

Kuhan ja ahvenen elohopeapitoisuudet Keuruun ja Multian järvissä

Timo Ruokonen, FT

Keski-Suomen kalatalouskeskus ry, Jyväskylä 12/2016



KESKI-SUOMEN
KALATALOUSKESKUS ry

1. Johdanto

Kalojen elohopeapitoisuuksia on selvitetty laajasti viime vuosina osana elintarvikkeiden turvallisuuden valvontaa sekä vesien tilan arviointia (esim. Munthe ym. 2007; Arresto 2014; Selänne ym. 2016). Selvityksien mukaan elohopean määrä ei ole laskenut kaloissa viime vuosikymmenien aikana, vaikka paikallisia päästölähteitä on rajoitettu voimakkaasti. Vesistöjemme pääasiallinen elohopean lähde on kaukokulkeuman mukanaan tuoma laskeuma, joka kertyy maaperään. Valuma-alueen maaperän ominaisuudet ja maankäyttö vaikuttavat merkittävästi siihen miten runsaasti ja millaisessa muodossa elohopeaa lähtee liikkeelle vesistöihin (Porvari 2003; Munthe ym. 2007). Tutkimukset osoittavat järvien elohopeapitoisuuden olevan riippuvaista valuma-alueelta tulevasta kuormituksesta erityisesti sellaisissa vesistöissä, joiden pinta-ala on pieni suhteessa valuma-alueeseen ja valuma-alueella on runsaasti soita (Porvari 2003; Verta ym. 2010). Turvemailta huuhtoutuu vesistöihin suhteellisesti enemmän erityisen haitallista metyylielohopeaa, joka kertyy ravintoverkossa päätyen petokaloihin. Myös voimakas metsänkäsittely (avohakkuut ja maanmuokkaus) (mm. Porvari ym. 2003) ja turvetuotanto voivat lisätä elohopean huuhtoutumista vesistöihin.

Pääosa ihmisten saamasta elohopeasta on peräisin kaloista, joiden sisältämästä elohopeasta jopa yli 90 % on haitallisinta metyylielohopeaa. Metyylielohopea on hermomyrkkö, joka voi vaikuttaa useisiin ihmiselle elintärkeisiin toimintoihin (erityisesti hermoston toiminta ja kehitys), ollen erityisen haitallista kehittyvälle sikiölle. EU:n asettama sallittu enimmäispitoisuus elintarvikkeena käytettäville kaloille on 0,5 mg elohopeaa kalakiloa kohti, poikkeuksena petokaloista hauki, jossa sallittu määrä on 1,0 mg/kg (EY 1881/2006, muutos 629/2008). Elintarviketurvallisuusvirasto Evira ohjeistaa, että lapset, nuoret ja hedelmällisessä iässä olevat voivat syödä järvestä tai merestä pyydettyä haukea vain 1-2 kertaa kuussa, ja raskaana olevien ja imettävien äitien ei pitäisi syödä haukea ollenkaan. Lisäksi Evira suosittelee sisävesialueiden kalaa päivittäin syöviä vähentämään muidenkin elohopeaa keräävien petokalojen (iso ahven, kuha ja made) käyttöä (Evira 2016). Eviran mukaan sisävesien petokalaa voi kuitenkin syödä ajoittain runsaastikin, jos rajoittaa niiden käyttöä esimerkiksi vuoden mittaan.

Ahventen (15–20 cm) kokonaiselohopeamäärää käytetään vesien kemiallisen tilan luokittelussa (Aroviita ym. 2012). Kemiallisesti hyvään tilaan pääseminen eli vesiekosysteemin suojaaminen haitallisilta aineilta on yksi vesienhoidolle asetetuista tavoitteista (Selänne ym. 2016). Luontainen elohopeamäärä vesistöissä vaihtelee valuma-alueen maaperän mukaan, ollen korkeampi turvemaisilla alueilla (Verta ym. 2010). Ahventen laatustandardi vaihtelee vesistöjen humuspitoisuuden perusteella (vähähumuksiset järvet (väri < 30 Pt mg/l) 0,2 mg/kg, humuksiset järvet (väri 30–90 Pt mg/l), 0,22 mg/kg, runsashumuksiset järvet (väri ≥ 90 Pt mg/l) 0,25 mg/kg).

Keski-Suomen vesistöjen ahventen elohopeapitoisuuksia selvitettiin vuosina 2010–2014 vesienhoitosuunnitelmaa laadittaessa (Selänne ym. 2016). Mitattujen elohopeapitoisuuksien havaittiin ylittävän raja-arvot useissa vesistöissä (mm. Keuruun ja Pihlajaveden reitit). Vesienhoitosuunnitelmassa todetaankin, että mittausten ja asiantuntija arvioiden perusteella ahventen ympäristölaatustandardi ei täyty isossa osassa keskisuomalaisia vesistöjä (60 % järvistä), joten niiden vedenlaatu on tavoiteltua hyvää kemiallista tilaa heikompi (Selänne ym. 2016).

Keuruulla ja Multialla kalastavat ja kalaa syövät henkilöt ovat huolestuneet metsätalouden ja turvetuotannon humuspitoisten päästöjen myötä heikentyneen vedenlaadun vaikutuksista kalojen syömäkelpoisuuteen. Multialla toteutettiin vuonna 2014 esitutkimus ahventen elohopeapitoisuuksista erityyppisissä vesistöissä (kuva 1) (Koivula 2014). Tutkimuksessa havaittiin ahventen lihasten elohopeapitoisuuksien ylittävän Eviran asettaman raja-arvon (0,5 mg/kg) humusvesien kuormittamissa vesistöissä. Erittäin voimakkaasti humusvesillä kuormitetun Pirttijärven ahventen elohopeapitoisuudet olivat korkeita kalojen koosta tai iästä riippumatta, kun taas kuormitetussa Nevalammessa suuret ja vanhemmat yksilöt ylittivät raja-arvot. Sen sijaan kontrollijärvenä olleen kirkasvetisen Valkeisen pienissä ahvenissa ei havaittu korkeita elohopeapitoisuuksia.

Tämän raportin tavoitteena on vetää yhteen Keuruulla ja Multialla viime vuosina eri tahojen tekemien elohopeamääritysten tulokset sekä selvittää tarkemmin ahventen ja kuhien elohopeapitoisuuksien vaihtelua eri vesistöissä. Vesien kemiallisen tilan luokittelussa käytetyn ahvenen lisäksi haluttiin selvittää myös kuhan elohopeapitoisuuksia, sillä se on tällä hetkellä tärkein kalastettava petokala Keuruun ja Multian suuremmissa järvissä.

2. Aineisto ja menetelmät

Raporttiin koottu kala-aineisto on kerätty eri tahojen toimesta vuosina 2013 (Keski-Suomen ELY-keskus), 2015 (Keuruun kalastusalue, Kokemäenjoen vesiensuojeluyhdistys/Permisuon velvoitetarkkailu) ja 2016 (Keuruun kalastusalue) (taulukko 1). Näytekaloina oli mitattu pituus, paino ja osasta yksilöitä määritetty ikä suomuista. Osasta kohteita vesinäytteitä oli otettu samaan aikaan kalanäytteiden kanssa, joista oli tehty vedenlaatua kuvaavat perusanalyysit (pH, sähkönjohtavuus, väriluku, COD). Muista kohteista vedenlaatutietoja kerättiin raporttia laadittaessa ympäristöhallinnon ylläpitämästä Oiva-ympäristötietokannasta ja niistä laskettiin keskiarvot kalanäytteenottoa edeltäviltä vuosilta sen mukaan miten aineistoa oli saatavilla (taulukko 2) (Pintavesien tila, Suomen ympäristökeskus). Tarhian ja Kiviselän pinta-ala mitattiin kartalta Kansalaisen karttapaikka-palvelussa. Keuruselän pinta-ala ilmoitetaan kokonaispinta-alana, josta on vähennetty Kiviselän ja Tarhian osuudet. Kalojen elohopeapitoisuuden ja pituuden sekä vesistön humuspitoisuuden (veden väri humuksen määrän indikaattorina) välistä riippuvuutta testattiin Spearmanin korrelaatiotestillä. Näytekalojen elohopeapitoisuutta tarkasteltiin suhteessa kalojen pituuteen, sillä elohopeapitoisuus on yleensä selvemmin riippuvaista kalan pituudesta.

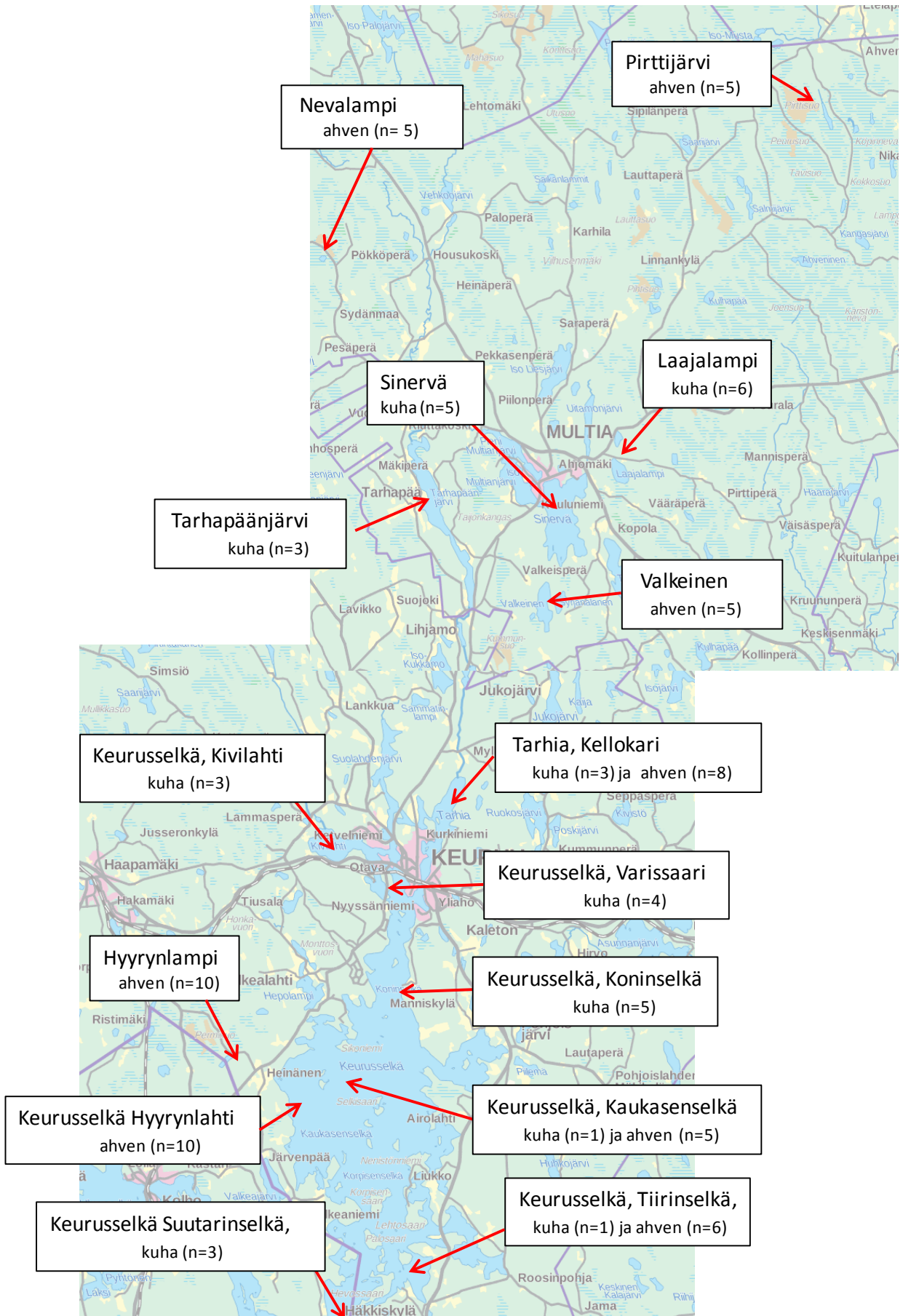
Kalojen lihaksen elohopeapitoisuudet (mg/kg tuorepaino) on määritetty standardoiduilla menetelmillä (SFS-EN ISO 17294:05 modif.) Kokemäenjoen vesiensuojeluyhdistyksen ja NabLabs Oy:n laboratorioissa. Raportin laatimisen rahoittamiseen ovat osallistuneet Keuruun kaupunki, Multian kunta, Keuruun kalastusalue ja useat alueen osakaskunnat. Keuruun kalastusalue on saanut rahoitusta elohopeapitoisuuksien määrittämiseen Pohjois-Savon ELY-keskukselta (Järvi-Suomen kalatalouspalvelut) kalastuksenedistämisvaroista.

Taulukko 1. Raporttiin kootut näytekalat ja tutkimuksien toteuttajat.

vuosi	kohde	laji	kpl	tekijä
2013	Keuruselkä	ahven	19	Keski-Suomen Ely-keskus
2014	Multian järvet	ahven	15	Multian kunta, Keuruun kalastusalue, osakaskunnat
2015	Hyyrynlampi/lahti	ahven	20	KVVY/Perminsuon tarkkailu
2015	Multian järvet	kuha	14	Keuruun kalastusalue, osakaskunnat
2015	Keuruselkä	kuha	6	Keuruun kalastusalue, osakaskunnat
2016	Keuruselkä	kuha	14	Keuruun kalastusalue, osakaskunnat

Taulukko 2. Tutkimuskohteiden pinta-ala, vedenlaatumuuttujia sekä näyteenottovuodet.

kohde	pinta-ala	pH	Sähkön-			COD	vesinäyte
			johtavuus	väri	vuosi		
Pirttijärvi	13	4,9	2,5	310	43	2014	
Nevalampi	4	6,3	2,5	260	31	2014	
Valkeinen	75	7,2	2,9	11	11	2014	
Laajalampi	47	5,6	2,4	250	45	2013	
Sinervä	671	6,1	2,6	148	25	ka 2012	
Tarhapääjärvi	286	6,1	2,6	190	27	ka 2012, 2016	
Tarhia	240	6,3	3	166	23	ka 2011, 2014	
Keuruselkä, Kivilahti	260	5,8	2,9	203	31	ka 2012, 2015	
Keuruselkä, keskusta	9250	6,5	3,4	150	21	ka 2012, 2015	
Keuruselkä, isot selät	9250	6,7	3,3	116	18	ka 2012-2015	
Hyyrynlampi	8	5,9	3,4	259	39	ka 2005-2015	

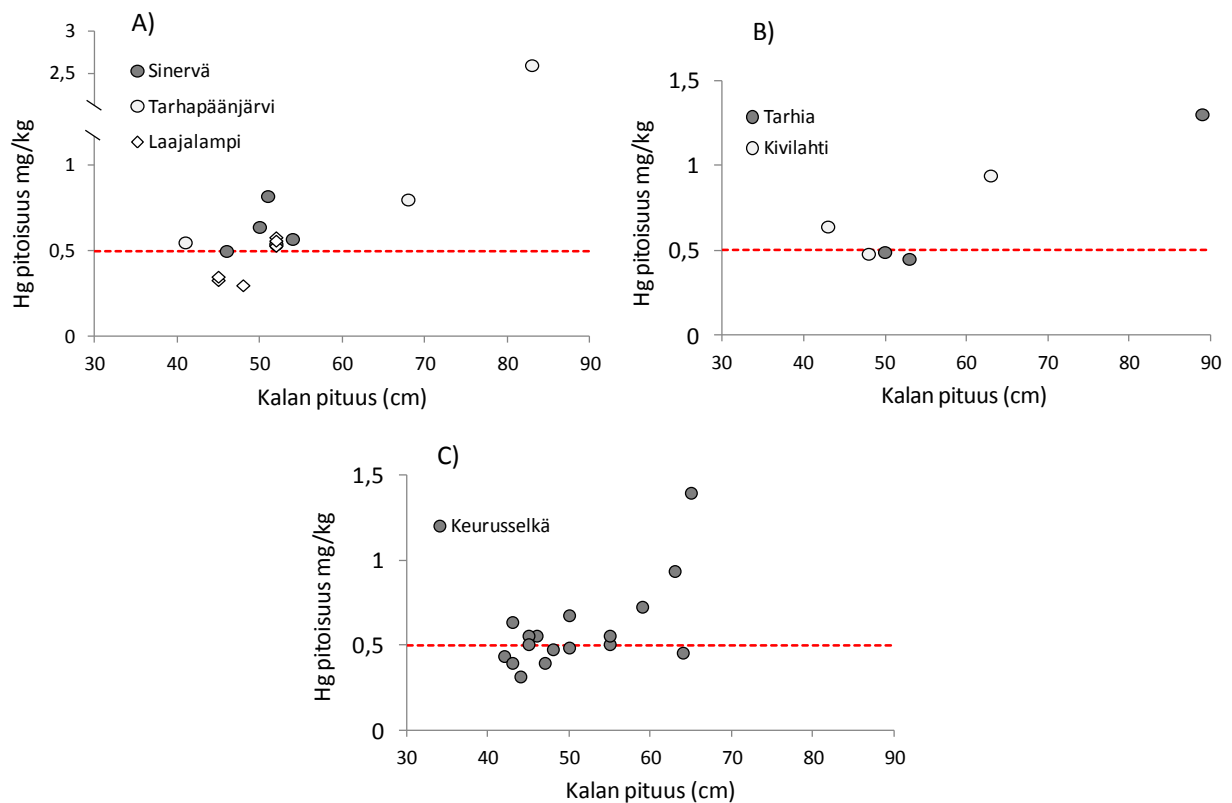


Kuva 1. Vuosina 2013–2016 tehdyt kuhan ja ahvenen elohopeapitoisuusmäärytykset Keuruulla ja Multialla.

3. Tulokset ja tulosten tarkastelu

3.1 Kuhien elohopeapitoisuus

Näytteeksi pyydyt kuhat edustivat pääasiassa alueen järvistä yleisesti saaliiksi saatavia kokoluokkia (45–65 cm), joiden lisäksi lihasnäytteitä oli yksittäisistä selvästi isommista yksilöistä (kuva 2). Näytekuhien elohopeapitoisuudet vaihtelivat 0,3 – 1,3 mg/kg välillä, 68 % ylittäessä Eviran suosituksen mukaisen rajan (kuva 2). Järvien tai vesistön osien välillä ei ollut selvästi havaittavia eroja elohopeapitoisuuksissa (kuva 2). Kuhien elohopeapitoisuus oli selvästi riippuvaista kalan pituudesta (yhdistetty aineisto: $n=31$, $r^2=0,77$, $p<0,01$), ollen lähes kaikissa analysoiduissa yli 50 cm yksilöissä yli 0,5 mg/kg. Toisaalta 40–50 cm pituisten kuhien pitoisuuksissa oli melko suurta vaihtelua erityisesti Keurusselältä pyydytyissä yksilöissä (kuva 2), mikä voinee selittyä esimerkiksi yksilöiden välisillä eroilla kasvunopeudessa.



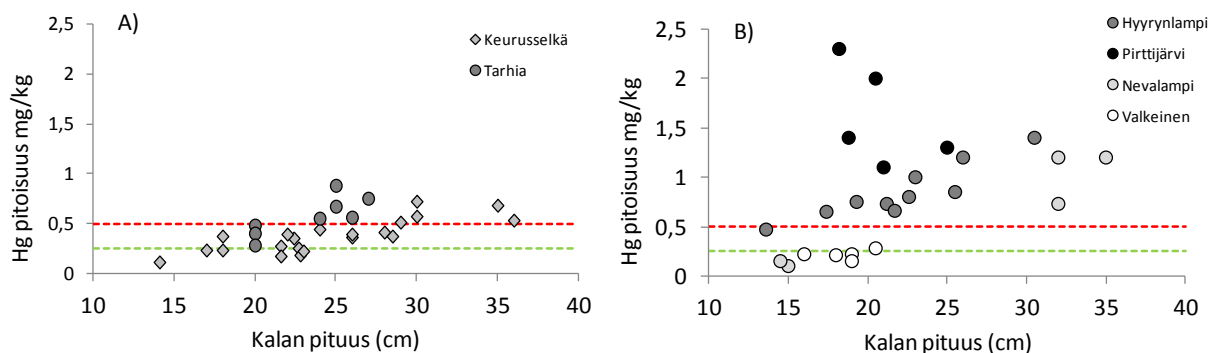
Kuva 2. Kuhien elohopeapitoisuudet (mg/kg) suhteessa kalan pituuteen A) Multian järvissä, B) Tarhialla ja Kivilahdella ja C) Keurusselän selkävesillä. Eviran elintarvikkeena käytetyille kalalle määrittelemä korkein sallittu elohopeapitoisuus (0,5 mg/kg) merkitty punaisella katkoviivalla.

3.2 Ahventen elohopeapitoisuus

Keurusselältä ja Tarhialta pyydyttyjen ahventen elohopeapitoisuudet vaihtelivat 0,23 – 0,88 mg/kg välillä (ka. 0,43) (kuva 3 A). Kaloista 24 % ylitti Eviran asettaman elintarvikkeena käytettävien kalojen pitoisuusrajan, kun taas 53 % tutkituista 15–20 cm pituisista ahvenista ($n=15$) ylitti vesien kemiallisen tilan arvioinnissa käytettävän laatustandardin arvon.

Elohopeapitoisuus oli selvästi riippuvaista kalayksilön pituudesta molemmilla isommilla järvi-altilla (n = 29, $r^2 = 0,63$, $p < 0,01$), joissa suuri osa yli 25 cm pituisista ahvenista ylitti Eviran raja-arvon (kuva 3A).

Multian pieniltä lammilta ja järviltä sekä Keuruun Hyyrynlammelta pyydettyjen ahventen elohopeapitoisuudet olivat keskimäärin selvästi isoja järviä korkeampia (ka. 0,86 mg/kg) ja vaihtelivat enemmän (0,1- 2,3 mg/kg) (kuva 3B). Kaikki Pirttijärven ja yhtä lukuun ottamatta kaikki Hyyrynlammen ahvenet sekä Nevalammen isot ahvenet ylittivät molemmat raja-arvot (kuva 3B). Nevalammen ja kirkasvetisen Valkeisen pienten ahventen pitoisuudet olivat selvästi muita vesistöjä alhaisemmat (kuva 3B). Valkeisen kalat olivat kaikki melko pieniä, mutta verrattuna esimerkiksi Hyyrynlammen vastaavan kokoisiin, elohopean määrä oli Valkeisen kaloissa selvästi alhaisempi. Ahventen elohopeapitoisuus ei ollut yhtä selvästi riippuvainen yksilön pituudesta koko aineistoa tarkastellessa (n = 25, $r^2 = 0,40$, $p = 0,05$), vaan riippuvuus vaihteli vesistöjen välillä. Ilman Pirttijärven poikkeuksellisen korkeita havaintoja, ahventen elohopeapitoisuus oli kuitenkin isompien vesien tapaan selvästi riippuvaista yksilön pituudesta (n = 20, $r^2 = 0,81$, $p < 0,01$). Pirttijärven vesi on erittäin humuksista (väriluku 310) vuosikymmeniä sinne johdettujen turvetuotannon kuivatusvesien seurauksena, mikä voi osaltaan selittää ahventen poikkeuksellisen korkeita elohopeapitoisuuksia.

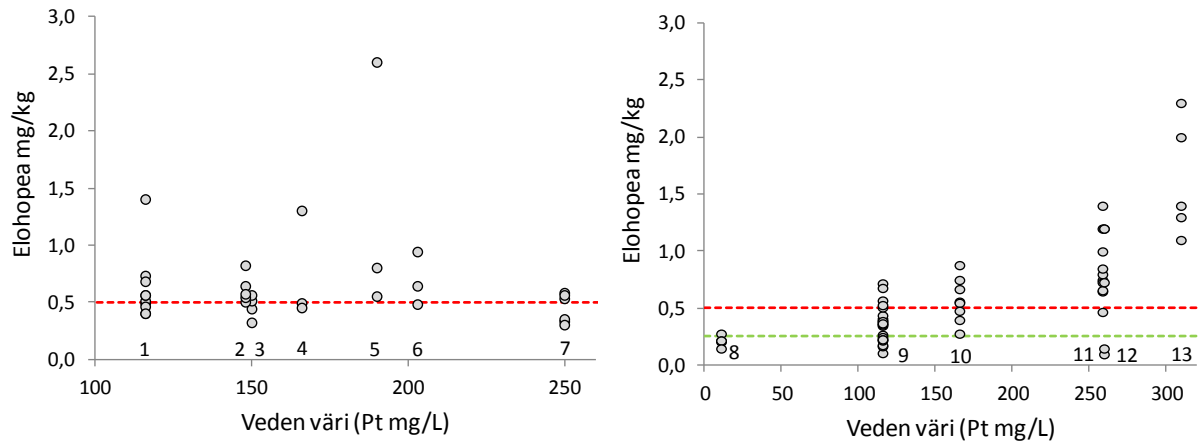


Kuva 3. Ahvenen elohopeapitoisuudet (mg/kg) suhteessa kalan pituuteen A) Keuruselällä ja Tarhialla sekä B) pienemmissä järvissä Keuruulla ja Multialla. Eviran elintarvikkeena käytetylle kalalle määrittelemä korkein sallittu elohopeapitoisuus (0,5 mg/kg) merkitty punaisella katkoviivalla. Vesien kemiallisen tilan luokittelussa käytetty ahventen laatustandardin raja-arvo (runsahumuksiset vedet 0,25 mg/kg) merkitty kuviin vihreällä katkoviivalla.

3.3 Kuhan ja ahventen elohopeapitoisuus suhteessa veden humuspitoisuuteen

Kuhan keskimääräisen elohopeapitoisuuden ja tutkittujen kohteiden veden värin välillä ei ollut riippuvuutta koko aineistoa tarkastellessa (kuva 4A) ($r^2 = 0,03$, $p = 0,87$). Koko aineiston vertailukelpoisuutta kuitenkin heikentää suurien (> 60 cm), runsaasti elohopeaa sisältävien yksilöiden epätasainen jakautuminen paikkojen kesken (kuva 2). Suurten yksilöiden poistaminen aineistosta ei kuitenkaan muuttanut tilannetta, vaan paikkojen välillä vertailukelpoisempien tasakokoisten kuhien (pituus 40–52 cm) osalta tulos oli samankaltainen.

Veden humuspitoisuuden ja kuhien elohopeapitoisuuden välisen riippuvuuden havaitsemista saattaa kuitenkin heikentää se, että kerätty aineisto ei sisältänyt kaikkein runsashumuksisimpia vesistöjä (vrt. ahven), eikä vähähumuksisia kirkkaita vesiä. Lisäksi kaikki tutkitut kuhat olivat vähintään neljä/viisi vuotta vanhoja tai vanhempia, joten pääasiassa kaloja syövinä petokaloina niiden kudoksiin on voinut kertyä runsaasti elohopeaa kaikissa tutkituissa vesistöissä riippumatta vedessä esiintyvistä pitoisuuksista.



Kuva 4. Kuhan (A) ja ahvenen (B) elohopeapitoisuuden (mg/kg) ja veden värin (Pt mg/L) suhde järvissä Keuruulla ja Multialla. 1) Keurusselkä – isot selät, 2) Sinervä, 3) Keurusselkä – keskusta, 4) Tarhia, 5) Tarhapääjärvi, 6) Keurusselkä – Kivilahti, 7) Laajalampi, 8) Valkeinen, 9) Keurusselkä – isot selät, 10) Tarhia, 11) Hyyrynlampi, 12) Pirttijärvi. Eviran elintarvikkeena käytetyille kalalle määrittelemä korkein sallittu elohopeapitoisuus (0,5 mg/kg) merkitty punaisella katkoviivalla. Vesien kemiallisen tilan luokittelussa käytetty ahventen laatustandardin raja-arvo (runsashumuksiset vedet 0,25 mg/kg) merkitty vihreällä katkoviivalla.

Ahventen keskimääräisen elohopeapitoisuuden ja järvien veden värin välillä sen sijaan oli selkeä riippuvuus ($r^2 = 0,83$, $p < 0,01$) (kuva 4B). Keskimääräiset elohopeapitoisuudet kasvoivat veden värin tummuessa, ollen selvästi korkeampia erittäin runsashumuksisissa kohteissa (Hyyrynlampi, Nevalampi ja Pirttijärvi) (kuva 4B). Aineiston kirkasvetisemmästä järvestä (Valkeinen) ei ollut analysoitu kuin pieniä yksilöitä (16 – 20,5 cm), mikä heikentää paikkojen vertailukelpoisuutta. Valkeisen kalojen poistaminen aineistosta ei kuitenkaan muuttanut tilannetta, vaan selvä pituusriippuvuus oli havaittavissa myös ilman sitä (kuva 4B).

Kootun aineiston perusteella vaikuttaa siltä, että ahventen elohopeapitoisuus riippuu eniten yksilön pituudesta runsashumuksisissa vesissä (väri > 90), mutta erittäin runsashumuksissa vesissä myös pienemmissä yksilöissä elohopeapitoisuudet voivat nousta korkeiksi. Voimakkaasti humuksen kuormittamissa vesistöissä ahventen kasvunopeus hidastuu, mikä voi osaltaan johtaa kohonneisiin pitoisuuksiin. Kaikista ahvenista ei ollut tehty iänmäärittystä, joten tämän selvittäminen ei ollut mahdollista. Toisaalta turvesoiden kuivatusvedet voivat lisätä alapuolisten vesistöjen elohopeapitoisuuksia, joten se voinee heijastua Pirttijärven (osa Pirttisuo-Peurusuo kuivatusvesistä) muusta aineistosta poikkeavan korkeina pitoisuuksina ja Hyyrynlammen (Permisuo kuivatusvedet) yleisesti muita kohteita korkeampana tasona (kuva 3B). Turvemaiden vesistöjen petokalojen elohopeapitoisuudet ovat yleisesti melko korkeita

(mm. Munthe ym. 2007), joten turvetuotannon vaikutusten tarkempi selvittäminen ja erottaminen metsätalouden aiheuttamasta kuormituksesta tarvitsisivat lisätutkimuksia.

4. Yhteenveto

Raportissa koottiin yhteen Keuruun ja Multian järvistä vuosina 2013–2016 eri tahojen tekemät ahventen ja kuhien elohopeapitoisuusmääritysten tulokset. Tulokset osoittavat kiistatta, että Keuruun ja Multian järvien pyyntikokoisten kuhien ja ahventen elohopeapitoisuudet ovat yleisesti korkeita ja ylittävät usein Eviran elintarvikkeeksi käytetylle kalalle asettaman raja-arvon 0,5 mg/kg.

Kuhien elohopeapitoisuuksissa ei havaittu suuria eroja eri järvien välillä, sen sijaan elohopeapitoisuus riippui voimakkaasti yksilön pituudesta. Lähes kaikkien yli 50 cm pituisten kuhien pitoisuus ylitti raja-arvon 0,5 mg/kg. Ahventen elohopeapitoisuus oli myös selvästi riippuvaista yksilön pituudesta, suuret yksilöt (> 25 cm) ylittivät raja-arvon lähes kaikissa tutkituissa vesistöissä. Isommissa järvissä ja kirkasvetisemmissä lammissa ahventen pitoisuudet olivat keskimäärin alhaisempia pieniin tummavetisiin lampiin verrattuna. Lisäksi erittäin tummavetisissä metsäojitusten ja turvetuotannon voimakkaasti kuormittamissa järvissä myös pienten ahventen elohopeapitoisuudet olivat korkeita. Tulosten perusteella voidaan todeta, että Eviran antaman ohjeistuksen mukaan suurten kuhien (> 50 cm) ja isompien ahvenien (> 25 cm) sekä runsashumuksisten suolampien kaikkien ahventen käyttöä ravinnoksi on syytä rajoittaa. Eviran mukaan sisävesien petokaloja, jotka ylittävät annetut raja-arvot voidaan kuitenkin syödä ajoittain runsaastikin, jos niiden käyttöä rajoitetaan ajallisesti.

Iso osa Keuruun ja Multian vesistöjen valuma-alueista on ojitettuja turvemaita, joissa harjoitetaan intensiivistä metsätaloutta ja turvetuotantoa. Voimakkaassa nosteessa oleva biotalous tuo varmasti lisäkuormitusta vesistöihin lisääntyvien hakkuiden ja maanmuokkauksen myötä. Paikallisten muutosten lisäksi on erittäin todennäköistä, että ilmaston lämpenemisen mukanaan tuomat muutokset voivat heijastua tulevaisuudessa myös kalojen elohopeapitoisuuksiin. Lämpötilan nousun ja sademäärän lisääntymisen myötä vesistöihin valuma-alueelta tuleva valunta lisääntyy, mikä on jo nykyisin nähtävissä laaja-alaisena vesien ruskettumisena. Valunnan lisääntyminen yhdistettynä voimakkaaseen maankäyttöön lisäänee turvemailta huuhtoutuvan elohopean määrää ja tulevaisuudessa heikentää paikallisen kalan käyttömahdollisuuksia ihmisravintona.

Kirjallisuus

- Aroviita, J. ym. 2012. Ohje pintavesien ekologisen ja kemiallisen tilan luokitteluun vuosille 2012–2013 – päivitettyt arviointiperusteet ja niiden soveltaminen. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 7|2012.
- Arresto, A. 2014. Kalojen elohopeapitoisuuksissa Ylä-Karjalan ja Joensuun seudun järvissä. Pohjois-Karjalan Ympäristöterveys/terveysvalvonta, 45 s.
- Evira 2016. <https://www.evira.fi/yhteiset/vierasaineet/tietoa-vierasaineista/kalansyontisuositukset/>
- Koivula, N. 2014. Ahventen elohopeapitoisuus Multialla 2014. Multian kunta, 9 s.
- Munthe, J. ym. 2007. Mercury in Nordic ecosystems. Swedish Environmental Institute, IVL Report B1761.
- Porvari P. Sources and fate of mercury in aquatic ecosystems. Monographs of the Boreal Environment Research, 23.
- Porvari P. ym. 2003. Forestry Practices Increase Mercury and Methyl Mercury Output from Boreal Forest Catchments. Environmental Science and Technology 37(11): 2389-93.
- Selänne, A. ym. 2016. Vesien tila hyväksi yhdessä, Keski-Suomen vesienhoidon toimenpideohjelma vuosille 2016–2021. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen raportteja 14 | 2016.
- Verta M. ym. 2010. Metallien taustapitoisuudet ja haitallisten aineiden seuranta Suomen pintavesissä – Ehdotus laatunormidirektiivin toimeenpanosta. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 12|2010.