpia. Lieviä tulehdusreaktioita oli seitsemällä ahvenella, viidellä hauella ja seitsemällä särjellä.

#### **Kolmisoppi**

Voimakkaampaa rasvoittumista todettiin kahdella hauella. Lievä loistartunta oli kolmella ahvenella ja yhdellä särjellä. Lieviä kuolioita oli kahdella hauella, yhdellä ahvenella ja yhdellä särjellä. Lievä tulehdusreaktio oli yhdeksällä ahvenella, kolmella hauella ja kolmella särjellä.

#### **Jormasjärvi**

Voimakkaampaa rasvoittumista todettiin kuudella kuhalla ja yhdellä hauella. Kahdella ahvenella oli lievä loistartunta ja yhdellä hauella lievä kuolio. Lievä tulehdus oli neljällä ahvenella sekä yhdellä kuhalla, hauella ja lahnalla.

**Kalliojärvi**

Voimakkaampaa rasvoittumista todettiin yhdellä hauella. Voimakas loistartunta oli yhdellä ahvenella. Kuolioita ei havaittu. Lieviä tulehdusmuutoksia oli yhdellä ahvenella ja hauella.

**Kontrollialueet***Kivesjärvi*

Todetut maksamuutokset olivat lieviä. Voimakkaampaa rasvoittumista todettiin kolmella hauella. Kaikkiaan kuudella särjellä todettiin lievä loistartunta. Kahdella hauella ja yhdellä särjellä todettiin lievästi kuolioita, ja kahdeksalla ahvenella ja seitsemällä hauella lievää tulehdusreaktiota.

*Ukonjärvi*

Voimakkaampaa rasvoittumista todettiin yhdellä ahvenella ja kahdella hauella. Lievä loistartunta oli kahdella ahvenella ja särjellä, ja voimakas loistartunta yhdellä särjellä. Yhdellä hauella oli lievä kuolio ja yhdeksällä ahvenella sekä kolmella särjellä lievä tulehdus.

*Teerijärvi*

Voimakkaampaa rasvoittumista todettiin yhdellä hauella. Loisia ei havaittu. Yhdellä hauella oli lievä kuolio, ja viidellä ahvenella ja kahdella särjellä havaittiin lievä tulehdus.

*Kiantajärvi*

Voimakkaampaa rasvoittumista todettiin kahdella kuhalla. Yhdellä kuhalla oli lievä loistartunta. Lievä kuolio todettiin kahdella siialla sekä lievä tulehdus neljällä ahvenella ja kahdella kuhalla.

**5.4.5. Muutokset munuaisleikkeissä marraskuussa 2012**

Lieviä munuaismuutoksia todettiin 3 - 5:llä tutkituista 38 kalasta. Näitä olivat eosinofiilinen granulatio munuaistubulusten epiteelisolujen solulimassa (4/38), lieriöiden esiintyminen tubuluksissa (3/38) ja melanomakrofaagien lisääntyminen keskimääräisestä (5/38). Edellä mainittujen lisäksi etenkin särjillä (9/12 kalalla) havaittiin munuaisissa itiöeläintartuntaa. Osassa itiöeläintapauksia kala oli reagoinut tartuntaan, mutta suurimmassa osassa ei. Tartuntaa oli etenkin Kivijärven ja Jormasjärven särkien näytteissä.

**5.4.6. Muutokset munuaisleikkeissä kesällä 2013**

Munuaiskudoksessa todettiin yksittäisillä kaloilla runsaasti itiöeläinpesäkkeitä Kivesjärvellä, Kivijärvellä, Laakajärvellä, Kolmisopissa, Teerijärvellä ja Ukonjärvellä (hauki, ahven, särki). Erittäin runsaasta melanomakrofaagien lisääntymistä todettiin hauilla Kivesjärvellä (4 kpl), Kivijärvellä (3 kpl), Kolmisopissa (5 kpl), Ukonjärvellä (2 kpl) ja Kalliojärvellä (1 kpl).

## 6. Tulosten tarkastelu

Marraskuussa 2012 tapahtuneen kipsisakka-altaan vuodon seurauksena kaivosalueelta pääsi Oulujärven ja Vuoksen vesistöihin moninkertainen määrä tavanomaiseen kuormitukseen verrattuna raskasmetalleja kuten mangaania ja rautaa (noin 150 tonnia kumpaakin), nikkeliä (yli 2000 kg), sinkkiä (noin 1000 kg), uraania (yli 70 kg), kobolttia (noin 60 kg) ja kadmiumia (yli 2 kg). Lisäksi vesistöihin on päässyt mm. alumiinia, lyijyä, arseenia ja kuparia. Suomen ympäristökeskus on arvioinut, että suurin osa päästöistä on pidättynyt Oulujoen vesistöalueella Kalliojärveen ja Vuoksen vesistöalueella Kivijärveen. Kaikkiaan Talvivaaran kaivostoiminta ja siihen liittyvä onnettomuus on vahingoittanut merkittävästi vesistöjen ekologista ja kemiallista tilaa Oulujoen vesistön suunnalla kaikissa vesistöissä Kolmisoppeen asti ja Vuoksen vesistön suunnalla kaikissa vesistöissä Kivijärveen asti (Kauppi ym. 2013). Huomattavimmat kalastolle ja ekosysteemipalveluille, kuten kalastukselle ja muulle vesien virkistyskäytölle, koituneet haitat kohdistuvat niin ikään em. alueille ja näkyvät lievempinä alapuolisissa järvissä Laakajärvessä ja Jormasjärvessä.

Metallit voivat vaikuttaa kaloihin suurina pitoisuuksina jopa akuutisti tai ne voivat kertyä kaloihin pitemmän ajan kuluessa. Näkyvimmit allasvuodosta aiheutuneet akuutit kalastovaikutukset todettiin Kalliojoesta ja Kolmisopesta, joista löydettiin kuolleita särkiä pian altaan vuodon jälkeen. Aluetta oli kalkittu runsaasti havaintoja edeltävinä päivinä, mikä on osaltaan voinut aiheuttaa kalakuolemia. Tästä on esimerkkejä mm. Norjasta, missä kalakuolemia on havaittu kalkitun ja happaman jokiveden sekoitumiskohdassa (ns. "mixing zone" -ilmiö; Rosseland et al. 1992, Teien et al. 2006). Toinen näytteenotto-kerros 2 - 4 kk allasvuodon jälkeen tuotti hyvin vähän saalista kaivosalueen lähimmiltä järviltä (Kivijärven itäosa, Kalliojärvi), mutta viitteitä kuolleista tai poikkeuksellisesti käyttäytyvistä kaloista ei kuitenkaan näkynyt vaikutusalueella. Toisaalta kylmän veden aikaan kalojen aineenvaihdunta on hidasta ja veteen liuenneen hapen pitoisuus on suuri, joten nämä seikat ovat voineet vähentää haittavaikutuksia.

Veden laadun muuttumiseen jätevesien seurauksena liittyy usein kalojen karkottumista vaikutusalueelta, mikä voi olla väliaikaista tai elinympäristön muuttuessa epäsuotuisaksi myös pysyvää. Karkottumisessa voi olla myös lajikohtaisia eroja. Esimerkiksi happamoitumisprojektissa tehdyissä kontrolloiduissa laboratorioskokeissa särki ja lahna olivat selkeästi herkimmät lajit happamuuden siedon suhteen (kaikkiaan 16 kalalajia; Tuunainen ym. 1991). Myös happamien sulfaattimaiden vaikutusalueella Pohjanmaalla kalalajien lukumäärä korreloi keskimääräisen pH:n kanssa (Sutela ja Vehanen 2013). Kyseisessä aineistossa happamuudelle tolerantteja lajeja olivat varsinkin ahven, hauki, kiiski sekä särki ja herkkiä puolestaan mm. harjus ja taimen. Synnä happamuudelle herkäsi tunnetun särjen esiintymiselle näillä alueilla saattoi olla se, että särki levittäytyi hyvän happamuustilanteen vallitessa takaisin tutkituille alueille (Sutela ja Vehanen 2013). Myös tässä selvityksessä Kalliojärven koekalastustulokset viittasivat siihen, että lähes koko järven kalasto on väistänyt vuodon jälkeen happamia jätevesiä siirtyen alapuolisiin vesistönsiin ja nyt se on vähitellen palautumassa luontaisesti. Toisaalta jo ennen allasvuotoa kaivosaluetta lähimmissä järvissä oli havaittu alusvesien suolaantumista, joka on voimistanut kaivosta lähimpien järven kerrostuneisuutta ja aiheuttanut alusveden happikatoa. Jos tämä kerrostuneisuus on luonteeltaan pysyvää, tästä kärsivät etenkin pohjakalat kuten made, ja välillisesti koko järven kalasto.

Talvivaaran kaivoksen vaikutukset kuormitusalueen kalojen raskasmetallipitoisuuksiin näkyivät pääosin yksittäisinä kohonneina arvoina. Mitatut arseenin, kromin, lyijyn, nikkelin ja uraanin sekä hivenaineiden kuparin, raudan, seleenin ja sinkin pitoisuudet olivat pieniä, usein alle määrittämissä rajojen. Kuitenkin sallitun enimmäispitoisuusrajan ylittäviä yksittäisiä kadmiumpitoisuuksia esiintyi kuormitusalueella etenkin ensimmäisillä näytteenottokierroksilla. Näitä ylityksiä havaittiin Jormasjärven ja Kolmisopen särkinäytteistä vielä kolmannella kierroksella. Seurannan jatkuessa niin kadmiumpitoisuudet kuin alkuaineista mangaanipitoisuudet ovat kuitenkin pienentyneet, mutta elohopeasta raja-arvojen ylityksiä on esiintynyt kaikilla tutkimuskierroksilla. Ahvenen elohopeapitoisuudet Talvivaaran kuormitusalueella ylittivät yleisesti sallitun lainsäädännöllisen enimmäismäärän ja olivat suuremmat kuin kolmella vertailujärvellä (Kivesjärvi, Teerijärvi, Kiantajärvi). Raja-arvon ylityksiä oli etenkin kool-

taan yli 100 gramman ahvenissa. Myös kuormitusalueen järvien (etenkin Kalliojärvi ja Kolmisoppi) haukien elohopeapitoisuudet olivat keskimääräistä suurempia. Sen sijaan lyhyemmän ravintoketjun lajien, särjen ja siian elohopeapitoisuudet jäivät pääsääntöisesti alle sallittujen enimmäismäärien.

Suomen sisäjärvet ovat yleensä humuspitoisia, ja siksi sisävesien petokalojen kuten isokokoisten ahventen, haukien, kuhien ja mateiden elohopeapitoisuudet ovat usein suuret. Metsäjärvissä elohopeapitoisuuksien suurenemisen arvioidaan johtuvan pääosin ilman kautta vesistöihin ja maaperään kulkeutuneesta elohopeasta. Elohopean kertymiseen vaikuttaa myös vesistön ja valuma-alueen ominaisuudet ja niissä tehdyt toimenpiteet, esim. avohakkuut ja maanmuokkaus (mm. Porvari 2003). Talvivaaran alueella mustaliuske on voinut hyvinkin suurentaa elohopeatasoa lähivesistöissä ja kaloissa jo historiallisesti. Helposti rapautuvat sulfidimineraalit happamoittavat ympäröiviä vesiä ja nämä puolestaan liuottavat tehokkaasti mustaliuskeista suurina pitoisuuksina esiintyviä metalleja (Mäkinen ym. 2010, Rantataro 2015). Tätä kehitystä ovat olleet edistämässä kaivostoimintaan liittyvä valuma-alueen maankäsittely ja allasvuodon yhteydessä myös happamat jätevedet. Esimerkiksi happottoman alusveden osuuden kasvaminen vaikuttaa olennaisesti elohopean metyloitumiseen rikkiä pelkistävien bakteerien välityksellä (Stenberg 1990, Verta ym. 2010).

Voimakkaita akuutin kudostuhon merkkejä, jotka kertoisivat esimerkiksi happaman veden tai raskasmetallien aiheuttamista vaurioista, ei todettu ajankohtina, jolloin tutkimusalueelta kerättiin histologisia kudosnäytteitä. Voimakkaampaan kirusärsytykseen viittaavia muutoksia todettiin vain harvoilla kaloilla, ja niitä löytyi sekä kohdejärvistä että verrokkijärvistä otetuista kaloista. Kivijoen särjillä havaittu kidusepiteelin hyperplasia on todennäköisesti seurausta kaloilla todetusta kidusten loistartunnasta, mutta varmuudella ei voi sulkea pois myöskään veden laadusta johtuvaa ärsytystekijää muutosten synnyssä.

Akuuttiin munuaistoksisuuteen viittaavia muutoksia tai voimakkaita maksakuolioita merkinä maksa- tai munuaisvaurioista ei todettu missään ryhmässä. Maksa- ja munuaismuutokset olivat yleisesti ottaen lieviä ja painottuivat usein niihin kaloihin, joilla havaittiin kyseisissä elimissä loistartuntaa (maksassa heisimotorakkuloita ja kroonisia tulehduspesäkkeitä, munuaisissa itiöeläinpesäkkeitä). Maksan rasvoittuminen on yhteydessä kutuun. Muutokset olivat luonnonkaloilla normaaleina pidettäviä. Loiset ovat luonnonkaloilla varsin yleisiä. Yksittäisten haukien erittäin voimakas melanomakrofiagien määrä on todennäköisesti seurausta kalojen fysiologisesta tilasta (kutu), myös mahdollinen korkea ikä voi vaikuttaa niiden lisääntymiseen.

Vaikka nyt toteutetun seurannan perusteella vaikutusalueen kaloissa ei ole havaittavissa elohopeaa lukuun ottamatta merkittäviä raskasmetallikertymiä, muodostavat kaivosalueen lähijärvien pohjasedimenttiin varastoituneet raskasmetallit edelleen riskin niiden kertymisestä kaloihin näillä alueilla. Kainuun maakunta –kuntayhtymä (nyk. Kainuun sote -kuntayhtymä/ympäristöterveydenhuolto) sekä Kainuun Ely-keskus antoivat käyttösuosituksensa Talvivaaran kaivoksen läheisille vesialueille (Kalliojärvi, Kolmisoppi ja Kivijärvi). Suositusten mukaisesti em. vesistöistä pyydettyä kalaa ei nk. varovaisuusperiaatteen mukaisesti suositeltu syötäväksi. Viiden kalastuskierroksen tulokset osoittavat raskasmetallipitoisuuksien kaloissa laskeneen. Annettua suositusta ei ole kuitenkaan purettu. Tätä taustaa vasten kalojen metallipitoisuuden seurantaan tuleekin jatkaa Talvivaaran kaivoksen vaikutusalueella mm. tarkkailuohjelman mukaisesti.

Euroopan komissio on kuluttajien terveyden suojelemiseksi asettanut enimmäismäärät elintarvikkeiden sisältämille raskasmetalleille. Enimmäismäärän ylittyminen tarkoittaa sitä, että kyseistä elintarviketta ei saa saattaa markkinoille sellaisenaan tai käyttää sitä elintarvikkeen ainesosana. Elintarvikkeiden enimmäismäärät on asetettu niin, että elintarvikkeet ovat kuluttajille turvallisia jokaisena päivänä koko eliniän ajan. Yksittäisen elintarvikkeen (jossa enimmäismäärä ylittyy) nauttiminen ei käytännössä aiheuta vaaraa, vaan mahdolliset haittavaikutukset perustuvat toistuvaan, jokapäiväiseen altistukseen. On melko tavallista, että erityisesti elohopean pitoisuudet suomalaisissa petokaloissa ylittävät enimmäismäärän. Tästä syystä Evira on antanut poikkeukset kalan yleisiin syöntisuositukseen erityisesti herkkien kuluttajaryhmien suojelemiseksi:

<http://www.evira.fi/portal/fi/elintarvikkeet/tietoa+elintarvikkeista/elintarvikevaarat/elintarvikkeiden+kayton+rajoitukset/kalan+syontisuositukset/>.



## Kiitokset

Tutkimushankkeen ”Talvivaaran nikkelikaivoksen jätevesipäästöjen vaikutukset kaloihin” rahoituksesta vastasi Maa- ja metsätalousministeriö. Hankkeelle asetettiin ohjausryhmä, johon kuuluivat Marika Jestoi, Kimmo Suominen, Eija-Riitta Venäläinen (Elintarviketurvallisuusvirasto Evira); Kimmo Virtanen (Kainuun ELY-keskus); Päivi Nykänen (Kainuun sote-kuntayhtymä); Pekka K. Korhonen (Luonnonvarakeskus Luke); Liisa Rajakangas (Maa- ja metsätalousministeriö); Raisa Romppanen (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto) sekä Jaakko Mannio (Suomen ympäristökeskus SYKE).

Hankkeeseen liittyneiden töiden suunnitteluun ja toteutukseen on osallistunut lukuisa joukko henkilöitä RKTL:sta (1.1.2015 alkaen Luke) sekä Evirasta. Hankkeen ensimmäisen koekalastus- ja näytteenottosuunnitelman laativat Pekka Hyvärinen (Luke), Jukka Nyrönen (Kainuun ELY-keskus) ja Perttu Koski (Evira). Nykyisen Luken ryhmäpäällikkö Nina Peuhkuri toimi hankkeen vastuullisena vetäjänä vuonna 2013 ja vastasi osaltaan hankkeen jatkorahoitusjärjestelyistä. Kiitämme lämpimästi tutkimusmestareita (Markku Hyvönen, Rauno Hokki, Tapio Laaksonen) sekä kaikkia muita nimeltä mainitsemattomia näytteiden keräämiseen, käsittelyyn ja analysointiin osallistuneita henkilöitä sekä käsikirjoitusvaiheessa arvokkaita kommentteja antaneita henkilöitä.

## Viitteet

- Kauppi, S., Mannio, J., Hellsten, S., Nysten, T., Jouttijärvi, T., Huttunen, M., Ekholm, P., Tuominen, S., Porvari, P., Karjalainen, A., Sara-Aho, T., Saukkoriipi, J., Maunula, M. 2013. Arvio Talvivaaran kaivoksen kipsisakka-altaan vuodon haitoista ja riskeistä vesiympäristölle. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 11/2013. 90 s.
- Koskiniemi, J. 2009. Muistio: Tuhkajoen taimenkannan geneettinen selvitys. Raportissa: Pöyry Environment Oy 2009. Talvivaara Projekti Oy -Talvivaaran kaivoksen tarkkailu v. 2008. Osa IV a. Pintavesien tarkkailu. Liite 20.
- Lapin Vesitutkimus Oy, Paksuniemi, S. 2005. Talvivaara projekti Oy. Selvitys Talvivaaran lähialueen vesistöjen kalastosta ja kalastuksesta. 15 s. + liitteet.
- Mäkinen, J., Kauppila, T., Loukola-Ruskeenniemi, K., Mattila, J. & Miettinen, J. 2010. Impacts of point source and diffuse metal and nutrient loading on three northern boreal lakes. *Journal of Geochemical Exploration* 104: 47-60.
- Porvari, P. 2003. Sources and fate of mercury in aquatic ecosystems. *Monographs of the Boreal Environment Research* 23.
- Pöyry Environment Oy 2009. Talvivaara Projekti Oy -Talvivaaran kaivoksen tarkkailu v. 2008. Osa IV a. Pintavesien tarkkailu.
- Pöyry Finland Oy 2010. Talvivaara Sotkamo Oy -Talvivaaran kaivoksen tarkkailu v. 2009. Osa IV a. Pintavesien tarkkailu.
- Pöyry Finland Oy 2011. Talvivaara Sotkamo Oy, Talvivaaran kaivoksen tarkkailu v. 2010. Osa IV a. Pintavesien tarkkailu.
- Pöyry Finland Oy 2012a. Talvivaara Sotkamo Oy, Talvivaaran kaivoksen tarkkailu v. 2011. Osa IV a. Pintavesien tarkkailu.
- Pöyry Finland Oy 2012b. Talvivaara Sotkamo Oy. Järvien biologiset tutkimukset kesällä 2012.
- Pöyry Finland Oy 2013. Talvivaara Sotkamo Oy, Talvivaaran kaivoksen tarkkailu v. 2012. Osa IV a. Pintavesien tarkkailu.
- Pöyry Finland Oy 2014. Talvivaara Sotkamo Oy, Talvivaaran kaivoksen tarkkailu v. 2013. Osa IV c. Kalataloustarkkailu.
- Ramboll 2015. Osa VII: Talvivaaran kaivoksen kalataloudellinen tarkkailu vuonna 2014.
- Rantataro, T. 2015. Ympäristön vaikutus pohjasedimenttien kemialliseen koostumukseen ja piilevälaajistoon mustaliuske- ja granitoidialueilla Kainuussa. Oulun yliopisto. Pro gradu (<http://urn.fi/URN:NBN:fi:oulu-201507161901>). 88 s.
- Rosseland, B.O., Blakar, I.A., Bulger, A., Kroglund, F., Kvellstad, A., Lydersen, E., Oughton, D.H., Salbu, B., Staurnes, M. & Vogt, R. 1992. The mixing zone between limed and acidic river waters: complex aluminium chemistry and extreme toxicity for salmonids. *Environ. Pollut.* 78: 3-8.
- Stenberg, M. 1990. Järvien kunnostusten vaikutus elohopean metylaatioon. *Vesitalous* 31(2): 42-44.
- Sutela, T. ja Vehanen, T. 2013. Happamien sulfaattimaiden vaikutus jokien kalastoon. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. RKT:n työraportteja 23. 13 s.
- Teien, H.-C., Kroglund, F., Salbu, B., Rosseland, B.O., 2006. Gill reactivity of aluminium - species following liming. *Science of The Total Environment* 358: 206-220.
- Tuunainen, P., Vuorinen, P. J., Rask, M., Järvenpää, T., Vuorinen, M., Niemelä, E., Lappalainen, A., Peuranen, S. & Raitaniemi, J. 1991. Happaman laskeuman vaikutukset kaloihin ja rapuihin. Loppuraportti. *Suomen kalatalous* 57:1-44.
- Verta, M., Kauppila, T., Londesborough, S., Mannio, J., Porvari, P., Rask, M., Vuori, K-M. & Vuorinen, P.J. Metallien taustapitoisuudet ja haitallisten aineiden seuranta Suomen pintavesissä – Ehdotus laatunormidirektiivin toimeenpanosta. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 12/2010. 45 s.

## Liitteet

**Liite 1.** Lyijyn keskipitoisuudet mg/kg tuorepainoa kohti vaikutusalueen järvissä ja vertailujärvissä näytteenottokierroksittain.

Vaikutusalue	I kierros	II kierros	III kierros	IV kierros	V kierros
keskiarvo	0,014	0,019	0,015		0,021
keskihajonta	0,008	0,011	0,005		0,013
minimi	<0,010	<0,010	<0,010		<0,010
maksimi	0,031	0,054	0,022		0,058
<b>Vertailujärvet</b>					
keskiarvo	0,004	0,016	0,039	0,009	0,017
keskihajonta	0,004	0,008		0,006	0,008
minimi	<0,010	<0,010	0,039	<0,010	<0,010
maksimi	0,011	0,025	0,039	0,014	0,033

**Liite 2.** Ahvenen ja hauen elohopean keskipitoisuudet mg/kg tuorepainoa kohti vaikutusalueen järvissä ja vertailujärvissä.

Ahven									
	Jormasjärvi	Kolmisoppi	Kalliojärvi	Teerijärvi	Kiantajärvi	Kivesjärvi	Laakajärvi	Kivijärvi	Ukonjärvi
<b>N</b>	44	36	15	18	28	28	40	30	9
<b>ka</b>	0,59	0,85	0,51	0,30	0,41	0,34	0,56	0,52	0,89
<b>sd</b>	0,20	0,45	0,20	0,14	0,19	0,14	0,27	0,27	0,22
<b>min</b>	0,31	0,32	0,20	0,14	0,13	0,13	0,12	0,17	0,62
<b>max</b>	1,1	2,0	0,84	0,63	0,89	0,66	1,3	1,2	1,3
Hauki									
<b>N</b>	9	21	10	12	11	31	29	29	19
<b>ka</b>	0,80	1,3	1,1	0,47	0,48	0,38	0,67	0,74	1,04
<b>sd</b>	0,62	0,69	0,68	0,21	0,19	0,19	0,27	0,27	0,39
<b>min</b>	0,27	0,48	0,40	0,15	0,28	0,14	0,24	0,23	0,61
<b>max</b>	2,1	3,0	2,3	0,85	0,84	0,98	1,4	1,3	2,3

**Liite 3.** Elohopean keskipitoisuudet mg/kg tuorepainoa kohti vaikutusalueen järvissä ja vertailujärvissä näytteenottokierroksittain.

Vaikutusalue	I kierros	II kierros	III kierros	IV kierros	V kierros
keskiarvo	0,30	0,41	0,41	0,58	0,66
keskihajonta	0,17	0,28	0,28	0,47	0,47
minimi	0,09	0,08	0,08	0,06	0,08
maksimi	1,10	2,00	1,50	3,00	2,80
<b>Vertailujärvet</b>					
keskiarvo	0,39	0,42	0,24	0,32	0,46
keskihajonta	0,23	0,29	0,14	0,27	0,34
minimi	0,09	0,07	0,09	0,07	0,09
maksimi	0,98	1,20	0,66	1,60	2,30

**Liite 4.** Alumiinin keskipitoisuudet mg/kg tuorepainoa kohti vaikutusalueen järvissä ja vertailujärvissä näytteenottokierroksittain.

Vaikutusalue	I kierros	II kierros	III kierros	IV kierros	V kierros
keskiarvo	0,86	0,30	0,61	<0,25	0,47
keskihajonta	1,6	0,12	0,71	0,08	0,29
minimi	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	0,25
maksimi	7,6	0,47	5,1	0,45	1,7
<b>Vertailujärvet</b>					
keskiarvo	<0,25		<0,25	<0,25	0,35
keskihajonta	0		0,15	0,11	0,10
minimi			<0,25	<0,25	<0,25
maksimi			0,34	0,94	0,61

**Liite 5.** Mangaanin keskipitoisuudet mg/kg tuorepainoa kohti vaikutusalueen järvissä ja vertailujärvissä näytteenottokierroksittain.

Vaikutusalue	I kierros	II kierros	III kierros	IV kierros	V kierros
keskiarvo	2,9	1,6	2,6	0,62	0,85
keskihajonta	1,5	0,31	4,3	0,23	0,35
minimi	<0,10	<0,10	0,11	<0,10	<0,10
maksimi	12	3,4	28	2,4	3,7
<b>Vertailujärvet</b>					
keskiarvo	0,83		2,4	0,69	0,57
keskihajonta	0,49		2,8	0,86	0,84
minimi	0,16		0,16	<0,10	<0,10
maksimi	1,8		9,2	4,8	4,4

**Liite 6.** Nikkelin keskipitoisuudet mg/kg tuorepainoa kohti vaikutusalueen järvissä ja vertailujärvissä näytteenottokierroksittain.

Vaikutusalue	I kierros	II kierros	III kierros	IV kierros	V kierros
keskiarvo	0,053	0,046	0,038	0,068	0,061
keskihajonta	0,036	0,028	0,025	0,151	0,134
minimi	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020
maksimi	0,210	0,219	0,211	1,215	1,445
<b>Vertailujärvet</b>					
keskiarvo	0,030	0,058	0,030	0,057	0,033
keskihajonta	0,016	0,154	0,008	0,106	0,017
minimi	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020
maksimi	0,080	1,356	0,045	0,700	0,130

**Liite 7.** Kromin keskipitoisuudet mg/kg tuorepainoa kohti vaikutusalueen järvissä ja vertailujärvissä näytteenottokierroksittain.

Vaikutusalue	I kierros	II kierros	III kierros	IV kierros	V kierros
keskiarvo	0,34	0,084	0,050	0,10	0,17
keskihajonta	1,5	0,31	0,046	0,23	0,35
minimi	0,023	<0,020	0,020	<0,020	0,040
maksimi	12	3,4	0,40	2,4	3,72
<b>Vertailujärvet</b>					
keskiarvo	0,044		0,039	0,26	0,10
keskihajonta	0,007		0,014	0,48	0,049
minimi	<0,020		0,020	<0,020	0,020
maksimi	0,066		0,063	2,6	0,32

**Liite 8.** Kuparin keskipitoisuudet mg/kg tuorepainoa kohti vaikutusalueen järvissä ja vertailujärvissä näytteenottokierroksittain.

Vaikutusalue	I kierros	II kierros	III kierros	IV kierros	V kierros
keskiarvo	0,26	0,30	0,34	0,38	0,45
keskihajonta	0,06	0,09	0,16	0,19	0,22
minimi	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
maksimi	0,38	0,53	0,85	1,12	1,40
<b>Vertailujärvet</b>					
keskiarvo		0,31	0,33	0,40	0,42
keskihajonta		0,26	0,32	0,29	0,31
minimi		<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
maksimi		2,11	0,81	2,14	1,51

**Liite 9.** Sinkin keskipitoisuudet mg/kg tuorepainoa kohti vaikutusalueen järvissä ja vertailujärvissä näytteenottokierroksittain.

Vaikutusalue	I kierros	II kierros	III kierros	IV kierros	V kierros
keskiarvo	8,34	8,25	5,34	3,65	3,44
keskihajonta	4,29	4,77	2,86	1,23	0,84
minimi	3,10	2,87	2,55	2,16	1,61
maksimi	23,33	28,34	18,10	9,61	6,40
<b>Vertailujärvet</b>					
keskiarvo	6,59	7,23	5,58	4,38	3,43
keskihajonta	2,10	4,12	2,47	2,10	1,19
minimi	3,58	2,33	2,62	2,51	2,19
maksimi	11,00	22,19	11,22	15,00	9,50

**Liite 10.** Raudan keskipitoisuudet mg/kg tuorepainoa kohti vaikutusalueen järvissä ja vertailujärvissä näytteenottokierroksittain.

Vaikutusalue	I kierros	II kierros	III kierros	IV kierros	V kierros
keskiarvo	4,6	3,6	3,3	2,9	4,3
keskihajonta	9,3	2,8	1,9	1,9	2,5
minimi	1,2	0,54	1	0,79	1,1
maksimi	74	28	12	17	22
<b>Vertailujärvet</b>					
keskiarvo	2,2		3,9	4,0	4,3
keskihajonta	0,49		8,6	3,3	1,6
minimi	1,2		1,1	1,1	1,8
maksimi	2,9		47	21	8,9

**Liite 11.** Arseenin keskipitoisuudet mg/kg tuorepainoa kohti vaikutusalueen järvissä ja vertailujärvissä näytteenottokierroksittain.

Vaikutusalue	I kierros	II kierros	III kierros	IV kierros	V kierros
keskiarvo	0,042	0,039	0,038	0,067	0,049
keskihajonta	0,026	0,017	0,037	0,141	0,071
minimi	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
maksimi	0,150	0,082	0,280	1,486	0,695
<b>Vertailujärvet</b>					
keskiarvo	0,029	0,031	0,030	0,034	0,023
keskihajonta	0,012	0,014	0,019	0,018	0,015
minimi	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
maksimi	0,061	0,109	0,095	0,100	0,100

**Liite 12.** Seleenin keskipitoisuudet mg/kg tuorepainoa kohti vaikutusalueen järvissä ja vertailujärvissä näytteenottokierroksittain.

Vaikutusalue	I kierros	II kierros	III kierros	IV kierros	V kierros
keskiarvo	0,37	0,41	0,40	0,38	0,38
keskihajonta	0,10	0,12	0,09	0,11	0,11
minimi	0,21	0,22	0,24	0,19	0,20
maksimi	0,72	0,96	0,62	0,81	0,76
<b>Vertailujärvet</b>					
keskiarvo	0,21	0,28	0,29	0,24	0,29
keskihajonta	0,05	0,26	0,07	0,07	0,09
minimi	0,15	0,13	0,18	0,14	0,16
maksimi	0,37	2,49	0,55	0,56	0,67

**Liite 13.** Kudosmuutosten semikvantitatiivinen arviointi

<b>Kidus</b>	Akuutti kidusvaurio	0	Ei muutoksia
		1	Vähäistä sekundaarilamellien tarttumista kiinni toisiinsa/limasolujen määrä hieman normaalia suurempi
		2	Voimakasta sekundaarilamellien tarttumista kiinni toisiinsa/suoranaista kidustuhoa
			Krooninen muutos, yleinen epiteelin hyperplasia
		0	Ei muutoksia
		1	Hyvin vähäistä ja alle kolmasosassa lamelleja
		2	Enemmän kuin edellisessä, mutta alle ½ lamelleista reagoi- nut ja hyperplasiaa alle kolmasosan matkalla reagoineissa lamel- leissa
		3	Hyperplasiaa suurimmassa osassa lamelleja (yli ½:ssa) tai kes- kimäärin yli kolmasosan matkalla lamellia
		4	Keskimäärin hyperplasiaa yli kahden kolmasosan matkalla rea- goineesta lamellista ja jokseenkin kaikki lamellit reagoineet
			Krooninen muutos, pesäkkeinen epiteelin hyperplasia
		0	Ei muutoksia
		1	Vähäistä
		2	Voimakasta tai laajaa

<b>Maksa</b>	Rasvoittuminen	0	Ei muutoksia
		1	Vähäistä
		2	Lähes koko solun tai koko solun, käsittävää, mutta ei tumamuutoksia.
		3	Rasvoittumisen yhteydessä tumamuutoksia.

Lisäksi kiinnitettiin huomiota muihin degeneratiivisiin (kuolioiden esiintymiseen) että tu-  
lehduksellisiin (esimerkiksi hepatiitti) maksamuutoksiin.

**Munuainen, erittävä osa**

Eosinofiiliset granulat tubulussolujen solulimassa

- 0 Ei
- 1 Vähän
- 2 Runsaasti

Castit tubulusten lumenissa

- 0 Ei
- 1 Vähän
- 2 Runsaasti

Melanomakrofaagikeskusten esiintyminen

- 0 Ei
- 1 Vähän
- 2 Runsaasti
- 3 Erittäin runsaasti

Edellä mainittujen, mahdollisesti veden laatua kuvastavien kudosmuutosten lisäksi kirjattiin muut  
muutokset, lähinnä loisten esiintyminen.



luke.fi

Luonnonvarakeskus  
Viikinkaari 4  
00790 Helsinki  
puh. 029 532 6000