



Hauen elohopeapitoisuudet Keski-Suomessa

MARJUT MYKRÄ | ANSSI ELORANTA | ARJA KOISTINEN | KIMMO OLKIO



Hauen elohopeapitoisuudet Keski-Suomessa

MARJUT MYKRÄ
ANSSI ELORANTA
ARJA KOISTINEN
KIMMO OLKIO

RAPORTEJA 17 | 2015

**HAUEN ELOHOPEAPITOISUUDET
KESKI-SUOMESSA**

Keski-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

Kansikuva: Pasi Perämäki

ISBN 978-952-314-215-2 (PDF)

ISSN-L 2242-2846

ISSN 2242-2854 (verkkajulkaisu)

URN:ISBN:978-952-314-215-2

www.ely-keskus.fi/julkaisut | www.doria.fi/ely-keskus

Sisällysluettelo

1 Johdanto	3
2 Aineisto ja menetelmät.....	5
2.1 Keski-Suomen vesistöt	5
2.2 Tutkimusjärvet	6
2.3 Kala-aineiston hankinta ja käsittely	9
2.4 Aineiston tilastollinen käsittely	9
3 Tulokset.....	10
4 Tulosten tarkastelu	15
4.1 Elohopea ja elohopean kulkeutuminen vesistöön.....	15
4.2 Kalat ja elohopea.....	15
4.3 Veden laatu ja elohopeapitoisuus	19
4.4 Elohopean terveydelliset haitat	20
5 Loppupäätelmät	21
Kirjallisuus	22
Liitteet	23

1 Johdanto

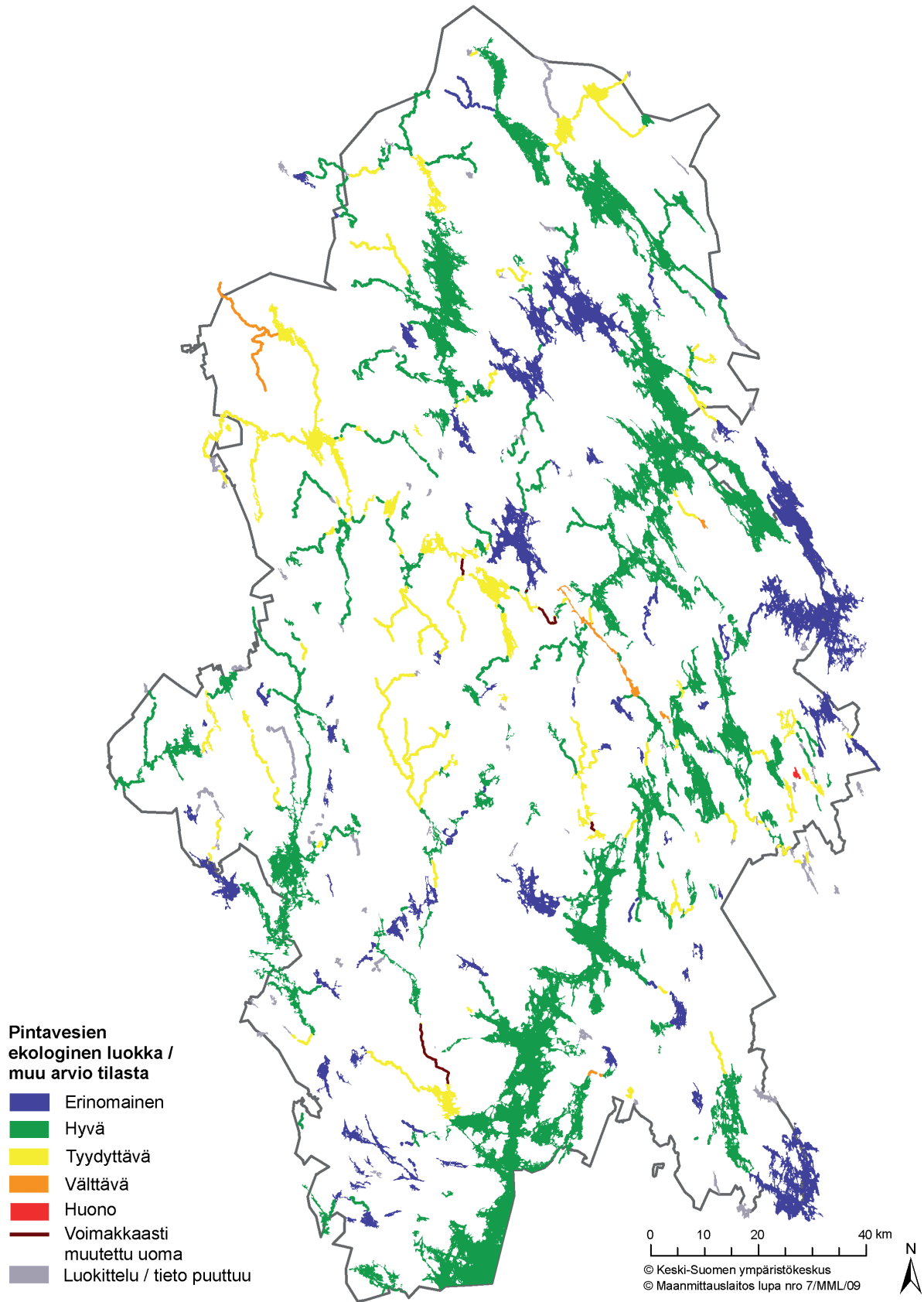
Teollisuuden elohopeapäästöillä on huomattava vaikutus vesistöjen elohopeapitoisuuksiin. Vesistöihin päässyt elohopea kertyy vesieliöihin ja rikastuu ravintoketjussa. Suurimmat elohopeapitoisuudet vesiympäristössä löytyvät siksi pedoista (petokalat, petolinut, hylkeet) (mm. Witick ym. 1995).

Kala on ihmisen merkittävin elohopea-altistuksen lähde. Runsaasti kalaa syövät ihmiset altistuvat siten elohopealle enemmän kuin kalaa vähän syövät. Kalassa elohopea on lähes kokonaan metyylielohopean muodossa. Metyylielohopea on orgaaninen elohopeayhdiste, joka rasvaliukoisuutensa vuoksi kertyy helposti eliöihin. Metyylielohopea on suurina pitoisuuksina haitallista hermostolle, ja siksi vaarallista erityisesti sikiöille ja lapsille. Elintarvikkeeksi myytävälle kalalle on asetettu sallitut elohopean enimmäispitoisuusrajat. Myös kalan syönnille on annettu suosituksia.

Järvikalojen elohopeapitoisuuksia on tutkittu Suomessa 1960-luvulta lähtien (Sjöblom 1969). Myös keskisuomalaisten järvien kalojen elohopeapitoisuuksia on selvitetty pitkään (esim. Häsänen & Sjöblom 1968; Paasivirta ym. 1981; Surma-Aho 1983; Witick ym. 1995). Selvitysten mukaan kalojen elohopeapi-

toisuudet ovat kohonneet huomattavasti siitä, mitä ne olivat ennen teollistumisen aikaa. Syinä kohonneisiin elohopeapitoisuuksiin ovat ihmisen aiheuttama ilmaperäinen elohopeakuorma ja teollisuuden suora vesistökuormitus. Selvitysten perusteella tiedetään, että kalojen elohopeapitoisuuksissa esiintyy suuria alueellisia eroja. Ne johtuvat todennäköisesti järvi- ja valuma-aluekohtaisista eroista sekä aiemmasta jätevesikuormituksesta.

Tämän selvityksen tarkoituksena oli saada tietoa keskisuomalaisten haukien nykyisistä elohopeapitoisuuksista. Samalla koottiin tausta-aineistoksi aiemmin Keski-Suomessa tehtyjen elohopeatutkimusten tuloksia. Tutkimus toteutettiin vuosina 2006–2007 yhteistyössä TE-keskuksen (nykyisin Keski-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus) sekä tutkimusjärvien osakaskuntien ja kalastusalueiden kanssa. Hanketta koordinoi Keski-Suomen ympäristökeskus (nykyisin Keski-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus). Osakaskunnat, kalastusalueet ja muutamat yksityishenkilöt hankkivat lähes kokonaan tutkimuskalat omilta vesialueiltaan. Tulevaisuudessa haukien elohopeatutkimus pyritään toteuttamaan kymmenen vuoden välein.



Kuva 1. Pintavesien ekologinen tila Keski-Suomessa (Leskisenoja 2008, Keski-Suomen ympäristökeskus).

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Keski-Suomen vesistöt

Keski-Suomi on osa Järvi-Suomea. Maakunnan pinta-alasta noin 16 % on vettä, mistä pääosa kuuluu Kymijoen ja vähäisempi osa Kokemäenjoen vesistöön. Keski-Suomen vesistöille on tyypillistä reittimäisyys. Suomenselän alueelta (pohjoinen ja luoteinen Keski-Suomi) löytyvät maakunnan tummavetisimmät ja runsashumuksiset vesistöt. Tämä selittyy vedenjakajaseudun suuresta suoalasta. Kirkasvetisimmät vedet sijaitsevat maakunnan itä- ja eteläosassa, erityisesti Rautalammin ja Sysmän reiteillä (mm. Selänne 1997; Koistinen 2000).

Pintavesien ekologisen luokittelun mukaan Keski-Suomen pintavedet ovat suurelta osin erinomaisessa

tai hyvässä tilassa (Keski-Suomen ympäristökeskus 2008; Ympäristöhallinto 2008) (kuva 1). Vesialueiden tila vaihtelee kuitenkin huomattavasti alueittain. Suuremmat järvet ovat yleensä pienempiä järviä paremmassa kunnossa. Saarijärven reitti on pääreiteistä heikoin. Pääosa sen vesistä on tyydyttävässä tai sitä heikommassa tilassa. Myös Leppäveden–Kynsiveden alueella on tilaltaan heikentyneitä vesiä. Vesien tilaa heikentää erityisesti hajakuormituksen aiheuttama rehevöityminen. Ravinteita vesistöihin tulee mm. maataloudesta, metsäteollisuudesta, kalankasvattamoilta ja asumajätevedenpuhdistamoilta sekä haja- ja lomiasutusalueilta (mm. Selänne 1997).

2.2 Tutkimusjärvet

Tähän elohopeatutkimukseen valittiin 31 keskisuomalaista vesialuetta (kuva 2; taulukko 1). Valintakriteereinä käytettiin vesistötyyppejä sekä kalataloudellista edustavuutta. Mukaan pyrittiin saamaan kooltaan, maaperältään ja vedenlaadultaan erilaisia vesialueita sekä aiemmissa tutkimuksissa mukana olleita vesialueita. Keitele, Suontee ja Kivijärvi jaettiin tarkastelussa kahteen osa-alueeseen, koska isojen järvien eri osien välillä on aiemmin todettu olevan merkittäviäkin eroja elohopeapitoisuuksissa (mm. Witick ym. 1995).

Tausta-aineistona tutkimuksessa käytettiin ympäristöhallinnon Hertta-ympäristötietojärjestelmää (2008). Tietoja kerättiin mm. valuma-alueiden suopinta-alasta ja maankäyttömuodoista sekä järvien vedenlaatu-muuttujista. Monesta järvestä saatiin vedenlaatatietoja useammasta näytteenottopisteestä. Tässä tutkimuksessa käytetyt havaintopaikat on koottu taulukkoon 2. Muiden havaintopaikkojen arvoja käytettiin tarkastelun apuna. Kaikki laatuarvot ovat vuosien 2000–2007 tuloksista laskettuja mediaaneja (keskilukuja).

Taulukko 1. Tietoa tutkimusjärivistä.

Vesialue	Vesistöalue- numero	Pinta-ala (km ²)	Keskisyvyys (m)	Valuma-alueen pinta-ala (km ²)	Kunta
Ala-Keitele	14.411	87,0	5,9	6265,3	Äänekoski
Alvajärvi	14.481	45,6	5,5	548,8	Pihtipudas
Angesselkä (Rautavesi)	14.831	46,1	*18,7	1088,8	Joutsa
Armisvesi	14.373	23,4	6,7	190,4	Hankavesi
Etelä-Suontee	14.851	87,8	*14,7	312,0	Joutsa
Hauha	14.227	5,0	*10,3	76,3	Luhanka
Iisjärvi	14.422	4,3	5,4	40,5	Äänekoski
Isojärvi	14.263	18,3	16,4	156,0	Kuhmoinen
Kankarisvesi	14.512	8,3	4,1	1344,6	Jämsä
Karankajärvi	14.661	11,0	4,0	408,6	Pylkönmäki
Keski-Keitele	14.421	327,4	6,7	5702,4	Äänekoski
Kivijärvi	14.443	154,0	8,4	1972,5	Kinnula, Kivijärvi
Kolima	14.472	101,1	8,6	1838,0	Pihtipudas
Kolkku	14.475	9,0	3,0	124,7	Pihtipudas
Konnevesi	14.711	189,2	10,6	5767,8	Konnevesi
Leppävesi	14.311	63,6	9,4	17683,9	Jyväskylä
Liesjärvi	35.484	8,0	*3,3	94,9	Keuruu
Muuratjärvi	14.281	31,5	13,5	374,9	Muurame
Petäjävesi (Jämsänvesi)	14.531	8,8	4,2	674,4	Petäjävesi
Pihlajavesi	35.483	20,7	5,1	697,0	Keuruu
Pohjois-Suontee	14.841	53,5	8,0	625,7	Joutsa
Puttolanselkä (Rautavesi)	14.831	46,1	*9,3	1088,8	Joutsa
Pyhäjärvi	14.681	58,9	9,7	319,2	Saarijärvi
Päijänne: Vanhaselkä	14.221	168	20,0		
Päijänne: Ristiselkä	14.231	86,0	21,0	19087,0	Muurame
Pääjärvi	14.631	29,5	3,8	1213,9	Karstula
Rutajärvi	14.236	11,2	5,3	180,3	Joutsa
Summasjärvi	14.613	21,9	6,7	2729,2	Saarijärvi
Vatianjärvi	14.331	6,1	4,1	9744,4	Laukaa
Vuosjärvi	14.441	39,8	4,2	2214,9	Viitasaari

* Keskisyvyydet on arvioitu vesinäytteidenottopisteiden syvyyksien perusteella

Taulukko 2. Tutkimusjärviä vedenlaatutietoja. Arvot ovat kaikista vuosina 2000–2007 määritetyistä vesianalyysituloksista laskettuja mediaaneja, poikkeuksena a-klorofylli ja pohjanläheinen happi (ajanjaksolta 16.7.–15.9.) (Ympäristöhallinnon tietojärjestelmä Hertta 2008). Suluissa näytteenottopiste, josta tulokset ovat peräisin.
a = ajanjakso 1.5.–31.10. b = saatavilla vain yksi analyysitulokset.

Järvi/Vesialue	Väri (mg Pt/l)	pH	Ptot (µg/l)	Ntot (µg/l)	a-klorofylli (µg/l) 0–2 m	Pohjanläheinen happi (%)
Alvajärvi (1)	40	7,0	10	425	4,9	a 90
Angesselkä (5) (Rautavesi)	20	6,8	8	460	4,3	67
Armisvesi (52)	35	6,7	7	460	4,1	37
Etelä-Suontee (Suonne 74)	10	6,9	4	290	a 2,2	39
Hauha	30	7,0	8	490	5,6	31
Iisjärvi	50	6,8	7	335	5,0	a 78
Isojärvi (Kiviselkä)	25	6,6	4	330	4,7	67
Kankarisvesi (45)	120	6,3	21	670	16,0	17
Karankajärvi (1)	170	6,2	37	640	17,1	14
Keitele: Karttuselkä (54)	15	7,1	6	325	4,0	86
Keitele: Ukonselkä (55)	20	6,8	6	350	2,9	68
Kivijärvi (50)	50	6,7	8	460	4,1	66
Kivijärvi, Kinnulanlahti (53a)	170	6,2	36	710	b 24,0	(piste 53) 8
Kolima (52)	40	6,8	8	470	4,7	65
Kolku	80	6,6	18	510	7,1	-
Konnevesi (64)	20	6,9	6	370	4,7	72
Leppävesi (68)	40	6,8	14	430	6,0	52
Liesjärvi	160	6,0	26	610	12,0	83
Muuratjärvi (1/7)	25	6,9	6	430	3,2	70
Muuratjärvi, Vihta-lahti	50	6,9	14	460	5,9	7
Pääjärvi (256)	170	6,4	41	690	26,4	80
Päijänne: Ristiselkä (70)	35	6,9	11	570	4,7	76
Päijänne: Vanha-selkä (71)	30	7,0	9	510	3,7	78
Petäjavesi (Jämsänvesi 23)	200	6,1	43	700	27,0	1
Pihlajavesi (168)	130	6,2	20	525	8,5	73
Pohjois-Suontee (3) Puttolanselkä (2 a)	50	6,7	13	485	4,6	90
(Rautavesi)	25	6,9	7	510	3,7	b 51
Pyhäjärvi (257)	20	6,8	5	300	3,2	69
Rutajärvi (1)	40	6,7	7,5	380	3,9	83
Summasjärvi (1)	120	6,4	31	690	18,3	47
Vatianjärvi	60	6,9	20	490	10,6	6
Vuosjärvi (51)	50	6,6	11	440	7,7	40
Ylä-Keitele: Pihkurinselkä	35	6,6	9	400	5,3	55

2.3 Kala-aineiston hankinta ja käsittely

Hauki on yleisin suomalaisissa elohopeatutkimuksissa käytetty kalalaji, joka liikkuu hyvin suppealla elinalueella. Näin ollen näytehauista mitatut elohopeapitoisuudet kuvastavat hyvin tutkimusjärvien kuormitusoloja. Raskasmetallitutkimusten kannalta hyviin ominaisuuksiin kuuluvat myös hauen pitkäikäisyys, petokalaluonne sekä hyvä verrattavuus muiden lajien pitoisuuksien kanssa (Witick ym. 1995).

Kalat pyydettiin tutkimusvesiltä vuosina 2006 ja 2007. Tutkimukseen saatiin yhteensä 257 haukea eli näytealuetta kohden laskettuna haukia oli keskimäärin kahdeksan (liite 1). Vertailtavuuden parantamiseksi tutkimukseen pyrittiin valitsemaan noin yhden kilon painoisia haukia. Kalat pakastettiin kokonaisina suljetuissa muovipusseissa mahdollisimman pian pyynnin jälkeen. Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskuksen laboratoriossa hauet punnittiin, mitattiin ja niistä otettiin lihasnäyte. Elohopeamäärittystä varten lihasnäytteet liuotettiin rikkihappo-typpihapposeokseen (1:5) ja seoksesta analysoitiin elohopea atomiabsorptiospektrometrisesti kylmähöyrymenetelmällä (CVAAS) tinakloridi pelkistysaineena Perkin-Elmer FIMS-400 laitteistolla. Saadut tulokset ilmoitettiin elohopeapitoisuutena yhtä kiloa kohden (Hg mg/kg) (Witick 2008).

Hauen lisäksi tässä tutkimuksessa määritettiin myös muutamien ahventen ja kuhien elohopeapitoisuudet (liite 2), mutta ne on jätetty tarkastelun ulkopuolelle.

2.4 Aineiston tilastollinen käsittely

Koska haukien koko vaihteli, kullekin vesistöalueelle määritettiin ns. vakiopainoisen hauen elohopeapitoisuus. Vakiopainona käytettiin yhtä kilogrammaa. Myöhemmin vakiopainoisesta hauesta käytetään ilmaisua vakiohauki. Vakiohauen elohopeapitoisuus laskettiin regressioyhtälöllä:

$$y = a + b \log(x)$$

$$y = \text{hauen elohopeapitoisuus (Hg mg/kg)}$$

$$x = \text{hauen tuoremassa (g)}$$

$a, b = \text{vakio}$

Jotta regressiosuora antaisi mahdollisimman luotettavan tuloksen, näyteaineiston tulee sisältää riittävä määrä vaihtelevan kokoisia kaloja. Jos kala-aineiston massan keskiarvo on hyvin lähellä yhtä kilogrammaa, ei tätä vakiointia ole välttämätöntä tehdä.

Järvien valuma-alueiden ojitusintensiteetin (ojametriä/ha valuma-alueesta) ja järvestä saadun vakiohauen elohopeapitoisuuden välistä riippuvuutta testattiin korrelaatioanalyysin avulla. Korrelaatioanalyysin avulla testattiin myös vedenlaatumuuttujien yhteyttä hauen elohopeapitoisuuteen. Tässä tutkimuksessa saatuja vakiohauen elohopeapitoisuuksia verrattiin 1990-luvulla saatuihin vastaaviin elohopeapitoisuuksiin parittaisen t-testin avulla.

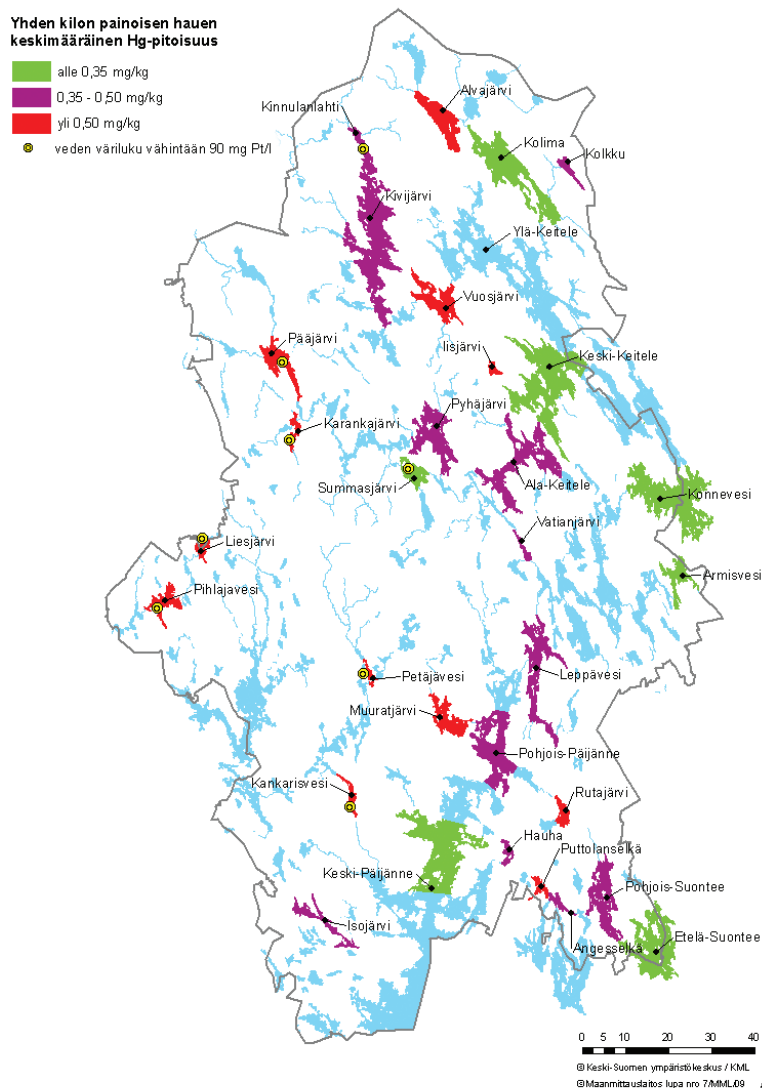
3 Tulokset

Koko aineiston laskettu vakiohauen keskimääräinen elohopeapitoisuus oli 0,46 mg/kg. Elohopeapitoisuuksissa oli suurta järvi-kohtaista vaihtelua. Aineiston suurin pitoisuus (1,3 mg/kg) mitattiin Keuruun Pihlajavedeltä pyydetystä hauesta (1,1 kg). Vastaavasti alhaisin pitoisuus (0,14 mg/kg) mitattiin Keiteleen Karttuselältä (1,4 kg). Viiden hauen elohopeapitoisuudet ylittivät syötäväksi kelpaavalle haulle Suomessa asetetun enimmäispitoisuusrajan 1,0 mg/kg (Euroopan komission asetus 466/2001). Näistä kaloista kolme saatiin Pihlajavedeltä (1,0–1,3 mg/kg), yksi Kivijärveltä (1,1 mg/kg) ja yksi Muuratjärveltä (1,1 mg/kg).

Korkeat elohopeapitoisuudet eivät näytä aineiston perusteella keskittyvän erityisesti tietyille ve-

sistöalueille. Kohonneita elohopeapitoisuuksia löytyy ympäri Keski-Suomea (kuva 2). Suurimmat haulle lasketut keskimääräiset elohopeapitoisuudet saatiin Pihlajaveden reitin Pihlajavedeltä (0,79 mg/kg), Sysmän reitin Puttolanselältä (0,73 mg/kg) sekä Jämsän reitin Petäjavedeltä (0,73 mg/kg). Alhaisimmat arvot ovat puolestaan Sysmän reitin Etelä-Suonteella ja Rautalammin reitin Konnevedellä (0,24 mg/kg, taulukko 3).

Hauen elohopeapitoisuuksissa oli eroja myös saman vesialueen eri osien välillä. Vakiohauen keskimääräinen elohopeapitoisuus Etelä-Suonteella oli 0,22 mg/kg ja Pohjois-Suonteella 0,38 mg/kg. Vastavasti Keiteleen Ukonselällä vakiohauen elohopeapi-



Kuva 2. Yhden kilon painoisen hauen (vakiohauen) elohopeapitoisuudet Keski-Suomessa. Tummväriset järvet (veden väriluku 90 mg Pt/l tai enemmän) on merkitty karttaan keltaisella pallolla.

Taulukko 3. Tutkimusjärivistä pyydettyjen haukien lukumäärä (n), massan keskiarvo (ka.) ja vaihteluväli (min–max), elohopeapitoisuuden keskiarvo ja vaihteluväli sekä vakioapinoisen hauen (1 kg) keskimääräinen elohopeapitoisuus. r^2 ja p-arvo kertovat massan ja elohopeapitoisuuden välillä olevasta tilastollisesta riippuvuudesta. * = tilastollisesti merkitsevä tasolla $p \leq 0,05$.

Vesialue	n	Massa ka. (g)	Massa min–max (g)	Hg ka. (mg/kg)	Hg min–max (mg/kg)	Hg 1 kg (mg/kg)	r^2	p
Alvajärvi	10	975,0	700,0–1500,0	0,51	0,30–0,72	0,51	0,002	0,896
Angesselkä (Rautavesi)	11	790,6	417,2–965,1	0,36	0,22–0,57	0,42	0,334	0,063
Armisvesi	10	1313,1	969,8–1754,8	0,45	0,32–0,84	0,29	0,566	*0,031
Etelä-Suontee	16	994,5	771,6–1367,5	0,22	0,15–0,54	0,22	<0,001	0,943
Hauha	1	995,8		0,50				
Iisjärvi: Piikanlahti	8	1022,5	724,2–1643,0	0,63	0,38–0,82	0,63	0,122	0,396
Isojärvi	10	998,0	794,5–1263,0	0,35	0,23–0,53	0,35	0,355	0,069
Kankarisvesi	8	1002,2	848,6–1203,3	0,51	0,42–0,67	0,51	0,47	0,061
Karankajärvi	11	1050,4	676,7–1529,0	0,56	0,34–0,73	0,55	0,08	0,392
Keitele: Karttuselkä	11	1751,6	797,1–2377,0	0,27	0,14–0,75	0,26	0,002	0,907
Keitele: Ukonselkä	9	1334,8	642,0–1690,0	0,48	0,26–0,70	0,43	0,145	0,312
Kivijärvi	9	1577,9	989,4–3516,1	0,61	0,38–1,10	0,44	0,815	*0,001
Kivijärvi: Kinnulanlahti	9	1303,2	600,0–1760,0	0,45	0,21–0,73	0,43	0,029	0,661
Kolima: Järkiniemen edusta	8	769,8	608,1–1193,3	0,33	0,24–0,41	0,34	0,047	0,605
Kolkku	7	923,3	674,9–1183,6	0,46	0,4–0,59	0,47	0,007	0,854
Konnevesi	8	887,9	689,0–1165,7	0,21	0,14–0,31	0,24	0,396	0,091
Leppävesi	2	1976,6	1884,2–2069,0	0,46	0,43–0,48			
Liesjärvi	10	1274,5	577,3–2379,0	0,53	0,41–0,86	0,53	0,011	0,776
Muuratjärvi: Vihtalahti	5	1270,2	582,0–3830,0	0,66	0,28–1,10	0,69	0,602	0,123
Petäjavesi	7	813,1	727,1–1062,9	0,69	0,42–0,93	0,73	0,025	0,736
Pihlajavesi: Vaajalahti	17	1078,2	380,3–1810,2	0,80	0,37–1,30	0,79	0,281	*0,029
Pohjois-Suontee	10	852,3	602,3–1068,0	0,38	0,28–0,57	0,38	0,006	0,832
Puttolanselkä (Rautavesi)	5	808,7	629,9–979,8	0,69	0,42–0,91	0,73	0,017	0,835
Pyhäjärvi	8	1029,8	421,0–1570,0	0,35	0,15–0,57	0,36	0,793	*0,003
Päijänne: Ristiselkä	9	1335,5	970,0–1553,0	0,39	0,3–0,59	0,42	0,023	0,696
Päijänne: Vanhaselkä	2	809,7	496,1–1123,2	0,26	0,25–0,27			
Pääjärvi	10	1518,8	833,8–2881,8	0,51	0,4–0,67	0,50	0,009	0,794
Rutajärvi	5	1551,1	545,0–2435,1	0,66	0,41–0,95	0,57	0,749	0,058
Summasjärvi	10	914,0	631,3–1131,6	0,27	0,16–0,35	0,27	0,073	0,451
Vatianjärvi: Onnelanlahti	6	946,0	405,3–2762,0	0,40	0,21–0,69	0,43	0,138	0,469
Vuosjärvi	7	946,2	663,4–1199,5	0,57	0,39–0,83	0,57	0,003	0,901
Koko aineisto	257	1114,5	380,33830,0	0,46	0,14–1,30	0,46	0,058	<*0,001

toisuus oli 0,43 mg/kg mutta Karttuselällä 0,26 mg/kg. Karttuselältä pyydettiin koko aineiston suurin hauki. Kala painoi 10 kg ja sen elohopeapitoisuus oli 0,83 mg/kg. Tämä yksilö jätettiin kuitenkin poikkeuksellisen kokonsa vuoksi kokonaan tarkasteluiden ulkopuolelle.

Vesialuekohtaisten arvojen luotettavuutta heikentää näytekalojen määrän suuri vaihtelu (1–17 haukea). Ainoastaan neljän järven (Armisvesi, Kivijärvi, Pihlajavesi ja Pyhäjärvi) haukien elohopeapitoisuudet olivat tilastollisesti riippuvaisia hauen koosta (taulukko 3). Vain Armisveden ja Kivijärven pitoisuudet poikkesivat huomattavasti keskiarvosta. Isommissa hauissa oli yleisesti suuremmat elohopeapitoisuudet kuin pienemmissä yksilöissä.

Muissa järvissä hauen massan ja elohopeapitoi-

suuden välillä ei havaittu selvää riippuvuutta. Näissä järvissä luotettavampi haukien elohopeapitoisuutta kuvaava arvo on järvikohtainen keskiarvo. Sitä voi kuitenkin vertailussa käyttää vain silloin, kun kalojen massat ovat keskimäärin samansuuruisia. On myös muistettava, että samankokoisten ja samalla alueella-kin elävien haukien elohopeapitoisuudet voivat vaihdella huomattavasti. Tässä tutkimuksessa vakiohauelle laskettu elohopeapitoisuus ja elohopeapitoisuuksien keskiarvo näyttäisivät poikkeavan useimmassa tapauksessa vain hieman toisistaan (kuva 4).

Ojitusintensiteetti (ojametriä/ha valuma-alueen pinta-alasta) kuvaa valuma-alueella tehtyjen ojitusmääriä ja samalla maaperän muokkausastetta. Korkeimmat ojitusintensiteetit löytyivät Kolkun, Liesjärven ja Pihlajave-

den valuma-alueilta ja alhaisimmat vastaavasti Etelä-Suonteen, Hauhan ja Isojärven valuma-alueilta (kuva 5). Valuma-alueen ojitusintensiteetin ja järviokohtaisen vakiohauen elohopeapitoisuuden välillä ei havaittu tässä tutkimuksessa merkitsevää tilastollista yhteyttä (taulukko 4). Vastaavanlainen tulos saatiin myös lähivaluma-alueen ojitusintensiteettiä käytettäessä.

Valuma-alueen pinta-alalla ei myöskään näyttäisi olevan vaikutusta haukien elohopeapitoisuuksiin (taulukko 4). Järven pinta-alan ja vakiohauen elohopeapitoisuuden välille sen sijaan saatiin merkitsevä negatiivinen korrelaatio. Toisin sanoen pinta-alaltaan pienemmissä tutkimusjärvissä oli hauissa yleensä korkeammat elohopeapitoisuudet kuin pinta-alaltaan suuremmissa tutkimusjärvissä (ks. liite 3 A).

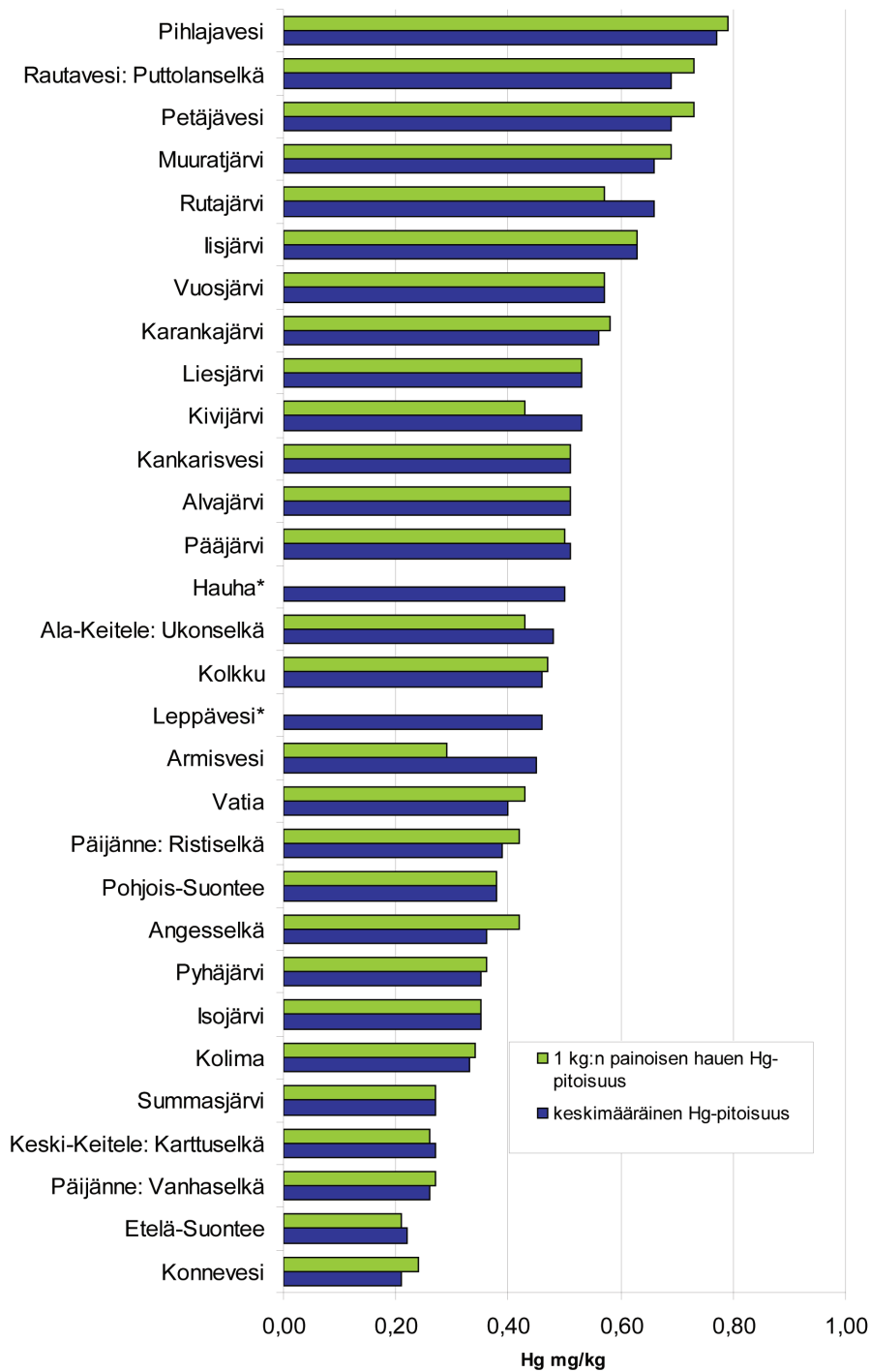
Veden typpi- ja fosforipitoisuutta, väriarvoa, pH:ta ja a-klorofyllipitoisuutta käytettiin apumuuttujina tarkas-

teltaessa veden laadun vaikutusta hauen elohopeapitoisuuteen. Näistä typpi, fosfori ja a-klorofylli kuvastavat vesistön rehevyystasoa. A-klorofylli on yhteydessä kasviplanktonin määrään. Kaikki vedenlaatumuuttujat korreloivat merkitsevästi (merkitsevyytaso $p < 0,05$) vakiohauen elohopeapitoisuuden kanssa (taulukko 4). pH:ta lukuun ottamatta, korrelaatio oli positiivinen (ks. liite 3 B–F). pH:n ja vakiohauen välisen negatiivisen korrelaation mukaan tummissa ja happamissa suoveysissä olivat elohopeapitoisuudet yleisesti korkeammat kuten useimmat tutkimukset ovatkin osoittaneet.

Veden väri korreloi parhaiten vakiohauen kanssa. Lähes kaikkien tummavetisten järvien vakiohauen keskimääräinen elohopeapitoisuus oli vähintään 0,50 mg/kg (kuva 3). Poikkeuksen yleislinjasta tekee Summasjärvi (0,27 mg/kg) ja Kivijärven Kinnulanlahti (0,43 mg/kg).

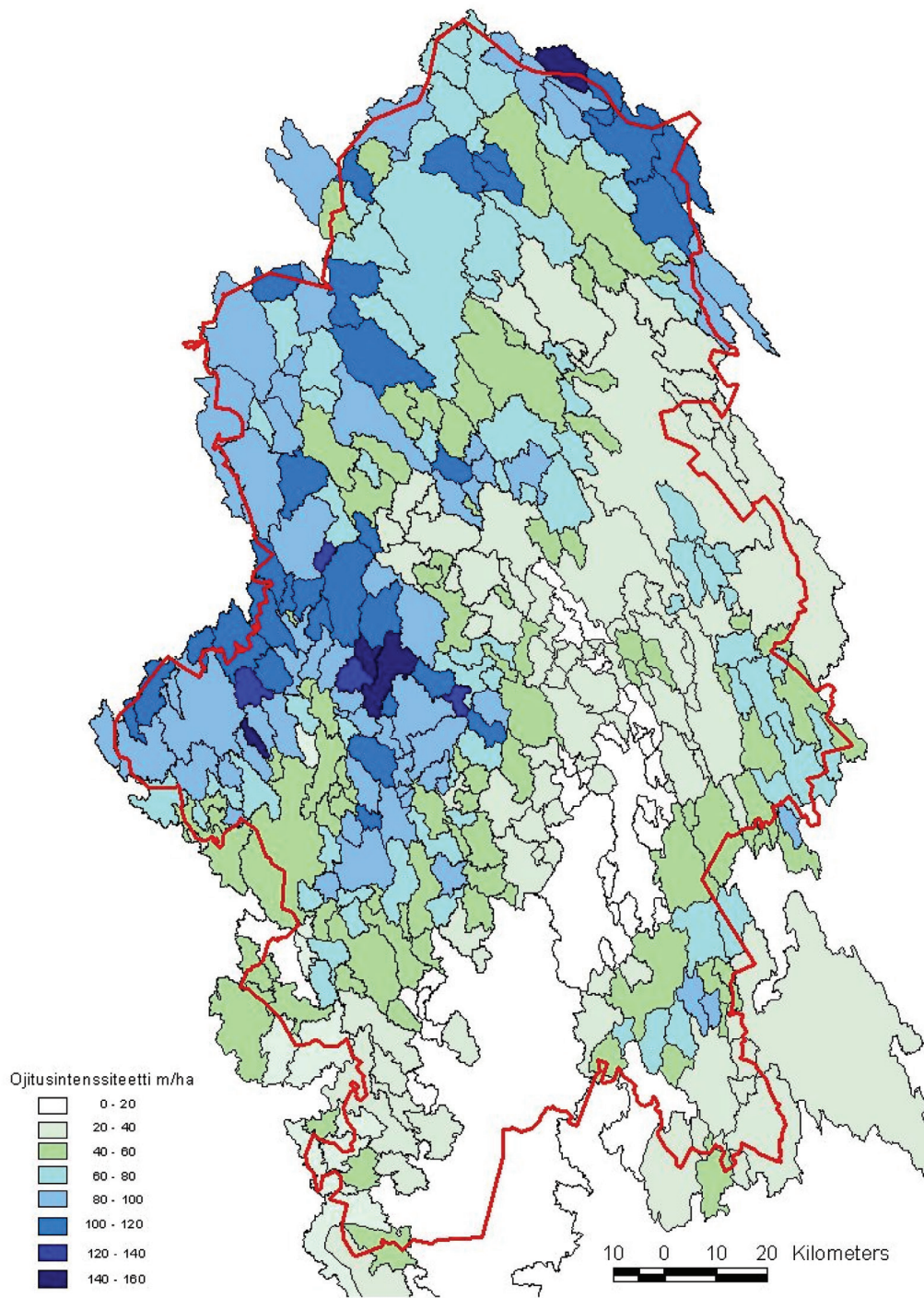
Taulukko 4. Vakiopainoisen hauen elohopeapitoisuuden ja eri muuttujien välinen riippuvuus. Vedenlaatumuuttujat ovat vuosina 2000–2007 ajanjaksolla 15.6.–30.9. kerättyjen näytteiden mediaaneja (syvyydet 0–8 m), poikkeuksena a-klorofylli ajanjaksolla 16.7.–15.9. (syvyydet 0–2 m). r_s = Spearmanin järjestyskorrelaatiokerroin, n = testissä mukana olleiden vesialueiden määrä ja p = tilastollinen todennäköisyys.

Muuttuja	r_s	n	p
Ojitusintensiteetti	0,261	28	0,179
Valuma-alueen pinta-ala	-0,278	28	0,152
Järven pinta-ala	-0,574	28	0,001
Kokonaistyyppi	0,434	31	0,015
Kokonaisfosfori	0,458	31	0,010
Väri	0,635	31	<0,001
pH	-0,532	31	0,002
a-klorofylli	0,448	31	0,012



Kuva 3. Tutkimusjärivistä pyydettyjen haukien keskimääräiset elohopeapitoisuudet ja yhden kilon painoiselle hauelle lasketut elohopeapitoisuudet.

(* = Vakioitua arvoa ei ole voitu laskea näytekalojen vähyyden vuoksi.)



Kuva 4. Keski-Suomen valuma-alueiden ojitusintensiiteetti eli ojämäärä metreinä hehtaaria kohti.

4 Tulosten tarkastelu

4.1 Elohopea ja sen kulkeutuminen vesistöön

Elohopea on myrkyllinen raskasmetalli, jota esiintyy luonnossa monessa eri muodossa. Elohopea muodostaa vakaita komplekseja monien orgaanisten ja epäorgaanisten yhdisteiden kanssa. Ilmassa tavallisin elohopeamuoto on alkuaine-elohopea (Hg_0), peruskalliolla, mineraalimaassa ja hapettomassa sedimentissä elohopeasulfidi (HgS), vedessä Hg^{2+} ja sen kompleksit sekä eläimissä metyylielohopea ($MeHg$, CH_3Hg^+) (mm. Porvari & Verta 1993; Boening 2000). Metyylielohopea on erittäin myrkyllinen elohopeayhdiste, joka tunkeutuu rasvaliukoisuutensa vuoksi tehokkaasti eliöiden solukalvon läpi ja rikastuu ravintoketjun ylemmille tasoille mentäessä (Stenberg 1990). Siksi petokalojen metyylielohopeapitoisuudet ovatkin yleensä selvästi suurempia kuin muissa alemman trofiatason vesieliöissä tai ympäröivässä vedessä. Metyylielohopeaa muodostuu epäorgaanisesta elohopeasta mikro-organismien myötävaikutuksella. Orgaaninen maaperä ja hapettomat olot lisäävät metyloitumista (Manninen 1992).

Elohopeaa tulee vesistöön mm. laskeumana ilmakehästä, päästönä teollisuudesta ja valunnan mukana orgaaniseen aineeseen sitoutuneena (Verta & Rekolainen 1985). Valtaosa ilmakehään joutuvasta elohopeasta vapautuu luonnon omista prosesseista kuten tulivuorenpurkauksista. Elohopeaa ja raskasmetalleja vapautuu ilmakehään mm. fossiilisista polttoaineista, jätteidenpoltosta sekä kloorialkali- ja metallituotannosta. Höyrymäisessä muodossa elohopea leviää ilman kautta kauaksikin. Maaperäämme onkin ajan saatossa kertynyt suuri elohopeavarasto. Suotuisissa olosuhteissa se lähtee uudelleen liikkeelle ja kertyy lopulta metyylielohopeana mm. vesieläimiin (mm. Witick ym. 1995; Porvari 2003). Erityisesti humusaineet sitovat elohopeaa voimakkaasti vesistöissä. Maaperästä huuhtoutuva elohopeamäärä on kuitenkin vain tuhannesosia maaperän pintakerrokseen varastoituneen elohopean määrästä. Maaperästä vapautuvan elohopean määrä saattaakin vielä säilyä pitkään korkeana, vaikka elohopeapäästöjä radikaalisti vähennettäisiinkin (Manninen 1992).

Viimeisen vuosisadan aikana elohopealaskemat

ovat lisääntyneet 2–20 -kertaisiksi. Sen sijaan päästöt näyttäisivät kuitenkin vähentyneet koko Euroopassa parin viimeisen vuosikymmenen sisällä. Suorat elohopeapäästöt Suomen vesistöön loppuivat, kun elohopean käyttö muun muassa viljan peittäysaineena ja massa- ja paperiteollisuudessa limanestoaineena kiellettiin (Porvari 2003; Huuskonen 2005). Elohopeaa on kuitenkin vielä sitoutuneena suuria määriä niiden järvien sedimenttiin, jotka olivat teollisuuden elohopeapäästöjen purkuvesinä. Keski-Suomessa tällaisia alueita löytyy esimerkiksi Kuhnamon ja Jyväsjärven vesistöalueilta sekä Päijänteen Tiirinselkä–Lehesselkä -alueelta (mm. Eloranta 1984).

Ympäristön nykyiset elohopeapitoisuudet ovat siis monimutkaisten kertymis- ja hajoamistapahtumien tulosta (Jernelöv ym. 1975). Nämä tapahtumat riippuvat monesta tekijästä, kuten pH:sta, happi- ja rikkipitoisuudesta, lämpötilasta, mikrobitoiminnasta jne. Elohopean kertymiseen vesistöissä vaikuttavat myös vesistön ja valuma-alueen ominaisuudet ja niissä tehdyt toimenpiteet (mm. Porvari 2003). Myös vesistökuorimituksella on huomattava vaikutus. Tämä elohopeaan liittyvien prosessien moninaisuus vaikeuttaa syy-seuraussuhteiden selvittämistä.

4.2 Kalat ja elohopea

Kalat saavat suurimman osan elohopeastaan ravinnon mukana (Porvari & Verta 1993). Yksilökohtaiseen elohopean määrään vaikuttavat esimerkiksi kalan ikä, kasvunopeus, ravintokäyttäytymisen erot sekä erot ruokailualueessa. Siksi samankin vesialueen kalojen elohopeapitoisuuksissa voi olla suurta vaihtelua (Witick ym. 1995). Vanhempaan kalaan ehtii yleensä kertyä enemmän elohopeaa kuin nuorempaan yksilöön. Hitaasti kasvaviin kaloihin puolestaan kertyy enemmän elohopeaa kuin nopeasti kasvaviin. Hitaasti kasvavat kalat kuluttavat painoonsa nähden enemmän ravintoa ja siten myös metyylielohopeaa kertyy enemmän (mm. Verta 1990).

Yhteispohjoismaisessa elohopeakartoituksessa havaittiin, että korkeimmat kalojen elohopeapitoisuudet Suomessa ovat Keski- ja Itä-Suomen vesistöissä (Munthe ym. 2007). Selvityksen mukaan suomalaisien järvikalojen elohopeapitoisuudet olivat keskimäärin 0,5 mg/kg. Maan pohjoisosassa keskipitoisuudet ovat alhaisempia kuin etelämpänä.

Hauen luontainen elohopeapitoisuus suomalaisissa järvissä on luultavasti selvästi alle 0,50 mg/kg. Todennäköisesti keskimääräinen taso lienee ollut

0,20–0,30 mg/kg (Verta 1990; Porvari & Verta 1993). Ihmistoiminnan seurauksena esimerkiksi keskisuomalaisten haukien elohopeapitoisuudet ovat jopa kaksin- tai kolminkertaistuneet.

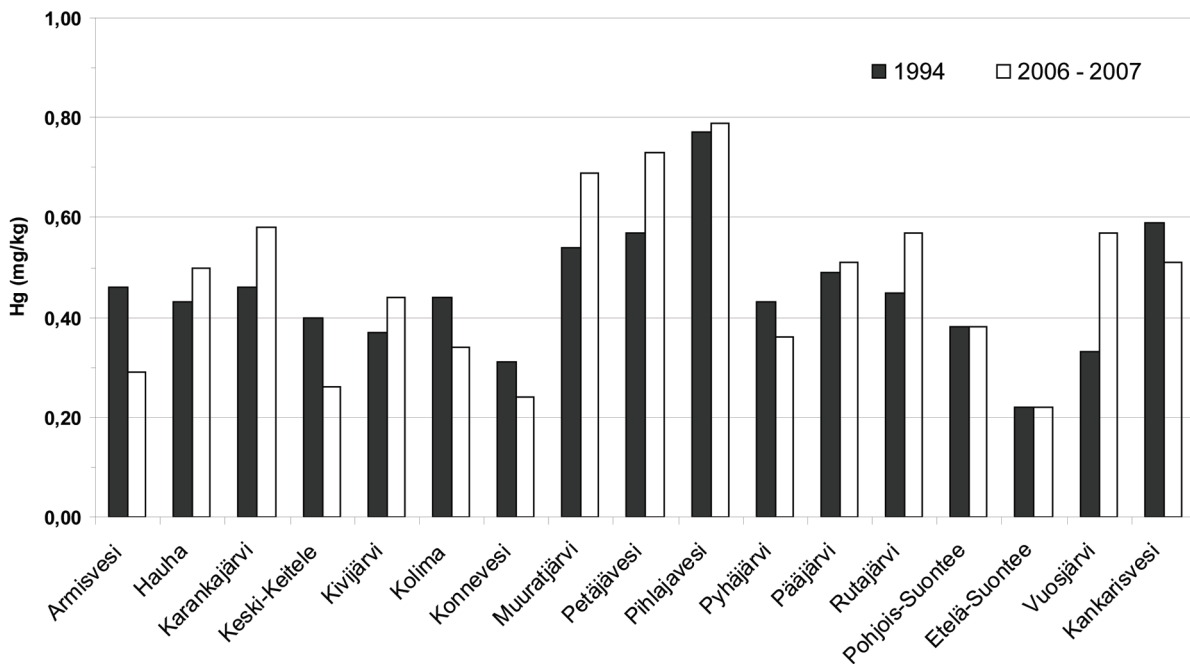
1980-luvulla tutkittiin suomalaisten metsäjärvien kalojen elohopeapitoisuuksia. Sen mukaan vakiohauen keskimääräiseksi elohopeapitoisuudeksi määritettiin 0,56 mg/kg (Verta & Rekolainen 1985). Viljelyalueilla ja reittivesistöissä vastaava pitoisuus oli 0,44 mg/kg. Tämän tutkimuksen keskiarvo (0,46 mg/kg) oli siten lähes identtinen edellä mainitun 1980-luvun tutkimuksen kanssa. Tilanne ei näytä muuttuneen myöskään 1990-luvulta, jolloin Keski-Suomen vesien vakiohauelle laskettu pitoisuus oli 0,45 mg/kg (vrt. Wicket ym. 1995).

1990-luvulla tehdyssä hauen elohopeaselvityksessä (liite 4) oli 17 tässäkin tutkimuksessa ollutta vesialuetta. Näiden kahden tutkimuksen vertailu ei osoita muutostrendiä. Joissakin vesissä keskimääräinen elohopeapitoisuus oli hieman laskenut ja toisissa taas noussut (kuva 6). Nousu oli selvä Hauhassa, Karankajärvessä, Kivijärvessä, Muuratjärvessä, Petäjävedessä,

Rutajärvessä ja Vuosjärvestä, mutta vähäisempi Pihlajavedessä ja Pääjärvestä. Pitoisuuden vähene- mistä havaittiin puolestaan Armisvedessä, Keski-Keiteleessä, Kolimassa, Konnevedessä, Pyhäjärvestä ja Kankarisvedessä. Vuosien väliset erot ovat kuitenkin pieniä eivätkä tilastollisesti merkitseviä (parittainen t-testi: $t = -0,715$, $df = 16$, $p = 0,485$). Pitoisuuserot joh- tunevat aiemmin mainituista yksilökohtaisista eroista elinalueissa, iästä ja ravintokäyttäytymisestä.

Suomen ympäristökeskuksen tekemien määritysten perusteella vakiohauen elohopeapitoisuus näyttäisi laskeneen muun muassa Liesjärvestä (0,78 mg/kg; 1983), Alvajärvestä (0,64 mg/kg; 1983) ja Summasjärvestä (0,52 mg/kg; 1971) (SYKE kertymärekisteri, vakioidut pitoisuudet laskenut Mykrä 2008). Tuloksiin vaikuttavat jossain määrin myös menetelmämuutokset määrityksissä. Vanhemmilla menetelmillä saadut tulokset ovat usein todellisia pitoisuuksia pienempiä (Paloheimo 2005).

Elohopeaa käytettiin myös Keski-Suomessa liman- torjuntaan sellu- ja paperiteollisuudessa 1950-luvulta vuoteen 1968 (Häsänen 1975). Puujalostusteollisuus-



Kuva 6. Yhden kilon painoisen hauen keskimääräiset elohopeapitoisuudet vuosina 1994 ja 2006–2007.

den liikaamia alueita täällä ovat olleet muun muassa Jyväsjärvi, Äänekoski–Vaajakoski-reitti sekä Keski-Päijänne (mm. Selänne 1997; Keränen 2002). Tämän tutkimuksen järvistä Leppävesi ja Vatia sijaitsevat Äänekoski–Vaajakoski-reitillä. Puujalostusteollisuudesta vesistöön päässyt elohopea vaikuttaa luultavasti edelleen näiden järvien kalojen elohopeapitoisuuksiin.

1960-luvulla hauen elohopeapitoisuus ylitti 1,0 mg/kg syöntikelpoisuusrajan lähes koko Päijänteen alueella. Witickin ym. (1995) mukaan hauen elohopeapitoisuudet kuitenkin laskivat selvästi näistä arvoista 1990-luvulle tultaessa. 1993–1994 pyydetyistä hauista laskettu vakiohauen elohopeapitoisuus Tiirinselällä oli 0,64, Judinsalonselällä 0,42 ja Tehinselällä 0,43 mg/kg. Tässä tutkimuksessa ei ollut yhtään kyseisiltä vesialueilta pyydettyä haukea. Sen sijaan Suomen ympäristökeskuksen 2000-luvun alussa tekemissä määrityksissä saatiin vakiohauen keskimääräiseksi elohopeapitoisuudeksi Tiiriselällä 0,57 mg/kg ja Judinsalonsella vastaavasti 0,51 mg/kg. Elohopeapitoisuudet eivät siten näytä havaittavasti laskeneet kymmenessä vuodessa. Sen sijaan Asikkalanselän (Etelä-Päijänne) vakiohauen elohopeapitoisuus (0,28 mg/kg) oli tällöin kuitenkin melko alhainen.

Leppäveden kalojen elohopeapitoisuuteen on saatanut vaikuttaa myös Kemira Oy:n Vihtavuoren tehdas (nykyinen Nammo Vihtavuori Oy). Se laskee ravinne- ja rikkihappopitoiset jätevetensä Vihtajärveen ja edelleen Leppäveden Vihtalahteen 1990-luvun lopulle saakka (Hanski & Hilla 2005). Tämän seurauksena Vihtajärven vesi oli hyvin hapanta. Myöhemmin järven happamuus väheni ja järvi rehevöityi. Vihtajärven ja Vihtalahden kalojen elohopeapitoisuuksia tutkittiin vuonna 2004. Vihtajärven haukien elohopeapitoisuudet olivat erittäin suuret (3,2–7,6 mg/kg; ka. 5,2 mg/kg). Vihtalahden haukien pitoisuudet olivat selvästi edellistä alhaisempia (0,46–3,5 mg/kg; ka. 1,08 mg/kg), mutta kuitenkin korkeita.

Edellä mainittujen lisäksi Keski-Suomessa on tehty useita pienempiä elohopeatutkimuksia. Esimerkiksi Hankasalmen Leväsestä tehtiin kalojen syömäkelpoisuusselvitys vuonna 2007. Viiden hauen keskimääräiseksi elohopeapitoisuudeksi määritettiin 1,0 mg/kg (hajonta ± 0,21 mg/kg) (YMTK 2007). Kalat olivat arviolta keskimäärin 500 g painoisia. Liitteisiin 5–8 on koottu tuloksia kalojen elohopeapitoisuuksista mm. Pihlajavedestä, Keurusselältä, Summasjärvestä ja Lannevedestä.

Yleisesti ottaen kalojen elohopeapitoisuudet ovat korkeampia metsä- ja turvealueilla kuin viljelymailla (Munthe ym. 2007). Tämä johtuu siitä, että ilmakehän

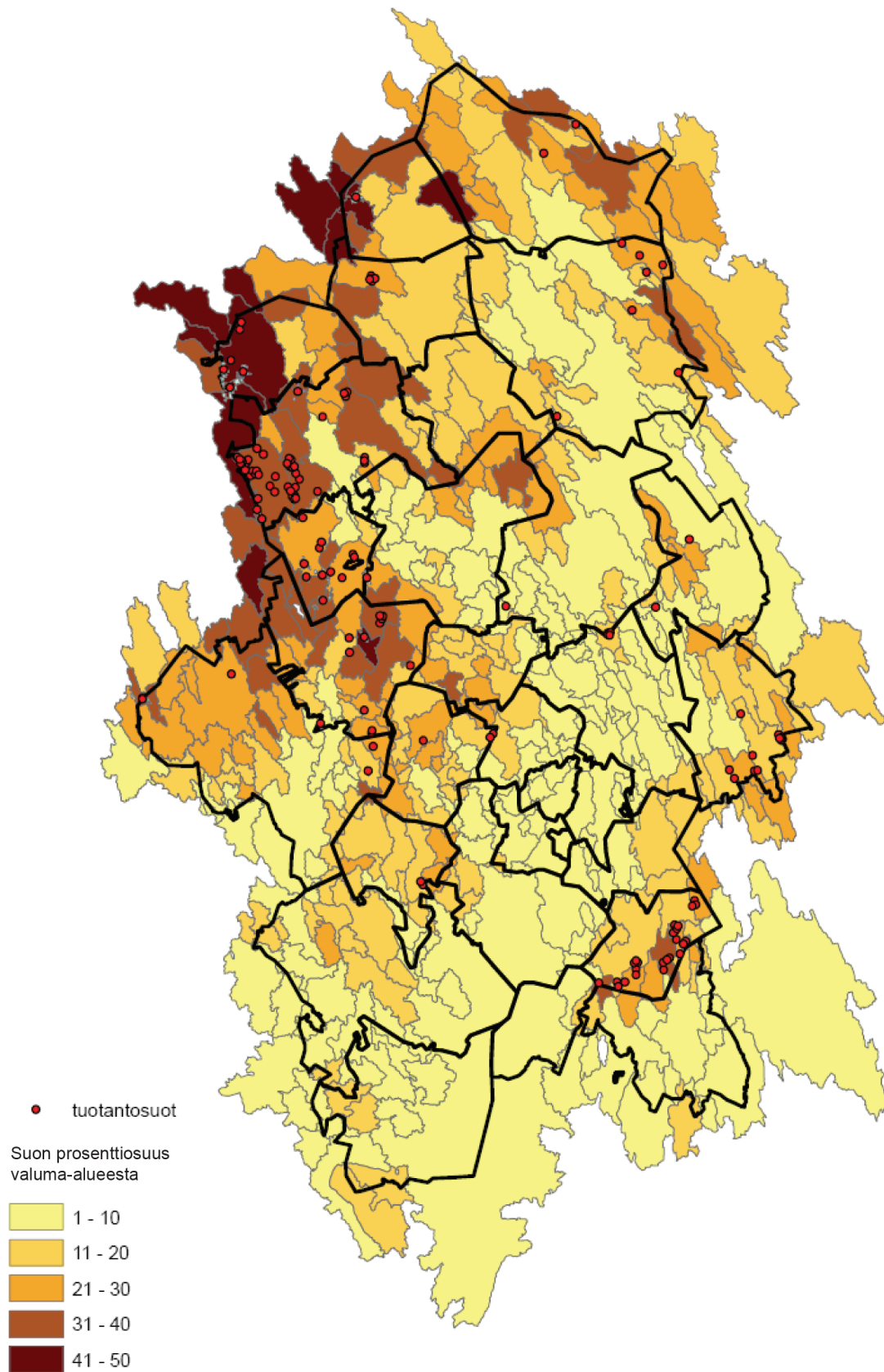
elohopea sitoutuu tehokkaasti metsämaiden humuskerrokseen ja soiden turvekerrokseen, josta se kulkeutuu orgaanisen aineen mukana lopulta vesistöön (Manninen 1992; Witick ym. 1995). Keski-Suomessa eniten turvesoita on Suomenselän alueella maakunnan länsi-pohjoisosassa. Soisin on Saarijärven reitin valuma-alue (kuva 7). Tutkimusjärvistä Pää- ja Karanka- ja Alvajärvi sijaitsevat näillä alueilla. Turvekerrokseen sitoutunut elohopea vapautuu tuotantotoimien vaikutuksesta ja huuhtoutuu alapuolisiin vesiin. Näyttääkin selvältä, että juuri turvealueiden tehokäyttö on merkittävimpiä elohopeapitoisuuksia lisääviä tekijöitä. Saarijärven lisäksi turvetuotannossa olevia soita on Keski-Suomessa esimerkiksi Kolkun, Rutajärven ja Suonteen valuma-alueilta.

Toisaalta, vaikka järvien valuma-alueilla sijaitsevilla turvemailla onkin todettu olevan kalojen elohopeapitoisuuksia kohottava vaikutus, suuri suopinta-ala saattaa myös puskuroida elohopean kulkeutumista järveen. Sama vaikutus on järven yläpuolisella valuma-alueella sijaitsevilla järvillä (Lindqvist ym. 1991). Tämä kuitenkin edellyttää soiden vähäistä hyväksikäyttöä ja/tai tehokkaita vesiensuojelutoimia.

Myös valuma-alueen maaperällä on vaikutusta elohopeapitoisuuksiin. Esimerkiksi raskasaineksien moreenimaan on todettu päästävän enemmän elohopeaa vesistöön kuin alueiden, joilla vesi kulkee turve maiden läpi (Manninen 1992).

Valuma-alueen suuruudella ei tässä tutkimuksessa havaittu selvää yhteyttä hauen elohopeapitoisuuksiin. Aikaisemmin on kuitenkin todettu, että valuma-alueen pinta-alan kasvaessa hauen elohopeapitoisuus usein pienenee (Verta & Rekolainen 1985; Paloheimo 2005). Kalojen elohopeapitoisuuksien on lisäksi todettu olevan alhaisempia sellaisissa järvissä, joiden pinta-alat ovat suuria verrattuna valuma-alueiden pinta-aloihin ja päinvastoin. Korkeita elohopeapitoisuuksia havaitaan usein esimerkiksi valuma-alueen pienissä latvajärvissä. Lähivaluma-alueella on luultavasti suurempi merkitys elohopeapitoisuuksiin kuin valuma-alueella (Grigal 2002).

Valuma-alueella tehdyt toimenpiteet vaikuttavat huuhtoutuvan elohopean määrään. Esimerkiksi metsä- ja turvemaiden ojitukset (Verta & Rekolainen 1985; Verta 1990) sekä päätehakkuut ja maanpinnan käsittelyt (Porvari 2003) lisäävät ainakin hetkellisesti orgaanisen aineen ja samalla siihen sitoutuneen elohopean huuhtoutumista vesistöön. Metsäojituksessa elohopeakuormituksen lisäys tapahtuu kuitenkin pääasiassa kiintoainekseen sitoutuneena elohopeana, joka vesissä sedimentoituu nopeasti (Manninen 1992).



Kuva 6. Suon prosenttiosuus valuma-alueiden pinta-alasta Keski-Suomessa sekä turvetuotantosuot vuonna 2002.

Siksi myös sen vaikutus kalojen elohopeapitoisuuksiin on vähäinen. Metsänhoitotoimenpiteiden vaikutusta elohopean huuhtoutumiseen tulisikin tutkia lisää. Tässä tutkimuksessa ei havaittu merkitsevää yhteyttä valuma-alueilla tehtyjen ojitusten ja vakiohauen keskimääräisen elohopeapitoisuuden välillä.

Järvessä tai vesialueella tehtävät rakentamistoimenpiteet saattavat vaikuttaa järven pohjasedimentissä olevan elohopean metyloitumiseen ja edelleen metyylielohopean kertymiseen kaloihin (Stenberg 1990). Kunnostuksissa pyritään usein esimerkiksi palauttamaan ylirehevä järvi vähäravinteisemmaksi. Ääritapauksessa järven rehevyysasteen onnistunut alentaminen voi johtaa lisääntyneeseen elohopean metylaatioon ja edelleen metyylielohopean kerääntymiseen kaloihin. Tietyissä tapauksissa elohopeaa voi poistua kunnostuksen "sivutuotteena". Pohjan sekoittaminen kunnostuksen yhteydessä saattaa kuitenkin lisätä hetkellisesti elohopean vapautumista sedimentistä. Liian tehottoman ilmastuksen on myös todettu lisäävän metyloitumista. Tähän vaikuttaa kuitenkin se, kuinka paljon järven sedimenttiin ylipäättään on varastoitunut elohopeaa. Hapettoman sedimentin ilmastuessa metylaatio on voimakkaimmillaan, kun veden happipitoisuus on noussut tasolle 0...1 mgO₂/l. Tämän jälkeen metyylielohopean muodostuminen heikkenee. Jos järven alusveden happipitoisuutta ei saada ilmastettua tarpeeksi, metyylielohopean muodostuminen pysyy voimakkaana.

Tekojärvien kaloissa on tunnetusti korkeita elohopeapitoisuuksia (Verta & Rekolainen 1985). Tämä liittyy yleensä altaiden turvepohjiin, josta elohopea pääsee liukenemaan helposti veteen. Säännöstelyn on myös havaittu lisäävän elohopean metyloitumista ja rikastumista kaloihin.

4.3 Veden laatu ja elohopeapitoisuus

Aikaisemmat tutkimukset ovat osoittaneet kalojen elohopeapitoisuuden riippuvan veden orgaanisen aineksen määrästä (Verta & Rekolainen 1985). Kalojen elohopeapitoisuus yleensä kasvaa humuspitoisuuden lisääntyessä, mikä liittyy elohopean voimakkaaseen sitoutumiseen humukseen. Humusaineet puolestaan vaikuttavat veden väriin. Korkeita elohopeapitoisuuksia tavataan etenkin tummavetisissä, runsaasti humusyhdisteitä sisältävissä vesistöissä (Witick ym. 1995). Keski-Suomen humuspitoisten maiden painopiste on Suomenselällä. Tässäkin tutkimuksessa tummavetisimmistä järvistä mitattiin korkeimmat hauen elohopeapitoisuudet. Alhaisimmat elohopeapitoisuudet mitattiin vastaavasti kirkasvetisimpien vesialueiden hauissa (Etelä-Suontee, Konnevesi).

Järven tuotantotasolla on todettu olevan vaikutusta kalojen elohopeapitoisuuteen (Stenberg 1990). Vähäravinteisissa, karuissa järvissä elohopeapitoisuudet ovat yleisesti suurempia kuin ravinteikkaammissa järvissä. Tämä johtuu muun muassa siitä, että vähäravinteisissa järvissä on vähemmän eliöitä, ja sen vuoksi elohopeaa kertyy enemmän yhtä eliötä kohden. Summasjärven kohdalla rehevyys ja järven valuma-alueen suhteellisen suuri koko ovatkin voineet vaikuttaa siihen, että järvestä mitattiin veden korkeasta humuspitoisuudesta huolimatta elohopeapitoisuudeksi alle 0,30 mg/kg.

Tässä tutkimuksessa havaittu yhteys vakiohauen elohopeapitoisuuden ja tutkimusjärvien veden fosfori-, typpi- ja a-klorofyllipitoisuuden välillä johtui luultavasti kuitenkin siitä, että kyseiset muuttujat korreloivat erittäin voimakkaasti veden värin kanssa. Jos fosfori- ja a-klorofyllipitoisuudet olisivat tutkimusjärvistä saadun aineiston perusteella olleet suorassa yhteydessä hauen elohopeapitoisuuteen, olisi tämän yhteyden pitänyt näkyä negatiivisena korrelaationa. Korkeammat elohopeapitoisuudet olisivat siis heijastuneet matalampina a-klorofylli- ja ravinnepitoisuuksina. Toisaalta vähäravinteisissa järvissä metyylielohopean tuotanto sedimentissä on vähäisempää kuin rehevissä järvissä (Stenberg 1990).

Monet keskisuomalaisetkin järvet ovat ihmistoiminnan rehevöittämiä. Tässä selvityksessä mukana olleista järvistä rehevöityneimpiä ovat Petäjävesi, Pääjärvi, Karankajärvi ja Summasjärvi. Myös Kivijärven Kinnulanlahti on veden ravinnepitoisuuksien perusteella rehevöitynyt. Rehevimmistä järvistä ainoastaan

Summasjärvessä hauen elohopeapitoisuudet olivat näytekalojen perusteella melko alhaiset.

Veden alhaisen pH:n tiedetään lisäävän elohopean kertymistä kaloihin (mm. Boeing 2000). Bakteerit muodostavat metyylielohopeaa enemmän happamissa kuin neutraalissa tai emäksisissä olosuhteissa (Eloranta 1984). Tässä tutkimuksessa saadut tulokset tukevat tätä ajatusta. Tässä tutkimuksessa ei ollut mukana happamoituneita vesialueita, mutta joidenkin järvien vedet olivat humuspitoisuutensa vuoksi luonnostaan happamia.

4.4 Elohopean terveydelliset haitat

Suurin osa ihmisen elimistön metyylielohopeasta on peräisin ravinnosta, pääasiassa kalasta. Tämän vuoksi ihmiset, jotka syövät runsaasti kalaa, altistuvat elämänsä aikana enemmän metyylielohopealle kuin vähemmän kalaa syövät. Altistumisen määrään vaikuttavat muun muassa kalan laji, koko, alkuperä ja käyttömäärä (Porvari & Verta 1993; Porvari 2003). Kalassa oleva elohopea on lähes kokonaan metyylielohopeaa. Metyylielohopean puoliintumisajaksi on arveltu ihmisessä olevan noin 70 vuorokautta (mm. Witick 1995).

Metyylielohopea on hermomyrkkä ja tämän vuoksi haitallista erityisesti sikiölle ja pienille lapsille. Yli 90 % ihmisen ravinnossa olevasta metyylielohopeasta imeytyy ruuansuolatuskanavasta ja kulkeutuu kaikkialle elimistöön kertyen pääasiassa hermostoon ja erityisesti aivoihin. Metyylielohopea läpäisee helposti myös istukan. Lapsen kohdussa saama elohopea-al-

tistus voi ilmetä myöhemmin esimerkiksi kehityshäiriöinä. Aikuisella varhaisia myrkytysoireita ovat tuntohäiriöt, pahoinvointi, näkö- ja kuulohäiriöt sekä joitakin vanhenemisen oireita muistuttavat häiriöt. Altistuksen kasvaessa esiintyy vakavampia oireita, kuten näkökentän kaventuminen, kuurous sekä puhe- ja kävelyhäiriöt. (Porvari & Verta 1993; Porvari 2003)

Suomessa ja muualla Euroopassa elintarvikkeeksi myytävässä hauessa saa olla elohopeaa tuorepainosta korkeintaan 1,0 mg/kg. Muiden kalojen kohdalla vastaava pitoisuus on 0,5 mg/kg (Euroopan komission asetus 466/2001). WHO (2005) on suositellut metyylielohopean viikkoannosrajaksi 1,6 µg henkilön massa-kiloa kohden. Raskaana oleville ja imettäville naisille sekä lapsille tämä raja on ehdoton enimmäisraja.

Suosimalla ravinnossa eri kalalajeja mahdollisimman monipuolisesti ja rajoittamalla jonkin verran sisävesien petokalojen syöntiä, elohopea-altistusta voidaan merkittävästi vähentää. Näin saadaan kuitenkin hyödynnettyä myös kalan terveyden kannalta myönteiset ominaisuudet. Järvestä pyydettyä haukea voi Elintarvikeviraston (2004) suositusten mukaan syödä 1-2 kertaa kuukaudessa. Arvioinnissa on käytetty kalan annoskokona 100 grammaa. Syöntisuositukset koskevat erityisesti lapsia, nuoria ja hedelmällisessä iässä olevia. Raskaana olevien naisten ei kuitenkaan tulisi syödä haukea. Syöntisuositukset voi ylittää, kunhan vuosittainen elohopean kokonaissaanti ei ylitä.

Plankton- ja pohjaeläinravintoa syövässä kaloissa (esim. siika, lahna) elohopeapitoisuudet ovat paljon alhaisempia kuin petokaloissa (Witick ym. 1995). Niitä voikin yleensä syödä huoletta ilman erityisiä syöntirajoituksia.

5 Loppupäätelmät

Yleisin elohopea-altistuksen lähde ihmisellä on kalaravinto. Erityisesti suomalaisten eniten suosimat kotimaiset kalat, hauki ja suurikokoinen ahven, kuuluvat niiden kalojen joukkoon, joihin elohopea rikastuu helposti. Terveystieteellisten haittojen vuoksi kalojen elohopeapitoisuuksien seuraaminen onkin tärkeää. Seuranta auttaa viranomaisten ohjaustoimintaa, ja lisäksi tietoja voidaan hyödyntää esimerkiksi vesistöjen tilaan liittyvissä seurannoissa.

Keskisuomalaisten haiden keskimääräiseksi elohopeapitoisuudeksi määritettiin 0,46 mg/kg. 1990-luvulla vastaava arvo oli lähes sama eli 0,45 mg/kg (Witick ym. 1995). Haiden elohopeapitoisuudet ovat siten pysyneet varsin muuttumattomina viime vuosikymmenen ajan. Järvikalojen elohopeapitoisuuteen vaikuttavat mm. valuma- ja vesialueiden ominaisuudet sekä ihmistoiminta. Tämän vuoksi kohonneita elohopeapitoisuuksia ei pystytä aina varmuudella selittämään. Haiden kohonneille elohopeapitoisuuksille järvessä ei ole välttämättä yhtä ainoaa syytä, vaan korkeaan pitoisuuteen voivat vaikuttaa eri järvien kohdalla eri tekijät ja tekijöiden yhteisvaikutus.

Elohopeapitoisuuksien ei voida lähiaikoinakaan olettaa vähenevän nopeasti, sillä järvien pohjasedimenttiin varastoitunut ja valuma-alueen maaperässä oleva elohopea vapautuu todennäköisesti myös lähitulevaisuudessa ihmistoiminnan seurauksena. Keski-Suomessa on esimerkiksi suunniteltu energiaturpeen määrän voimakasta lisäystä. Turpeen nosto vapauttaa merkittäviä määriä elohopeaa, mikä lisää entisestään

alapuolisten vesistöjen elohopeakuormaa.

Keski-Suomessa on vielä järviä, joissa haiden syömiselle asetettu 1,0 mg/kg elohopearaja ylittyy. Yleensä mainittu raja ylittyy isoissa hauissa, joihin ehtii kertyä enemmän elohopeaa kuin nuorempiin. Tullevaisuudessa olisi mielenkiintoista selvittää samalla myös pyydettyjen kalojen ikä. Ikätiedon avulla on mahdollista tarkastella myös kalan kasvunopeuden vaikutusta elohopeapitoisuuteen. Seuraavassa selvityksessä tulee myös pyrkiä riittävän edustavaan kokajakaumaan, jotta vakiopainoiselle haulle laskettu elohopeapitoisuus olisi mahdollisimman totuudenmukainen.

Sopiva kalojen määrä riippuu tutkittavasta vesialueesta (vrt. esimerkiksi Etelä-Suontee ja Pyhäjärvi, taulukko 3). Vaikka tässä tutkimuksessa kaikkien vesialueiden näytemäärä ei olekaan tilastollisesti riittävän suuri, voidaan saatuja tuloksia pitää suuntaa antavina.

Yleisesti ottaen suomalaiset syövät nykyisiin ravitsemussuosituksiin nähden liian vähän kalaa. Useimmat suomalaiset syövät kalaa vain kerran viikossa tai harvemmin. Valtion ravitsemuslautakunnan suositusten mukaan kalaa tulisi syödä vähintään kaksi kertaa viikossa, eri kalalajeja vaihdellen (Evira 2004). Kalan syöntiä tulisi pikemminkin lisätä kuin vähentää. Kun syö kotimaista kalaa monipuolisesti, voi Keski-Suomen vesistä pyydettyä haukeakin syödä huoletta pari kertaa kuukaudessa. Raskaana olevien naisten ei kuitenkaan tulisi syödä lainkaan haukea.

Kirjallisuus

- Boening, D.W. 2000. Ecological effects, transport, and fate of mercury: a general review. *Chemosphere* 40: 1335–1351.
- Elintarvikevirasto 2004. Vuosikirja 2004. pdf: http://www.palvelu.fi/evi/files/55_519_341.pdf (luettu 23.7.2008).
- Eloranta, A. 1984. Jämsänjoen ja Keski-Päijänteen ominaisuudet. Keski-Suomen vesipiirin vesitoimisto, Jyväskylä.
- Euroopan komission asetus 466/2001. pdf: <http://www.cfsan.fda.gov/~acrobat/iuecrega.pdf> (luettu 9.7.2008).
- Grigal, D.F. 2002. Inputs and outputs of mercury from terrestrial watersheds: a review. *Environ. Rev.* 10: 1–39. pdf: <https://secure.cisti-icist.nrc-cnrc.gc.ca/cisti/journals/rp/rppdf/a01-013.pdf> (luettu 3.7.2008).
- Hanski, A. & Hilla, V-M. 2005. Vihtajärven ja Vihtalahden kalastus selvitys sekä kunnostussuunnitelma 2004. Keski-Suomen TE-keskus, Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy.
- Huuskonen, H. 2005. Kalojen elohopeapitoisuus Ylä-Karjalassa. Joensuun yliopisto, Karjalan tutkimuslaitoksen raportteja nro 4/2005.
- Häsänen, E. 1975. Elohopea ympäristöongelmana Suomessa. Viitattu: Särkkä, J. 1980. Elohopea Päijänteen ravintoketjussa. Teoksessa: Puunjalostusteollisuus myrkykuormittajana Suomessa. Vesi- ja Kalatalousmiehet ry:n monisteita 1980, s. 57–64.
- Häsänen, E. & Sjöblom V. 1968. Kalojen elohopeapitoisuus Suomessa vuonna 1967. *Suomen kalatalous* 36, 24 s.
- Jernelöv, A., Landner, L. & Larsson, T. 1975. Swedish perspectives on mercury pollution. *J. Water Pollut. Control Feder.* 47: 810–822. Viitattu: Särkkä, J. 1980. Elohopea Päijänteen ravintoketjussa. Teoksessa: Puunjalostusteollisuus myrkykuormittajana Suomessa. Vesi- ja Kalatalousmiehet ry:n monisteita 1980, s. 57–64.
- Keränen, J. 2002. Jyväsjärven tilan kehitys 1840–2000 – Pilaantumisen ja elpymisen aikakaudet. Keski-Suomen ympäristökeskuksen monistesarja nro 49.
- Keski-Suomen ympäristökeskus 2008. Keski-Suomen ympäristökeskuksen alueen pintavesien ekologinen ja kemiallinen tila. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=284195&lan=fi&clan=fi> (luettu 17.6.2008).
- Koistinen, A. 2000. Keski-Suomen metsäluonnon monimuotoisuus – alueellinen tarkastelu. Keski-Suomen ympäristökeskuksen monistesarja nro 39.
- Lidqvist, O., Johansson, K., Aastrup, M., Andersson, A., Bringmark, L., Hovsenius, G., Håkanson, L., Iverfeldt, Å., Meili, M. & Timm, B. 1991. Mercury in the Swedish environment – Recent research on causes, consequences and corrective methods. *Water, Air and Soil Pollut.* 55: 1–261. Viitattu teoksessa: Witick, A., Salo H. & Hallikainen A. 1995: Keski-Suomen läänin järvikalojen elohopeapitoisuudet. Elintarvikeviraston tutkimuksia 2/1995, 17 s. + 5 liitettä.
- Manninen, P. 1992. Järvien eliöstön, lähinnä kalojen kohonneet elohopeapitoisuudet sekä pitoisuuksiin vaikuttavat tekijät. kirjallisuuskatsaus, Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 376.
- Munthe, J., Wängberg, I., Rognerud, S., Fjeld, E., Verta, M., Porvari, P. & Meili, M. 2007. Mercury in Nordic ecosystems. IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd.
- Paasivirta, J., Särkkä J., Aho, M. Surma-Aho, K., Tarhanen, J. & Roos, A. 1981. Recent trends of biocides in pikes of the lake Päijänne. *Chemosphere* 21(10): 405–414.
- Paloheimo, A. 2005. Hauen (*Esox lucius* L.) elohopeapitoisuuteen ja – pitoisuuden muutokseen vaikuttavat ympäristötekijät. Pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos, 76 s. + 8 liitettä.
- Porvari, P. 2003. Sources and fate of mercury in aquatic ecosystems. Monographs of the Boreal Environment Research nro 23.
- Porvari, P. & Verta, M. 1993. Elohopea ympäristössä ja tekoaltaissa - kirjallisuuskatsaus ja arvio Vuotoksen tekoaltaan hauen elohopeapitoisuuden kehittymisestä. Vesi ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A 162.
- Selänne, A. 1997. Keski-Suomen hajakuormitus selvitys. Keski-Suomen ympäristökeskuksen monistesarja nro 12.
- Sjöblom, V. 1969. Kalojen elohopeapitoisuus. Eripainos, Limnologisymposium 1967, Suomen Limnologinen Yhdistys.
- Stenberg, M. 1990. Järvien kunnostusten vaikutus elohopean metylaatioon, *Vesitalous* 31 (2): 42–44.
- Surma-Aho, K. 1983. Elohopean määrittäminen ympäristönäytteistä kylmähöyryatomiabsorptiomenetelmällä. Lisensiaattitutkielma, Jyväskylän yliopisto, Kemian laitos. Viitattu teoksessa: Witick, A., Salo H. & Hallikainen A. 1995: Keski-Suomen läänin järvikalojen elohopeapitoisuudet. Elintarvikeviraston tutkimuksia 2/1995, 17 s. + 5 liitettä.
- Verta, M. 1990. Mercury in Finnish forest lakes: Anthropogenic contribution to the load and accumulation in fish. Publications of the Water and Environment Research Institute, National Board of Waters and the Environment, Finland 6: 5–34.
- Verta, M. & Rekolainen, S. 1985. Ilmaperäisen elohopean, metsäojituksen ja tekojärvien rakentamisen vaikutus kalojen elohopeapitoisuuteen. tutkimusprojektin loppuraportti, Vesihallituksen monistesarja nro 320.
- WHO 2005. Joint FAO/WHO expert committee on food additives. Sixty-first meeting. Rome, 10–19 June 2003. Summary and conclusions. pdf: <ftp://ftp.fao.org/es/esn/jecfa/jecfa61sc.pdf> (luettu 8.7.2008).
- Witick, A., Salo H. & Hallikainen A. 1995. Keski-Suomen läänin järvikalojen elohopeapitoisuudet. Elintarvikeviraston tutkimuksia 2/1995, 17 s. + 5 liitettä.
- Ympäristöhallinnon tietojärjestelmä Hertta 2008 (tiedot kerätty ajanjaksolla 19.5.–21.9.2008).
- Ympäristöhallinto 2008. Pintavesien ekologinen ja kemiallinen tila. <http://www.ymparisto.fi/vesienlaatu> (luettu 18.6.2008).
- YMTK 2007. Kivisensuon (Hankasalmi) turvetuotantoalueen kalataloudellinen velvoitetarkkailu. Kalojen syömäkelpoisuus selvitys. Jyväskylän yliopisto, Ympäristöntutkimuskeskus, Tutkimusraportti 159/2007.

Julkaisusarjan nimi ja numero Raportteja 17/2015				
Vastuualue Ympäristö ja luonnonvarat				
Tekijät Marjut Mykrä Anssi Eloranta Arja Koistinen Kimmo Olkio		Julkaisuaika Helmikuu 2015		
		Kustantaja /Julkaisija Keski-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus		
		Hankkeen rahoittaja / toimeksiantaja Keski-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus		
Julkaisun nimi Hauen elohopeapitoisuudet Keski-Suomessa				
Tiivistelmä Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Keski-Suomen haukien (<i>Esox lucius</i>) elohopeapitoisuuksia. Tutkimusta varten koottiin aiempien keskisuomalaisen elohopeaselvitysten tuloksia sekä tutkittiin 31 keskisuomalainen vesialueen haukien elohopeapitoisuuksia vuosina 2006–2007. Mukaan valittiin maaperältään ja vedenlaadultaan erilaisia vesialueita sekä myös aiemmissa tutkimuksissa mukana olleita vesialueita. Tutkimusaineisto sisältää kaikkiaan 257 haukea eli keskimäärin kahdeksan kalaa per vesialue. Tulosten tarkastelussa hyödynnettiin tutkimusalueen vedenlaatu-, maaperä- ja maankäyttötietoja. Koko aineistosta laskettu vakiopainoisen hauen (1 kg) keskimääräinen elohopeapitoisuus oli 0,46 mg/kg. Tämän mukaan elohopeapitoisuudet eivät ole muuttuneet Keski-Suomessa 1990-luvun tilanteesta. Silloin vastaava pitoisuus oli 0,45 mg/kg (350 näytekalaa; 36 vesialuetta). Haukien elohopeapitoisuuksissa havaittiin huomattavaa vaihtelua niin eri vesialueiden välillä kuin myös saman vesialueen sisältä pyydettyjen haukien pitoisuuksissa. Korkeimmat elohopeapitoisuudet mitattiin tummavetisistä ja runsashumuksisista järvistä. Alhaisimmat pitoisuudet puolestaan havaittiin kirkasvetisimmistä järvistä. Joukossa oli myös järviä, joiden pitoisuudet poikkesivat em. säännönmukaisuudesta. Yhdessäkään järvessä ei hauen keskimääräinen elohopeapitoisuus ylittänyt syötäväksi kelpaavalle haulle asetettua enimmäispitoisuusrajaa (1,0 mg/kg). Joistakin tutkimusjärivistä saatiin kuitenkin muutamia yksilöitä, joiden absoluuttiset pitoisuudet ylittivät syömiselle asetetun pitoisuusrajan.				
Asiasanat (YSA:n mukaan) Hauki, <i>Esox lucius</i> , runsashumuksinen, maankäyttö, terveydelliset haitat				
ISBN (Painettu)	ISBN (PDF) 978-952-314-215-2	ISSN-L 2242-2846	ISSN (painettu)	ISSN (verkkojulkaisu) 2242-2854
www www.ely-keskus.fi/julkaisut www.doria.fi		URN URN:ISBN:978-952-314-215-2		Kieli suomi
Sivumäärä 26				
Julkaisun tilaukset Keski-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus				
Kustannuspaikka ja -aika Jyväskylä 2015			Painotalo	

**RAPORTEJA 17 | 2015
HAUEN ELOHOPEAPITOISUUDET
KESKI-SUOMESSA**

Keski-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

ISBN 978-952-314-215-2 (PDF)

**ISSN-L 2242-2846
ISSN 2242-2854 (verkkajulkaisu)**

URN:ISBN:978-952-314-215-2

www.ely-keskus.fi/julkaisut | www.doria.fi/ely-keskus