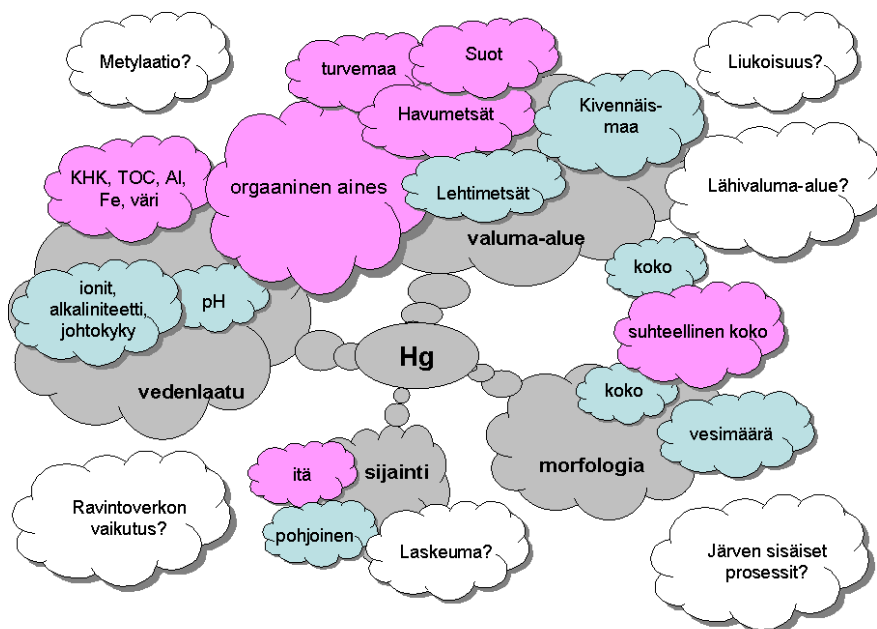


Hauen (*Esox lucius* L.) elohopeapitoisuuteen ja –pitoisuuden muutokseen vaikuttavat ympäristötekijät



PRO GRADU -tutkielma
Anna Paloheimo
Helsingin yliopisto
Biotieteellinen tiedekunta
Bio- ja ympäristötieteiden laitos / limnologia
2005

HELSINGIN YLIOPISTO – HELSINGFORS UNIVERSITET

Tiedekunta/Osasto – Fakultet/Sektion – Faculty Biotieteellinen tiedekunta		Laitos – Institution – Department Bio- ja ympäristötieteiden laitos	
Tekijä – Författare – Author Anna Paloheimo			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Hauen (<i>Esox lucius</i> L.) elohopeapitoisuuteen ja -pitoisuuden muutokseen vaikuttavat ympäristötekijät			
Oppiaine – Läroämne – Subject Avaattiset tieteet, Limnologia			
Työn laji – Arbetets art – Level pro gradu	Aika – Datum – Month and year 12.12.2005	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 76 s. + liitteet	
<p>Tiivistelmä – Referat – Abstract</p> <p>Tämän pro gradu -työn tavoitteena oli arvioida hauen (<i>Esox lucius</i> L.) järvi-kohtaisen elohopeapitoisuuden estimoimiseen käytettyjä menetelmiä, selvittää hauen elohopeapitoisuuteen vaikuttavia tekijöitä sekä arvioida elohopeapitoisuudessa vuosien 1980–1983 ja 2000–2002 välisellä kahdenkymmenen vuoden aikajaksolla mahdollisesti tapahtunutta muutosta sekä muutokseen vaikuttavia tekijöitä. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin kaikkiaan 66 järven haukien elohopeapitoisuuksia vuosina 1980–1983 ja 2000–2002. Tarkastelun kohteena olevia ympäristötekijöitä oli yhteensä 70 tutkimusjärven sijaintia ja morfologiaa, vedenlaatua ja valuma-alueen maankäyttöä ja maanpeitettä kuvaavaa muuttujaa.</p> <p>Hauen elohopeapitoisuuden estimoimiseen käytettyjä menetelmiä vertailtiin lineaarisella, logaritmisella ja toisen asteen polynomiregressiolla. Eri regressiomenetelmien välillä ei havaittu merkitseviä eroja tilastollisesti merkitsevien mallien määrässä tai saadussa elohopeapitoisuuden estimaatissa. Regressiomenetelmänä käytettiin lineaarista kalan massan ja elohopeapitoisuuden regressiota.</p> <p>Hauen elohopeapitoisuuteen vaikuttaa järven sijainti Suomessa siten, että idässä havaitaan korkeampia pitoisuuksia kuin lännessä ja etelässä korkeampia pitoisuuksia kuin pohjoisessa. Suurissa järvissä hauen elohopeapitoisuuden havaittiin olevan alhaisempi kuin pienissä. Toisaalta havaittiin, että mitä suurempi järven pinta-ala on valuma-alueen pinta-alaan verrattuna, sitä alhaisempi on elohopeapitoisuus. Järvien vedenlaadun perusteella happamissa humusjärvissä tavataan korkeimmat hauen elohopeapitoisuudet. Valuma-alueen ominaisuuksista hauen elohopeapitoisuuteen vaikuttavat ennen kaikkea veden humuspitoisuuteen vaikuttavat maanpeitetyypit, kuten havumetsät ja turvemaat. Valuma-alueen ominaisuuksien merkitys hauen elohopeapitoisuuden selittäjänä korostuu etenkin pienillä järvillä.</p> <p>Tässä tutkimuksessa saatiin uutta tietoa hauen elohopeapitoisuudessa tapahtuneesta muutoksesta, jota on aikaisemmin tutkittu varsin vähän. Haukien elohopeapitoisuudet olivat odotetusti laskeneet, mutta Suomessa on myös järviä, joissa hauen elohopeapitoisuus oli noussut. Hauen elohopeapitoisuuden havaittiin vuosien 1980–1983 ja 2000–2002 välisenä aikana nousseen kaikkiaan 11 järvessä. 22 järvessä pitoisuus oli pysynyt samalla tasolla ja 33 järvessä pitoisuus oli laskenut. Tässä tutkimuksessa havaittiin, että pitoisuus on 36 järvessä pysytellyt tai alentunut yleisesti turvallisena pidetylle tasolle (< 0,5 mg kg⁻¹ Hg), mutta neljässä järvessä pitoisuus on yhä tasolla tai on viimeisen 20 vuoden aikana noussut tasolle, jolla haukea ei pitäisi suosittusten mukaan käyttää ihmisravinnoksi (> 1,0 mg kg⁻¹). Pitoisuuden nousua havaittiin ainoastaan pienissä ja keskisuurissa järvissä, näissä ryhmissä noin 20 % järvistä elohopeapitoisuuden havaittiin nousseen 20 vuoden tarkastelujakson aikana. Pitoisuuden laskua puolestaan havaittiin kaikissa kokoryhmissä, pienten ja keskisuurten järvien joukossa noin puolella ja suurilla järvillä kahdella kolmanneksella järvistä.</p> <p>Merkittävään pitoisuuden laskuun on vaikuttanut tutkimusajankohtien välillä merkittävästi pienentynyt ilmapiirinen kuormitus. Kuitenkin tämä tutkimus todistaa sen asian puolesta, että etenkin orgaaniseen maahan on kerääntynyt suuret elohopean varastot, jotka voivat vaikuttaa pitoisuuksia nostavasti vaikka ilmakehän kuormitus onkin pienentynyt. Ilmakehän kuormitusta on usein pidetty merkittävimpana elohopean lähteenä vesistöön ja edelleen kaloihin. Muutokseen vaikuttaviksi tekijöiksi havaittiin tärkeimpänä valuma-alueen ominaisuudet. Orgaanisten maiden järvillä elohopeapitoisuuden havaittiin nousseen. Muutokseen vaikutti myös itä-länsi-suuntainen sijainti. Idässä sijaitsevilla järvillä elohopeapitoisuuden havaittiin nousseen enemmän kuin lännessä.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Hauki, <i>Esox lucius</i> L., elohopea, vaikuttavat tekijät, muutos, morfologia, vedenlaatu, valuma-alue, maankäyttö			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Bio- ja ympäristötieteiden laitos, akvaattiset tieteet			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

Alkusanat

Tämän pro gradu -työn valmistumiseen ovat osaltaan myötävaikuttaneet monet tekijät. Suomen ympäristökeskus (SYKE) tarjosi aineiston, työtilat ja tietokoneohjelmat työn tekemistä varten. Professori Pertti Eloranta Helsingin yliopistosta antoi uskoa siihen, ettei työ ole loputon suo ja ehdotti varsin nerokkaita korjauksia käsikirjoitusluonnokseen. Tutkimusprofessori Matti Verta (SYKE) antoi arvokkaita neuvoja ja vinkkejä työn edetessä. Erikoistutkija Petri Porvari (SYKE) neuvoi monissa visaisissa tilanteissa eteenpäin ja antoi hyviä parannusehdotuksia oikolukujen myötä. Arjen Raateland (SYKE) ja Markku Korhonen (HY) olivat kärsivällisiä ja avuliaita opastajia SAS:n ihmeelliseen maailmaan. "Virallisten tahojen" lisäksi suuri kiitoshalaus kuuluu Artolle, joka on jaksanut kannustaa työn tekemisessä motivaation ollessa pohjamudissa. Omat vanhemmat ovat työn kuluessa varovasti kyselleet etenemisestä ja kannustaneet tekemään. Työn valmiiksi saaminen "yhtäkkiä" taisi tulla itse kullekin yllätyksenä. Nyt se kuitenkin on hyväksyttävä valmiiksi, vaikka korjattavaa aina olisikin. Muistettava on, että kyseessä on kuitenkin "vain gradu".

Helsingissä 28. joulukuuta 2005,

Anna Paloheimo

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT	0
SISÄLLYSLUETTELO	1
1. JOHDANTO	2
1.1 ELOHOPEA ALKUAINENA YMPÄRISTÖSSÄ JA SEN MYRKYLLISYYS	2
1.2 HAUEN (<i>ESOX LUCIUS</i> L.) ELOHOPEAPITOISUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	4
1.3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET	6
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	7
2.1 TUTKIMUSJÄRVET	7
2.1.1 Järviaineiston tarkastelu	10
2.2 VEDENLAATUMUUTTUJAT	10
2.2.1 Vedenlaatuaineiston tarkastelu	11
2.3 VALUMA-ALUEET	13
2.3.1 Valuma-alueaineiston tarkastelu	16
2.4 KALA-AINEISTO	18
2.4.1 Elohopean analyysimenetelmät	18
2.4.2 Kala-aineiston tilastollinen tarkastelu ja aineiston muunnokset	20
2.4.3 Järvikohtaisen elohopeapitoisuuden mallintaminen	23
2.5. HAUEN ELOHOPEAPITOISUUTEEN VAIKUTTAVIEN TEKIJÖIDEN SELVITTÄMINEN	25
2.5.1 Hauen elohopean pitoisuustasoon vaikuttavat tekijät	25
2.5.2 Hauen elohopeapitoisuuden muutokseen vaikuttavat tekijät	27
3. TULOKSET	28
3.1 JÄRVIKOHTAISEN ELOHOPEAPITOISUUDEN MALLINTAMINEN	28
3.2 HAUEN ELOHOPEAPITOISUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	35
3.3 HAUEN ELOHOPEAPITOISUUDEN MUUTOKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	43
4. TULOSTEN TARKASTELU	47
4.1 JÄRVIKOHTAISEN ELOHOPEAPITOISUUDEN MALLINTAMINEN	47
4.2 HAUEN ELOHOPEAPITOISUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	52
4.3 HAUEN ELOHOPEAPITOISUUDEN MUUTOKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	60
5. JOHTOPÄÄTÖKSET	68
LÄHTEET:	70

1. Johdanto

1.1 Elohopea alkuaineena ympäristössä ja sen myrkyllisyys

Elohopeaa (Hg) pidetään myrkyllisimpänä raskasmetallina. Sitä esiintyy luonnossa kallioperän mineraaleissa. Elohopeaa vapautuu ilmakehään luonnon omista prosesseista, kuten tulivuorenpurkauksista ja maanjäristyksistä. Kolmannes ilmakehän elohopeasta on peräisin teollisuuslähteistä (Verta ym. 1986a). Fossiilisten polttoaineiden käyttö on niinkään merkittävä päästölähde. Ilmakehän elohopeavarantojen on arvioitu 2–5 -kertaistuneen teollisen kauden aikana (Boening 2000).

Elohopean kulkeutumiseen ja jakautumiseen maapallolla on ajateltu kuuluvan kaksi erillistä kiertosysteemiä: 1) globaali kierto johon kuuluu alkuainemuotoisen elohopean haihtuminen maasta tai vedestä, kulkeutuminen sekä laskeuma ja 2) paikallinen kierto, joka riippuu epä-organisen elohopean metylaatioprosesseista (Boening 2000).

Terveydelle ja ympäristölle vaarallinen elohopea ja sen yhdisteet kuuluvat Euroopan unionin vesipuitedirektiivin (2000/60/EY) prioriteettialueelle. Metyylielohopea vaikuttaa ensisijaisesti hermostoon ja aivoihin. Myrkytysoireita ovat tunto- ja näköhäiriöt, pahoinvointi, näkökentän kaventuminen, kuurous, puhe- ja kävelyhäiriöt. Metyylielohopea läpäisee istukan ja sikiö on erityisen herkkä yhdisteelle (Penttinen ym. 2002). WHO on suositellut metyylielohopean suurimmaksi viikottaiseksi annokseksi (PTWI, Provisional tolerable weekly intake) 1,6 µg henkilön massakiloa kohden (WHO 2005).

Teollisen tuotannon päästöt ovat viime aikoina vähentyneet merkittävästi mutta kaivosteollisuuden päästöt ovat edelleen merkittäviä. Kloorialkali-, elektroniikka-, maali- ja puu- sekä selluteollisuus ovat maailmalla elohopean suurimpia kuluttajia, vastaten 55 % koko kulutuksesta (Boening 2000). Ilmaan kohdistuvien elohopeapäästöjen on Suomessa arveltu olevan ennen 1970-lukua noin 3–10 t vuosittain (Verta ym. 1986a). Vuonna 1990 päästöt ovat olleet 1140 kg ja vuonna 1997 enää 620 kg (Mukherjee ym. 2000). Vaikka elohopeakuormitus on vähentynytkin merkittävästi, ei vähenemisen vaikutukset näy ekosysteemeissä kovin nopeasti. Elohopea sitoutuu voimakkaasti maaperään ja sedimentteihin, josta se voi mobilisoitua ja kerääntyä ravintoketjuihin. Elohopean leviäminen ilmakehässä on nostanut syrjäisten alueiden järvien pitoisuuksia yhdessä valuma-alueilla tai järvissä tapahtuneiden muutosten kanssa (Porvari ja Verta 1993).

Kalaston suurentuneiden elohopeapitoisuuksien ja eräiden alueiden väestön elohopean saannin lisääntymisen tiedostamisen johdosta on annettu ohjeita myytävän ja ravinnoksi käytettävän kalan elohopean sallituista enimmäismääristä (Penttinen ym. 2002). Elintarvikeviraston (2004) mukaan merestä tai järvestä pyydettyä haukea voi syödä 1–2 kertaa kuussa, kuitenkin raskaana oleville ja imettäville äideille ei suositella hauen syömistä elohopean takia. Nykyisin Euroopan yhteisön komission asetuksen mukaisesti on elohopeapitoisuuden enimmäismäärä hauella (*Esox lucius* L.) $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$ tuoremassassa, muilla kuin suurilla petokaloilla pitoisuusraja on $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ (asetus (EY) N:o 466/2001 tiettyjen elintarvikkeissa olevien vierasaineiden enimmäismäärien vahvistamisesta ja sen muuttamiseksi säädetyt tarkistukset (EY) N:o 78/2005 ja (EY) N:o 221/2002). Järvien veden laatuun ja hauen elohopeapitoisuuden perustuvia mallilaskelmia apuna käyttäen on 1980-luvun lopulla arvioitu, että Etelä- ja Keski-Suomessa oli noin 56 000 järven joukossa noin 3 000 järveä, joiden elohopean pitoisuus kalassa ylitti $1,0 \text{ mg/kg}$. Järviä, joiden kalojen pitoisuus vaihteli $0,5\text{--}1,0 \text{ mg kg}^{-1}$ oli 9 000 (Verta 1990a).

Noin 80–95 % ilmakehän elohopeasta on metallisessa alkuainemuodossa (Hg^0). Peruskalliossa elohopeaa esiintyy elohopeasulfidimineraalina (sinooperi, HgS). Mineraalimaissa ja anaerobisissa sedimenteissä elohopea esiintyy kahden arvoisena kationina (Hg^{2+}) sekä vedessä kahdenarvoisen kationin ja humusaineiden kompleksiyhdisteinä. Eliöissä elohopea on tavallisimmin (mono-) metyylielohopeamuodossa (MeHg , CH_3Hg). Suurin osa (yli 90 %) hauessa tavattavasta elohopeasta on metyylielohopeana, minkä on yleisesti havaittu olevan myös toksisin elohopean esiintymismuodoista (Surma-Aho ym. 1986, Porvari ja Verta 1993, Jewett ym. 2003, Porvari 2003).

Metallinen elohopea (Hg^0) voi hapettua epäorgaaniseksi kahdenarvoiseksi elohopeaksi (Hg^{2+}), etenkin orgaanisen aineksen läsnä ollessa. Kahdenarvoinen muoto voi puolestaan pelkistyä metalliseksi muodoksi, kun olosuhteet ovat sopivat pelkistysreaktioille (Porvari ja Verta 1993). Pelkistysreaktioilla voi olla suurikin merkitys elohopean globaalissa kierrossa, sillä ne voivat olla merkittäviä kaasumaisen elohopean lähteenä ilmakehään. Kahdenarvoinen muoto voi metyloitua metyylielohopeaksi tai dimetyylielohopeaksi (diMeHg , $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$). Dimetyylielohopea diffundoituu ilmakehään ja palaa sieltä ennen pitkää sateen mukana maahan tai vesiin (Verta ym. 1986a). Se voi myös hajota metyylielohopeaksi.

Metylaatio eli metyylielohopean muodostuminen voi olla joko mikrobiologinen tai abiottinen prosessi ja se on merkittävä eliöihin kertymisen kannalta. Metyylielohopea akkumuloituu akvaattisiin eliöihin monta kertaluokkaa korkeampiin pitoisuuksiin kuin mitä metyylielohopean pitoisuudet ovat vedessä tai laskeumassa (Downs ym. 1998). Monet bakteerit ja sienet voivat metyloidia kahdenarvoista elohopeaa (Hg^{2+}) (Porvari 2003). Metyylielohopean biologisesta

tuotannosta hapettomissa oloissa vastaavat pääasiassa sulfaattia pelkistävät bakteerit, bakteerit voivat myös hajottaa eli demetyloida metyylielohopeaa (CH₄:ksi tai CO₂:ksi) (Weber ym. 1998, Marvin-Dipasquale ym. 2000). Abioottista metylaatiota voi tapahtua maaperässä, sedimentissä ja vedessä mm. fotokemiallisesti ja humus- ja fulvohappojen läsnä ollessa (Weber ym. 1998).

1.2 Hauen (*Esox lucius* L.) elohopeapitoisuuteen vaikuttavat tekijät

Kalojen ja erityisesti hauen elohopeapitoisuutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä on tutkittu melko paljon Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Pohjoismaissa hauen ja muutamien muiden lajien elohopeapitoisuuksia on seurattu monin paikoin 1980 -luvulta alkaen ja kerättyjä tietoja on koottu yhteispohjoismaiseen tietokantaan (Munthe ym. 2004). Hauessa tavattujen elohopeapitoisuuksien on havaittu olevan korkeampia ekosysteemeissä, joiden kokonaiselohopeapitoisuus on suuri. Hauen elohopeapitoisuuteen on havaittu vaikuttavan laskeuma valuma-alueelle ja järven pinnalle, pidättyminen valuma-alueella, mobilisoituminen järveen, metylaatioprosessit valuma-alueella ja järvessä (Rudd 1995, Matilainen ym. 2001). Etenkin elohopean kulkeutumista järveen ja metylaatiota pidetään avainprosesseina sen päätyemiselle ravintoverkkoihin. Tutkimuksissa on todettu, että kala saa suurimman osan elohopeastaan ravinnosta (Porvari ja Verta 1993, Hall ym. 1997, Downs ym. 1998, Garcia ja Carignan 2000).

Järviekosysteemin koon on havaittu vaikuttavan negatiivisesti hauessa havaittavaan elohopeapitoisuuteen. Mitä suurempi vesimäärä järvessä on, sitä alhaisemmat ovat hauessa tavattavat elohopeapitoisuudet (Mannio 1987, Lee ym. 1998, Garcia ja Carignan 2000, Håkanson 2000, Grigal 2002).

Valuma-alueen ja järven pinta-alojen suhteen on havaittu vaikuttavan järveen tulevaan elohopeakuormaan ja edelleen kaloissa tavattaviin elohopeapitoisuuksiin siten, että mitä suurempi valuma-alueen ala on suhteessa järven alaan tai vesitilavuuteen, sitä suurempia elohopeapitoisuuksia kaloissa tavataan (Verta ym. 1986a, Mannio 1987, Garcia ja Carignan 2000, Porvari 2003) Elohopean ilmalaskeuman merkityksen kalan elohopeapitoisuuteen on havaittu kasvavan, kun valuma-alueen ja järven alan suhde kasvaa (Downs ym. 1998).

Merkittävimmäksi elohopean lähteeksi ympäristössä on esitetty ilmalaskeumaa (Meili ym. 2004). Ilmakehän elohopealaskema on laskenut päästöjen pienenemisen myötä merkittävästi vuoden 1990 tienoilla Skandinaviassa (Iverfeldt 1991, Iverfeldt ym. 1995, Munthe ym. 2001) ja lasku on nähtävissä myös ilmakehän pitoisuuksissa (Mukherjee ym. 2000). Suo-

messa on ympäristön elohopeapitoisuuksissa havaittu pienenevä gradientti etelästä pohjoiseen, syyksi on esitetty Keski-Euroopan elohopeapäästöjen laskeuman gradienttia (Verta ym. 1986a, Verta 1990a, Landers ym. 1998, Munthe ym. 2001, Munthe ym. 2004, Munthe ym. 2005).

Verta (1990) esittää, että järvien pääasiallinen elohopean lähde on valuma-alue. Valuma-alueen elohopeasta suurimman osan on arvioitu olevan peräisin antropogeenisestä eli ihmistoiminnasta peräisin olevasta ilmalaskeumasta. Valuma-alueelta vesistöön elohopean on todettu kulkeutuvan pääosin humusaineen mukana (Mannio ym. 1986, Mannio 1987, Johansson ym. 1991). Soiden ja turvemaiden on havaittu olevan kokonaiselohopean nieluja, mutta metyylielohopean lähteitä. Näin ollen soiden ja turvemaiden elohopean metylaatioprosessit ovat merkittäviä kalan elohopeapitoisuuden kannalta (Rudd 1995, St. Louis ym. 1996, Driscoll ym. 1998, Grigal 2002, Porvari 2003, Porvari ja Verta 2003).

Metsäisten valuma-alueiden, erityisesti havumetsien, on niin ikään havaittu lisäävän vesistöjen elohopeakuormaa (Verta 1986, Schwesig ja Matzner 2000, Huuskonen 2001, Sonesten 2003 b). Vaikka useissa tutkimuksissa on todettu metsäisen valuma-alueen vaikuttavan pintavesien elohopeakuormitukseen, varsin vähän tiedetään kokonaiselohopean ja metyylielohopean mobilisoitumiseen vaikuttavista tekijöistä metsämaassa (Porvari ym. 2004). Metsätaloustoimien on havaittu lisäävän metsäisten valuma-alueiden elohopeakuormaa vesistöihin (Porvari ym. 2003, Porvari ja Verta 2003, Porvari ym. 2004, Garcia ja Carignan 2005). Metsämaan kokonaiselohopea on suurelta osin orgaanisessa pintakerroksessa (Dmytriw ym. 1995, Schwesig ja Matzner 2000, Alriksson 2001, Matilainen ym. 2001) ja siten alttiina maanpinnan häiriöille ja mobilisoitumiseen vaikuttaville tekijöille.

Järvessä kalan elohopeapitoisuuden on havaittu korreloivan negatiivisesti veden pH:n ja positiivisesti orgaanisen aineksen indikaattorimuuttujien kanssa (Mannio ym. 1986, Verta ym. 1986a, Mannio 1987, Ponce ja Bloom 1991, Downs ym. 1998, Boeing 2000, Garcia ja Carignan 2000, Huuskonen 2001, Grigal 2002). Humusjärvien elohopeapitoisuuden on havaittu olevan luonnollisestikin korkea ja niiden on arvioitu olevan herkimpiä elohopeapitoisuuden nousulle tulevaisuudessa (Meili ym. 2004). Veden puskurikyvyn ja johtokyvyn (kationien ja anionien määrä vedessä) on havaittu vaikuttavan käänteisesti elohopeapitoisuuteen (Boeing 2000, Garcia ja Carignan 2000, Sonesten 2001, Sonesten 2003b)

Kalojen elohopeapitoisuuden muutokseen vaikuttavia tekijöitä on tutkittu varsin vähän. Tutkimuksissa ei ole havaittu yksiselitteistä elohopeapitoisuudessa tapahtunutta muutosta (Huuskonen 2001, Jewett ym. 2003, Fjeld ja Rognerud 2004). On arvioitu, että Suomessa

laskeuma olisi pienentynyt kahden viime vuosikymmenen (<1986–1999) aikana 20–40 % (Mannio 2001).

Laskeumana tulevan kuormituksen pieneneminen voisi vaikuttaa hauen elohopeapitoisuudessa tapahtuneeseen muutokseen. Toisaalta on mahdollista, että valuma-alueille aikojen kuluessa pidättynyttä ja vesistöihin vapautuvaa elohopeaa on niin paljon, että laskeumana tulevan kuormituksen pieneneminen ei näy kalojen elohopeapitoisuudessa.

Voidaan ajatella, että järvissä, joissa järven ala sen valuma-alueen alaan verrattuna on suuri, olisi hauen elohopeapitoisuus laskenut suhteessa vähentyneen ilmakuormituksen seurauksena. Nämä järvet ovat usein kooltaan varsin pieniä ja muutokset laskeumaperäisessä elohopeassa voisivat näkyä 20 vuoden aikajaksolla eliöstössä.

Metsävaltaisilla ja turvemaavaltaisilla valuma-alueilla ja ns. suojärvissä hauen elohopeapitoisuus on voinut nousta johtuen maassa tapahtuvasta metyylaatiosta sekä kokonaiselohopean ja metyylielohopean mobilisoitumisesta. Kun valuma-alueelle laskeumana tulevan elohopean määrä on pienentynyt, mutta esimerkiksi lisääntyneen sadannan seurauksena valuma-alueelle pidättyneen elohopean vapautuminen järveen on lisääntynyt, saattaa tämä aiheuttaa elohopeapitoisuuden nousua eliöstössä. Suurissa reittijärvissä elohopeapitoisuuden kehitys voi olla kumman suuntaista hyvänsä. Voidaan olettaa, että morfologian mukainen järvien tyypittely on yhteydessä hauen elohopeapitoisuuden muutokseen.

1.3 Tutkimuksen tavoitteet

Tämä pro gradu -tutkielma on tehty, koska kalojen, erityisesti elohopeaa keräävän petokalan, hauen, elohopeapitoisuuteen vaikuttavista tekijöistä suomalaisissa järvissä tarvitaan lisää tietoa. Erityisesti tarvitaan lisää ja entistä tarkempia tutkimustuloksia valuma-alueen ominaisuuksien vaikutuksista elohopeapitoisuuteen ja sen muutokseen. Tämän pro gradu -tutkielman tavoitteiksi asetettiin:

- arvioida hauen (*Esox lucius* L.) järviokohtaisen elohopeapitoisuuden estimoimiseen käytettyjä menetelmiä,
- selvittää järven sijaintia, morfologiaa, veden laatua ja valuma-alueen maanpeitettä kuvaavien muuttujien vaikutusta hauen elohopeapitoisuuteen sekä

- arvioida hauen elohopeapitoisuudessa vuosien 1980-1983 ja 2000-2002 välisellä kahdenkymmenen vuoden aikajaksolla mahdollisesti tapahtunutta muutosta sekä muutokseen vaikuttavia tekijöitä.

Menetelmiä vertailtaessa tavoitteena oli valita tilastollisesti paras mahdollinen regressiomalli järviokohtaisen elohopeapitoisuuden kuvaamiseen. Tavoitteena oli hyödyntää mahdollisimman paljon saatavilla olevaa tietoa tutkimusjärvistä pitoisuuteen ja sen muutokseen vaikuttavien tekijöiden selvittämisessä. Hauen elohopeapitoisuuden muutoksen arvioinnin tukena oli käytössä vedenlaatutuloksia vuosilta 1980–1983 ja 2000–2002. Valuma-alueiden maankäytössä tapahtuneita muutoksia ei ollut käytettävissä mutta merkittävien tekijöiden perusteella voitiin tehdä arvioita myös maankäytön muutosten vaikutuksista.

2. Aineisto ja menetelmät

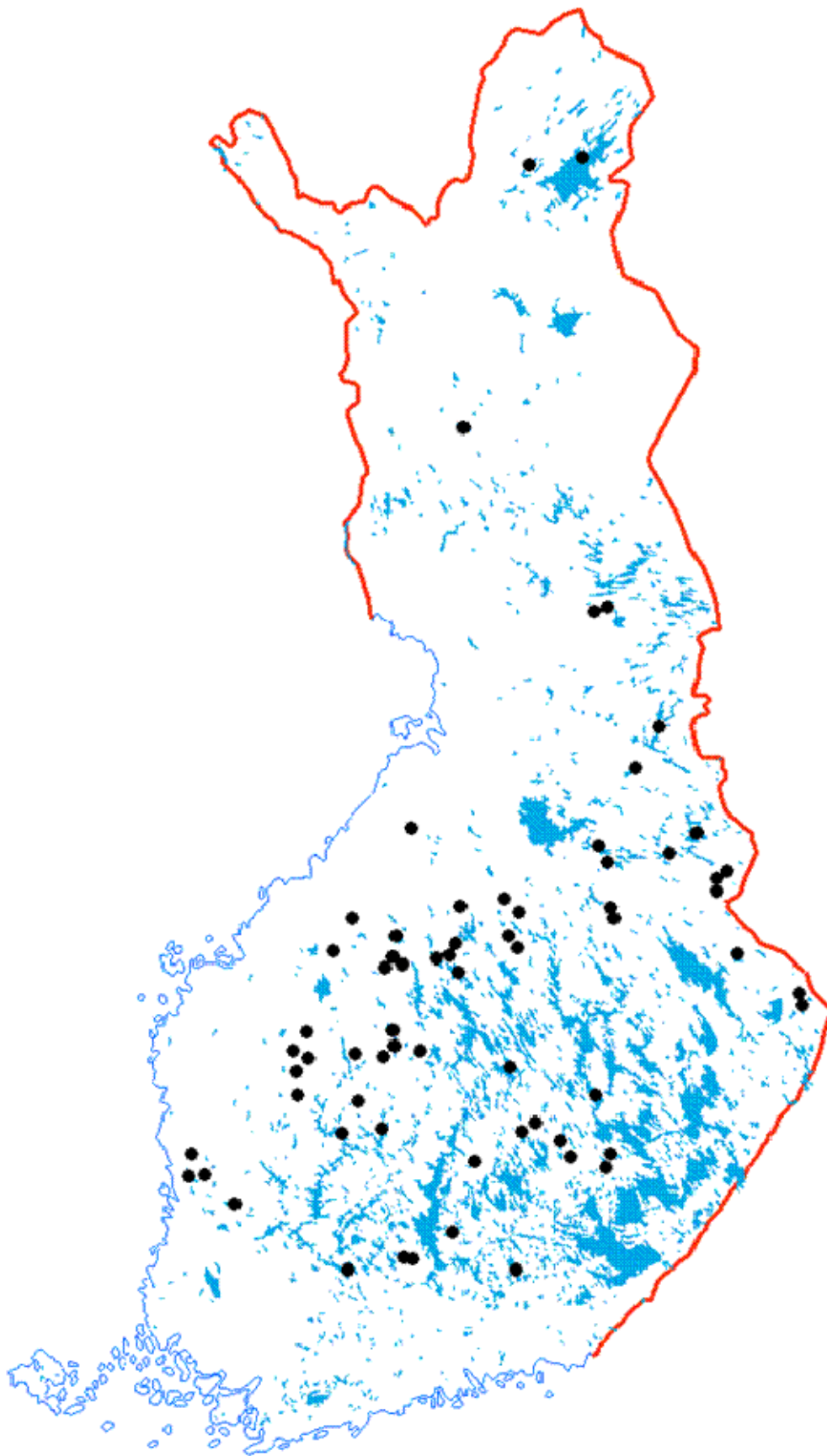
Tässä kappaleessa esitellään tässä tutkimuksessa käytetty aineisto ja sen käsittelystä sekä käytetyistä analyysimenetelmistä. Koko tutkimuksen aineistojen muokkaus ja tilastolliset analyysit on tehty SAS -ohjelmistolla (SAS Institute Inc. Version 9.1), ellei toisin ole mainittu.

2.1 Tutkimusjärvet

Tutkimukseen valittiin yhteensä 66 järveä, jotka ovat olleet mukana kalaelohopean seurannassa. Järvet ovat osa Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) "Elohopean seuranta kalastossa" -hanketta, jossa on kerätty kalanäytteitä kolmeen ryhmään jakautuvista kohteista:

- 1) pistekuormitusta aiemmin saaneet kohteet teollisuuden ja yhdyskuntien alapuolella,
- 2) maaseutu- / metsäjärvet, joihin kohdistuu vain ilmaperäistä kuormitusta tai muuta hajakuormitusta,
- 3) tekoaltaat.

Tässä tutkimuksessa käytettiin seurannassa olleita 2) -ryhmän järviä. Tutkimusjärvet jakautuivat koko Suomen alueelle etelärannikkoa lukuun ottamatta (kuva 1). Perustietoja tutkimusjärivistä koottiin taulukkoon (liite 1) ja yhteenvetotietoja taulukkoon (taulukko 1).



Kuva 1. Tutkimusjärvien sijainti.

Järvet olivat kooltaan keskimäärin 43,2 km² järvien koon mediaanin ollessa 11,1 km² ja keskihajonnan 131,0 km². Pienin tutkimusjärvi oli Valkea-Kotinen, 0,04 km² ja suurin Inarijärvi, 1040,3 km². Järven pinta-alan osuus valuma-alueen alasta vaihteli 0,3–32 %. Tilavuus- ja keskisyyvyydet olivat saatavilla kaikkiaan 46 järvelle. Pinta-alatiedot (vesiala ja valuma-alueen ala (km²)) ja rantaviivan pituus saatiin tämän tutkimuksen yhteydessä tehdyistä valuma-alueäärityksistä. Tilavuustiedot koottiin ympäristöhallinnon järvirekisteristä, Hertta - tietokannasta.

Tutkimusjärvet jaettiin silmämääräisesti kolmeen kokoluokkaan analyyseja varten, sillä erikoisilla järvillä hauen elohopeapitoisuuden määrityksen oletettiin olevan erilaista. Pieniä järviä oli 25 ja niiden pinta-ala vaihteli 0,04-5,63 km². Keskisuuria järviä oli 29 ja niiden pinta-ala vaihteli välillä 7,04-54,9 km². Suurten järvien koko vaihteli puolestaan välillä 64,5-1040 km² ja niitä oli yhteensä 12 (taulukko 1).

Taulukko 1. Tilastotietoja tutkimusjärvistä kokoluokittain ja koko aineistolla.

Pienet järvet:	N	Keskiarvo	Mediaani	Keskihajonta	Minimi	Maksimi
vesiala (km ²)	25	2,87	3,35	1,77	0,04	5,63
valuma-alueen ala (km ²)	25	124	51	145	0,35	556
järvi / valuma-alue (%)	25	7,4	3,6	9,2	0,4	32,1
rantaviivan pituus (km)	25	16,7	18,3	10,1	1,0	35,9
syvyys (m)	25	7,0	5,2	5,2	1,7	18,7
keskisyyvyys (m)	13	2,4	1,7	1,70	0,6	6,2
tilavuus (10 ⁶ m ³)	14	5,4	3,8	4,8	0,1	16,4
Keskisuuret järvet:	N	Keskiarvo	Mediaani	Keskihajonta	Minimi	Maksimi
vesiala (km ²)	29	19,68	13,41	13,33	7,04	54,87
valuma-alueen ala (km ²)	29	953	371	1511	35	7410
järvi / valuma-alue (%)	29	6,2	4,3	6,7	0,3	12,4
rantaviivan pituus (km)	29	71,7	56,6	52,3	19,9	243,2
syvyys (m)	29	17,6	16,2	16,8	1,6	74,0
keskisyyvyys (m)	22	3,9	3,7	2,7	0,7	12,4
tilavuus (10 ⁶ m ³)	22	110	56,8	161,6	6,8	695,1
Suuret järvet:	N	Keskiarvo	Mediaani	Keskihajonta	Minimi	Maksimi
vesiala (km ²)	12	184,1	99,0	272,1	64,5	1040,3
valuma-alueen ala (km ²)	12	5709	4190	4937	363	14500
järvi / valuma-alue (%)	12	4,8	4,3	4,6	0,6	17,8
rantaviivan pituus (km)	12	575	294	865	109	3278
syvyys (m)	12	47	43	24	5,7	92
keskisyyvyys (m)	10	9,1	8,0	3,5	5,8	16,3
tilavuus (10 ⁶ m ³)	10	2361	846,5	4423	504,1	14880
Kaikki järvet:	N	Keskiarvo	Mediaani	Keskihajonta	Minimi	Maksimi
vesiala (km ²)	66	43,20	11,10	131,00	0,04	1040,3
valuma-alueen ala (km ²)	66	1500	298	3040	0,35	14500
järvi / valuma-alue (%)	66	6,4	3,8	7,4	0,3	32
rantaviivan pituus (km)	66	41	41	413	1	3280
syvyys (m)	66	19	11	21	1,6	92,0
keskisyyvyys (m)	45	4,6	3,8	3,6	0,6	16
tilavuus (10 ⁶ m ³)	46	567	46,9	2200	0,103	14880

Normaalijakaumaoletus on voimassa kaikille parametrisille tilastollisille testeille. Aineiston muunnoksilla voidaan korjata aineistoa, mikäli normaalijakautuneisuuden oletukset eivät täyty. Tilastollisia analyyseja varten morfologisten muuttujien (vesiala, rantaviivan pituus, valuma-alueen ala, syvyys, keskisyvyys, tilavuus, järven ja valuma-alueen alojen suhde) jakaumat normalisoitiin logaritmuunnoksella.

2.1.1. Järviaineiston tarkastelu

Suomessa on 187 888 yli viiden aarin suuruista vedenkokoumaa eli järveä, joista noin 56 000 on pinta-alaltaan yli hehtaarin (Valtion ympäristöhallinto 2005a). Tämän työn järvistä pienin oli Valkea-Kotinen, pinta-alaltaan 4 hehtaaria ja suurin Inarijärvi, jonka ala on yli 1000 km². Inarijärvi on Suomen kolmanneksi suurin järvi. Suomen sisävesien kokonaispinta-ala on arvioitu 33 350 km², joista tässä tutkimuksessa oli mukana 2852 km². Pinta-alaltaan yli hehtaarin kokoisten järvien kokonaistilavuudeksi on arvioitu noin 235 km³. Koko Suomessa alle 1 km² pinta-alaltaan olevia järviä on yhteensä 95,3 % kaikista järvistä, tässä tutkimuksessa vastaavan kokoisia järviä oli mukana 10,6 % tutkimusjärvistä. Puolestaan pinta-alaltaan alle 100 km² järviä oli tässä tutkimuksessa mukana 90,9 % tutkimusjärvistä kun koko Suomessa saman kokoisia järviä on 99,9 % kaikista yli 1 ha:n järvistä (taulukko 2). Näin ollen tuloksia voidaan hyvin soveltaa alle 100 km²:n järviin, mutta pienten, alle neliökilometrin kokoisten järvien kohdalla tulokset eivät ole yleistettävissä koko Suomen pieniin järviin tämän tutkimuksen pienen aineiston vuoksi.

Taulukko 2. Tämän pro gradu –työn tutkimusjärvien ja koko Suomen yli 1 ha suuruisten järvien kokoja-kauma pinta-alan mukaan (* = lähdetiedot: valtion ympäristöhallinto 2005).

koko (km ²)	Tämä työ		Koko Suomi*	
	N	%	N	%
0,01-0,1	1	1,5	40309	71,9
0,1-1	6	9,1	13114	23,4
1,0-10	24	36,4	2283	4,1
10-100	29	43,9	279	0,5
100-1000	5	7,6	44	0,1
>1000	1	1,5	3	0,01
yht.	66		56032	

2.2 Vedenlaatumuuttujat

Tutkimusjärvien vedenlaatutiedot kerättiin Ympäristöhallinnon Hertta -tietokannasta. Ensimmäisessä valittiin syystäyskierron aikainen näyte jokaisesta järvestä ja molemmilta tutkimusajankohdilta, vuosilta 1980–1983 ja 2000–2002. Syystäyskierron aikaisen näytteen puuttues-

sa pyrittiin valitsemaan talvikerrostuneisuuden aikainen näyte (Mannio 1987). Näytteitä valittaessa kiinnitettiin huomiota myös näytepaikkaan ja analyysien kattavuuteen. Ensisijaisesti valittiin syvänehavaintoja ja näytteitä, joissa analyyseja oli tehty eniten. Analyysitulokset kerättiin pääosin 1 m:n syvyyden tuloksista. Tulokset koottiin taulukkoon (taulukko 3). Poimitut vesinäytteet määritysmenetelmineen koottiin erilliseen taulukkoon (liite 2). Vedenlaatu muuttujien esikäsittelyissä ja määritysmenetelmissä esiintyi vaihtelua, mutta vaihtelun vaikutuksia ei tässä tutkimuksessa huomioitu.

Normaalijakaumaoletuksen täyttymiseksi tilastollisia analyyseja varten vuosien 2000–2002 vedenlaatuaineistossa sameuden, johtokyvyn, alkaliniteetin, värin, kokonaistypen, kokonaisfosforin, kemiallisen hapenkulutuksen (KHK), orgaanisen kokonaishiilen (TOC), raudan, kloorin, mangaanin, alumiinin, kaliumin, kalsiumin, magnesiumin, natriumin, sulfaatin ja piidioksidin jakaumat normalisoitiin logaritmuunnoksella. Liukoisen hapen ja hapen kyllästysprosentin, pH:n, elohopean ja seleenin jakaumat eivät vaatineet muunnoksia ollakseen normaalisia.

Vuosien 1980-1983 aineistossa puolestaan sameuden, johtokyvyn, alkaliniteetin kokonaisfosforin, kloorin, mangaanin, natriumin, sulfaatin ja piidioksidin jakaumat normalisoitiin logaritmuunnoksella, muiden muuttujien jakaumat eivät vaatineet muunnoksia.

2.2.1 Vedenlaatuaineiston tarkastelu

Tässä tutkimuksessa käytettiin vedenlaatutietojen keräämiseen ympäristöhallinnon Hertta -tietokantaa. Kullekin tutkimusjärvelle poimittiin paras mahdollinen vesinäyte molemmille tutkimusajankohdille (vuodet 1980–1983 ja 2000–2002). Tutkimusajankohtien välillä esiintyi eroja tehtyjen analyysien määrässä ja joitakin vedenlaatu muuttujien analyyseja ei oltu tehty lainkaan toisena ajankohtana, mutta toisena tuloksia oli puolestaan lähes kaikilta tutkimusjärveltä. Veden laadun vaikutusta hauen elohopeapitoisuuteen pyrittiin tarkastelemaan mahdollisimman monipuolisesti ja näin ollen analyyseihin otettiin kaikki saatavilla oleva tieto.

Tutkimuksessa hyödynnettiin huomattavasti vuosilta 2000–2002 poimitun vesinäytteen tietoja. Oikeiden näytteiden valinta oli haasteellista, sillä yksittäisen vesinäytteen tuli edustaa järven veden laatua kunakin tutkimusajankohtana. Vesinäytteiden valinnan tavoitteena oli kerätä syystäyskierron aikaisia näytteitä. Suurin osa (56 / 66) poimituista vuosien 2000–2002 näytteistä saatiin syystäyskierron ajalta. Talvikerrostuneisuuden näytteitä oli viideltä järveltä ja kesäkerrostuneisuuden ajan näytteitä viideltä järveltä. Vuosien 1980–1983 näytteistä syystäyskierron näytteitä saatiin 41 järveltä, talvikerrostuneisuuden näytteitä 23 ja kesäkerrostuneisuuden näytteitä 2 järveltä. Muutamilla järvilla (yht. 11) monipuolista ja edustavaa vesinäytettä vuosilta 2000–2002 ei ollut saatavilla ja näin ollen vedenlaatutiedot jäivät puutteelli-

siksi seuraavilla järvillä (Pankajärvi, Jonkeri, Näläntöjärvi, Hakojärvi, Valkjärvi, Siikaisjärvi, Karhijärvi, Piipsjärvi, Hoikkajärvi, Kälkänen ja Saunajärvi). Puuttuvat tiedot vaikeuttavat tilastollisia analyyseja ja heikentävät niiden luotettavuutta.

Taulukko 3. Vedenlaatuomuttajien tunnuslukuja tutkimusjärvien vedenlaatuaineistoissa vuosina 2000–2002 sekä 1980–1983.

Vuodet 2000–2002	N	Keskiarvo	Keskihajonta	Minimi	Maksimi
hapen liukoisuus (%)	65	10,6	1,6	5,9	14,4
hapen kyllästys (mg l ⁻¹)	65	84,9	9,6	41	102
sameus (FNU)	63	2,6	3,0	0,3	16
johtokyky (mS m ⁻¹)	63	4,0	2,2	1,5	13,1
pH	64	6,7	0,4	5,5	7,5
alkaliniteetti (mmol l ⁻¹)	63	0,156	0,111	0,023	0,570
väri (mg l ⁻¹ Pt)	63	101	76	8	360
kokN (µg l ⁻¹),	65	544	259	170	1500
kokP (µg l ⁻¹),	65	25	18	4	93
KHK (mg l ⁻¹)	62	14,0	7,7	2,6	47
TOC (mg l ⁻¹)	52	11,8	5,1	2,7	29
Fe (µg l ⁻¹),	63	997	998	10	5000
Cl (mg l ⁻¹)	54	1,9	1,3	0,5	7,2
Mn (mg l ⁻¹)	56	89	123	5,0	580
Al (µg l ⁻¹),	53	150	129	6,0	592
K (mg l ⁻¹)	54	1,0	0,6	0,3	3,2
Ca (mg l ⁻¹)	54	3,5	2,1	1,1	12
Mg (mg l ⁻¹)	54	1,3	0,7	0,4	4,7
Na (mg l ⁻¹)	54	1,9	1,0	0,9	6,8
SO ₄ (mg l ⁻¹)	53	3,9	3,0	1,0	19
SiO ₂ (mg l ⁻¹)	54	3,2	2,5	0,3	16
Hg (µg l ⁻¹),	30	0,005	0,002	0,001	0,012
Se (µg l ⁻¹),	32	0,18	0,04	0,06	0,20
Vuodet 1980–1983	N	Keskiarvo	Keskihajonta	Minimi	Maksimi
hapen liukoisuus (%)	65	10,4	1,8	1,5	12,8
hapen kyllästys (mg l ⁻¹)	65	83	14	11	98
sameus (FNU)	45	1,9	2,2	0,17	11,1
kiintoaine	37	5,4	5,4	0,2	25
johtokyky (mS m ⁻¹)	65	4,3	2,6	1,7	16,6
pH	66	6,5	0,45	5,4	7,4
alkaliniteetti (mmol l ⁻¹)	55	0,109	0,069	0,010	0,400
väri (mg l ⁻¹ Pt)	66	111	75	5	320
kokN (µg l ⁻¹),	66	565	238	110	1340
kokP (µg l ⁻¹),	66	29	23	2	100
KHK (mg l ⁻¹)	65	15,1	7,6	2,3	44,0
TOC (mg l ⁻¹)	8	9	4,1	4,0	16
Fe (µg l ⁻¹),	62	996	881	5	4110
Cl (mg l ⁻¹)	26	2,6	1,7	0,8	8,6
Mn (mg l ⁻¹)	39	53	58	0	280
Al (µg l ⁻¹),	1	120	.	120	120
K (mg l ⁻¹)	9	0,83	0,58	0,10	1,9
Ca (mg l ⁻¹)	9	3,2	1,2	1,0	5,4
Mg (mg l ⁻¹)	10	1,2	0,5	0,5	2,4
Na (mg l ⁻¹)	11	3,6	6,1	1,0	22
SO ₄ (mg l ⁻¹)	5	8,0	6,6	3,4	19
SiO ₂ (mg l ⁻¹)	9	4,6	1,8	2,4	7,3
Hg (µg l ⁻¹),	2	<0,01	0	<0,01	<0,01

Eri vuodenaikoina otetuissa näytteissä saattaa esiintyä huomattavaakin vaihtelua monilla vedenlaatumuuttujilla biologisten olosuhteiden tai hydrologisten vaihtelujen vuoksi. Esimerkiksi keväällä lumensulamisen aikaan otetussa vesinäytteessä voi olla huomattavan korkeita liuenneiden aineiden pitoisuuksia ja orgaanisen aineen indikaattorien pitoisuudet voivat vaihdella paljon valumavesien virtaaman mukaan. Pienissä järvissä myös veden pH voi pudota selvästi happamien sulamisvesien vaikutuksesta. Muuten veden pH ei merkittävästi vaihtelee vuodenaikojen mukaan, ellei kyseessä ole erityisen rehevä järvi, jossa kesäkerrostuneisuuden aikaan korkea perustuotannon taso voi nostaa veden pH-arvoa. Syystäyskierron näytteissä ei saada esille järvessä mahdollisesti vuoden aikana tavattavia happiongelmiä, joilla voi olla erittäin paljon merkitystä mm. elohopean metylaation ja sen biosaatavuuden kannalta.

Hauen elohopeapitoisuuden muutoksen arvioinnin tukena oli tarkoitus käyttää hyväksi veden laadussa tapahtunutta muutosta. Veden laadussa tapahtuneen muutoksen arviointi todettiin kuitenkin yksittäisten vesinäytteiden perusteella varsin epätarkaksi. Epätarkkuus muutoksen arvioinnissa johtui useista tekijöistä. Yksittäiseen vesinäytteeseen perustuvat analyysitulokset voivat olla epätarkkoja, etenkin kun eri ajankohtien vesinäytteet voivat olla eri vuodenaajoilta. Lisäksi monilla vedenlaatumuuttujilla määrittymenetelmät olivat muuttuneet ajankohdan välisenä aikana. Monissa tapauksissa vanhemman näytteen tiedoista puuttui määrittymenetelmä kokonaan. Menetelmät olivat vaihtelevia jopa saman ajankohdan näytteissä eri tutkimusjärvissä (mm. alkaliniteetti-, rauta- ja mangaaninäytteiden tapauksissa). Määrittymenetelmän erilaisuus voi vaikuttaa huomattavasti saatuun tulokseen.

Erot vedenlaatumuuttujien määrittymenetelmissä ja vain yhden näytekerran huomioiminen voivat vaikuttaa huomattavastikin saatuun tulokseen. Jotta veden laadun muuttumisen vaikutus hauen elohopeapitoisuudessa tapahtuneeseen muutokseen voitaisi huomioida mahdollisimman hyvin, tulisi analyysimenetelmien mahdollisia eroja tarkastella. Lisäksi tulisi tehdä kullekin vedenlaatumuuttujalle estimaatti esimerkiksi usean näytteen havaintotulosten perusteella yhden havainnon sijaan. Useiden vesinäytteiden huomioiminen vedenlaatatietoja koottaessa vähentäisi todennäköisesti myös puuttuvien tietojen määrää.

2.3 Valuma-alueet

Tutkimusjärvien valuma-alueet rajattiin ESRI ArcView9 -paikkatieto-ohjelman ja spatial analyysilaajennusosan avulla. Apuna käytettiin ympäristöhallinnon paikkatietokantoja (vesistöaluerajat) ja peruskarttoja sekä Suomen vesistöalueet -teosta (Ekholm 1993). Osa valuma-

alueiden rajoista rajattiin käsin ja silloin käytettiin peruskarttaa sekä näytön mittakaavaa 1:24 000. Mukaan otettiin kaikki luusuan yläpuoliset vesistöalueet. Ennen analyyseja valuma-alueista poistettiin vielä itse tutkimusjärvi, jotta saataisiin yläpuolisen valuma-alueen pinta-ala ja yläpuolisten vesistöjen pinta-ala ja niiden osuus valuma-alueesta yksiselitteisesti.

Valuma-alueiden maankäytön ja maanpeitteen määrittämistä varten rasterimuotoinen maankäyttöaineisto muutettiin vektorimuotoon. Varsinainen maankäyttöanalyysi tehtiin ArcView -ohjelman Clip -toiminnolla. Clip -toimintoa hyväksikäyttäen maankäyttöä kuvaavasta karttasasta leikattiin valuma-alueen maankäyttö. Leikattu vektoritaso muutettiin rasterimuotoiseksi (pikselikoko 25 m) valuma-alueen ominaisuuksien pinta-alojen laskemista varten.

Valuma-alueiden maankäyttö ja maanpeite määritettiin CORINE Land Cover 2000 (CLC2000) -maankäyttö/maanpeiteaineiston mukaisesti luokkiin. Aineisto kuvaa koko Suomen maankäyttöä ja maanpeitettä vuonna 2000. Suomen CLC2000 -aineisto koostuu satelliittikuvamosaiikista (IMAGE2000) ja rasterimuotoisesta paikkatietokannasta (erotuskyky 25 * 25 m). Aineisto on tuotettu Suomen ympäristökeskuksessa ja osana eurooppalaista CORINE2000 -hanketta. EU:n CLC2000 -aineistoissa maankäyttöä ja maanpeitettä kuvataan kolmitasoisella hierarkkisella luokittelulla. Viisi pääluokkaa, joita ovat rakennetut alueet; maatalousalueet; metsät sekä avoimet kankaat ja kalliomaat; kosteikot ja avoimet suot sekä vesialueet, jaetaan toisella tasolla yhteensä 15 alaluokkaan. Kolmannella luokittelutasolla pääluokat jaetaan yhteensä 44 alaluokkaan. CORINE -maankäyttöluokat on esitetty liitteessä (liite 3). Euroopan tason kaikkia maankäyttö/maanpeiteluokkia ei esiinny Suomessa. Tutkimusjärvien valuma-alueilla esiintyi kaikkiaan 39 eri maankäyttöluokkaa.

Kaikkiaan 9 järven valuma-alue ulottui Suomen rajojen ulkopuolelle. Itärajan takaa olevilta alueilta ei saatu CORINE -luokituksen mukaisia maankäyttötietoja. Rajantakaisen maankäytön arvioinnissa käytettiin aineistoa, joka on tuotettu EU:n 4. puiteohjelmaan kuuluneessa Balans -projektissa. Balans -projektissa tuotettiin Itämeren valuma-alueen kattava maanpeitekartta. Aineiston tuotannossa on käytetty apuna ns. keskiresoluution satelliittikuvia ja olemassa olevia maanpeitetietoja. Aineiston erotuskyky on CORINE -aineistoa huomattavasti karkeampi (150 * 150 m). Aineistossa maanpeitettä on kuvattu 14 eri luokalla, joista tutkimusalueilla esiintyi kahdeksan (rakennetut alueet, avomaa, maatalousmaa, muu kasvipeitteinen avomaa, havumetsä, lehtimetsä, avosuot ja vesi).

Analyysin tuloksena saatuja maankäyttöluokkia yhdisteltiin (taulukko 4). Yhdistelemällä pyrittiin pääsemään eroon useista pienistä elohopean kierron kannalta merkityksettömistä luokista. Yhdisteltyjä luokkia käytettiin analyyseissa. Elohopean kierron kannalta merkittäväksi oletettuja luokkia säilytettiin entisellään. Eri metsätyyppisiä (havu-, seka- ja lehtimetsät sekä

harvapuustoiset alueet) sekä eri maatyyppejä (kivennäis-, turve- ja kalliomaata) yhdisteltiin myös uusiksi summamuuttujiksi, joita käytettiin yksittäisten maankäyttömuuttujien rinnalla.

Taulukko 4. Maankäyttöluokkien yhdistellyt luokat

yhdistelty luokka	aiempi CLC2000 -luokka, cc. = latvuspeitto, v = Balans -luokka
rakennettu	tiivisti rakennetut asuinalueet, väljästi rakennetut asuinalueet, teollisuuden ja palveluiden alueet, liikennealueet, lentokenttäalueet, kaatopaikat, rakennustyöalueet, kesämökit, urheilu- ja vapaa-ajan toiminta -alueet, rakennetut alueet (v)
viljelty	taajamien viheralueet ja puistot, pellot, hedelmäpuu- ja marjapensasviljelmät, laidunmaat, pienipiirteinen maatalousmosaiikki, maatalousmaa (v)
havumetsät kivennäismaalla	havumetsät kivennäismaalla
lehtimetsät kivennäismaalla	lehtimetsät kivennäismaalla
sekametsät kivennäismaalla	sekametsät kivennäismaalla
harvapuustoiset alueet kivennäismaalla	harvapuustoiset alueet, cc 10-30%, kivennäismaalla
turvemaata, havu	havumetsät turvemaalla
lehtimetsät turvemaalla	lehtimetsät turvemaalla
sekametsät turvemaalla	sekametsät turvemaalla
harvapuustoiset alueet turvemaalla	harvapuustoiset alueet, cc 10-30%, turvemaalla
havumetsät kalliomaalla	havumetsät kalliomaalla
sekametsät kalliomaalla	sekametsät kalliomaalla
harvapuustoiset alueet kalliomaalla	harvapuustoiset alueet, cc 10-30%, kalliomaalla
harvapuustoiset alueet	maa-aineisten ottoalueet, luonnonniityt, varvikot ja nummet, harvapuustoiset alueet cc < 10%, harvapuustoiset alueet tunturissa, harvapuustoiset alueet sähkölinjan alla, rantahietikot ja dyynialueet, kalliomaat, niukkakasvustoiset kangasmaat, avomaa (v), muu kasvipeitteinen avomaa (v)
avosuot	avosuot, avosuot (v)
turvetuotanto	turvetuotantoalueet
kosteikot	sisämaan kosteikot maalla, sisämaan kosteikot vedessä
vesi	joet, järvet, vesi (v)
muu havumetsä	havumetsä (v)
muu lehtimetsä	lehtimetsä (v)
muu	tuntematon

Yhdisteltyjen luokkien tilastollisia tunnuslukuja koottiin taulukoksi (taulukko 5). Järvikohtaiset tiedot yhdisteltyjen maankäyttöluokkien prosentuaalisista osuuksista valuma-alueella koottiin taulukoksi (liite 4). Inarijärven valuma-alueesta osa (0,14 %) jäi molempien aineistojen kattaman alueen ulkopuolelle, ja tämä alue merkittiin maankäytöltään tuntemattomaksi.

Taulukko 5. Yhdisteltyjen maankäyttöluokamuuttujien tunnuslukuja aineistossa (%).

Yhdistelty maankäyttöluokka	N	Keskiarvo	Keskihajonta	Minimi	Maksimi
rakennettu	66	2,3	2,3	0,0	13,7
viljelty	66	5,7	5,5	0,0	25,1
havumetsät kivennäismaalla	66	24,0	8,9	6,4	68,4
lehtimetsät kivennäismaalla	66	2,9	3,5	0,0	21,8
sekametsät kivennäismaalla	66	13,2	4,9	1,6	35,1
harvapuustoiset alueet kivennäismaalla	66	4,5	2,1	0,4	14,9
havumetsät turvemaalla	66	8,1	5,3	0,1	35,7
lehtimetsät turvemaalla	66	1,3	1,0	0,0	5,2
sekametsät turvemaalla	66	7,7	4,8	0,9	28,9
harvapuustoiset alueet turvemaalla	66	5,1	2,9	0,0	11,2
havumetsät kalliomaalla	66	0,6	1,2	0,0	9,0
sekametsät kalliomaalla	66	0,1	0,1	0,0	0,4
harvapuustoiset alueet kalliomaalla	66	0,1	0,2	0,0	0,7
harvapuustoiset alueet	66	9,5	3,5	0,6	19,9
avosuot	66	7,4	6,3	0,6	28,8
turvetuotanto	66	0,8	1,3	0,0	5,9
kosteikot	66	0,3	0,5	0,0	4,0
vesi	66	5,3	4,4	0,1	19,2
muu havumetsä	66	1,4	8,1	0,0	65,1
muu lehtimetsä	66	0,01	0,1	0,0	1,2
havumetsät yhteensä	66	34,1	12,9	14,0	84,0
lehtimetsät yhteensä	66	4,2	3,8	0,0	23,4
sekametsät yhteensä	66	20,9	6,9	2,7	42,1
harvapuustoiset alueet yhteensä	66	19,1	6,1	3,7	39,8
kivennäismaat yhteensä	66	44,6	10,1	9,3	78,5
turvemaat yhteensä	66	30,3	12,0	8,4	54,7
kalliomaat yhteensä	66	0,8	1,3	0,0	9,7

Tilastollisia analyyssejä varten harvapuustoiset alueet, harvapuustoiset alueet turvemaalla, havumetsät yhteensä, sekametsät yhteensä, harvapuustoiset alueet yhteensä, kivennäismaat yhteensä ja turvemaat yhteensä -maankäyttöluokkien jakaumat säilytettiin ennallaan. Muille luokille tehtiin logaritimuunnos jakauman normalisoimiseksi.

2.3.1 Valuma-alueaineiston tarkastelu

Maaperä jakaantuu eri muodostumatyyppeihin. Suomen maaperä 1:1 000 000 kartan numerisesta versiosta on laskettu eri maalajikerrostumien pinta-alat ja prosenttiosuudet maasta. Lähes puolet (48,2 %) Suomen maapinta-alasta on pohjamoreenia (Jauni 2004). Kivennäismaiden osuus tämän tutkimuksen valuma-alueilla vaihteli 25,5 %:sta Räyriinjärven valuma-alueella 78,5 %:iin Valkea-Kotisen valuma-alueella. Kivennäismaita oli valuma-alueilla keskimäärin 44,6 %, (ilman Pankajärveä 45,1 %). Pankajärven valuma-alueella kivennäismaiden osuuden havaittiin olevan ainoastaan 9,3 %, mutta sen valuma-alue sijaitsee suurelta osin Venäjän puolella. Balans -maankäyttöluokituksessa ei ollut tietoa maatyypistä ja todellisuudessa kivennäismaiden osuus Pankajärven valuma-alueella on todennäköisesti

huomattavasti suurempi. Kivennäismaiden keskimääräinen osuus tutkimusjärvien valuma-alueilla oli lähes yhtä suuri kuin koko Suomen maaperän kivennäismaiden osuus.

Suot (8,9 milj. ha) peittävät 34 % Suomen metsätalousmaasta, ja niiden osuus on suurin Pohjois-Suomessa. Pohjois-Pohjanmaa on suhteellisesti mitattuna kaikkein soisin alue, ja siellä soita on yli puolet metsätalousmaan pinta-alasta (Metsäntutkimuslaitos 2004). Turvemaiden osuus tämän tutkimuksen valuma-alueilla oli pienimmillään 8,4 % Nuoramaisjärven valuma-alueella ja suurimmillaan 54,7 % Poikapään valuma-alueella. Turvemaita oli tämän tutkimuksen tutkimusjärvien valuma-alueilla keskimäärin 30,3 %, mikä vastaa hyvin Suomen metsätalousmaidensoiden osuutta. Avosuot laskettiin tässä tutkimuksessa kuuluvaksi turvemaihin. Avosoiden osuus valuma-alueista vaihteli 0,6 % Kolkonjärven valuma-alueella 28,8 %:iin Salamajärven valuma-alueella. Avosoiita oli valuma-alueilla keskimäärin 7,4 %.

Kalliomaita oli enimmillään 9,7 % Valkjärven valuma-alueella ja toiseksi eniten 2,95 % Karhijärven valuma-alueella. Kaikkiaan neljällä valuma-alueella (Valkea-Kotinen, Mutusjärvi, Räyringinjärvi ja Suuri Petäjäjärvi) kalliomaita ei ollut lainkaan. Keskimäärin kalliomaiden osuus oli 0,75 % ja ilman Valkjärveä 0,62 % valuma-alueesta. Kalliomaiden osuus oli tässä tutkimuksessa siis varsin pieni koko Suomen kalliomaiden osuuteen (13,4 %, Jauni 2004) verrattuna.

Suomessa on metsätalousmaata 26,3 milj. ha, mikä on 86 % koko maan pinta-alasta (30,5 milj. ha). Metsätalousmaa jaotellaan puuntuotoskykynsä perusteella metsämaahan (20,3 milj. ha), kitumaahan (2,8 milj. ha) ja lähes tai täysin puuttomaan joutomaahan (3,0 milj. ha) (Metsäntutkimuslaitos 2004). Tässä tutkimuksessa vastaavaksi metsätalousmaaksi laskettiin havumetsät, lehtimetsät, sekametsät, harvapuustoiset alueet ja avosuot yhteensä, joita oli valuma-alueilla keskimäärin 85,8 %. Suurin metsätalousmaaksi laskettava osuus valuma-alueesta havaittiin Valkea-Kotisen valuma-alueella 99,8 % ja pienin Räyringinjärven valuma-alueella 49,3 %. Metsätalousmaan osuus oli siis tutkimusjärvien valuma-alueilla keskimäärin sama kuin koko Suomessa.

Havumetsien osuus oli tässä tutkimuksessa pienimmillään 14,0 % Räyringinjärven valuma-alueella ja suurimmillaan 84,0 % Valkea-Kotisen pienellä valuma-alueella. Keskimäärin havumetsiä oli valuma-alueilla 34,1 %. Lehtimetsiä ei ollut lainkaan Valkea-Kotisen valuma-alueella ja pienin havaittu osuus oli 0,2 % Suuren Petäjäjärven valuma-alueella. Enimmillään lehtimetsiä oli 23,4 % Mutusjärven valuma-alueella ja keskimäärin 4,2 %. Sekametsien osuus valuma-alueilla vaihteli 8,8 %:sta Valkjärven valuma-alueella 42,1 %:iin Hakojärven valuma-alueella, keskimääräisen osuuden ollessa 20,9 %. Harvapuustoisia alueita oli vähiten 3,7 % Valkea-Kotisen valuma-alueella ja eniten 39,9 % Hoikkajärven valuma-alueella. Kes-

kimäärin harvapuustoisten alueiden osuus oli 19,1 %. Suomi kuuluu kasvimaantieteellisesti lähes kokonaan pohjoiseen havumetsävyöhykkeeseen. Metsämaasta 65 % on mäntyvaltaista, 24 % kuusivaltaista ja 9 % koivuvaltaista. (Metsäntutkimuslaitos 2004). Metsätyyppien vertailu koko Suomen metsätyyppeihin on hankalaa tilastoinnin erilaisuuden vuoksi, mutta tutkimusjärvien valuma-alueiden metsien voidaan sanoa vastaavan melko hyvin keskimääräistä suomalaista talousmetsää. Valuma-alueiden maanpeitteen jakautumisen eri metsä- ja maatyyppeihin tässä tutkimuksessa voidaan sanoa vastaavan melko hyvin keskimääräistä suomalaista valuma-aluetta.

Järvikohtaiset valuma-alueanalyysit olivat varsin työläitä ja vaativat käytetyltä tietokoneelta suurta tehokkuutta. Tämän työn yhteydessä tuotettiin uutta, entistä tarkempaa ja monipuolisempaa järvikohtaista tietoa olemassa olevista aineistoista. Maankäyttöaineiston erotuskyky tässä tutkimuksessa (25 * 25 m) oli aiempiin tutkimuksiin (Verta ym. 1986a, Sonesten 2001, 2003b) verrattuna merkittävästi tarkempi. CORINE -maankäyttö / maanpeiteaineisto on erittäin monipuolinen ja soveltui hyvin tämän työn tarpeisiin.

2.4 Kala-aineisto

Tässä tutkimuksessa käytettiin Suomen ympäristökeskuksessa ja sen edeltäjälaitoksissa toteutetussa kalaelohopean seurannassa kerätyjä tietoja hauista vuosilta 1980–1983 ja 2000–2002. Tutkimukseen valittiin tutkimusjärvistä yksilöt, joiden massa oli välillä 400–2600 g. Eri ajankohtina pyyntimäärät vaihtelivat ja sopivan kokoisia kaloja oli 7–55 yksilöä järveä kohden. Hauet pyydettiin paikallisten kalastajien toimesta pääosin toukokuun aikana vuosina 1980–1983 ja 2000–2002. Kustakin yksilöstä mitattiin pituus ja paino sekä otettiin kaksi kappaletta lihasnäytteitä selkäevän alapuolelta kokonaiselohopean määrittystä varten. Tämän jälkeen näytteet pakastettiin analyysia varten.

2.4.1 Elohopean analyysimenetelmät

Elohopean analyysimenetelmät ovat muuttuneet ja kehittyneet melko lailla vuosien 1980 ja 2000 välillä. Menetelmä on muuttunut tuona aikana myös kalan lihasnäytteiden elohopeapitoisuuden analysoinnissa. Vuosina 1980–1983 (ikäryhmä 1) haukiaineiston seurannassa mittaukset on tehty pääosin Jyväskylän yliopiston kemian laitoksella (398 analyysia) ja ympäristöhallinnon laboratoriossa (205 analyysia). Näiden lisäksi yksittäisiä mittauksia on tehty mm. kansanterveyslaitoksella ja VTT:n elintarvikelaboratoriossa.

Jyväskylän yliopiston määrittelyssä on käytetty sovellettua menetelmää, jossa näyte on uutettu emäksellä (NaOH). Varsinainen analyysi on tehty Perkin Elmer Coleman MAS-50 elohopea-analysaattorilla. Jyväskylän menetelmän etuna on mm. se, että siinä saadaan eroteltua orgaaninen ja epäorgaaninen elohopea (Surma-Aho ym. 1986).

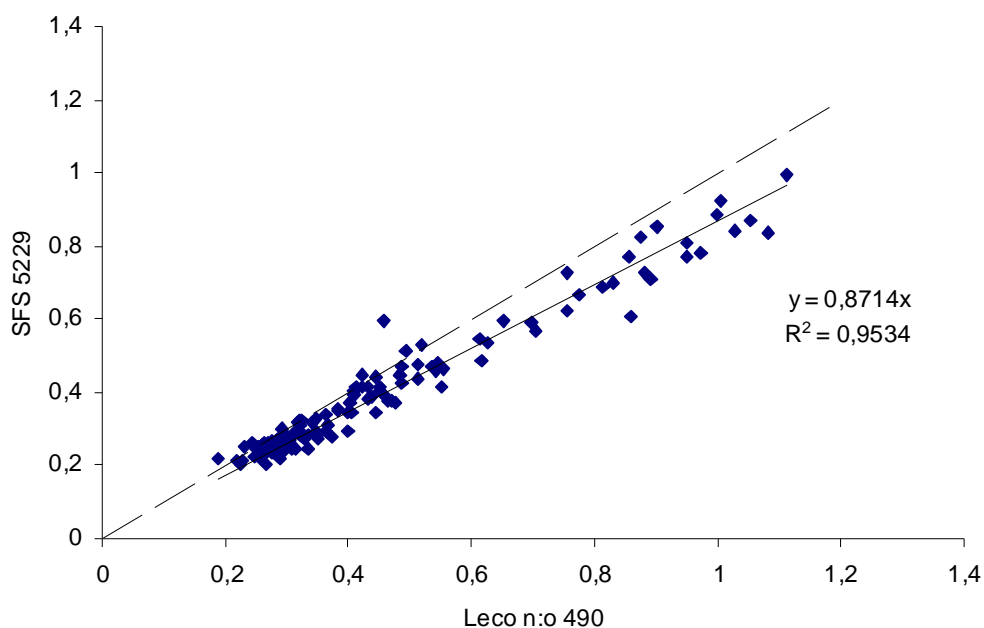
Ympäristöhallinnon laboratorio on käyttänyt standardin SFS 5229 mukaisissa määrittelyissä typpihappouutta (HNO_3). Standardin mukaisessa määrittelyssä elohopea määritetään liekittömällä niin sanotulla kylmähöyryatomiabsorptiolla. Märkäpoltolla saadusta liuksesta elohopea hapetetaan kaliumpermanganaatilla Hg^{2+} -ioniksi ja pelkistetään sitten tina(II)kloridilla metalliseksi elohopeaksi. Liuoksen läpi johdettu ilma kuljettaa atomimuodossa olevan elohopeahöyryn absorptiokyvetin läpi ja elohopean absorbanssi mitataan aallonpituudella 253,7 nm.

Surma-Aho ym. (1986) vertailivat tutkimuksensa yhteydessä Jyväskylän yliopiston kemian laitoksen laboratorion menetelmää ja ympäristöhallinnon käyttämää menetelmää ja havaitsivat, että happouutolla saadaan tilastollisesti merkitsevästi korkeampia pitoisuuksia kuin emäsuutolla ($R = 0,945$, t-testin $p < 0,001$). Vertailussa käytettiin kuitenkin paljon korkeita pitoisuuksia (yli 1 mg kg^{-1}) ja erot menetelmissä olivat sitä suurempia, mitä suurempi oli tutkitun näytteen elohopeapitoisuus. Alle 1 mg kg^{-1} pitoisuuksissa ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä (t-testin $p = 0,157$). Tässä tutkimuksessa havaitut pitoisuudet olivat pääosin alhaisia, joten menetelmien eroja ei huomioitu.

Vuosina 2000–2002 (ikäryhmä 2) elohopeamittaukset on tehty Länsi-Suomen ympäristökeskuksen laboratoriossa Kokkolassa automaattisella analysaattorilla (Leco AMA-254, johon on liitetty näytteensyöttäjä (ASS-254), tietokone ja tulostin) menetelmäohjeen n:o 490 mukaisesti (Länsi-Suomen ympäristökeskus 2005). Menetelmässä tunnettu näytemäärä syötetään automaattisesti analysaattoriin, jossa se kuivataan ja poltetaan hapen kanssa $650 \text{ }^\circ\text{C}$:ssa. Poltossa vapautunut elohopea kulkee katalysaattorin läpi kulta-amalgaamitrappiin, josta se kuumennuksella ($900\text{--}1000 \text{ }^\circ\text{C}$) vapautetaan mitattavaksi atomiabsorptiomenetelmällä. Mittauksessa elohopeahöyry kulkee mittauskyvettien läpi absorboiden valoa aallonpituudella 253,65 nm.

Uuden menetelmän luotettavuutta arvioidaan Länsi-Suomen ympäristökeskuksen laboratoriossa säännöllisesti referenssimateriaaleilla. Referenssimateriaaleina kalan kudoksen elohopeapitoisuuden määrittelyssä on käytetty DORM 2:a (Dogfish Muscle and Liver, pienen hain lihas ja maksa, elohopeapitoisuus $4,64 \pm 0,26 \text{ mg kg}^{-1}$) ja BCR 422:a (Cod Muscle (lyophilised), turskan lihas, elohopeapitoisuus $0,559 \pm 10 \%$).

Länsi-Suomen ympäristökeskuksen vuosina 2000–2002 ja ympäristöhallinnon laboratorion vuosina 1980–1983 käyttämiä menetelmiä on verrattu rinnakkaisin analyyssein. Rinnakkais-analyysien tulosten perusteella standardin SFS 5229 antamat tulokset näyttivät olevan noin 87 % uuden menetelmän antamista tuloksista (kuva 2). Vanha menetelmä antoi siis alhaisempia pitoisuuksia, kuin uusi käyttöön otettu menetelmä. Syyksi eroon on arvioitu uuden menetelmän kokonaiselohopean pienempää hävikkiä, jolloin saadaan korkeampi ja tarkempi pitoisuus kuin vanhemmalla märkäpolttomenetelmällä. Suoraa vertailua Jyväskylän yliopiston kemian laitoksen laboratorion vuosina 1980–1983 käyttämän vanhan menetelmän ja uuden käyttöön otetun menetelmän välillä ei ole tehty.



Kuva 2. Elohopean analyysimenetelmien vertailu, N = 118. (SFS 5229 ikäryhmän 1 analyyseissä käytetty menetelmä, Leco n:o 490 ikäryhmän 2 analyyseissä käytetty menetelmä, - - - yhtenäisten mittaustulosten tavoite, — havaintopisteiden regressiosuora)

Vertailun jälkeen vanhoilla menetelmillä analysoidut pitoisuudet muutettiin vastaamaan uudella menetelmällä saatavia pitoisuuksia jakamalla 0,8714:llä. Tämä tehtiin, jotta saataisiin esille todellinen pitoisuudessa tapahtunut muutos, eikä menetelmän muutoksesta johtunut muutos.

2.4.2 Kala-aineiston tilastollinen tarkastelu ja aineiston muunnokset

Kalojen massa rajattiin välille 400–2 500 g, jotta saatiin ehkäistyä yksittäisten muusta aineistosta poikkeavien suurien kalojen vaikutusta ennusteisiin. Hauki on nopeakasvuinen kala, se on vuoden vanhana keskimäärin 15 cm, 3 -vuotiaana 40 cm ja 0,5 kg, 5 -vuotiaana 50–55

cm ja 1 kg, 10–12 -vuotiaana n. 100 cm ja 8 kg (Koli 1977). Tämän perusteella voidaan arvioida, että tässä tutkimuksessa hauet olisivat olleet noin 3–6 -vuotiaita pyydettyäessä. Kaikkiaan tutkitut kalat olivat suurempia vuosien 2000–2002 aineistossa. Kalojen massan jakaumaa kuvaavia tilastollisia tunnuslukuja ajan suhteen eri osa-aineistoissa ja koko aineistossa koottiin taulukkoon (taulukko 6). Järvikohtaisia kalatietoja on esitetty liitteessä (liite 5).

Taulukko 6. Kalojen massan (g) jakautuminen ikäryhmien mukaisissa osa-aineistoissa ja koko aineistossa.

	N	Keskiarvo	Mediaani	Keskihajonta	Minimi	Maksimi
1980–1983	553	828	745	358	401	2440
2000–2002	620	944	868	398	411	2438
Koko aineisto	1173	889	800	384	401	2440

Kalojen elohopeapitoisuudet vaihtelivat 0,06 mg kg⁻¹ ja 1,95 mg kg⁻¹ välillä. Havaittujen elohopeapitoisuuksien keskiarvo oli 0,56 mg kg⁻¹ (taulukko 7). Elohopeapitoisuuden jakaumaa tarkasteltiin ikäryhmän 1 osalta sekä sellaisenaan, että muunnettuna uutta analyysimenetelmää vastaavaksi.

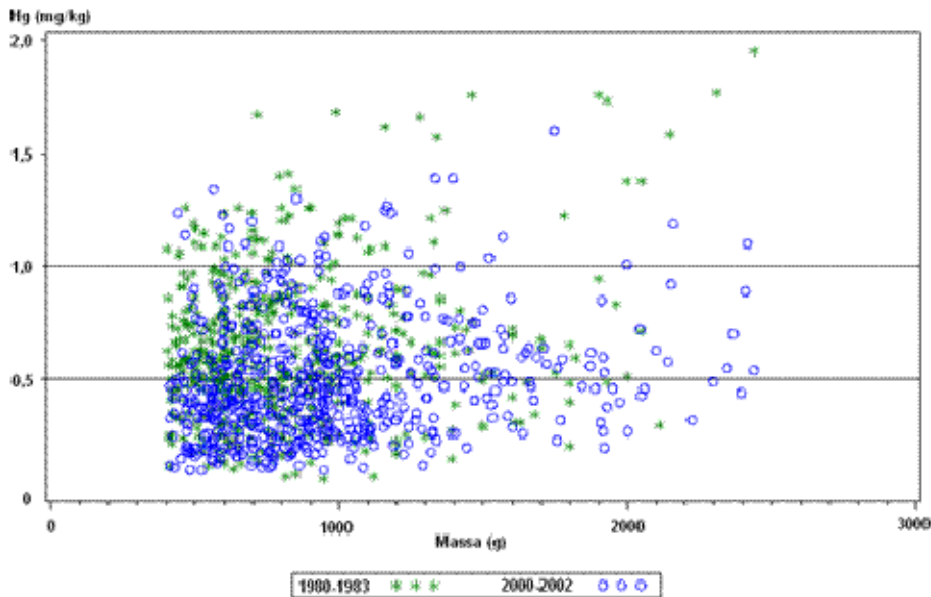
Taulukko 7. Kalojen elohopeapitoisuuden (mg kg⁻¹) jakautuminen osa-aineistoissa ja koko aineistossa. Uutta analyysimenetelmää vastaavaksi muunnetut pitoisuudet on merkitty tähdellä (*).

	N	Keskiarvo	Mediaani	Keskihajonta	Minimi	Maksimi
1980 – 1983	553	0,55	0,51	0,28	0,05	1,70
1980 – 1983*	553	0,63	0,59	0,32	0,06	1,95
2000 – 2002	620	0,50	0,45	0,26	0,10	1,60
Koko aineisto	1173	0,52	0,47	0,27	0,05	1,70
Koko aineisto*	1173	0,56	0,51	0,30	0,06	1,95

Kaikkiaan 36 % vuosina 1980–1983 ja 58 % vuosina 2000–2002 tutkituista haukiyksilöistä elohopeapitoisuus alitti EY:n komission asetuksen ((EY) N:o 466/2001 ja tarkistukset (EY) N:o 221/2002 ja 78/2005) mukaisen 0,5 mg kg⁻¹:n pitoisuusrajan. Vuosina 1980–1983 tutkituista yksilöistä 52 % ja 2000–2002 tutkituista yksilöistä 37 % elohopeapitoisuus oli 0,5–1,0 mg kg⁻¹. Ihmisten terveyden kannalta kriittiseksi arvioidun 1,0 mg kg⁻¹ pitoisuuden ylitti vuosina 1980–1983 kaikkiaan 12 % tutkituista yksilöistä ja vuosina 2000–2002 tutkituista yksilöistä 5 % (taulukko 8 ja kuva 3).

Taulukko 8. Tutkittujen haukien lukumäärät pitoisuustasojen mukaisesti tutkimusajankohdittain.

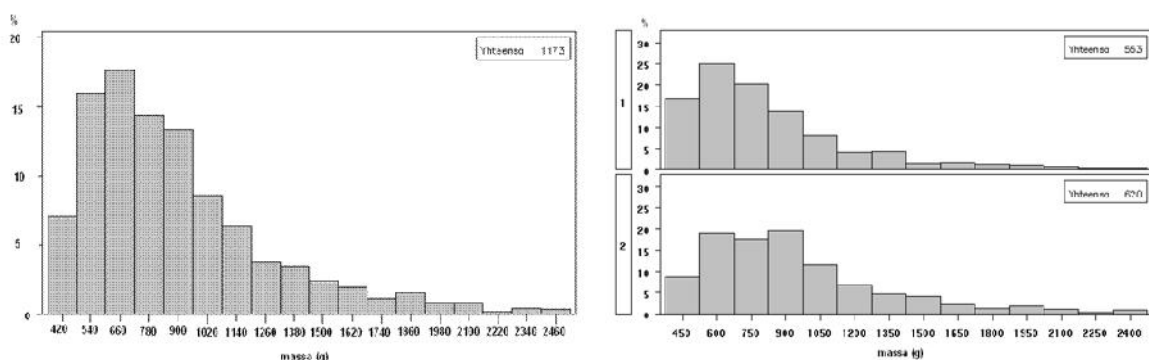
	< 0,5 mg kg ⁻¹	0,5–1,0 mg kg ⁻¹	> 1,0 mg kg ⁻¹
1980–1983	198	289	66
2000 – 2002	360	227	33
yhteensä	558	516	99



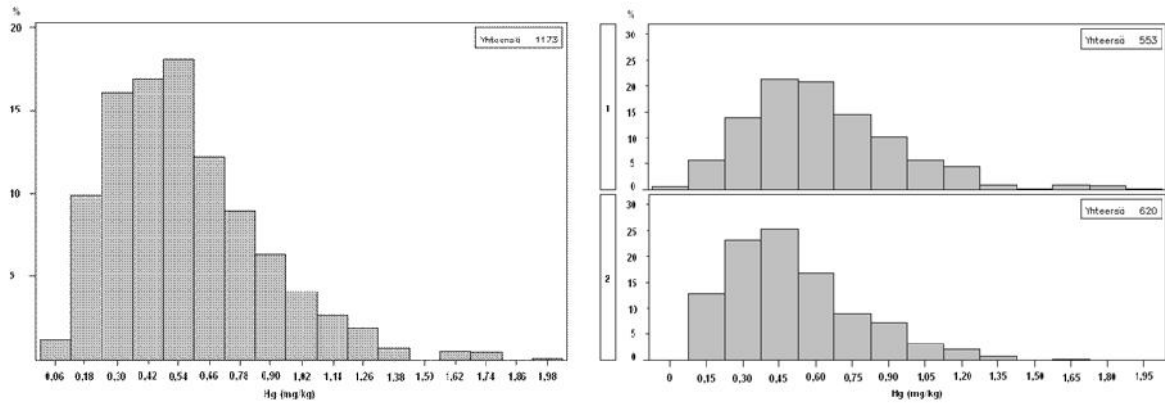
Kuva 3. Kalojen elohopeapitoisuudet ja massat ikäryhmittäin (1 = vuodet 1980-1983, 2 = 2000-2002). Vaakaviivat 0,5 ja 1,0 mg kg⁻¹ EY:n määrittelemien kriittisten pitoisuusrajojen mukaisesti.

Pitoisuudet ikäryhmän 2 (vuodet 2000–2002) kaloissa olivat kokonaisuutena tarkasteltuna alhaisempia kuin 20 vuotta aiemmin. Kala-aineiston perusteella haukien elohopeapitoisuus on yleisesti pienentynyt kuluneiden kahden vuosikymmenen aikana.

Kala-aineiston perusteella tehtyjen jakaumien perusteella voitiin todeta aineiston jakauman olevan oikealle vino sekä massan (kuva 4) että elohopeapitoisuuden mukaan (kuva 5). Tilastollisia analyyseja varten normaalijakaumaoletuksen täyttymiseksi Box-Cox-Bartlett'in menetelmällä (SAS 2005) valittiin muunnos, joka optimoi parhaiten normaalisuuden ja homoskedastisuuden. Havaittiin, että massan jakauman muotoa paransi eniten logaritmuunnos ja elohopeapitoisuuden jakauman muotoa paransi eniten neliöjuurimuunnos.



Kuva 4. Kala-aineiston massan (g) jakauma prosentteina koko aineistolla ja vuosiryhmittäin (1 = vuodet 1980-1983, 2 = 2000-2002).



Kuva 5. Kala-aineiston elohopean (mg kg^{-1}) jakauma prosentteina koko aineistolla ja vuosiryhmittäin (1 = vuodet 1980-1983, 2 = 2000-2002).

2.4.3 Järvikohtaisen elohopeapitoisuuden mallintaminen

Järvikohtaisen elohopeapitoisuuden mahdollisimman tarkka estimointi on tärkeää arvioitaessa ympäristötekijöiden vaikutusta kalojen elohopeapitoisuuteen. Pääasialliset analyttiset menetelmät kalojen elohopeapitoisuuden määrittämisessä ovat olleet havaitun elohopeapitoisuuden ja piteuden tai massan regressiomenetelmät (Tremblay ym. 1998, Sonesten 2003a). Lineaarista (Garcia ja Carignan 2000), logaritmisista (Huuskonen 2001; Sonesten 2003a), sekä polynomiregressiota (Tremblay ym. 1998) on käytetty paljon kalojen elohopeapitoisuuden estimoinnissa, pohjautuen havaintoihin, että kalan elohopeapitoisuus on verrannollinen sen ikään ja kokoon (mm. Garcia ja Carignan 2000, 2005, Jewett ym. 2003).

län on ajateltu olevan vertailtaessa paras muuttuja sillä mm. populaatiotiheydestä ja ravinto-olosuhteista riippuen toisissa järvissä kalat kasvavat nopeammin kuin toisissa ja näin altitusaika samankokoisella kalalla on ollut erilainen (Downs ym. 1998). Hauella kokoa kuvaavista muuttujista piteuden on havaittu korreloivan parhaiten elohopeapitoisuuden kanssa (mm. Jewett ym. 2003). Tässä tutkimuksessa käytettiin massaa kalan koon kuvaajana, sillä piteustieto puuttui noin 19 % vuosien 1980-1983 kala-aineistosta, eikä tutkittujen kalojen ikätietoa ollut lainkaan käytettävissä.

Saman aineiston aiemmissa tutkimuksissa (Mannio ym. 1986, Verta 1990a, Munthe ym. 2004) on elohopeapitoisuutta estimoitu nimenomaan elohopeapitoisuuden ja massan lineaarisella regressiolla. Suomessa on käytetty myös kalan elohopeapitoisuuden ja massan välistä logaritmisista regressiota tutkittaessa Pohjois-Karjalan järvien kalojen elohopeapitoisuutta (Huuskonen 2001). Sellaisten järvien kohdalla, jossa tilastollisesti merkitsevää ($p < 0,05$) regressiota ei ole havaittu, on käytetty aritmeettista (Huuskonen 2001), tai geometrista elo-

hopeapitoisuuden keskiarvoa (Snodgrass ym. 2000). Geometrinen keskiarvo on n:s juuri lukujen tulosta ja enintään yhtä suuri kuin samojen lukujen aritmeettinen keskiarvo.

Tässä tutkimuksessa järvikohtaista elohopeapitoisuutta mallinnettiin käyttäen kalan massaa selittävänä muuttujana. Mallinnuksessa käytettiin kolmea eri regressiota; lineaarista, logaritmissa ja polynomiregressiota, parhaimman mahdollisen vertailuluvun aikaansaamiseksi. Vertailuluvun kelpoisuutta arvioitaessa käytettiin menetelmällä saatujen merkitsevien mallien määrää, kunkin mallin selitysastetta R^2 ja F-testin p-arvoa. Tilastollisissa analyyseissa luotamustasona käytettiin 95 %. Käytetyt regressiomenetelmät ovat parametrisia, eli ne edellyttävät osa-aineistojen olevan peräisin normaalijakautuneesta populaatiosta sekä näiden varianssien yhtä suuruutta. Menetelmien käyttöä varten kala-aineiston massalle tehtiin logaritmuunnos ja elohopeapitoisuudelle tehtiin neliöjuurimuunnos oletuksien täyttymiseksi.

Pitoisuuden estimaatit eri menetelmillä laskettiin vertailua varten kilon massaiselle kalalle, sillä samalla aineistolla on käytetty aiemmin kilon massaa ja useat alan tutkimukset on tehty kilon massaa vastaavaksi. Lisäksi laskettiin koko aineiston mediaanimassaa (800 g) vastaavat pitoisuudet, sillä niiden uskottiin sopivan aineistoon ja kuvaavan sitä paremmin. Mediaanimassaa vastaavaa pitoisuutta käytettiin mm. pitoisuuteen vaikuttavien tekijöiden ja elohopeapitoisuuden muutoksen analyyseissa.

Elohopeapitoisuuden muutoksen havainnointiin käytettiin tutkimusajankohtaa kuvaavaa binääristä dummy -muuttujaa, jonka avulla voidaan kuvata kahden ajankohdan välistä muutosta. Kun dummy -muuttuja asetettiin nolaksi, saatiin tulokseksi ensimmäisen ajankohdan (vuodet 1980–1983) elohopeapitoisuuden estimaatti ja kun sille annetaan arvoksi yksi, saatiin toisen ajankohdan (vuodet 2000–2002) estimaatti. Dummy -muuttujaa käyttämällä voitiin rakentaa vain yksi molempien ajankohtien havaintoja hyödyntävä malli kullekin tutkimusjärvelle. Näin saatiin mallin vapausasteita kasvatettua ja parannettua mallin luotettavuutta verrattuna yhden ajankohdan malleihin.

Lineaarinen regressio on muotoa (1):

$$Hg = a + b * W + d*B + \varepsilon \quad , \quad (1)$$

jossa W on kalan massaa kuvaava muuttuja, B dummy -muuttuja, a ja b mallin parametrejä ja ε = yleinen virhetermi, joka kuvaa erotusta havainnon ja ennusteen välillä. Parametri d estimoi keskimääräisen (neliöjuurimuunnetun) elohopeapitoisuuden eron ajankohtien välillä.

Logaritminen regressio on muotoa (2):

$$Hg = a + b * \log W + d*B + \varepsilon \quad (2)$$

Polynomiregressio on muotoa (3):

$$Hg = a + b*W + c*W^2 + d*B + \varepsilon \quad (3)$$

Polynomiregressiomenetelmällä laskettaessa käytettiin toisen asteen polynomifunktiota, koska Tremblay ym. (1998) havaitsivat tutkimuksessaan sen olevan riittävä kuvaamaan pituutta ja elohopeapitoisuutta kuvaavien muuttujien suhdetta.

Sellaisilla tutkimusjärvillä, joilla ei havaittu tilastollisesti merkitsevää regressiota massan ja elohopeapitoisuuden välillä, otettiin elohopeapitoisuuden vertailuluvuksi kullekin ajankohdalle havaittujen pitoisuuksien aritmeettinen keskiarvo. Neliöjuurimuunnoksella korjattujen elohopeapitoisuuksien keskiarvojen eroa testattiin varianssianalyysillä järvikohtaisesti.

2.5. Hauen elohopeapitoisuuteen vaikuttavien tekijöiden selvittäminen

2.5.1 Hauen elohopean pitoisuustasoon vaikuttavat tekijät

Tutkimusjärvien hauissa havaittuun elohopean pitoisuustasoon vaikuttavia tekijöitä tutkittiin korrelaatiomatriisien avulla. Elohopeapitoisuutena korrelaatiomatriiseissa käytettiin vuosien 2000–2002 valitulla regressiolla mediaanimassalle (800 g) laskettuja estimaatteja tai vastaavia pitoisuuskeskiarvoja. Morfologiaa ja sijaintia kuvaavia muuttujia olivat taulukossa 1 (s. 9) esitettyjen muuttujien lisäksi järven keskipisteen itäkoordinaatti (YKI), pohjoiskoordinaatti (YKP) ja järven alan mukainen kokoryhmä (pienet, keskisuuret ja suuret järvet, taulukko 1). Koska vedenlaatua kuvaavia muuttujia oli käytettävissä molemmilta ajankohdilta, niiden korrelaatiomatriisit tehtiin erikseen kullekin ajankohdalle saatua elohopeapitoisuuden estimaattia vastaan.

Alkuperäisistä elohopeapitoisuutta selittävistä ympäristömuuttujista poimittiin koko järvijoukolla 95 % luottamustasolla merkitsevät selittäjät jatkoanalyysiin. Voidaan ajatella, että elohopeapitoisuuden määräytyminen ja pitoisuustaso on erilainen pienissä järvissä kuin suurissa. Tämän oletuksen tarkastelua varten tarkasteltiin vastaavaa korrelaatiomatriisia erikseen järvien kokoryhmän määräämille ryhmille.

Hauen elohopeapitoisuuteen vaikuttavia tekijöitä selvitettiin korrelaatiomatriisien tarkastelun jälkeen pääkomponenttianalyysillä (PCA, principal component analysis; SAS 2005, Ranta ym. 2002). Pääkomponenttianalyysissä alkuperäisestä, usein suurehkosta määrästä muuttujia muodostetaan lineaarikombinaatioita, jotka parhaassa tapauksessa yhdistävät samalle komponentille useamman alkuperäisen muuttujan sisältämää vaihtelua. Menetelmä pyrkii

selittämään pääkomponenteillaan suurimman osan alkuperäisten muuttujien sisältämästä vaihtelusta. Pääkomponentit valitaan siten, että ne ovat keskenään korreloimattomia. Lähtökohtana voidaan käyttää joko korrelaatio- tai kovarianssimatriisia. Pääkomponenttialyysia varten alkuperäisten muuttujien (yht. 70) määrää vähennettiin ja käytettäviksi muuttujiksi valittiin korrelaatiomatriisista 95 % luottamustasolla merkitsevät selittäjäehdokkaat. Pääkomponenttialyysin tuloksena saatujen pääkomponenttien vaikutusta elohopeapitoisuuteen testattiin tilastollisesti.

Pääkomponenttialyysin pohjana on $n \times p$ -havaintomatriisi, missä n on havaintoyksiköiden määrä (järvet, $n = 66$) ja p muuttujien X_p määrä. Ensimmäinen pääkomponentti Z_1 on muuttujien X_1, X_2, \dots, X_p lineaarikombinaatio.

$$Z_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1p}X_p$$

Kertoimet $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1p}$ valitaan siten, että muuttujan Z_1 varianssi on mahdollisimman suuri. Muut pääkomponentit rakennetaan samalla periaatteella, siten että toiselle pääkomponentille kerätään ensimmäisen komponentin jälkeen selittämättä jääneestä varianssista jälleen mahdollisimman suuri osa ja niin edelleen. Lisäksi huolehditaan siitä, etteivät pääkomponentit korreloi keskenään. Mikäli aineistossa on p muuttujaa voidaan siitä laskea p keskenään korreloimatonta pääkomponenttia em. periaatteita noudattaen.

Pääkomponenttien Z_i varianssit ovat matriisin C ominaisarvot λ_i , joita on p kappaletta. Kun ominaisarvot järjestetään suuruusjärjestykseen $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \dots > \lambda_p > 0$, vastaa λ_i :nnen pääkomponentin

$$Z_i = a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{ip}X_p$$

varianssia eli $\lambda_i = D^2(Z_i)$ ja kertoimet $(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ip})$ muodostavat tämän pääkomponentin ominaisvektorin a_i (engl. eigenvector).

Analyysin tässä vaiheessa tutustutaan eri pääkomponenttien ominaisarvoihin ja päätetään, mitkä niistä ovat riittävän suuria. Kun on päätetty, montako pääkomponenttia otetaan mukaan jatkotarkasteluun, selvitetään pääkomponenttien Z_i ominaisvektorien koostumus. Kertoimen a_{ij} suuri lukuarvo (lataus) muuttujan X_j kohdalla kertoo kyseisen muuttujan vaikuttaneen pääkomponentin i muodostumiseen voimakkaasti. Kertoimen a_{ij} etumerkki kertoo vaikutuksen suunnan. Latausten perusteella voidaan tehdä tulkintoja pääkomponenttien ominaisuuksista. Latausten tulkintaa voidaan helpottaa rotatointimenetelmillä, joista yleisin on *varimax* -rotatointi.

Pääkomponenttianalyysissa alkuperäisessä havaintomatriisissa olevat puuttuvat tiedot johtavat kyseisen havainnon poistamiseen aineistosta. Havaintojen kokonaismäärän pitämiseksi ennallaan, korvattiin merkitsevien muuttujien puuttuvat tiedot muuttujan keskiarvolla ja sellaiset muuttujat, joilla puuttuvia tietoja oli paljon, jätettiin kokonaan pois analyysistä. Pääkomponenttianalyysissa käytettiin lähtöaineistona aineistoa, jonka muuttujat oli muutettu normaali-jakautuneiksi (ks. edellä) ja standardoitu tämän jälkeen keskiarvoon 0 ja hajontaan 1.

Pääkomponenttianalyysin lisäksi selittävien muuttujien vaikutusta hauen elohopeapitoisuuteen tarkasteltiin askeltavalla regressioanalyysillä. Askeltava regressioanalyysi on suurella varovaisuudella käytettävä menetelmä, jolla pyritään hakemaan suuresta selittäjäjoukosta ”parhaat päältä”. Eteenpäin askeltavassa regressioanalyysissä selittäjiä valitaan tyhjään malliin yksi kerrallaan. Kullekin selittävälle muuttujalle lasketaan F -testisuure, joka ilmaisee selittävän muuttujan vaikutusta malliin, mikäli se lisätään. Mitä suurempi F -testisuure on, sitä enemmän selittäjä vaikuttaa mallin selitysasteeseen (R^2). Selittäjä, jonka F -testisuure on suurin, lisätään malliin. Tämän jälkeen F -testisuureet lasketaan uudelleen ja samaa toistetaan, kunnes tilastollisesti merkitsevää F -testisuuretta ei enää löydy (Ranta ym. 2002).

Askeltavan regressioanalyysin oletuksena on, etteivät selittäjät ole keskenään korreloituneita. Selittäjien välinen korrelaatio aiheuttaa virhettä malliin. Askeltavaa regressiota on kuitenkin käytetty paljon kalan elohopeapitoisuuteen vaikuttavien tekijöiden selvittämiseen (Håkanson 2000).

2.5.2 Hauen elohopeapitoisuuden muutokseen vaikuttavat tekijät

Muutoksen arvioinnissa pyrittiin saamaan selville, mitkä ominaisuudet järvissä ovat vaikuttaneet siihen, että elohopeapitoisuus hauessa on noussut tai laskenut. Elohopeapitoisuudessa tapahtuneeseen muutokseen vaikuttavia tekijöitä arvioitiin testaamalla eri muutoksen läpikäyneitä (pitoisuus noussut, laskenut tai pysynyt ennallaan) järviryhmiä toisiinsa.

Vertailu toteutettiin parittaisina vertailuina Tukey'n testillä, jossa koekohtaisena riskitasona käytettiin 10 %:a. Tukey'n testin on todettu olevan hyvin konservatiivinen ja se löytää vain varmat tapaukset (Ranta ym. 2002). Vertailu tehtiin myös Student-Newman-Keuls – monivertailuina, joka on Tukey'n testiin verrattuna vähemmän konservatiivinen menetelmä. Monivertailuissa käytettiin 95 % luottamustasoa.

Muutokseen vaikuttavia tekijöitä arvioitiin myös tarkastelemalla ns. elohopean muutosmuuttujien ja elohopeapitoisuuden selittäjien välisiä korrelaatioita. Muutosmuuttujina tarkasteltiin tapahtunutta muutosta sekä absoluuttisena pitoisuuden muutoksena (mg kg^{-1}) että prosentteina (%). Prosentuaalisessa muutoksen tarkastelussa saatiin esille myös alhaisilla pitoisuus-

tasoilla tapahtunut muutos ja voitiin arvioida myös siihen vaikuttavia tekijöitä. Korrelaatioiden tueksi tarkasteltiin sirontakuviota, jotta voitiin havaita mahdollisten yksittäisten poikkeavien havaintojen vaikutus korrelaatioihin. Muutoksen tarkastelu tehtiin normalisoimattomalla ja standardoimattomalla aineistolla.

3. Tulokset

3.1 Järvikohtaisen elohopeapitoisuuden mallintaminen

Lineaarisella regressiomallilla merkitseviä malleja saatiin yhteensä 45. Tilastollisesti merkitsevä ennallaan pysynyt pitoisuus saatiin 8 järvelle. Näillä järvillä muutosta kuvaavan dummy-muuttujan t-testisuureen p-arvo ei anna aihetta nollahypoteesin (H_0 : muutosta ei ole tapahtunut) hylkäämiseen ja järveä kuvaava malli on merkitsevä (F-testin $p < 0,05$). Pitoisuus oli puolestaan noussut yhteensä 9 järvessä ja laskenut 28 järvessä. Näillä järvillä muutosta kuvaavan dummy-muuttujan t-testisuureen p-arvon ($p < 0,05$) perusteella nollahypoteesi tuli hylättyä ja järveä kuvaava malli oli merkitsevä (F-testin $p < 0,05$). Dummy-muuttujan saaman etumerkin (+ tai -) perusteella pääteltiin, onko pitoisuus noussut vai laskenut (taulukko 9, liite 6).

Logaritmisella regressiomallilla saatiin merkitseviä malleja myös yhteensä 45. Tilastollisesti merkitsevä ennallaan pysynyt pitoisuus saatiin 9 järvelle. Pitoisuus oli puolestaan noussut yhteensä 9 järvessä ja laskenut 27 järvessä (taulukko 9, liite 7).

Polynomiregressiolla laskettujen mallien, joista merkitseviä oli 41, mukaan hauen elohopeapitoisuus nousi merkittävästi 7 järvessä ja laski merkittävästi 25 järvessä. Pitoisuus oli puolestaan pysynyt samana 9 järvessä (taulukko 9, liite 8).

Eri menetelmillä hauen mediaanimassalle (800 g) lasketut pitoisuudet olivat hieman erilaisia, mutta suuria eroja ei kuitenkaan saatu. Suurimmat erot eri menetelmien estimaateissa olivat sellaisilla järvillä, joista ei saatu tilastollisesti merkitseviä malleja, eli joissa alkuperäinen havaintojoukko oli varsin hajanainen.

Taulukko 9. Polynomi-, lineaarisella ja logaritmisella regressiolla saadut mediaanimassan elohopeapitoisuuden estimaatit (mg kg⁻¹ Hg) tutkimusjärville molempina tutkimusajankohtina. Tilastollisesti merkitsevät mallit merkitty + pitoisuus noussut, – pitoisuus laskenut, 0 pitoisuus pysynyt samana. Tilastollisesti ei-merkitsevät mallit merkitty pisteellä (.).

Järvinumero	Tutkimusjärvi	polynomi			lineaarinen			logaritminen		
		1980	2000		1980	2000		1980	2000	
04.178.1.001	Iso-Kontunen	0,430	0,808	+	0,466	0,846	+	0,471	0,849	+
04.242.1.001	Kolkonjärvi	0,241	0,194	.	0,243	0,201	.	0,243	0,202	.
04.253.1.007	Nevajärvi	0,842	0,562	.	0,710	0,496	.	0,713	0,498	.
04.253.1.024	Haapajärvi	0,694	0,838	0	0,545	0,708	.	0,545	0,710	.
04.271.1.001	Unnukka	0,376	0,307	.	0,363	0,302	.	0,363	0,302	.
04.423.1.001	Pankajärvi	0,624	0,464	.	0,622	0,459	.	0,622	0,459	.
04.442.1.001	Jonkeri	0,530	0,723	+	0,509	0,704	+	0,512	0,706	+
04.552.1.003	Rytkynjärvi	0,652	0,471	.	0,584	0,452	.	0,586	0,453	.
04.554.1.001	Sulkavanjärvi	0,645	0,474	.	0,599	0,415	.	0,599	0,415	.
04.563.1.001	Näläntöjärvi	0,159	0,261	+	0,179	0,265	+	0,181	0,266	+
04.572.1.001	Luupuvesi	0,429	0,466	0	0,429	0,466	0	0,432	0,469	0
04.664.1.004	Tiilikka	0,574	0,648	.	0,550	0,624	.	0,551	0,626	.
04.665.1.006	Älänne	0,299	0,282	.	0,320	0,307	.	0,321	0,308	.
04.956.1.002	Suuri Petäjajärvi	0,773	1,065	+	0,880	1,149	+	0,882	1,151	+
04.983.1.007	Poikapää	0,760	0,997	.	0,770	1,002	+	0,772	1,004	+
14.236.1.003	Rutajärvi	0,484	0,437	0	0,466	0,401	0	0,468	0,405	0
14.452.1.002	Ylä-Jäppä	1,115	0,447	–	1,110	0,447	–	1,111	0,448	–
14.454.1.006	Salamajärvi	0,718	0,694	0	0,726	0,704	0	0,730	0,707	0
14.472.1.001	Kolima	0,467	0,362	–	0,464	0,351	–	0,465	0,354	–
14.481.1.001	Alvajärvi	0,776	0,595	.	0,710	0,580	.	0,712	0,580	.
14.491.1.001	Saaninjärvi	0,568	0,384	–	0,591	0,404	–	0,592	0,404	–
14.493.1.001	Elämäjärvi	0,680	0,470	–	0,680	0,471	–	0,681	0,472	–
14.614.1.002	Saarijärvi	0,378	0,492	.	0,403	0,519	.	0,404	0,519	.
14.631.1.001	Pääjärvi	0,650	0,407	.	0,662	0,414	–	0,661	0,413	–
14.661.1.001	Karankajärvi	0,742	0,554	–	0,730	0,538	–	0,732	0,540	–
14.664.1.006	Kiesimenjärvi	0,818	0,519	–	0,801	0,513	–	0,804	0,514	–
14.711.1.001	Konnevesi	0,421	0,236	–	0,445	0,234	–	0,447	0,234	–
14.811.1.002	Nuoramoisjärvi	0,278	0,375	.	0,268	0,371	+	0,268	0,371	+
14.912.1.001	Vuohijärvi	0,440	0,217	–	0,512	0,243	–	0,518	0,246	–
14.934.1.024	Niskajärvi	0,667	0,886	+	0,700	0,913	+	0,702	0,914	+
14.964.1.001	Paihmaa	0,968	0,961	.	1,083	1,008	.	1,084	1,008	.
35.231.1.001	Vanajavesi	0,235	0,160	.	0,244	0,162	–	0,245	0,162	.
35.411.1.001	Tarjanne	0,902	0,799	.	0,798	0,784	.	0,794	0,782	.
35.462.1.001	Kolunjärvi	0,915	0,715	.	0,924	0,745	.	0,924	0,745	.
35.483.1.001	Pihlajavesi	0,977	0,532	–	0,995	0,541	–	0,998	0,543	–
35.621.1.001	Keurusselkä	0,448	0,720	.	0,622	0,637	.	0,625	0,637	.
35.787.1.030	Valkea Kotinen	0,833	0,420	–	0,846	0,467	–	0,848	0,472	–
35.787.1.062	Hakojärvi	1,138	0,603	–	1,183	0,617	–	1,190	0,619	–
36.014.1.001	Isojärvi	0,567	0,348	–	0,540	0,320	–	0,541	0,320	–
36.019.1.001	Valkjärvi	0,610	0,201	–	0,600	0,196	–	0,603	0,197	–
36.065.1.002	Siikaisjärvi	0,995	0,920	.	0,943	0,883	.	0,944	0,883	.
36.092.1.001	Karhijärvi	0,070	0,210	+	0,071	0,220	+	0,071	0,221	+
42.074.1.002	Seinäjärvi	0,761	0,523	–	0,806	0,560	–	0,809	0,563	–
44.041.1.001	Kuortaneenjärvi	0,421	0,455	.	0,434	0,537	.	0,434	0,534	.
44.044.1.010	Vetämäjärvi	0,595	0,244	–	0,590	0,242	–	0,592	0,242	–
44.095.1.001	Kuorasjärvi	0,598	0,372	–	0,611	0,376	–	0,612	0,377	–
44.096.1.004	Iso Allasjärvi	0,766	0,454	–	0,779	0,460	–	0,780	0,460	–
48.005.1.003	Räyriinjärvi	0,226	0,161	–	0,235	0,161	–	0,235	0,161	–

Taulukko 9. jatkuu seur. sivulla

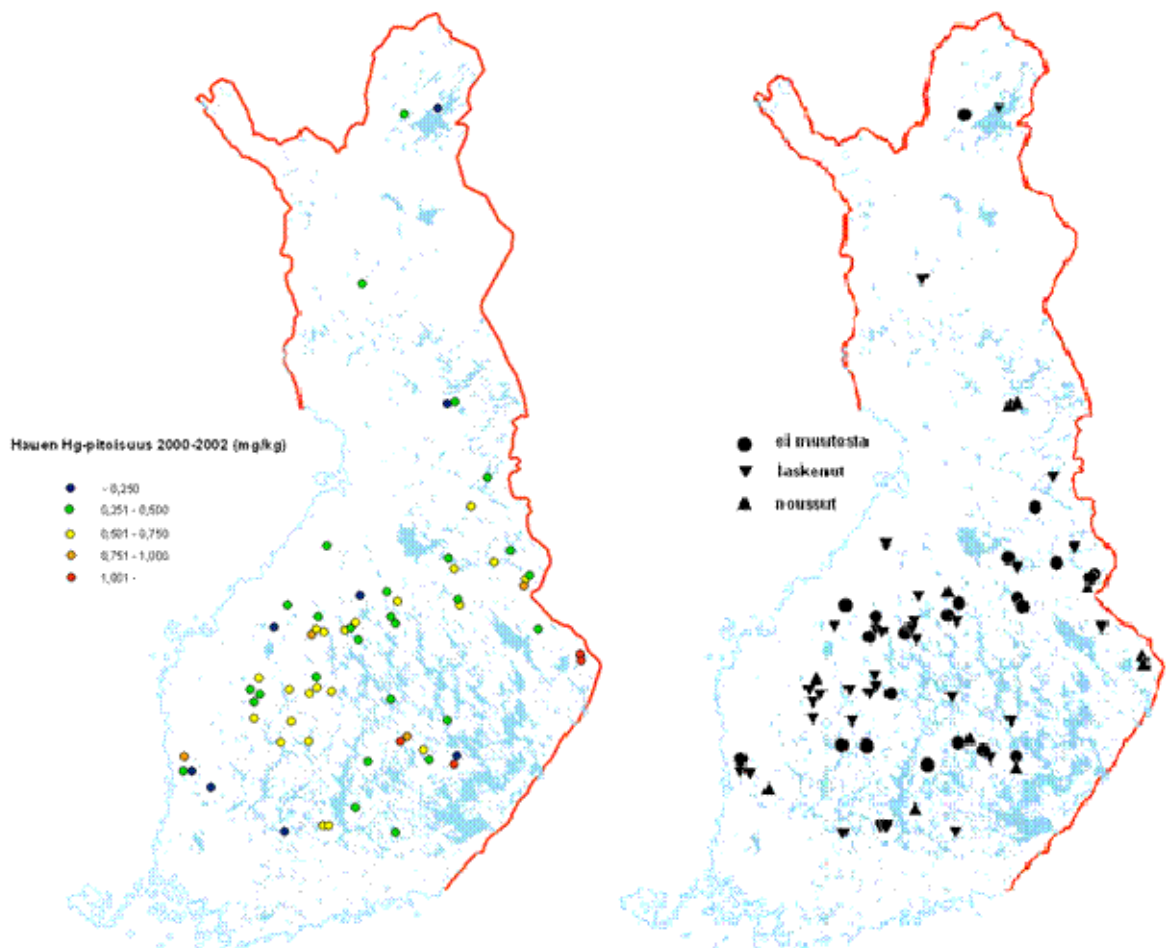
Taulukko 9. jatkoa ed. sivulta		polynomi		lineaarinen		logaritminen				
Järvinumero	Tutkimusjärvi	1980	2000	1980	2000	1980	2000			
49.054.1.001	Ullavanjärvi	0,323	0,315	0	0,311	0,314	0	0,318	0,315	0
51.041.1.001	Lestijärvi	0,244	0,294	.	0,250	0,304	0	0,251	0,306	0
51.052.1.001	Lehtosenjärvi	1,041	0,691	-	1,026	0,667	-	1,027	0,667	-
54.059.1.004	Parkkimajärvi	0,527	0,169	-	0,523	0,167	-	0,523	0,167	-
54.071.1.001	Piipsjärvi	0,251	0,286	0	0,416	0,293	-	0,435	0,295	-
59.439.1.001	Hoikkajärvi	0,809	0,667	.	1,014	0,708	.	1,012	0,709	.
59.511.1.001	Kiantajärvi	0,551	0,367	-	0,549	0,366	-	0,553	0,367	-
59.811.1.001	Nuasjärvi	0,403	0,385	0	0,465	0,396	0	0,468	0,397	0
59.882.1.001	Jormasjärvi	0,738	0,544	-	0,842	0,590	-	0,843	0,591	-
59.911.1.001	Ontojärvi	0,510	0,492	.	0,476	0,456	.	0,475	0,456	.
59.921.1.001	Lentua	0,560	0,371	-	0,626	0,395	-	0,633	0,398	-
59.974.1.003	Kälkänen	0,519	0,468	.	0,503	0,450	.	0,503	0,452	.
59.977.1.001	Saunajärvi	0,519	0,510	0	0,514	0,507	0	0,517	0,509	0
61.631.1.001	Kynsijärvi	0,210	0,449	+	0,201	0,356	+	0,201	0,356	+
61.651.1.005	Kuusijärvi	0,148	0,186	.	0,164	0,192	.	0,165	0,192	0
65.592.1.001	Unarinjärvi	0,496	0,265	-	0,506	0,267	-	0,510	0,267	-
71.111.1.001	Inarijärvi	0,352	0,165	-	0,356	0,169	-	0,357	0,170	-
71.241.1.001	Mutusjärvi	0,232	0,234	0	0,213	0,242	0	0,213	0,244	0

Parhaan menetelmän valinta osoittautui varsin hankalaksi, sillä menetelmien välillä ei havaittu merkittäviä eroja muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta. Toisaalta regressiomenetelmän valinnalla ei siis tässä tutkimuksessa ollut merkittävää vaikutusta tuloksiin. Merkittävimpänä parhaan menetelmän kriteerinä pidettiin tilastollisesti merkitsevien mallien lukumäärää. Näin ollen parhaimpia malleja ovat siis lineaariset ja logaritmiset mallit. Kun parhaan menetelmän mittarina käytettiin selitysastetta R^2 , saatiin ylivoimaisesti parhaimmat mallit kuitenkin polynomiregressiolla. Sillä saatiin korkein selitysaste kaikille 66 mallille. Linearisella ja logaritmisella regressiolla saatiin 20 mallilla saman suuruinen selitysaste (+/- 1 %) kuin polynomiregressiolla. Käyttämällä mittarina F-testin merkitsevyytasoja parhaita menetelmiä olivat lineaarinen ja logaritminen regressio. Ne saivat pienimmät p-arvon 44 järvelle, kun taas polynomiregressiolla pienin p-arvo oli 20 järvellä. Erot selitysasteissa tai mallien p-arvoissa eivät olleet niin suuria, että eroa lineaarisen ja logaritmisien regression välille olisi voitu havaita.

Järvikohtaisena elohopeapitoisuutena päätettiin käyttää lineaarista regressiota, kuten saman aineiston aikaisemmissa tutkimuksissa. Linearisella regressiolla saatuja elohopeapitoisuuksien estimaatteja käytettiin niillä järvilla, joilla lineaariset regressiomallit olivat tilastollisesti merkitseviä, muilla tutkimusjärvillä käytettiin havaittujen elohopeapitoisuuden keskiarvoja, muutosta arvioitiin näillä järvilla varianssianalyysillä.

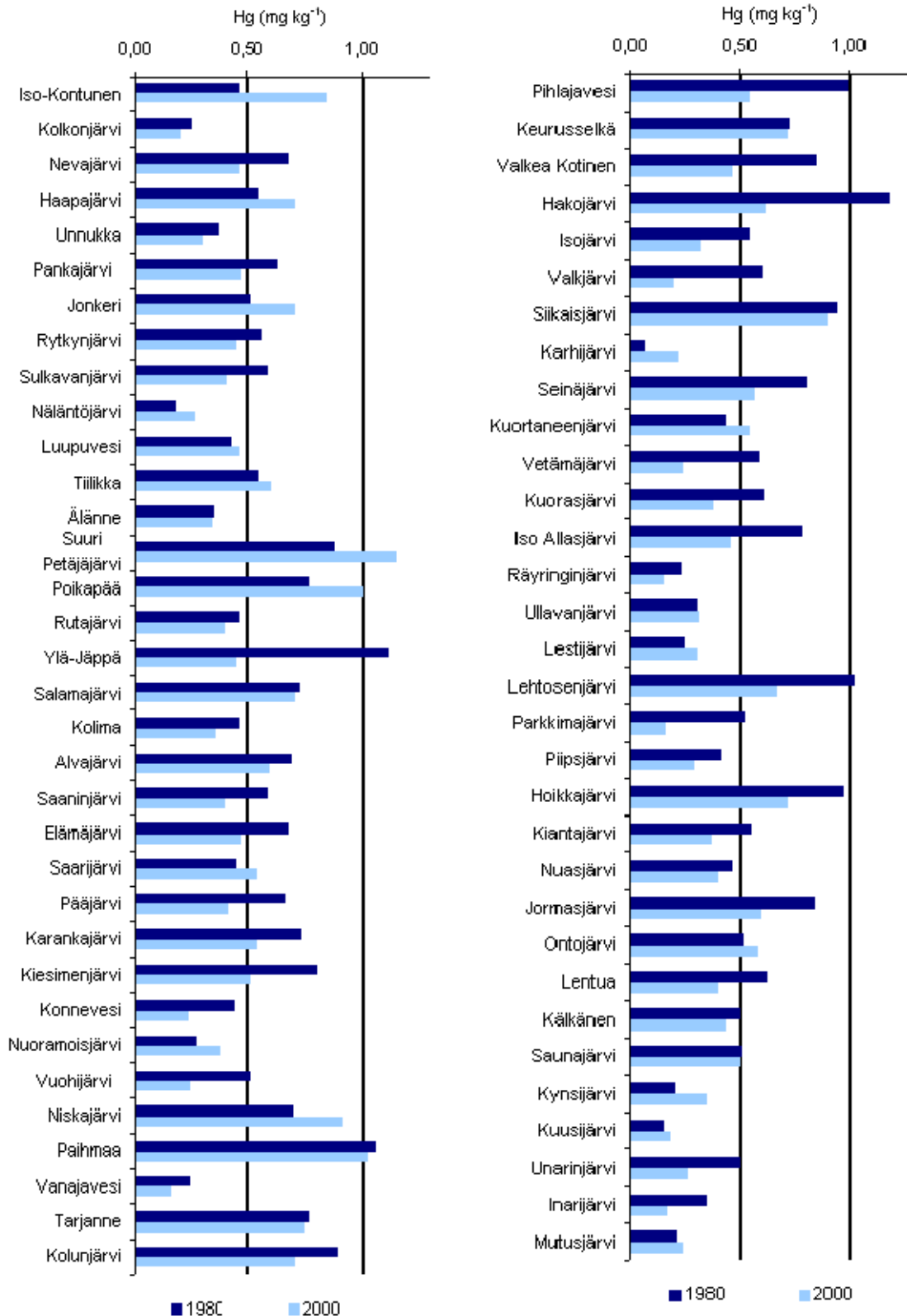
Järvikohtainen hauen elohopean pitoisuustaso vaihteli paljon tutkimusjärvien välillä. Vuosien 1980–1983 aineistossa pienin pitoisuus $0,071 \text{ mg kg}^{-1}$ havaittiin lounais-suomalaisessa Karhijärvessä (36.092.1.001), suurin pitoisuus $1,28 \text{ mg kg}^{-1}$ puolestaan hämäläisessä Hakojär-

vessä (35.787.1.062). Vuosien 2000–2002 aineistossa länsisuomalaisen Rääringinjärven (48.005.1.003) kalaelohopeapitoisuus oli järvijoukon alhaisin ($0,161 \text{ mg kg}^{-1}$) ja pohjoiskarjalaisen Suuren Petäjäjärven (04.956.1.003) pitoisuus ($1,149 \text{ mg kg}^{-1}$) korkein (kuvat 6 ja 7). Elohopeapitoisuuden tilastollisesti merkitsevää pitoisuuden nousua havaittiin kaikkiaan 11 järvessä (17 %). Pitoisuus oli pysynyt samalla tasolla 22 järvessä (33 %) ja laskenut 33 järvessä (50 %) (kuva 6 ja taulukot 10, 11 ja 12).



Kuva 6. Vasemmalla tutkimusjärvien elohopean pitoisuustaso vuosien 2000–2002 aineiston perusteella 1000 g:n massalle estimoituina. Oikealla tutkimusjärvissä tapahtunut hauen elohopeapitoisuuden muutos (\blacktriangle = pitoisuus nousut, \blacktriangledown = pitoisuus laskenut, \bullet = ei havaittua muutosta).

Pitoisuus oli laskenut eniten Ylä-Jäppä -järvessä ($-0,66 \text{ mg kg}^{-1}$) ja nousut eniten Iso-Kontunen -järvessä ($+0,38 \text{ mg kg}^{-1}$). Prosentuaalisena muutoksena suurin lasku havaittiin Parkkimajärvessä ($-68,1 \%$), jossa pitoisuus oli pudonnut noin kolmasosaan vuosien 1980–1983 pitoisuudesta ja suurin nousu Karhijärvessä ($+209,9 \%$), jossa pitoisuus oli yli kaksinkertaistunut.



Kuva 7. Tutkimusjärvien haukien elohopeapitoisuudet (mg kg⁻¹) lineaarisella regressiolla estimoituina käyttäen koko aineiston mediaanimassaa 800 g sekä keskiarvopitoisuuksina järvillä, joiden lineaarinen regressiomalli ei ollut merkitsevä. Järvien järjestys kuvassa on järvinumeron mukainen (vrt. taulukko 9).

Taulukko 10. Järvikohtaiset hauen elohopeapitoisuuden estimaatit (800 g) vuosille 1980 ja 2000 järville, joilla pitoisuus on noussut. (Menetelmä: Lin = lineaarisella regressiolla saatu estimaatti ja ANOVA = keskiarvoestimaatti, jonka muutos on testattu varianssianalyysillä).

Järvinumero	Tutkimusjärvi	1980	2000	muutos	Menetelmä
04.178.1.001	Iso-Kontunen	0,466	0,846	noussut	Lin
04.442.1.001	Jonkeri	0,509	0,704	noussut	Lin
04.563.1.001	Näläntöjärvi	0,179	0,265	noussut	Lin
04.956.1.002	Suuri Petäj järvi	0,880	1,149	noussut	Lin
04.983.1.007	Poikapää	0,770	1,002	noussut	Lin
14.811.1.002	Nuoramoisjärvi	0,268	0,371	noussut	Lin
14.934.1.024	Niskajärvi	0,700	0,913	noussut	Lin
36.092.1.001	Karhijärvi	0,071	0,220	noussut	Lin
44.041.1.001	Kuortaneenj järvi	0,434	0,539	noussut	ANOVA
61.631.1.001	Kynsijärvi	0,201	0,356	noussut	Lin
61.651.1.005	Kuusijärvi	0,154	0,191	noussut	ANOVA

Taulukko 11. Järvikohtaiset hauen elohopeapitoisuuden estimaatit vuosille 1980 ja 2000 järville, joilla muutosta ei havaittu. (Menetelmä: Lin = lineaarisella regressiolla saatu estimaatti ja ANOVA = keskiarvoestimaatti, jonka muutos on testattu varianssianalyysillä).

Järvinumero	Tutkimusjärvi	1980	2000	muutos	Menetelmä
04.242.1.001	Kolkonjärvi	0,249	0,203	ei muutosta	ANOVA
04.253.1.024	Haapajärvi	0,546	0,706	ei muutosta	ANOVA
04.552.1.003	Rytkynjärvi	0,560	0,448	ei muutosta	ANOVA
04.572.1.001	Luupuvesi	0,429	0,466	ei muutosta	Lin
04.664.1.004	Tiilikka	0,544	0,603	ei muutosta	ANOVA
04.665.1.006	Älänne	0,344	0,337	ei muutosta	ANOVA
14.236.1.003	Rutajärvi	0,466	0,401	ei muutosta	Lin
14.454.1.006	Salamajärvi	0,726	0,704	ei muutosta	Lin
14.481.1.001	Alvajärvi	0,689	0,593	ei muutosta	ANOVA
14.614.1.002	Saarijärvi	0,451	0,537	ei muutosta	ANOVA
14.964.1.001	Paihmaa	1,059	1,021	ei muutosta	ANOVA
35.411.1.001	Tarjannevesi	0,767	0,749	ei muutosta	ANOVA
35.621.1.001	Keurusselkä	0,722	0,712	ei muutosta	ANOVA
36.065.1.002	Siikaisjärvi	0,937	0,893	ei muutosta	ANOVA
49.054.1.001	Ullavanjärvi	0,311	0,314	ei muutosta	Lin
51.041.1.001	Lestijärvi	0,250	0,304	ei muutosta	Lin
59.439.1.001	Hoikkajärvi	0,971	0,717	ei muutosta	ANOVA
59.811.1.001	Nuasjärvi	0,465	0,396	ei muutosta	Lin
59.911.1.001	Ontojärvi	0,515	0,582	ei muutosta	ANOVA
59.974.1.003	Kälkänen	0,501	0,435	ei muutosta	ANOVA
59.977.1.001	Saunajärvi	0,514	0,507	ei muutosta	Lin
71.241.1.001	Mutusjärvi	0,213	0,242	ei muutosta	Lin

Taulukko 12. Järvikohtaiset hauen elohopeapitoisuuden estimaatit vuosille 1980 ja 2000 järville, joilla pitoisuus on laskenut. (Menetelmä: Lin = lineaarisella regressiolla saatu estimaatti ja ANOVA = keskiarvoestimaatti, jonka muutos on testattu varianssianalysilla).

Järvinumero	Tutkimusjärvi	1980	2000	muutos	Menetelmä
04.253.1.007	Nevajärvi	0,681	0,461	laskenut	ANOVA
04.271.1.001	Unnukka	0,364	0,301	laskenut	ANOVA
04.423.1.001	Pankajärvi	0,631	0,472	laskenut	ANOVA
04.554.1.001	Sulkavanjärvi	0,586	0,409	laskenut	ANOVA
14.452.1.002	Ylä-Jäppä	1,110	0,447	laskenut	Lin
14.472.1.001	Kolima	0,464	0,351	laskenut	Lin
14.491.1.001	Saaninjärvi	0,591	0,404	laskenut	Lin
14.493.1.001	Elämäjärvi	0,680	0,471	laskenut	Lin
14.631.1.001	Pääjärvi	0,662	0,414	laskenut	Lin
14.661.1.001	Karankajärvi	0,730	0,538	laskenut	Lin
14.664.1.006	Kiesimenjärvi	0,801	0,513	laskenut	Lin
14.711.1.001	Konnevesi	0,445	0,234	laskenut	Lin
14.912.1.001	Vuohijärvi	0,512	0,243	laskenut	Lin
35.231.1.001	Vanajavesi	0,244	0,162	laskenut	Lin
35.462.1.001	Kolunjärvi	0,891	0,706	laskenut	ANOVA
35.483.1.001	Pihlajavesi	0,995	0,541	laskenut	Lin
35.787.1.030	Valkea Kotinen	0,846	0,467	laskenut	Lin
35.787.1.062	Hakojärvi	1,183	0,617	laskenut	Lin
36.014.1.001	Isojärvi	0,540	0,320	laskenut	Lin
36.019.1.001	Valkjärvi	0,600	0,196	laskenut	Lin
42.074.1.002	Seinäjärvi	0,806	0,560	laskenut	Lin
44.044.1.010	Vetämäjärvi	0,590	0,242	laskenut	Lin
44.095.1.001	Kuorasjärvi	0,611	0,376	laskenut	Lin
44.096.1.004	Iso Allasjärvi	0,779	0,460	laskenut	Lin
48.005.1.003	Räyriinjärvi	0,235	0,161	laskenut	Lin
51.052.1.001	Lehtosenjärvi	1,026	0,667	laskenut	Lin
54.059.1.004	Parkkimajärvi	0,523	0,167	laskenut	Lin
54.071.1.001	Piipsjärvi	0,416	0,293	laskenut	Lin
59.511.1.001	Kiantajärvi	0,549	0,366	laskenut	Lin
59.882.1.001	Jormasjärvi	0,842	0,590	laskenut	Lin
59.921.1.001	Lentua	0,626	0,395	laskenut	Lin
65.592.1.001	Unarinjärvi	0,506	0,267	laskenut	Lin
71.111.1.001	Inarjärvi	0,356	0,169	laskenut	Lin

Pitoisuuden nousua havaittiin ainoastaan pienissä ja keskisuurissa järvissä, joissa elohopeapitoisuuden havaittiin nousseen noin 20 % järvistä 20 vuoden tarkastelujakson aikana. Pitoisuuden laskua puolestaan havaittiin kaikissa kokoryhmissä, pienten ja keskisuurten järvien joukossa noin puolella ja suurilla järvilla kahdella kolmanneksella järvistä (taulukko 13).

Taulukko 13. Tutkimusjärvissä havaittu muutos koko järviyöjoukolla ja kokoluokittain

	N	noussut	laskenut	pysynyt samana
pienet	25	5	12	8
keskisuuret	29	6	13	10
suuret	12	0	8	4
kaikki	66	11	33	22

3.2 Hauen elohopeapitoisuuden vaikuttavat tekijät

Korrelaatiomatriisien tarkastelu ja merkitsevien selittäjien valinta

Kalan elohopeapitoisuuden välisiä korrelaatioita mahdollisten selittäjien kanssa tutkittiin korrelaatiomatriisien avulla. Korrelaatiomatriiseista poimittiin jatkoanalyysiin kaikki 95 % luottamustasolla merkitsevät muuttujat. Sijaintia ja morfologiaa kuvaavista muuttujista pohjoiskoordinaatti, järven ala, rantaviivan pituus, valuma-alueen ala, syvyys, tilavuus sekä järven ja valuma-alueen alojen suhde korreloivat negatiivisesti ja tilastollisesti merkitsevästi estimoidun hauen elohopeapitoisuuden kanssa ja valittiin mukaan jatkoanalyysiin (taulukko 14). Kun muista järvistä erityisesti morfologisilta ominaisuuksiltaan hyvinkin poikkeava Inarijärvi (71.111.1.001) sekä valuma-alueen kalliomaiden osuuden suhteen poikkeava Valkjärvi (36.019.1.001) jätettiin analyysistä pois, muuttuivat pohjoiskoordinaatin ($r = -0,222$, $p = 0,082$, $n = 64$), syvyyden ($r = -0,224$, $p = 0,075$, $n = 64$) ja valuma-alueen alan ($r = -0,225$, $p = 0,071$, $n = 65$) vaikutukset myös tilastollisesti ei-merkitseviksi.

Taulukko 14. Morfologiamuuttujien korrelaatiot hauen mediaanimassalle vuonna 2000 estimoidun pitoisuuden kanssa. r = Pearson-korrelaatiokerroin, p = havaittu riskitaso nollahypoteesille ($H_0: |r| = 0$). 95 % luottamustasolla merkitsevät korrelaatiot lihavoitu.

Muuttuja	r	p	n
itäkoordinaatti	0,222	0,074	66
pohjoiskoordinaatti	-0,256	0,038	66
järven ala	-0,478	<0,001	66
rantaviivan pituus	-0,367	0,003	66
valuma-alueen ala	-0,263	0,033	66
syvyys	-0,250	0,043	66
keskisyvyys	-0,182	0,232	45
tilavuus	-0,418	0,004	46
järvi / valuma-alue	-0,277	0,024	66

Vuosien 2000–2002 -aineistolla veden laatua kuvaavista muuttujista hauen elohopeapitoisuuden kannalta tilastollisesti merkitseviä ($p < 0,05$) negatiivisia korrelaatioita havaittiin johtokyvyllä, pH:lla, alkaliniteetilla, kloridilla, kaliumilla, magnesiumilla ja seleenillä ja positiivisia korrelaatioita puolestaan värillä, KHK:lla, TOC:lla, raudalla ja alumiinilla (taulukko 15). Inarijärven poistaminen järvijoukosta lisäsi natriumin ($r = -0,274$, $p = 0,047$, $n = 53$) ja veden elohopeapitoisuuden ($r = 0,395$, $p = 0,034$, $n = 29$) tilastollisesti merkitsevien muuttujien joukkoon.

Vuosien 1980–1983 -aineistossa merkitseviä negatiivisia korrelaatioita vastaavan ajankohdan elohopeapitoisuuden estimaatin kanssa havaittiin johtokyvyllä, pH:lla ja alkaliniteetilla. Tilastollisesti merkitseviä positiivisia korrelaatioita ei havaittu. Inarijärven tai Valkjärven poistaminen aineistosta ei vaikuttanut näiden korrelaatioiden tilastollisiin merkitsevyyksiin.

Taulukko 15. Vedenlaatumuuttujien korrelaatiot hauen mediaanimassalle eri ajankohdille estimoidun pitoisuuden kanssa. r = Pearson-korrelaatiokerroin, p = havaittu riskitaso nollahypoteesille $H_0: |r| = 0$. 95 % luottamustasolla merkitsevät korrelaatiot lihavoitu.

	vuodet 2000-2002			vuodet 1980-1983		
	r	p	n	r	p	n
liuennut happi	0,044	0,730	65	-0,056	0,658	65
hapen kyllästys	-0,163	0,195	65	-0,042	0,742	65
sameus	-0,082	0,525	63	0,033	0,829	45
johtokyky	-0,303	0,016	63	-0,329	0,007	65
pH	-0,513	<0,001	64	-0,377	0,002	66
alkaliniteetti	-0,413	0,001	63	-0,405	0,002	55
väri	0,495	<0,001	63	0,222	0,074	66
kokonaistyyppi	0,126	0,316	65	-0,054	0,668	66
kokonaisfosfori	0,173	0,168	65	0,220	0,077	66
KHK	0,536	<0,001	62	0,159	0,207	65
TOC	0,488	<0,001	52	0,017	0,968	8
Fe	0,434	<0,001	63	0,214	0,096	62
Cl	-0,283	0,038	54	-0,013	0,950	26
Mn	0,106	0,436	53	0,177	0,289	38
Al	0,429	0,001	53	.	.	1
K	-0,312	0,022	54	-0,236	0,541	9
Ca	-0,243	0,076	54	-0,331	0,384	9
Mg	-0,479	<0,001	54	-0,488	0,152	10
Na	-0,255	0,063	54	0,316	0,344	11
SO ₄	-0,224	0,107	53	-0,841	0,074	5
SiO ₂	0,048	0,728	54	-0,317	0,406	9
Hg	0,346	0,061	30	.	.	2
Se	-0,390	0,027	32	.	.	.

Maankäyttömuodoista tilastollisesti merkitseviä elohopeapitoisuuden kanssa negatiivisesti korreloiva muuttuja oli havumetsät kalliomaalla, ja positiivisesti korreloivia havumetsät kivennäismaalla, harvapuustoiset alueet turvemaalla, havumetsät turvemaalla (taulukko 16). Summamuuttujista tilastollisesti merkitseviä olivat turvemaat (+), havumetsät (+) sekä lehtimetsät (-). Inarijärven ja Valkjärven vaikutuksen poistamisen jälkeen havumetsät kalliomaalla ($r = -0,189$, $p = 0,132$) ja harvapuustoiset alueet turvemaalla ($r = 0,179$, $p = 0,161$, $n = 63$) maankäyttöluokkien vaikutukset muuttuivat tilastollisesti ei-merkitseviksi. Samasta syystä puolestaan rakennetut alueet ($r = -0,270$, $p = 0,032$, $n = 63$) ja viljellyt alueet ($r = -0,309$, $p = 0,014$, $n = 62$) muuttuivat tilastollisesti merkitseviksi.

Taulukko 16. Maankäyttömuuttujien korrelaatiot hauen mediaanimassalle vuonna 2000 estimoidun pitoisuuden kanssa. r = Pearson-korrelaatiokerroin, p = havaittu riskitaso nollahypoteesille $H_0: |r| = 0$. 95 % luottamustasolla merkitsevät korrelaatiot lihavoitu.

maankäyttöluokka	r	p	n
rakennettu	-0,224	0,075	66
viljelty	-0,224	0,078	64
havumetsät kivennäismaalla	0,244	0,049	66
lehtimetsät kivennäismaalla	-0,229	0,071	63
sekametsät kivennäismaalla	-0,162	0,193	66
harvapuustoiset alueet kivennäismaalla	0,109	0,381	66
havumetsät turvemaalla	0,454	<0,001	66
lehtimetsät turvemaalla	-0,174	0,167	65
sekametsät turvemaalla	0,140	0,260	66
harvapuustoiset alueet turvemaalla	0,246	0,050	64
havumetsät kalliomaalla	-0,256	0,044	62
sekametsät kalliomaalla	-0,240	0,060	62
harvapuustoiset alueet kalliomaalla	-0,206	0,114	60
harvapuustoiset alueet	-0,174	0,163	66
avosuot	-0,068	0,590	66
turvetuotanto	0,131	0,397	44
kosteikot	-0,058	0,662	60
vesi	-0,044	0,725	66
muu havumetsä	-0,062	0,883	8
muu lehtimetsä	0,208	0,737	5
turvemaat yhteensä	0,288	0,019	66
kivennäismaat yhteensä	0,025	0,843	66
kalliomaat yhteensä	-0,243	0,057	62
havumetsät yhteensä	0,369	0,002	65
lehtimetsät yhteensä	-0,401	0,001	65
sekametsät yhteensä	-0,087	0,490	66
harvapuustoiset alueet yhteensä	0,073	0,561	66

Korrelaatiomatriisien tarkastelu kokoluokittain

Verrattaessa järven koon mukaan luokiteltuja järviryhmiä havaittiin, että erityisesti pienissä järvissä merkittäväksi nousi itäkoordinaatin positiivinen korrelaatio ($r = 0,401$, $p = 0,047$) hauen elohopeapitoisuuden kanssa. Tämä korrelaatio kuitenkin muuttui tilastollisesti ei-merkitseväksi, kun Valkjärvi poistettiin aineistosta. Morfologisista muuttujista veden ja valuma-alueen suhdetta kuvaavan muuttujan negatiivinen korrelaatio oli erittäin merkitsevä pienillä ($r = -0,418$, $p = 0,038$) kun taas keskisuurilla ja suurilla järvillä suhde ei ollut merkitsevä. Keskisyvyyden ja elohopeapitoisuuden korrelaatio oli keskisuurilla järvillä positiivinen ($r = 0,436$, $p = 0,043$), kun taas suurilla järvillä puolestaan negatiivinen ($r = -0,722$, $p = 0,018$). Tätä eroa tasoitti osittain kuitenkin Inarijärven poistaminen aineistosta, jolloin korrelaatio ei ollut tilastollisesti merkitsevä, mutta säilyi edelleen negatiivisena ($r = -0,644$, $p = 0,061$). Tilavuuden negatiivinen korrelaatio oli merkitsevä ainoastaan suurilla järvillä ($r = -0,626$, $p = 0,053$), mutta merkitsevyys poistui Inarijärven poistamisen myötä ($r = -0,577$, $p = 0,104$).

Vedenlaatumuuttujista erittäin merkitseviä positiivisia korrelaatioita kalaelohopean kanssa havaittiin kaikissa kokoryhmissä KHK:lle ja veden värille. Näiden korrelaatioiden tilastolliset merkitsevyydet pienissä järvissä kuitenkin heikkenivät merkittävästi, kun Valkjärven vaikutus poistettiin (KHK: $r = 0,403$, $p = 0,057$, väri: $r = 0,352$, $p = 0,100$). Pienillä järvillä vedenlaatumuuttujista merkitsevä negatiivinen korrelaatio havaittiin ainoastaan magnesiumpitoisuuden ja hauen elohopeapitoisuuden välillä ($r = -0,513$, $p = 0,021$). Keskisuurilla järvillä tilastollisesti merkitseviä negatiivisia korrelaatioita vedenlaatumuuttujien kanssa havaittiin alkaliniteetille ($r = -0,528$, $p = 0,005$) ja pH:lle ($r = -0,594$, $p = 0,001$). Positiivisia korrelaatioita havaittiin vastaavasti alumiinipitoisuudelle ($r = 0,555$, $p = 0,007$), rautapitoisuudelle ($r = 0,385$, $p = 0,047$), ja TOC:lle ($r = 0,535$, $p = 0,013$). Suurilla järvillä merkitseviä korrelaatioita oli KHK:n ja värin lisäksi veden pH:lla ($r = -0,620$, $p = 0,032$). Inarijärven poistaminen aineistosta kuitenkin poisti pH:n tilastollisen merkitsevyyden. Tämän sijaan alkaliniteetin ($r = -0,605$, $p = 0,049$) ja magnesiumpitoisuuden ($r = -0,621$, $p = 0,042$) negatiivisten sekä piidioksidin (SiO_2) ($r = 0,632$, $p = 0,037$) positiivisten korrelaatioiden elohopeapitoisuuden kanssa havaittiin olevan tilastollisesti merkitseviä.

Havumetsien ($r = 0,541$, $p = 0,005$) turvemaalla positiivinen korrelaatio ja harvapuustoisten alueiden kalliomaalla ($r = -0,474$, $p = 0,035$) negatiivinen korrelaatio olivat tilastollisesti merkitseviä pienillä järvillä, näistä jälkimmäisen korrelaatio kuitenkin muuttui tilastollisesti merkitsemättömäksi kun Valkjärven vaikutus poistettiin. Lehtimetsien kivennäismaalla negatiivinen korrelaatio oli puolestaan merkitsevä ainoastaan keskisuurten järvien kalojen elohopeapitoisuuden kanssa ($r = -0,455$, $p = 0,013$). Valuma-alueen vesialan positiivinen korrelaatio elohopeapitoisuuden kanssa oli merkitsevä ($r = 0,361$, $p = 0,054$) keskisuurilla järvillä. Suurilla järvillä valuma-alueuuttujista vain havumetsien summamuuttujan positiivinen korrelaatio oli tilastollisesti merkitsevä ($r = 0,760$, $p = 0,004$).

Pääkomponenttianalyysi

Pääkomponenttianalyysi tehtiin SAS:n (SAS Institute Inc. Version 9.1) FACTOR – proseduurin principal -menetelmällä aineistolle, josta monien ominaisuuksien suhteen poikkeavan havainnon, Inarijärven, sekä valuma-alueen kalliomaiden osuuden suhteen poikkeavan Valkjärven vaikutus oli poistettu. Valkjärvi vaikutti merkittävästi luokkien havumetsät ja sekametsät kalliomaalla sekä kalliomaat yhteensä merkitsevyyteen elohopeapitoisuuden selittäjinä. Analyysiin otettiin mukaan kaikkiaan 22 elohopeapitoisuuden selittäjää, jotka olivat tilastollisesti merkitseviä 95 %:n luottamustasolla. Pääkomponenttianalyysistä jätettiin pois sellaiset tilastollisesti merkitsevät selittäjäehdokkaat, joilla oli paljon puuttuvia tietoja (tilavuus, Hg, Se) ja vahvasti yhden havainnon vaikutuksesta merkittävästi korreloiva muuttuja (Na).

Pääkomponenttien ominisarvorajaksi valittiin yksi ja niin saatiin viisi pääkomponenttia, jotka selittivät kaikkiaan 83,64 % kokonaisvarianssista. Saaduille pääkomponenteille tehtiin *varimax*-rotatointi. Rotatoinnilla voidaan helpottaa pääkomponenttien tulkintaa siten, että ominaisvektorien lataukset ovat joko selvästi suuria tai pieniä. Pääkomponenttianalyysillä saatiin vähennettyä alkuperäisten muuttujien määrää 22:sta viiteen pääkomponenttiin (taulukko 17).

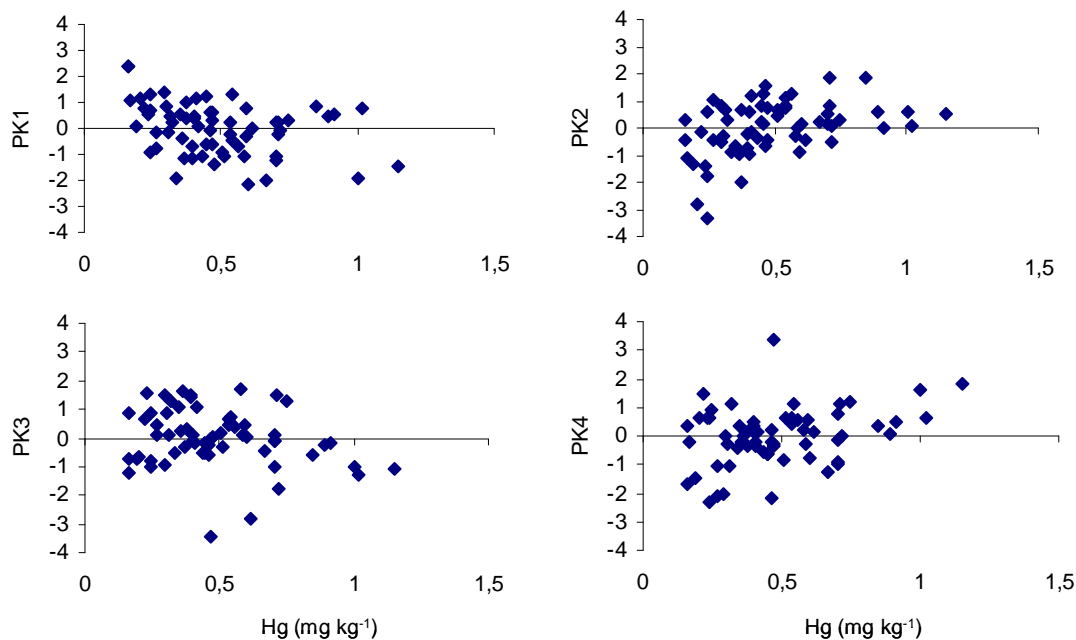
Taulukko 17. Pääkomponenttianalyysissä saatujen viiden pääkomponentin (PK1 – PK5) ominaisvektorien latausmatriisi. Ominaisvektorien suurimmat lataukset lihavoitu pääkomponenttikohteisesti.

	PK1	PK2	PK3	PK4	PK5
johtokyky	0,914	-0,075	-0,034	-0,035	-0,151
K	0,909	0,057	0,082	-0,194	-0,043
Cl	0,880	0,029	0,026	-0,001	0,049
viljelty	0,867	0,198	0,214	0,036	0,196
rakennettu	0,865	0,007	0,169	0,280	0,149
Mg	0,829	-0,008	0,071	-0,335	-0,245
alkaliniteetti	0,719	-0,171	0,197	-0,322	-0,259
lehtimetsät yhteensä	0,623	-0,170	0,014	-0,424	0,037
pH	0,420	-0,459	0,472	-0,164	0,072
valuma-alueen ala	0,157	-0,147	0,859	-0,093	-0,439
järven ala	0,140	-0,322	0,903	-0,147	0,037
TOC	0,110	0,923	-0,149	0,117	-0,077
KHK	0,065	0,929	-0,219	0,089	-0,128
rantaviiva	0,053	-0,304	0,911	-0,063	-0,030
Al	0,048	0,878	-0,148	0,090	0,062
havumetsät kivennäismaalla	-0,037	-0,047	-0,095	0,831	0,069
havumetsät turvemaalla	-0,051	0,641	-0,013	0,493	0,258
järven ala / valuma-alueen ala	-0,072	-0,229	-0,185	-0,063	0,895
väri	-0,088	0,917	-0,219	-0,042	-0,165
Fe	-0,142	0,865	-0,192	-0,247	-0,075
havumetsät yhteensä	-0,297	0,124	-0,217	0,769	-0,256
turvemaat yhteensä	-0,588	0,487	-0,012	-0,377	0,278
korrelaatiokerroin (r) elohopeapitoisuuden kanssa	-0,341	0,416	-0,216	0,326	-0,164
Vaikutus: p- arvo (H ₀ : ei yleistä vaikutusta elohopeapitoisuuteen)	<0,001	<0,001	0,028	0,001	0,093
Tulkinta	ioni - ominaisuudet	humus - ominaisuudet	koko	havumetsät valuma-alueella	järven ala / valuma-alueen ala

Pääkomponentilla PK1 saatiin korkeita latauksia veden johtokyvyille, alkaliniteetille, kalium-, kloori- ja magnesiumpitoisuudelle sekä valuma-alueen viljellylle ja rakennetulle osuudelle. Tätä pääkomponenttia voidaan siis pitää veden ioniominaisuuksia kuvaavana pääkomponenttina. Pääkomponentin PK2 havaittiin olevan selvä humuspitoisuutta kuvaava pääkomponentti, jossa suuria latauksia saivat veden pH:ta, TOC:a, KHK:ta, alumiini- ja rautapitoisuutta sekä veden väriä kuvaavat ominaisvektorit. Pääkomponentille PK3 havaittiin korkeita latauk-

sia järviökosysteemin kokoa kuvaaville ominaisvektoreille, kuten järven ala, rantaviivan pinta-ala ja valuma-alueen ala. Pääkomponentilla PK4 puolestaan korkeimmat lataukset saatiin valuma-alueen havumetsien kokonaisuudesta, havumetsiä kivennäismailla ja turvemaalla kuvaaville ominaisvektoreille. Pääkomponenttia PK4 voidaan siis pitää valuma-alueen havumetsien osuutta kuvaavana pääkomponenttina. Pääkomponentille PK5 saatiin muihin verrattuna korkea lataus järven alan ja valuma-alueen alan suhdetta kuvaavalle muuttujalle.

Pääkomponentit PK1, PK3 ja PK5 korreloivat negatiivisesti ja pääkomponentit PK2 ja PK4 positiivisesti elohopeapitoisuuden kanssa. Pääkomponenteilla PK1–PK4 havaittiin tilastollisesti merkitsevää vaikutusta testattaessa pääkomponenttien vaikutusta vuosille 2000–2002 estimoituun elohopeapitoisuuteen (kuva 8).



Kuva 8. Tilastollisesti merkitsevien pääkomponenttien PK1–PK4 havaintokohtaiset pistearvot elohopeapitoisuuteen verrattuna.

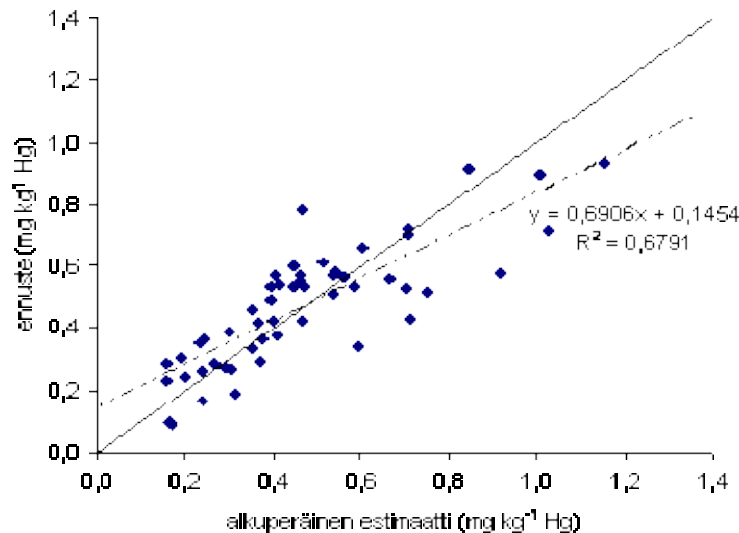
Pääkomponenttianalyysin perusteella veden ioniominaisuudet, järven koko ja järven ja sen valuma-alueen alojen suhde korreloivat elohopeapitoisuuden kanssa negatiivisesti ja näistä ioniominaisuudet ja koko vaikuttavat tilastollisesti merkitsevästi hauen elohopeapitoisuuteen. Veden humusominaisuudet ja valuma-alueen havumetsät puolestaan korreloivat hauen elohopeapitoisuuden kanssa positiivisesti ja vaikuttavat tilastollisesti merkitsevästi hauen elohopeapitoisuuteen.

Askeltava regressioanalyysi

Askeltava regressioanalyysi tehtiin aineistolla, josta Inarijärven ja Valkjärven vaikutus oli poistettu. Käytetyt selittävät muuttujat olivat jakaumaltaan normaalisia. Regressiomallit rakennettiin ensin kaikilla selittäjäehdokkailla, jotta saatiin selville merkitsevimmät muuttujat. Kertoimia tarkennettiin rakentamalla mallit uudelleen vain valituilla selittäjillä. Tulokseksi kaikilla käytössä olevilla muuttujilla saatiin regressiomalli, joka selitti kaikkiaan 67,1 % kokonaisvarianssista:

$$\begin{aligned} \text{Hg}_{\text{hauki}} (800 \text{ g}) = & 0,0046 * \text{havumetsien osuus valuma-alueella (\%)} \\ & + 0,1275 * \text{veden alumiinipitoisuus (\mu g l}^{-1}\text{) (logaritimuunnettu)} \\ & + 9,5520 * 10^{-7} * \text{itäkoordinaatti (YKI)} \\ & + 0,0793 * \text{vesialueiden osuus valuma-alueella (\%)} \text{ (logaritimuunnettu)} \\ & - 0,0365 * \text{järven ala (ha) (logaritimuunnettu)} \\ & - 0,0636 * \text{alkaliniteetti (mmol l}^{-1}\text{) (logaritimuunnettu)} \\ & - 3,5363 \end{aligned}$$

Tämän regressiomallin kolme ensimmäistä termiä selitti 51,8 % ja neljä ensimmäistä 60,6 % kokonaisvarianssista. Mallia testattiin vertaamalla mallin antamia elohopeapitoisuuksia havaittuihin (kuva 9). Näin regressiomallin selitysasteeksi saatiin 67,9 %.

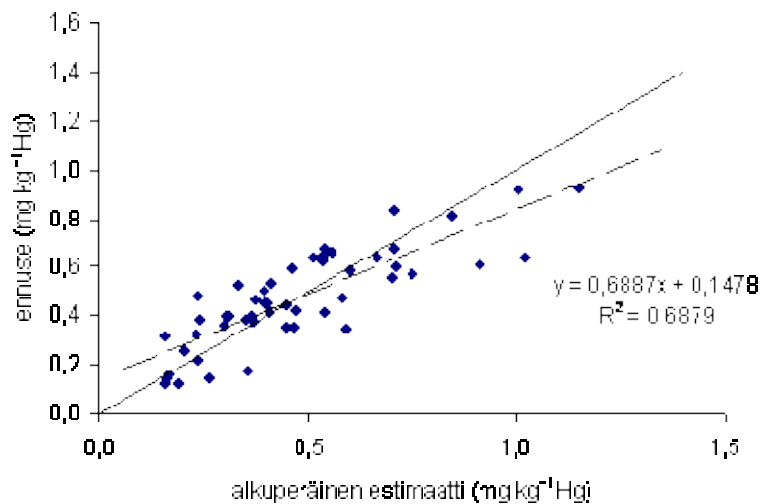


Kuva 9. Kaikilla selittävillä muuttujilla tehdyn askeltavan regressioanalyysin tarkastelu havaittuja pitoisuuksia vastaan (n = 52). - - - Havaintopisteiden regressiosuora, — yhtenäisten havaintojen suora.

Kun askeltava regressioanalyysi tehtiin pelkillä vedenlaatumuuttujilla, saatiin seuraava regressiomalli, joka selitti 67,7 % kokonaisvarianssista:

$$\begin{aligned} \text{Hg}_{\text{hauki}} (800 \text{ g}) &= 0,3455 * \text{kemiallinen hapenkulutus (mg l}^{-1}\text{)} \text{ (logaritmimuunnettu)} \\ &- 0,3231 * \text{magnesiumpitoisuus (mg l}^{-1}\text{)} \text{ (logaritmimuunnettu)} \\ &+ 0,1384 * \text{sulfaattipitoisuus (mg l}^{-1}\text{)} \text{ (logaritmimuunnettu)} \\ &- 0,1013 * \text{sameus (FNU)} \text{ (logaritmimuunnettu)} \\ &- 0,4508 \end{aligned}$$

Tässä mallissa veden pH olisi ollut myöskin erittäin merkittävä selittäjä, mutta se korreloi voimakkaasti KHK:n kanssa. Näistä keskenään korreloivista selittäjäehdokkaista KHK:ta käyttämällä saatiin parempi tulos. Regressiomallin kaksi ensimmäistä muuttujaa selitti 54,4 % sekä kolme ensimmäistä 62,1 % kokonaisvarianssista. Mallia testattiin vertaamalla mallin antamia elohopeapitoisuuksia havaittuihin (kuva 10). Näin regressiomallin selitysasteeksi saatiin 68,8 %.

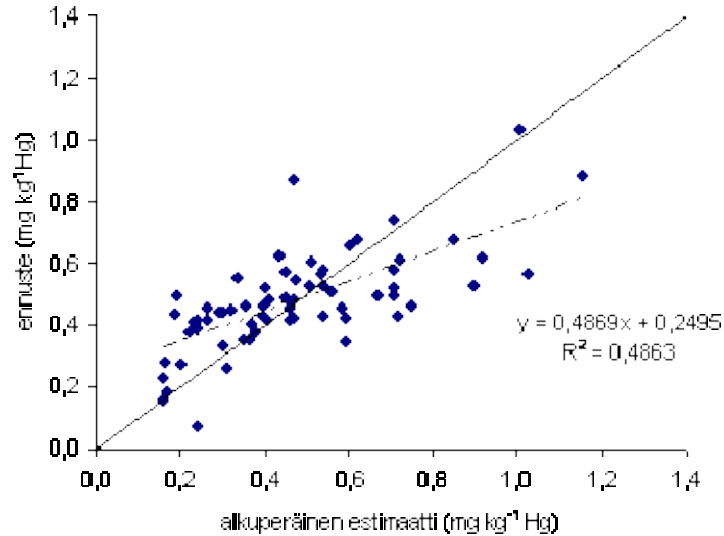


Kuva 10. Vedenlaatu muuttujilla tehdyn askeltavan regressioanalyysin tarkastelu havaittuja pitoisuuksia vastaan (n = 51). - - - Havaintopisteiden regressiosuora, — yhtenäisten havaintojen suora.

Kun askeltava regressioanalyysi tehtiin valuma-alueen maankäyttömuuttujilla ja morfologia-tiedoilla, saatiin regressioyhtälö, joka selitti 51,2 % kokonaisvarianssista:

$$\begin{aligned} \text{Hg}_{\text{hauki}} (800 \text{ g}) &= - 1,4991 * \text{järven ala (ha)} \text{ (logaritmimuunnettu)} \\ &+ 0,1213 * \text{havumetsät turvemaalla (\%)} \text{ (logaritmimuunnettu)} \\ &- 0,0635 * \text{viljellyt alueet valuma-alueella (\%)} \\ &+ 1,4735 * \text{valuma-alueen ala (ha)} \text{ (logaritmimuunnettu)} \\ &+ 1,4221 * \text{järven alan osuus valuma-alueen alasta (\%)} \text{ (logaritmimuunnettu)} \\ &+ 0,0036 * \text{kivennäismaat yhteensä valuma-alueella (\%)} \\ &+ 0,1728 \end{aligned}$$

Tämän regressiomallin 3 ensimmäistä muuttujaa selitti 40,8 % ja neljä ensimmäistä 46,7 % kokonaisvarianssista. Mallia testattiin vertaamalla mallin antamia elohopeapitoisuuksia havaittuihin (kuva 11). Näin mallin selitysasteeksi saatiin 48,6 %



Kuva 11. Morfologisilla muuttujilla ja valuma-alueen maankäyttöä kuvaavilla muuttujilla tehdyn askeltavan regressioanalyysin tarkastelu havaittuja pitoisuuksia vastaan (n = 64). - - - Havaintopisteiden regressiosuora, — yhtenäisten havaintojen suora.

Parhaimmat regressiomallit saatiin siis käyttämällä kaikkia selittäjiä tai vedenlaatumuuttujia mallin rakentamisessa. Kaikkien tehtyjen regressiomallien havaittiin yliarvioivan hauen elohopeapitoisuutta pienillä pitoisuuksilla ja aliarvioivan puolestaan suurilla pitoisuuksilla. Syyksi arvioitiin erilaista ennustekykä pienille ja suurille järville, mutta järvien kokoryhmällä havaittu vaikutusta.

3.3 Hauen elohopeapitoisuuden muutokseen vaikuttavat tekijät

Elohopeapitoisuuden muutokseen vaikuttavia tekijöitä tarkasteltiin vertaamalla Tukey'n testillä järviyryhmiä, joissa pitoisuus oli noussut, laskenut tai pysynyt samana. Aineistona käytettiin vuosien 2000–2002 morfologia- ja sijaintitietoja, vedenlaatuaineistoa ja maankäyttöaineistoa ja luottamustasona 90 %. Tarkastelu tehtiin kokoryhmille erikseen ja lisäksi koko järvijoukolle. Tulokset tiivistettiin taulukoksi (taulukko 18).

Taulukko 18. Kokoryhmittäin ja kaikilla järvillä yhteensä Tukey'n testillä tarkasteltuna hauen elohopeapitoisuuden muutokseen vaikuttavat tekijät järviryhmässä, joissa pitoisuudet ovat nousseet tai laskeneet muihin järviin verrattuna.

	Noussut	Laskenut
Pienet	- itäisempi sijainti - enemmän havumetsiä turvemaalla	- harvapuustoisia alueita vähän
Keskisuuret	- pienempi tilavuus - pienempi keskisyvyys	- pienempi sulfaattipitoisuus
Suuret		- syvempi järvi - korkeampi pH - vähemmän turvemaita (yhteensä, harvapuustoiset alueet, havumetsät) - veden humusindikaattoreita vähemmän (väri, KHK, TOC, Fe)
Kaikki	- enemmän havumetsiä turvemaalla - suurempi kokonaisfosforipitoisuus - itäisempi sijainti - pienempi keskisyvyys	

Kokoryhmittäisessä tarkastelussa havaittiin pienten järvien ryhmässä itäkoordinaatin olevan suurempi (sijainti idempänä) järvillä, joilla hauen elohopeapitoisuus oli noussut tai pysynyt samana verrattuna järviin, joilla pitoisuus oli laskenut. Harvapuustoisia alueita oli vähemmän sellaisten pienten järvien valuma-alueilla, joilla pitoisuus oli laskenut verrattuna järviin, joilla pitoisuus oli pysynyt samana. Havumetsiä turvemailla havaittiin enemmän sellaisilla pienillä järvillä, joilla pitoisuus oli noussut, verrattuna järviin, joilla pitoisuus oli pysynyt samalla tasolla tai laskenut.

Keskisuurilla järvillä järven kokoa kuvaavat suureet, kuten keskisyvyys ja tilavuus olivat suurempia järvillä, joilla pitoisuus oli pysynyt samana verrattuna järviin, joiden pitoisuus oli noussut. Keskisuurilla järvillä veden sulfaattipitoisuus oli suurempi järvillä, joilla pitoisuus oli noussut verrattuna järviin, joilla pitoisuus oli laskenut.

Suurten järvien joukossa suurin syvyys ja veden pH olivat suurempia järvillä, joiden hauen elohopeapitoisuus oli laskenut verrattuna järviin, joilla hauen elohopeapitoisuus oli pysynyt samana. Suurilla järvillä puolestaan turvemaita yhteensä, turvemaiden havumetsiä tai turvemaiden harvapuustoisia alueita valuma-alueella oli enemmän järvillä, joilla pitoisuus oli pysynyt samalla tasolla verrattuna järviin, joilla pitoisuus oli laskenut. Myös veden humuspitoisuuden indikaattorit (väri, KHK, TOC ja rauta) kertoivat pienemmästä humuspitoisuudesta järvillä, joilla pitoisuus oli laskenut kuin järvillä, joilla pitoisuus oli pysynyt samana.

Kaikilla järvillä itäkoordinaatin havaittiin olevan suurempi sellaisilla järvillä, joilla hauen elohopeapitoisuus oli noussut verrattuna järviin joilla pitoisuus oli laskenut. Havumetsien osuus turvemaalla oli suurempi järvillä, joilla hauen elohopeapitoisuus oli noussut verrattuna järviin,

joilla pitoisuus oli pysynyt samana (ero 4,55 %) ja järviin, joilla pitoisuus oli laskenut (ero 4,24 %). Kokonaisfosforipitoisuus oli suurempi järvillä, joilla pitoisuus oli noussut verrattuna järviin, joilla pitoisuus oli pysynyt samana (ero 16,04 µg l⁻¹). Lisäksi havaittiin keskisyvyyden olevan pienempi järvillä, joilla pitoisuus oli noussut verrattuna järviin, joiden pitoisuus oli pysynyt samana (ero 3,02 m).

Tukey'n testiin verrattuna Student-Newman-Keuls -monivertailut ovat vähemmän konservatiivisia. Student-Newman-Keuls -monivertailuissa oletuksena on kuitenkin vertailtavien otosten yhtä suuri koko, joka tässä tutkimuksessa ei toteutunut. Monivertailuja kokeiltiin kuitenkin juuri niiden pienemmän konservatiivisuuden vuoksi. Student-Newman-Keuls -monivertailuilla testauksessa käytettiin 95 % luottamustasoa ja eroja havaittiin samoilla muuttujilla kuin Tukey'n testillä.

Elohopeapitoisuuden muutoksen ja selittäjäehdokkaiden korrelaatiomatriiseja tarkasteltaessa otettiin huomioon sirontakuvioiden perusteella selkeästi yhden poikkeavan havainnon aiheuttamat korrelaatiot, eikä tässä ole mainittu niitä merkitsevinä korrelaatioina. Korrelaatioita tarkasteltiin normalisoidulla aineistolla. Elohopeapitoisuuden muutoksen kanssa positiivisesti korreloivat itäkoordinaatti ja turvemaiden havumetsien osuus valuma-alueesta. Puolestaan valuma-alueen kivennäismaiden, kalliomaiden havumetsien ja harvapuustoisten alueiden osuus sekä kalliomaiden kokonaisosuus korreloivat pitoisuuden muutoksen kanssa negatiivisesti (taulukko 19).

Tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita koko järviaineistolla suhteellisen pitoisuuden muutoksen kanssa (%) ei havaittu. Korrelaatioita tarkasteltiin myös ilman Inarinjärveä ja Valkjärveä, mutta näiden poistaminen aineistosta ei vaikuttanut merkittävästi havaittuihin vaikutuksiin.

Taulukko 19. Elohopeapitoisuuden muutokseen (mg kg⁻¹) tilastollisesti merkitsevästi vaikuttavat tekijät 90 % luottamustasolla. Korrelaatiokertoimista 95 % luottamustasolla merkitsevät lihavoitu.

	r	p
havumetsät kalliomaalla	-0,297	0,016
harvapuustoiset alueet kalliomaalla	-0,280	0,023
kalliomaat	-0,313	0,011
kivennäismaat	-0,257	0,037
havumetsät turvemaalla	0,247	0,045
kalsiumpitoisuus	0,235	0,088
itäkoordinaatti	0,379	0,002

Kokoryhmittäin tarkasteltuna havaittiin pienissä järvissä muutoksen kanssa positiivisesti korreloivina muuttujina itäkoordinaatti, turvemaiden havumetsien, turvemaiden sekametsien osuus ja turvemaiden kokonaisosuus valuma-alueella. Lisäksi havaittiin negatiivinen korrelaatio elohopeapitoisuuden muutoksen kanssa sekametsien osuudella kivennäismaalla, ki-

vennäismaiden kokonaisuudella, kalliomaiden havumetsien ja harvapuustoisten alueiden osuudella sekä kalliomaiden kokonaisuudella ja kosteikkojen osuudella valuma-alueella sekä järven alan ja valuma-alueen alan suuremmalla suhteella (taulukko 20).

Taulukko 20. Pitoisuuden muutokseen (mg kg⁻¹ ja %) vaikuttavat tekijät pienillä järvillä 90 % luottamustasolla. Korrelaatiokertoimista 95 % luottamustasolla merkitsevät lihavoitu.

	muutos mg kg ⁻¹		muutos %	
	r	p	r	p
sekametsät turvemaalla	0,357	0,079	.	.
havumetsät turvemaalla	0,441	0,027	0,395	0,051
turvemaat yhteensä	0,364	0,074	0,357	0,079
itäkoordinaatti	0,596	0,002	0,636	0,001
sekametsät kivennäismaalla	-0,381	0,061	.	.
kivennäismaat yhteensä	-0,365	0,073	.	.
havumetsät kalliomaalla	-0,453	0,028	-0,491	0,013
harvapuustoiset alueet kalliomaalla	-0,440	0,028	-0,472	0,017
kalliomaat yhteensä	-0,489	0,013	-0,525	0,007
kosteikot	-0,343	0,093	-0,354	0,083
järven ala / valuma-alueen ala	.	.	-0,357	0,080

Keskisuurissa järvissä havaittiin positiivinen korrelaatio hauen elohopeapitoisuuden muutoksen ja veden sulfaattipitoisuuden (pitoisuusero: $r = 0,479$, $p = 0,024$), johtokyvyn (prosentti: $r = 0,379$, $p = 0,051$) sekä veden kalsiumpitoisuuden (pitoisuusero: $r = 0,619$, $p = 0,002$, prosentti: $r = 0,527$, $p = 0,012$) kanssa. Negatiivinen korrelaatio havaittiin puolestaan mangaanipitoisuuden kanssa (pitoisuusero: $r = -0,400$, $p = 0,059$).

Suurten järvien joukossa ei havaittu järviä, joissa pitoisuus olisi noussut. Vedenlaatumuuttujien ja hauen elohopeapitoisuuden välillä havaittiin positiivisia korrelaatioita sameudella, veden värillä, kokonaisfosforipitoisuudella, KHK:lla, TOC:lla, rautapitoisuudella, mangaanipitoisuudella, alumiinipitoisuudella. Positiivinen korrelaatio havaittiin myös veden humusominaisuuksia kuvaavalla pääkomponentilla PK2. Lisäksi suurissa järvissä elohopeapitoisuuden kanssa positiivisesti korreloivat turvemaiden kokonaisuus valuma-alueella, sekametsät turvemaalla, harvapuustoiset alueet turvemaalla, harvapuustoiset alueet kivennäismaalla sekä lehtimetsät yhteensä. Elohopeapitoisuuden muutoksen kanssa negatiivisesti korreloivat valuma-alueen ala, vesiala, vesitilavuus, syvyys, keskisyvyys, sekametsien osuus kalliomaalla, sekametsien osuus kivennäismaalla ja kivennäismaiden kokonaisuus valuma-alueella (taulukko 21).

Taulukko 21. Pitoisuuden muutokseen (mg kg⁻¹ ja %) vaikuttavat tekijät suurilla järvillä 90 % luottamustasolla. Korrelaatiokerroimista 95 % luottamustasolla merkitsevät lihavoitu.

	muutos mg kg ⁻¹		muutos %	
	r	p	r	p
sekametsät turvemaalla	.	.	0,541	0,070
harvapuustoiset alueet turvemaalla	.	.	0,534	0,074
turvemaat yhteensä	.	.	0,646	0,023
harvapuustoiset alueet kivennäismaalla	.	.	0,558	0,060
lehtimetsät yhteensä	.	.	0,601	0,066
kosteikot	.	.	0,777	0,066
Mn	0,628	0,029	0,541	0,069
Al	0,529	0,077	.	.
Fe	0,784	0,003	0,810	0,009
sameus	0,644	0,024	.	.
kokonaisfosfori	0,713	0,009	0,591	0,043
väri	0,641	0,025	0,706	0,010
KHK	0,635	0,027	0,718	0,009
TOC	0,518	0,084	0,617	0,033
PK2	0,845	0,001	0,806	0,003
sekametsät kivennäismaalla	.	.	-0,534	0,074
kivennäismaat yhteensä	.	.	-0,541	0,069
sekametsät kalliomaalla	.	.	-0,549	0,064
syvyys	-0,714	0,009	-0,764	0,004
keskisyvyys	-0,735	0,016	-0,833	0,003
tilavuus	.	.	-0,656	0,039
järven ala	.	.	-0,513	0,088
valuma-alueen ala	.	.	-0,542	0,069

4. Tulosten tarkastelu

4.1 Järvikohtaisen elohopeapitoisuuden mallintaminen

Elohopeapitoisuuden analyysimenetelmän muuttuminen vaikutti havaittuun pitoisuustasoon ja järvissä tapahtuneeseen tilastollisesti havaittuun muutokseen merkittävästi. Elohopeapitoisuuden analyysimenetelmien eroa korjaava muunnos tehtiin, sillä menetelmien välinen havaittu pitoisuusero oli testattu ympäristöhallinnon laboratoriossa ja ero oli merkittävä ja tilastollisesti merkitsevä.

Tässä tutkimuksessa vertailtiin erilaisia järvikohtaisen kalan elohopeapitoisuuden estimoimiseen käytettyjä regressiomenetelmiä. Elohopeapitoisuuden selittäjänä käytettiin kalan massaa. Massa ei ollut kaikilla järvillä riittävän hyvä elohopeapitoisuuden selittäjä, jolloin tilastollisesti merkitsevää regressiota ei saatu. Massan ja elohopeapitoisuuden regressioita olisi voitu merkittävästi parantaa, mikäli kalojen kokojakauma olisi ollut laajempi. Esimerkiksi satunnaisotannalla tehty aineiston keräys toisi mahdollisesti pienten yksilöiden alhaiset pitoisuudet ja suurten yksilöiden korkeat pitoisuudet paremmin esille. Laajemmalla kokovaihtelulla järvi-

kohtaista elohopeapitoisuutta standardikokoisessa hauessa (1000 g tai mediaanimassa) olisi voitu havainnoida paremmin regressiomenetelmillä. Toisaalta laajempi kalojen kokojakauma edellyttäisi myös suurempaa näytteiden määrää, jotta erikokoisia kaloja olisi riittävästi pitoisuuden luotettavaan arviointiin koon perusteella. Nyt käytössä ollut näytemäärä oli pääosin riittävä pitoisuuksien arviointiin. Muutamilla järvillä pitoisuusarvio jouduttiin tekemään kuitenkin vain muutaman yksilön pitoisuuden perusteella. Tällöin arvio on epäluotettava, mutta kuitenkin suuntaa antava, minkä vuoksi näitä järviä ei jätetty pois analyyseista.

Haasteellista järvi-kohtaisten elohopeapitoisuuden ennustemallien rakentamisessa oli kahden tutkimusajankohdan sisällyttäminen malleihin. Binäärisen dummy -muuttujan käyttö mahdollisti laajemman aineiston (molemmat ajankohdat) hyödyntämisen järvi-kohtaisen mallin rakentamisessa, jolloin mallin vapausaste kasvoi ja luotettavuus parani. Tällainen malli käytti hyväksi eri tutkimusajankohtien havaintoja ns. toistomittauksena. Ajankohtien vertailussa hyödynnettiin tietoa, että aineisto on kerätty samasta paikasta. Vertailussa oletettiin, että tutkimusjärvien kalojen elohopeapitoisuuden määräytymismekanismit eivät ole muuttuneet ajankohdojen välillä. Tällä oletuksella saatiin mallin tarkkuutta (vapausasteita) parannettua ja voitiin keskittyä kiinnostuksen kohteena olevaan pitoisuuksien eroon ja muutoksen havainnointiin ajankohtien välillä. Eri tutkimusajankohtien paikallista yhteyttä ei voida huomioida lineaarisissa malleissa joissa yhden ajankohdan havainnot ovat pohjana yhdelle mallille. Tällöin kahden ajankohdan huomioivaan malliin verrattuna vapausasteita on vähemmän ja mallin epävarmuus kasvaa.

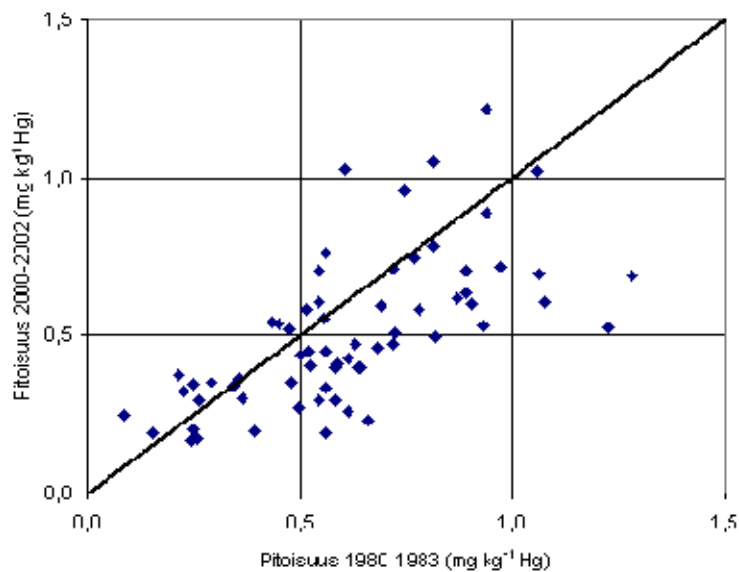
Regressiomenetelmiä vertailtaessa havaittiin, että erilaisilla regressiomenetelmillä (lineaarinen, logaritminen tai polynomi-) ei saatu merkittävästi erilaisia tuloksia. Polynomiregressiolla saadut mallit sopivat aineistoon parhaiten, mikä voitiin havaita lähes poikkeuksetta korkeampina mallien selitysasteina. Tärkeimpänä kriteerinä malleja arvioitaessa oli kuitenkin niiden tilastollinen merkitsevyys ja siinä polynomimallit olivat huonompia. Menetelmävertailulla olisi mahdollisesti saatu erilaisia tuloksia, mikäli aineiston kokojakauma olisi ollut laajempi ja aineisto suurempi. Tässä tutkimuksessa päädyttiin käyttämään lineaarista regressiota, mitä on käytetty aiemminkin, sillä muiden testattujen menetelmien ei havaittu olevan parempia. Mikäli halutaan selvittää onko hauen elohopeapitoisuuden kokoriippuvuus muodoltaan jotakin muuta kuin lineaarista, tulisi tätä tarkastella aineistolla, jonka kokovaihtelu on suurempaa. Tarkastelu tulisi tehdä järvi-kohtaisesti, sillä pitoisuudet vaihtelevat paljon järvien välillä.

Sellaisilla järvillä, joissa kalan massan ja elohopeapitoisuuden regressiosta ei saatu tilastollisesti merkitsevää laskettiin järven pitoisuusestimaatti keskiarvon perusteella. Keskiarvojen eroa testattiin erikseen varianssianalyysillä. Elohopeapitoisuuden keskiarvon perusteella laskettu estimaatti olisi tarkempi pienemmällä kalojen koon vaihtelulla kuin tässä tutkimuk-

nessa, sillä elohopeapitoisuuden on todettu korreloivan kalan koon kanssa. Keskiarvoa on käytetty aikaisemmin jonkin verran (Rask ja Metsälä 1991, Huuskonen 2001) hauen järvikoh-
taisen elohopeapitoisuuden estimointiin.

Hauen elohopeapitoisuuksien tarkastelussa käytetään yleisesti 1 kg:n massalle laskettua standardikalan pitoisuusestimaattia. Tässä tutkimuksessa estimointiin 1 kg:n massalle lineaarisella regressiolla tai keskiarvon perusteella järvikohittaiset elohopeapitoisuudet. Vuosina 1980–1983 pitoisuudet vaihtelivat välillä 0,09 mg kg⁻¹ (Karhijärvi) ja 1,28 mg kg⁻¹ (Hakojärvi) ja vuosina 2000–2002 välillä 0,168 mg kg⁻¹ (Räyriinjärvi) ja 1,216 mg kg⁻¹ (Suuri Petäjäjärvi). Havaittujen elohopeapitoisuuksien tutkimusjärvien välinen vaihtelu oli melko suurta, mutta suurien tutkimusalueiden välisiä pitoisuuksien eroja on havaittu muuallakin. Pohjoismaissa on aikaisemmin havaittu luonnontilaisissa järvissä hauen elohopeapitoisuuksia, jotka ovat samalla tasolla kuin tässä tutkimuksessa havaitut (Rask ja Metsälä 1991, Håkanson 2000, Huuskonen 2001, Fjeld ja Rognerud 2004, Munthe ym. 2004). Pohjois-Amerikassa on havaittu sekä tässä tutkimuksessa havaittuja alhaisempia pitoisuuksia (Garcia ja Carignan 2000, Snodgrass ym. 2000) että samalla tasolla olevia pitoisuuksia (Kidd ym. 1995, Jewett ym. 2003).

Pitoisuusestimaattien perusteella vuosina 1980–1983 kaikkiaan 29 % tutkimusjärvistä pitoisuus oli alle 0,5 mg kg⁻¹ ja 92 % järvistä alle 1 mg kg⁻¹. Vastaavasti vuosina 2000–2002 kaikkiaan 55 % tutkimusjärvistä pitoisuus oli alle 0,5 mg kg⁻¹ ja 94 % järvistä alle 1 mg kg⁻¹. Standardikokoisissa hauissa (800 g ja 1000 g) havaittiin pitoisuuksia, jotka ylittävät EY:n määrittelemät pitoisuusrajat ravintokalan elohopeapitoisuudelle. Jos ja kun hauen elohopeapitoisuus kasvaa sen iän ja koon myötä, voidaan todeta suurten haukien elohopeapitoisuusraja ylittävän useammassa järvessä, kuin tässä tutkimuksessa on havaittu (kuva 12). Pitoisuuden laskua tai nousua havaittiin tasaisesti kaikilla pitoisuustasoilla. Näin ollen ei voida todeta pitoisuuden muuttuneen vain tietyllä pitoisuustasolla.



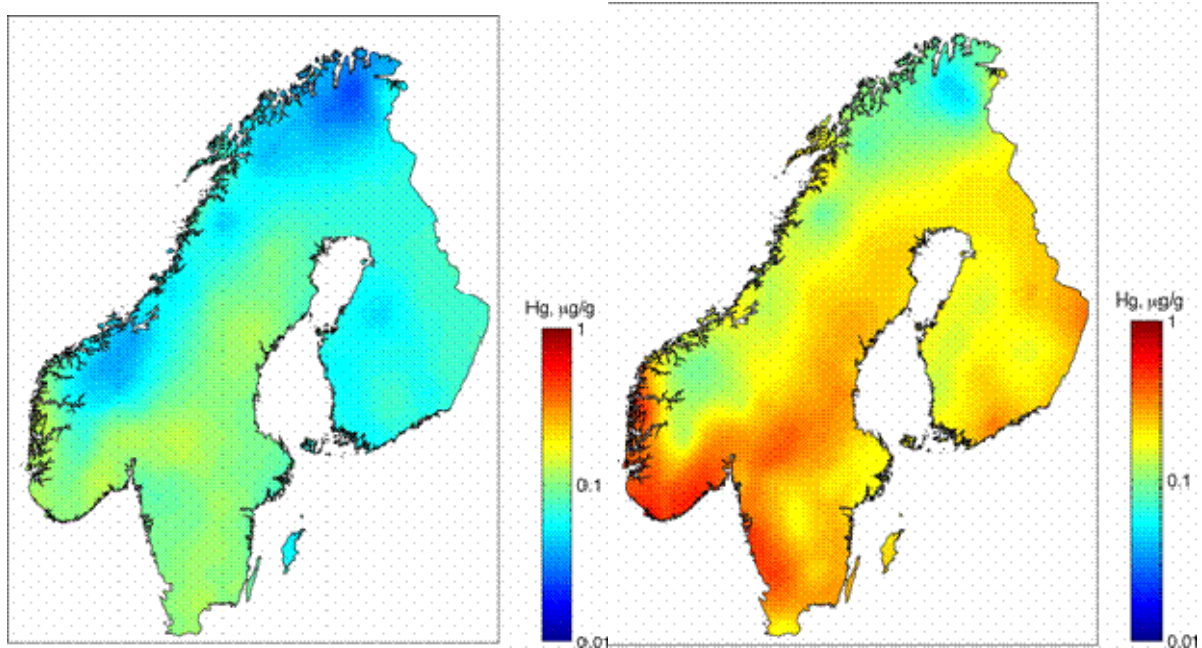
Kuva 12. Haukien kilon massalle estimoidut elohopeapitoisuudet tutkimusjärvissä vuosina 1980–1983 ja 2000–2002. Suora (1:1) kuvaa pitoisuuksia, jotka ovat samat molempina ajankohtina.

Pohjoismaisessa kalaelohopean kartoituksessa (Munthe ym. 2004) havaittiin Keski-Suomessa kilon painoisen kalan elohopeapitoisuuden mediaanin vaihtelevan välillä 0,5–0,8 mg kg⁻¹ (kuva 14, s. 55). Kartoituksen mukaan Keski-Suomessa 50–80 % järvistä hauen elohopeapitoisuus ylittää 0,5 mg kg⁻¹ ja 5–20 % pitoisuus ylittää 1 mg kg⁻¹. Tässä tutkimuksessa saatiin koko aineistolla samanlaisia tuloksia.

Verta ym. (1986) tutkivat suomalaisten metsäjärvien elohopeapitoisuustasoja ja elohopean lähteitä ja havaitsivat metsäjärvien hauissa 1 kg:n massalle estimoidun keskimääräisen pitoisuuden 0,56 mg kg⁻¹ vuosina 1980–1983. Tutkimusjärvet em. tutkimuksessa olivat osittain samoja kuin tässä tutkimuksessa. Tässä tutkimuksessa saman ajankohdan kilon painoiselle haulle estimoitujen pitoisuuksien keskiarvo oli hieman korkeampi kuin em. tutkimuksessa (0,61 mg kg⁻¹). Ero johtunee analyysimenetelmän muuttumisen vuoksi pitoisuuksiin tehdystä korjauksesta. Kun tehty korjaus poistettiin, saatiin vuosien 1980–1983 keskimääräiseksi järvien elohopeapitoisuudeksi 0,53 mg kg⁻¹, mikä oli taas hieman aikaisemmin havaittua alhaisempi pitoisuus. Tässä tutkimuksessa oli mukana myös isoja järviä ja reittivesiä, joissa on havaittu alhaisempia kalan elohopeapitoisuuksia kuin metsäjärvissä.

Savimaiden järvissä havaittujen pitoisuuksien perusteella luontaiseksi hauen elohopeapitoisuudeksi on arvioitu noin 0,2 mg kg⁻¹ (Verta ym. 1986a). Ruotsissa tehty hauen elohopeapitoisuuden taustapitoisuusarvio on 0,05–0,2 mg kg⁻¹ (mm. Johnels ym. 1967, artikkelissa Verta ym. 1986a). Sedimenttiprofiilissa näkyneen kertyneen orgaanisen aineksen pitoisuuden perusteella arvioitiin, että metsäjärvien haukien elohopeapitoisuus voisi olla kaksinkertaistu-

nut sadan vuoden aikana Keski- ja Etelä-Suomessa (Verta ym. 1986a). Arvio oli huomattavasti alhaisempi kuin ruotsalaisten vuonna 1984 julkaisemat arviot (Björklund ym. 1984 ja Lindqvist ym. 1984 artikkelissa Verta ym. 1986a). Kalan elohopeapitoisuuden on joissakin ruotsalaisissa metsäjärvisissä havaittu olevan noin viisinkertainen taustapitoisuuteen verrattuna (Johansson ym. 2001). Järvien pintasedimenteissä on havaittu pitoisuuksia, jotka ovat sedimentin taustapitoisuuteen verrattuna noin viisinkertaistuneet eteläisen Fennoskandian alueella ja noin kaksinkertaistuneet pohjoisessa (Munthe ym. 2005) (kuva 13).



Kuva 13. Sedimentin kokonaiselohopeapitoisuudet ($\mu\text{g g}^{-1}$ k.a.= mg kg^{-1} k.a.) taustapitoisuuden omaavissa vertailunäytteissä (vasemmalla) ja pintasedimentinäytteissä (oikealla) (Munthe ym. 2005)

Olettaen, että luontaisen kalaelohopean taustapitoisuuden arviot ($0,2 \text{ mg kg}^{-1}$) pitävät paikkansa, on tämän tutkimuksen järvien haukien pitoisuus vuosina 2000–2002 noin 1–6 -kertainen taustapitoisuuteen verrattuna. Taustapitoisuuksien tasolla olevia pitoisuuksia havaittiin 1 kg:n estimaatilla vuosina 2000–2002 kaikkiaan kuudella järvellä (Räyriinjärvi, Vanajavesi, Parkkimajärvi, Kuusijärvi, Inarijärvi ja Kolkonjärvi) ja vuosina 1980–1983 kahdella järvellä (Karhijärvi ja Kuusijärvi).

Tässä tutkimuksessa ei ollut mukana järviä, joilla olisi nykyään tai historiallisesti merkittäviä elohopean kuormituslähteitä. Selkeiden elohopean päästölähteiden alapuolisissa vesistöissä on havaittu erittäin korkeita kalaelohopeapitoisuuksia, mutta myös pitoisuuden laskua kuormituksen loputtua. Lodeniuksen (1991) mukaan elohopeapitoisuus 1 kg:n painoisessa haulassa oli hämeenkyröläisen sellu- ja paperitehtaan alapuolisessa Kirkkojärnessä laskenut lähes puoleen vuosien 1971–1974 ja 1990 välisenä aikana fenyylielohopean käytön lopettami-

sen (vuonna 1967) seurauksena. Näin ollen voidaan ajatella myös luonnontilaisessa järvessä kuormituksen alenemisen seurauksena alhaisempia kalojen elohopeapitoisuuksia.

4.2 Hauen elohopeapitoisuuteen vaikuttavat tekijät

Menetelmällinen tarkastelu

Hauen elohopeapitoisuuteen vaikuttavia tekijöitä selvitettiin tässä tutkimuksessa usealla eri tavalla. Luonnon prosessien monimutkaisuus asettaa haasteita menetelmän valinnalle. Myös tuloksia tarkastellessa täytyy huomioida se tosiseikka, että luonnon omat prosessit ovat usein niin monimutkaisia, että niitä on vaikea yksinkertaistaa mitattavista suureista malliksi, joka kuitenkin huomioisi tarpeellisen vaihtelun.

Vaikuttavien tekijöiden arvioinnissa monimuuttujamenetelmät ovat hyviä, sillä ne hyödyntävät selittäjien yhteisvaihtelua sen sijaan, että selittäjien keskinäinen korrelaatio toisi virhettä analyysiin. Yhteisvaihtelua huomioimalla voidaan saada esille ns. piileviä muuttujia, joista ei ole saatavilla suoria havaintoja. Hauen elohopeapitoisuuteen vaikuttavien tekijöiden arvioinnissa tässä tutkimuksessa kokeiltiin monimuuttujamenetelmistä pääkomponenttianalyysia. Ideaalissa tapauksessa pääkomponenttianalyysillä on mahdollista vähentää alkuperäisten selittävien muuttujien määrää mielekkäiksi uusiksi keskenään korreloimattomiksi muuttujiksi, joilla on selitettävän muuttujan kannalta vaikutusta. Pääkomponenttianalyysin tuloksena saatiin viisi pääkomponenttia, jotka selittivät lähes 84 % alkuperäisten 22 elohopeapitoisuuden kanssa 95 % luottamustasolla korreloivan muuttujan kokonaisvarianssista. Tässä tutkimuksessa saatiin mielekkäitä pääkomponentteja, joilla havaittiin olevan vaikutusta hauen elohopeapitoisuuteen.

Pääkomponenttianalyysia varten eri yksiköissä mitattu aineisto on standardoitava ennen analyysia siten, että kunkin muuttujan havaintojen keskiarvo on nolla ja keskihajonta yksi. Standardoinnissa muuttujien biologisen tulkinnan mahdollisuus häviää. Pääkomponenttianalyysi täten ei sovellu pitoisuuksien ennustamiseen, sillä saadut yhtälöt ovat varsin monimutkaisia (pääkomponenttien vektorikoostumus). Pääkomponenttianalyysin merkittävänä etuna askeltavaan regressioon verrattuna on käytettävissä olevien selittäjien keskinäisen korrelaation huomiointi ja hyväksikäyttö (Ranta ym. 2002).

Askeltava regressioanalyysi ja muut vastaavat monilineaariset regressiomallit (MLR, multi-linear regression methods) on kehitetty tunnistamaan riippuvaan muuttujaan eniten vaikuttavia ympäristötekijöitä. Niiden tavoitteena on löytää regressiomalliin ne muuttujat, jotka par-

haiten selittävät vastemuuttujan vaihtelua. Tällaiset menetelmät ovat erittäin herkkiä eri muuttujien välisille korrelaatioille ja kausaalisia riippuvuuksia on vaikea havaita. Jos kaksi potentiaalista selittäjää ovat voimakkaasti korreloituneita keskenään, ei molempia kannata ottaa regressioyhtälöön mukaan, sillä molemmat selittävät samaa asiaa.

Monilineaariset regressiomallit ovat jopa sopimattomia tässä tutkimuksessa käytettyyn aineistoon, sillä niissä on oletuksena selittäjien keskinäinen riippumattomuus (Sonesten 2001, Ranta ym. 2002, Sonesten 2003a ja 2003b). Selittäjien keskinäisiä korrelaatioita voidaan kuitenkin hallita tarkastelemalla korrelaatiomatriiseja ja tutkimusongelman hyvällä tuntemuksella. Askeltavan regression etuna kuitenkin on selkeä tulostus ja kaavat, joita voidaan soveltuvisissa tilaisuuksissa (samankaltainen järviaineisto) käyttää pitoisuuksien arviointiin järvillä, joista aineistoa ei ole saatavilla. Vaarana on kuitenkin, että askeltavalla regressiolla saatu ennustekaava on liian suuri yleistys, eikä sillä saada luotettavia ennusteita.

Ympäristötekijöiden vaikutus – morfologia ja sijainti

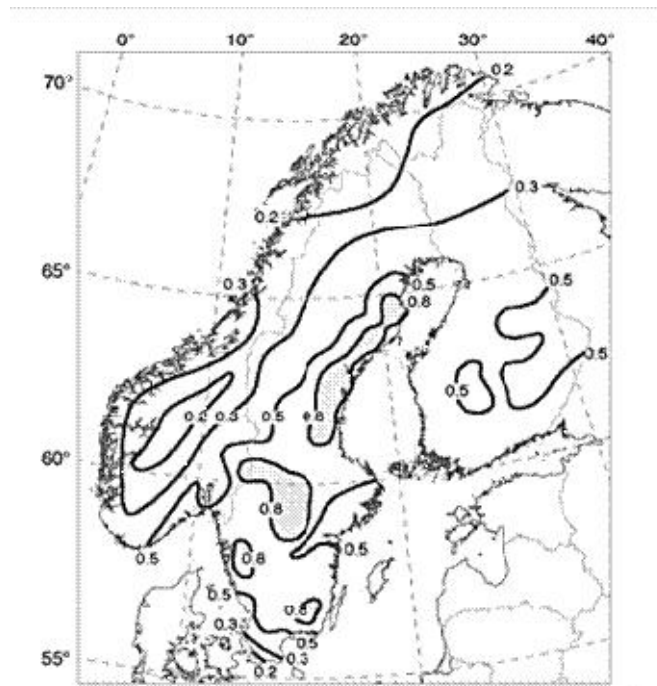
Valuma-alueen alan havaittiin tässä tutkimuksessa korreloivan hauen elohopeapitoisuuden kanssa negatiivisesti, eli valuma-alueen koon kasvaessa hauen elohopeapitoisuus pienenee. Valuma-alueen koon negatiivinen korrelaatio kokonaiselohopeapitoisuuteen valumavesissä on havaittu myös Skandinaviassa (Lee ym. 1998, Grigal 2002). Metyylielohopean korrelaatiota valuma-alueen koon kanssa sen sijaan ei ole havaittu (Lee ym. 1998, 2000, Garcia ja Carginan 2000).

Valuma-alueen suuri koko on yleensä yhteydessä myös järven suureen kokoon, minkä vuoksi tarkastelussa käytettiin myös valuma-alueen suhteellista kokoa järveen nähden. Mitä pienempi järven alan osuus on valuma-alueen alasta, sitä suurempi on hauessa tavattava elohopeapitoisuus. Tämä yhteys havaittiin erityisen merkitsevänä pienillä järvillä. Garcia ja Carginan (2000) havaitsivat vastaavan, erittäin merkitsevän korrelaation valuma-alueen alan ja vesialan suhteen ja hauen elohopeapitoisuuden välillä. Valuma-alueen prosessit ovat siis erittäin merkittäviä elohopeapitoisuuden kannalta. Porvari (2003) toteaa boreaaliseen metsäjärveen tulevan elohopeakuorman riippuvan valuma-alueelta peräisin olevasta elohopeasta tapauksessa, jossa valuma-alueen pinta-ala on suuri järven pinta-alaan verrattuna. Toisaalta valuma-alueen alan ollessa pienempi järven alaan verrattuna, laskeuman merkitys kuormituksessa kasvaa. Tällaisissa järvissä pitoisuuksien havaittiin olevan alhaisempia tässä tutkimuksessa. Verta ym. (1986) ovat todenneet, että mitä suurempi valuma-alue on suhteessa järven tilavuuteen, sitä humuspitoisempi järvi on ja edelleen myös elohopeapitoisuus on korkeampi.

Järven kokoa kuvaavien muuttujien kuten järven alan, rantaviivan pituuden, suurimman syvyyden ja tilavuuden ollessa suurempia, elohopeapitoisuuden havaittiin olevan alhaisempi. Myös järven kokoa kuvaavan pääkomponentin perusteella todettiin suurten järvien alhaisemmat elohopeapitoisuudet. Näin ollen voidaan todeta, että mitä suurempi vesimäärä järvessä on, sitä alhaisemmat ovat haussa tavattavat elohopeapitoisuudet. Tutkimusjärven morfometria voi olla jopa järveen ulkopuolelta kohdistuvaa elohopeakuormitusta merkittävämpi kalan elohopeapitoisuuteen vaikuttava tekijä (Håkanson 2000). Suuren vesimäärän voidaan ajatella laimentavan pitoisuuksia. Keskisyvyyden osalta saatiin tässä tutkimuksessa ristiriitaisia tuloksia.

Järven sijainnilla yhtenäiskoordinaatistossa (YKI ja YKP) havaittiin tilastollisesti merkitsevä aleneva hauen elohopeapitoisuuden gradientti etelästä pohjoiseen ja idästä länteen. Pohjoiskoordinaatin kasvaessa pitoisuus aleni ja itäkoordinaatin kasvaessa pitoisuus nousi. Itäkoordinaatin merkitys korostui tarkasteltaessa vain pieniä järviä. Pohjois-Suomessa kalan elohopeapitoisuuden havaittiin olevan selvästi alhaisempi kuin Etelä- ja Keski-Suomessa. (kuva 6 s. 31).

Alueellinen ero kalojen pitoisuuksissa pohjoisen ja etelän välillä on havaittu sekä Suomessa, Ruotsissa että Norjassa ja sen on arvioitu olevan seurausta pohjoisen pienemmästä ilmapiiristä kuormituksesta (Verta ym. 1986a, Verta 1990a, Rognerud ja Fjeld 2002, Munthe ym. 2004). Yhteispohjoismaisessa kalaelohopeapitoisuuksien kartoituksessa on havaittu Suomen korkeimmat pitoisuudet Keski-Suomessa ja itärajan tuntumassa (Munthe ym. 2004) (kuva 14). Munthen ym. (2004) aineisto perustuu laajempaan aineistoon kuin tämä tutkimus, mutta pitää sisällään tämän tutkimuksen aineiston. Myös itä-länsisuuntainen ero voi olla seurausta ilmakuormituksen alueellisista eroista, mutta mitään selkeää syytä ei ole osoitettu. Itäkoordinaatin havaittiin korreloivan merkitsevästi myös veden humuspitoisuuden indikaattorimuuttujien, kuten KHK:n, TOC:n, rauta- ja alumiinipitoisuuksien kanssa. Tämän perusteella voidaan todeta, että Itä-Suomessa tutkimusjärvet ovat myös humuspitoisempia, jonka seurauksena myös hauen elohopeapitoisuus olisi korkeampi.



Kuva 14. Kalaelohopean pohjoismaisen kartoituksen perusteella havaittu 1 kg:n painoisen hauen elohopeapitoisuuden (mg kg^{-1}) jakautuminen yli 1500 järven tietojen perusteella Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa (Munthe ym. 2004)

Ympäristötekijöiden vaikutus – vedenlaatu

Veden alhaisen pH:n lisäävä vaikutus kalojen elohopeapitoisuuteen on hyvinkin yleisesti esitetty väite (Boening 2000). Tässäkin tutkimuksessa havaittiin veden pH:n ja hauen elohopeapitoisuuden välillä erittäin merkitsevä negatiivinen korrelaatio, eli mitä alhaisempi järvi-veden pH on, sitä suurempia elohopeapitoisuuksia hauissa tavataan. Veden pH:n merkitys korostui keskisuurilla ja suurilla järvillä. Monissa tutkimuksissa on havaittu pH:n ja kalaelohopean välillä negatiivinen korrelaatio (mm. Verta ym. 1986a, Ponce ja Bloom 1991, Garcia ja Carignan 2000, Huuskonen 2001). Lähellä neutraalia olevan pH:n ja kalaelohopean yhteyttä ei ole puolestaan pystytty vahvistamaan (Sonesten 2001, 2003b).

Ponce ja Bloom (1991) arvioivat, että osa kalaelohopeasta alhaisen pH:n järvissä voi olla seurausta alhaisen pH:n suorasta vaikutuksesta bioakkumulaatioon. Alhaisessa pH:ssa myös humusaineksen kationinvaihtopaikoille sitoutuneen Hg^{2+} -ionin liukoisuus voi lisääntyä kationinvaihtoreaktioissa H^+ -ionin kanssa. Tässä tutkimuksessa alhaisen pH:n kalaelohopeaa kohottava vaikutus oli selvä. Vaikutus havaittiin sekä korrelaatiokertoimien perusteella, pääkomponenttianalysissa (PK2) että veden laatua kuvaavilla muuttujilla tehdyssä askeltavassa regressioanalysissa.

Tässä tutkimuksessa havaittiin elohopeapitoisuuden olevan korkeampi järvissä, joissa orgaanisen aineksen määrä on suuri. Orgaanisen aineksen eli humuksen indikaattoreina järvi-vedessä voidaan pitää kemiallista hapenkulutusta (KHK), veden väriä, orgaanisen kokonashiilen määrää (TOC) sekä alumiini- ja rautapitoisuutta. Humusindikaattorien merkitys oli erityisen selkeä pienillä ja keskisuurilla järvillä. Orgaanisen aineksen on ajateltu lisäävän elohopean biosaatavuutta stimuloimalla mikrobien metylaatiota ja pitämällä siihen sitoutunutta elohopeaa vesifaasissa (Garcia ja Carignan 2000).

Aikaisemmissa tutkimuksissa on havaittu liuenneen orgaanisen aineksen (DOC), veden värin, sekä rauta-, fosfori- ja alumiinipitoisuuden korreloivan hauen elohopeapitoisuuden kanssa (Mannio ym. 1986, Verta ym. 1986a, Boening 2000, Garcia ja Carignan 2000, Sonesten 2001, 2003b). Fosforipitoisuuden korrelaatio kalaelohopean kanssa voi olla seurausta sen sitoutumisesta orgaaniseen ainekseen, jolloin korkeat fosforipitoisuudet vedessä indikoivat ravinnetason sijasta orgaanisen aineksen määrää. Tässä tutkimuksessa ei havaittu yhteyttä veden fosforipitoisuuden ja hauen elohopeapitoisuuden välillä, vaikka runsashumuksisissa järvissä havaittiin sekä korkeita fosforipitoisuuksia että korkeita hauen elohopeapitoisuuksia.

Alumiinin roolin on havaittu olevan kaksijakoinen. Sen on havaittu vaikuttavan kalaelohopeapitoisuuksiin positiivisesti, etenkin mikäli alumiinia on paljon liuenneeseen orgaaniseen ainekseen verrattuna. Tällöin se valtaa tilaa metyylielohopealta veden orgaanisen aineksen ligandinvaihtoreaktioissa ja voi näin lisätä metyylielohopean biosaatavuutta (Downs ym. 1998). Tässä tutkimuksessa havaittiin erittäin merkitsevä positiivinen korrelaatio alumiinin ja hauen elohopeapitoisuuden kanssa. On mahdollista, että alumiini lisää metyylielohopean biosaatavuutta humuspitoisissa tutkimusjärvissä. Alumiinin ja orgaanisen aineksen vuorovaikutusta olisi kuitenkin tutkittava lisää, jotta voitaisiin vetää tarkempia johtopäätöksiä alumiinin vaikutuksista metyylielohopean vapautumiseen.

Garcia ja Carignan (2000) havaitsivat tutkimuksissaan erittäin merkitsevän positiivisen korrelaation sulfaatin kanssa. Tässä tutkimuksessa kalaelohopean ja sulfaatin välillä havaittiin puolestaan negatiivinen korrelaatio, joka ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä ($p = 0,107$). Sulfaatin laskeuman tutkimuksissa on havaittu suurempia pitoisuuksia alueilla, joilla tässä tutkimuksessa havaittiin alhaisia hauen elohopeapitoisuuksia (Järvinen ja Vänni 1990). Havaittu korrelaatio on siis todennäköisimmin näennäinen eikä kerro sulfaatin suorasta vaikutuksesta elohopeapitoisuuteen. Sulfaatin sijaan muut, mm. orgaanisen aineksen määrää kuvaavat tekijät määräävät elohopeapitoisuutta.

Veden kationien (Ca, K, Mg, Na) määrä, alkaliniteetti ja veden ionien kokonaismäärää (kationit ja mm. Cl) kuvaava johtokyky sekä veden ioniminäisyyksiä kuvaava pääkomponentti

PK1 korreloivat negatiivisesti hauen elohopeapitoisuuden kanssa. Etenkin suurilla järvillä ionien ja alkaliniteetin korrelaatio elohopeapitoisuuden kanssa oli selvä. Elohopeapitoisuuden ja veden kalsiumpitoisuuden välillä on todettu negatiivinen korrelaatio, jolloin kovassa vedessä havaitut elohopeapitoisuudet ovat alhaisempia kuin pehmeässä (Boening 2000). Järvissä, joissa hauen elohopeapitoisuus on alhainen on havaittu liuenneiden ionien määrän ja veden alkaliniteetin eli puskurikyvyn olevan korkeita (Garcia ja Carignan 2000, Sonesten 2001, 2003b). Mannio ym. 1986 eivät havainneet korrelaatiota emäskationien ja elohopeapitoisuuden välillä.

Erilaisten kemiallisten muuttujien keskinäiset korrelaatiot vaikeuttavat elohopean liikkumiseen vaikuttavien tekijöiden selvittämistä; esimerkiksi humusaineiden fosforia ja kationeja, kuten Ca^{2+} ja Mg^{2+} , kelatoivat ominaisuudet ja toisaalta Ca^{2+} ja Mg^{2+} -kationien humusta koaguloivat ja näin ollen saostumiseen johtavat ominaisuudet (Sonesten 2001, 2003b).

Ympäristötekijöiden vaikutus – valuma-alue

Valuma-alueen ja järvien elohopean biogeokemiallista kiertoa on tutkittu paljon. Rekolainen ym. (1986) esittävät sedimentin elohopean akkumulaation perusteella, että järvien pääasiallinen elohopean lähde on valuma-alue. On arvioitu, että kalojen korkeat metyylielohopeapitoisuudet järvissä ovat seurausta valuma-alueen maaperän metyylielohopean tuotannosta, kun taas ns. suppajärvissä ilmalaskeuma ja järven oma metyylielohopean tuotanto ovat tärkeämmässä roolissa (Verta 1990a).

Tässä tutkimuksessa turvemaiden kasvavan osuuden valuma-alueella havaittiin nostavan hauen elohopeapitoisuuksia. Etenkin turvemaiden havumetsien ja harvapuustoisten alueiden ominaisuudet vaikuttavat elohopeapitoisuuksia nostavasti. Tässä tutkimuksessa ei havaittu yhteyttä valuma-alueen avosoiden osuuden ja elohopeapitoisuuden välillä vaikka avosoiden osuus valuma-alueella vaihteli 0,6–29 %.

Varsin yleisesti ollaan sitä mieltä, että runsas orgaaninen aines valuma-alueella lisää DOC:n ja siihen sitoutuneen elohopean huuhtoutumista vesiin (Mannio ym. 1986, Johansson ym. 1991, St. Louis ym. 1996, Driscoll ym. 1998, Porvari 2003, Porvari ja Verta 2003). Useissa tutkimuksissa on havaittu, että suot ja / tai turvemaat toimivat kokonaiselohopean nieluina, mutta metyylielohopean lähteenä suo- tai turvemaan tyyppistä riippumatta (St. Louis ym. 1996, Driscoll ym. 1998, Branfireum ym. 1999, Porvari 2003, Porvari ja Verta 2003). Turvemaiden elohopeapitoisuuksia kohottavan vaikutuksen syiksi on arvioitu niiden valuma-alueiden veden viipymää lisäävät ominaisuudet ja olosuhteet, jotka ovat suotuisat metyylielohopean tuotannolle (Rudd 1995, Grigal 2002). Kun turvemaiden osuus valuma-alueesta nousee 1 %:sta

10 %:iin, nousee metyylielohopean kuormitus noin kolminkertaiseksi. Kolminkertainen nousu havaitaan niinikään, kun turvemaiden osuus nousee 10 %:sta 50 %:iin (Grigal 2002). Metyylielohopea on elohopean eliöihin kertyvä muoto.

Tässä tutkimuksessa lehtimetsien osuuden kasvaessa valuma-alueella havaittiin hauen elohopeapitoisuuden olevan pienempi. Havumetsien osuuden kasvaessa valuma-alueella havaittiin korkeampia hauen elohopeapitoisuuksia. Tämän perusteella voidaan arvioida havumetsämaiden olevan huomattavasti merkittävämpiä elohopean ja metyylielohopean kuormittajia lehtimetsämaihin verrattuna.

Maaperän kokonaiselohopean varaston havumetsämaassa on havaittu olevan noin nelinkertainen verrattuna lehtimetsämaahan ja metyylielohopean varasto puolestaan lähes kymmenkertainen (Schwesig ja Matzner 2000). Vaikka useissa tutkimuksissa on todettu metsäisen valuma-alueen vaikuttavan pintavesien elohopeakuormitukseen, varsin vähän tiedetään kokonaiselohopean ja metyylielohopean mobilisoitumiseen vaikuttavista tekijöistä metsämaassa (Porvari ym. 2004).

Aikaisemmissa tutkimuksissa on havaittu avosoiden ja kuusivaltaisten turvemaiden osuuden korreloivan positiivisesti hauen elohopeapitoisuuden kanssa (Huuskonen 2001). Verta ym. (1986) havaitsivat tutkimuksessaan (tosin pienellä aineistolla) metsäisten mineraalimaiden korreloivan positiivisesti hauen elohopeapitoisuuden kanssa. Myös Sonesten (2003b) havaitsi korkeimmat elohopeapitoisuudet ahvenella järvissä, joissa metsien osuus valuma-alueella oli suuri. Metsäisten valuma-alueiden on arveltu toimivan kokonaiselohopean nieluna (St. Louis ym. 1996, Lee ym. 2000). Metsämaan kokonaiselohopea on suurelta osin orgaanisessa pintakerroksessa (Dmytriw ym. 1995, Schwesig ja Matzner 2000, Alriksson 2001, Matilainen ym. 2001). Metyylielohopean muodostuminen tapahtuu ja sen varastot ovat niinikään orgaanisessa pintakerroksessa (Schwesig ja Matzner 2000, Matilainen ym. 2001).

Humukseen kiinnittynyt elohopea siirtyy järviympäristöön helpommin kuin maa-ainekseen kiinnittynyt, joka pääosin akkumuloituu maahan (Meili 1991a, Sonesten 2001). Tämän vuoksi turvemaiden pitoisuuksia kohottava vaikutus on suurempi kuin kalliomaiden. Tässä tutkimuksessa havaittiin turvemaiden ja kivennäismaiden havumetsien positiivinen korrelaatio hauen elohopeapitoisuuden kanssa, puolestaan kalliomaiden havumetsät korreloivat pitoisuuden kanssa negatiivisesti. Myös kalliomaiden sekametsät ja kalliomaiden kokonaisuus korreloivat elohopeapitoisuuden kanssa negatiivisesti. Kivennäismaiden vaikutus elohopeapitoisuuteen riippuu turvemaita ja kalliomaita enemmän metsätyypistä. Kivennäismaiden havumetsillä havaittiin positiivinen ja lehtimetsillä negatiivinen korrelaatio hauen elohopeapitoisuuden

kanssa. Valuma-alueen maatyypin vaikutus on metsätyypin ohella merkittävästi elohopeapitoisuuteen hauissa.

Tässä tutkimuksessa havaittiin valuma-alueen viljeltyjen alueiden osuuden kasvaessa hauen elohopeapitoisuuden pienenevän. Suomessa on aiemmin havaittu intensiivisen viljelyn alueiden järvissä alhaisempia kalan elohopeapitoisuuksia kuin metsäjärvissä (Verta ym. 1986a). Myös ahvenella ja särjellä on havaittu alhaisempia pitoisuuksia järvillä joissa viljelymaiden vaikutus on selvä ja järviveden liuenneiden ionien pitoisuus on korkea (Sonesten 2001, 2003b). On todettu, että orgaanispiteiset viljelymaat sisältävät enemmän elohopeaa kuin vastaavan alueen metsämaitten karikkekerrokset, tämän perusteella voidaan todeta, että viljelymaihin pidättyy herkästi elohopeaa, kun taas metsämailta sitä valuu pois (Sonesten 2003b). Viljelymaissa havaittavat suuret elohopeapitoisuudet voivat olla seurausta paitsi laskeumasta, mutta myös elohopean historiallisesta käytöstä viljan peittäyksessä. Määrät ovat kuitenkin olleet muuhun kuormitukseen nähden melko pieniä ja todennäköisesti elohopea sitoutuu tiukasti viljelymaahan eikä tämä historiallinen kuormitus siksi näy kalojen elohopeapitoisuuksissa. Viljelymaissa voi silti olla merkittävä elohopean varasto, joka voi mobilisoida esimerkiksi sadannan lisääntyessä. Lannoitetussa maassa on havaittu suuri pitoisuus veteen uuttuvaa elohopeaa. Metsämaassa tehdyssä laboratoriokokeessa havaittiin lannoituksen vaikutuksesta elohopean metyylielohopean lisääntyvän ja sadannan kasvaessa elohopean ja metyylielohopean mobilisoitumisen lisääntyvän (Matilainen ym. 2001).

Urbanin maankäytön vaikutuksia raskasmetallien kulkeutumiseen ja kalojen raskasmetallipitoisuuksiin tutkittaessa havaittiin, että kalojen metallipitoisuudet riippuvat monista järven sisäisistä tekijöistä liittyen järven ravintoverkkoon ja predaatiopaineeseen, vesikemiaan ja järven morfometriaan sekä hydrodynamiikkaan. Elohopean havaittiin olevan metalli, jonka pitoisuus kalan maksassa riippui enemmän järven ekosysteemin kokoa kuvaavasta muuttujasta kuin urbanista alueesta valuma-alueella (Lindström ja Håkanson 2001). Tässä tutkimuksessa havaittiin kuitenkin rakennettujen alueiden suuremmalla osuudella valuma-alueesta olevan kalan elohopeapitoisuuksia alentava vaikutus. Tämä voi johtua siitä, että rakennetut alueet sijaitsevat mailla, joilta tuleva elohopeakuormitus on alhainen.

Ympäristötekijöiden vaikutus – muut mahdollisesti vaikuttavat tekijät

Haukien ja muiden kalojen on havaittu saavan suurimman osan elohopeastaan ravinnosta ja etenkin metyylielohopean on havaittu kertyvän ravintoketjussa (Surma-Aho ym. 1986, Verta ym. 1986a, Hall ym. 1997, Garcia ja Carignan 2000, Rognerud ja Fjeld 2002). Tässä tutkimuksessa tutkimusjärvien ravintoverkkojen rakenne ei ollut tiedossa, mutta tutkimuskokoinen hauki (400-2600 g) syö todennäköisesti kalaravintoa. Hauki syö pienenä äyriäisiä ja hyön-

teistoukkia, mutta siirtyy varsin pian kalaravintoon ja on yleensä suomalaisissa järvissä ravintoketjun huipulla saalistava petokala. Saaliskalan koko ei yleensä ylitä 1/3 kalan omasta massasta, tavallisesti se on paljon pienempi. Järven eliöyhteisön biodiversiteetti voi vaikuttaa elohopean kertymiseen huippupredaattoreihin, kuten haukeen. Mm. koekalastuksilla olisi mahdollista selvittää ravintoverkkojen rakennetta järvissä ja sen mahdollisia vaikutuksia elohopean kertymiseen. Tutkittavan kalalajin asemaa tutkimusjärven ravintoverkossa voidaan selvittää myös typen (^{15}N) ja hiilen (^{13}C) isotooppisuhteiden avulla (Kidd ym. 1995, Fjeld ja Rognerud 2004).

Tässä tutkimuksessa ei huomioitu lähivaluma-alueen mahdollisesti suurempaa merkitystä hauen elohopeapitoisuudelle. On havaittu, että kaukana varsinaisesta järvestä olevat suoalueet eivät vaikuta läheskään niin paljon metyylielohopean kuormitukseen kuin järven rannalla sijaitsevat alueet (Grigal 2002). On myös yleisesti todettu, että lähivaluma-alueen merkitys suurempi kuin koko valuma-alueen (Lee ym. 1998, 2000). Lähivaluma-alueen merkityksen arviointi koko valuma-alueeseen verrattuna olisi paikkatieto-ohjelmien avulla helposti toteutettavissa.

Järveen tulevaa elohopeakuormitusta ei tässä tutkimuksessa tarkasteltu kuin teoreettisella tasolla. Humusjärvissä valuma-alueen orgaanisen aineen mukana kulkeutuva elohopea on merkittävin osa vuotuisesta elohopeakuormituksesta, kirkkaissa järvissä puolestaan suora laskeuma järven pinnalle on usein vielä tärkeämpi (Meili 1991b). Suora laskeuma dominoi etenkin kasvukauden aikana, kun veden virtaus metsäpuroissa on alhainen. Elohopean sedimentaatioon vaikuttaa etenkin veden viipymä ja myös veden laatu. Kirkasvetisissä järvissä suurin osa elohopeakuormasta sedimentoituu, päinvastoin kuin humusjärvissä. Partikkelien sedimentaatio ja metyylielohopean demetylaatio vaikuttavat metyylielohopean kiertoon järvissä (Verta ym. 1994) ja näin ollen sen kertymiseen ravintoketjussa.

Elohopean kemiallisen muuntumisen myötä muuttunut liukoisuus ja liikkuvuus maassa on mahdollisesti tärkein valuma-alueen prosessi vesiympäristön kannalta (Sonesten 2001). Myös sulfaattia pelkistävien bakteerien aiheuttaman elohopean metylaation on havaittu olevan merkittävä prosessi (Rudd 1995, Sonesten 2001, Porvari 2003).

4.3 Hauen elohopeapitoisuuden muutokseen vaikuttavat tekijät

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin kaikkiaan 66 järven haukien elohopeapitoisuuksia vuosina 1980–1983 ja 2000–2002. Kahden ajankohdan välillä 11 järvessä pitoisuus oli noussut, 22 pitoisuus oli pysynyt samalla tasolla ja 33 järvessä pitoisuus oli laskenut. Kalojen elohopeapi-

toisuuden muutokseen vaikuttavia tekijöitä on aikaisemmin tutkittu varsin vähän. Fjeld ja Rognerud 2004 eivät havainneet systemaattista muutosta kalaelohopeapitoisuuksissa verrattessaan vuosien 1978–1992 kalaelohopeatuloksia vuosien 1998–2002 tuloksiin norjalaisissa järvissä. Myöskään Jewett ym. (2003) eivät havainneet elohopeapitoisuuden nousua eikä laskua läntisen Alaskan jokien hauissa vuosien 1987–2000 välillä. Havaitut pitoisuudet vaihtelivat jopa kertaluokan rajoissa, mutta systemaattista ajan suhteen tapahtunutta muutosta ei havaittu. Pohjois-Karjalaisissa vesissä havaittiin noin $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ pitoisuuden nousu hauen elohopeapitoisuudessa vuosien 1987 ja 2000 välillä (Huuskonen 2001). Syyksi arvioitiin kuitenkin analyysimenetelmän muuttumisen aiheuttamaa näennäistä eroa.

Muutokseen vaikuttavat tekijät – valuma-alue

Hauen elohopeapitoisuudessa tapahtuneeseen muutokseen havaittiin vaikuttaneen ennen kaikkea valuma-alueen ominaisuuksia kuvaavat muuttujat. Tämän vuoksi valuma-alueen vaikutuksia hauen elohopeapitoisuuden muutokseen käsitellään ennen muita tarkasteltuja muuttujaryhmiä, toisin kuin edellä.

Valuma-alueen merkitys muutoksen selittäjänä korostui kun tarkasteltiin pitoisuuden muutosta (mg kg^{-1}) kaikilla järvillä ja vain pienillä järvillä. Puolestaan prosentuaalisena muutoksena tarkasteltuna valuma-alueen merkitys korostui suurilla järvillä. Suurilla järvillä hauen elohopeapitoisuus oli alhaisempi ja näin ollen myös muutos on pitoisuutena pieni, vaikka se suhteessa lähtöpitoisuuteen olisikin iso. Valuma-alueen ominaisuuksien vaikutuksen voidaan todeta olevan hauen elohopeapitoisuuden kannalta merkittävä järven ja valuma-alueen koosta riippumatta.

Erityisesti turvemaiden havumetsien suuremman osuuden valuma-alueella havaittiin olevan hauen elohopeapitoisuuden nousuun vaikuttava ominaisuus. Kalliomaiden havumetsien suurempi osuus valuma-alueella puolestaan oli yhteydessä elohopeapitoisuuden laskuun hauissa. Havumetsien pitoisuuksia nostava vaikutus jäi siis maatyypin vaikutuksen varjoon. Huolimatta siitä, että elohopean ilmakehämäärä on vähentynyt, metsämaiden pintakerroksen elohopeapitoisuudet jatkavat yhä nousuaan noin 0,5 % vuosittain (Johansson ym. 2001) laskeutuneena tulevan kokonaiselohopean kuormituksen ja maahan pidättymisen seurauksena.

Valuma-alueen metsätyyppejä enemmän hauen elohopeapitoisuudessa havaittuun muutokseen havaittiin vaikuttavan valuma-alueen maatyypin. Erityisesti turvemaavalttaisten valuma-alueiden (turvemaiden kokonaisuus ja havumetsät turvemaalla) järvissä elohopeapitoisuuden havaittiin nousseen. Koskemattomilla turvemailla on havaittu korkeita turpeen ja sen huokosveden metyylielohopeapitoisuuksia, joiden lisääntyneen vapautuminen voi lisätä kuor-

mitusta vesistöön. Vapautumista voi lisätä esimerkiksi turvemaan hydrologian muutokset tai maan muokkaus. Kalliomaiden (kalliomaiden kokonaisuus, havumetsät ja harvapuustoiset alueet) ja kivennäismaiden (kokonaisuus) suuren osuuden valuma-alueella vaikutuksen hauen elohopeapitoisuuden muutokseen havaittiin tässä tutkimuksessa olevan puolestaan negatiivinen. Eli järvillä, joiden valuma-alueesta suuri osa on kalliomaita pitoisuuksien havaittiin laskeneen. Kivennäismaiden vaikutus hauen elohopeapitoisuuteen ei ole niin selkeä kuin turve- tai kalliomaiden, mutta sen suuren osuuden valuma-alueella havaittiin kuitenkin vaikuttaneen pitoisuuksia alentavasti. Kivennäismailla metsätyypin vaikutus havaittuun muutokseen korostui.

Valuma-alueen maatyypin vaikutus merkittävästi mm. orgaanisen aineksen kuormitukseen. Turvemaiden valumavesissä on enemmän orgaanista ainesta kuin esimerkiksi kalliomaiden valumavesissä, joten sieltä tuleva elohopeakuormakin on suurempi. Turpeeseen aikojen kuluessa varastoitunutta elohopeaa voi lähteä liikkeelle tasaisesti, vaikka ilmakuormitus valuma-alueelle olisi pienentynyt.

Vuorenmaa ym. (2005) toteavat pienillä suomalaisilla järvillä tehdyssä tutkimuksessaan happaman laskeuman pienenemisen seurauksena orgaanisen kuormituksen lisääntyneen. Tämän syyksi ehdotetaan maan happo-emästasapainon parantumista ja sen seurauksena orgaanisten happojen ja orgaanisen kokonaishiilien lisääntynyttä mobilisoitumista valuma-alueelta. Mikäli näin on, myös elohopean kuormitus valuma-alueelta voi kasvaa orgaanisen kuormituksen kasvaessa.

Muutokseen vaikuttavat tekijät – sijainti ja morfologia

Valuma-alueen elohopeasta suurimman osan on arvioitu olevan peräisin antropogeenisestä ilmalaskeumasta. Ilmakehän elohopealaskemus on laskenut merkittävästi vuoden 1990 tienoilla Skandinaviassa (Iverfeldt 1991, Iverfeldt ym. 1995, Munthe ym. 2001) ja lasku on nähtävissä myös ilmakehän pitoisuuksissa (Mukherjee ym. 2000). Fennoskandiassa on havaittu laskeumassa pohjois-eteläsuuntainen gradientti, minkä on arveltu olevan seurausta Keski-Euroopan päästöistä (Landers ym. 1998, Munthe ym. 2001).

Vaikka tässä tutkimuksessa havaittiin hauen elohopeapitoisuuden gradientti etelästä pohjoiseen siirryttäessä, ei muutoksen arvioinnissa havaittu eroa etelän ja pohjoisen välillä. Tässä tutkimuksessa havaittiin sen sijaan, että tutkimusjärvien itä-länsisuuntaisella sijainnilla on merkittävä vaikutus hauen elohopeapitoisuudessa havaittuun muutokseen (kuva 6, s. 31). Tämä vaikutus oli erityisen merkitsevä pienillä järvillä. Mitä idempänä järvi sijaitsee, sitä todennäköisempää pitoisuuden nousu on ollut. Idempänä sijaitsevilla järvillä havaittiin myös

yleisesti korkeampia elohopeapitoisuuksia. Tämän perusteella tulisi tutkia Venäjän puolelta Suomeen tulevan ilmakehän elohopeapitoisuuden merkitystä haukien elohopeapitoisuuksiin.

Tässä tutkimuksessa havaittiin korrelaatiomatriisien perusteella vesialan ja valuma-alueen alan suhteen vaikuttavan muutokseen siten, että järven alan valuma-alueen alaan verrattuna ollessa suuri, on pitoisuus laskenut. Tällaisilla järvillä laskeumana tulevan elohopeakuormituksen pieneneminen on vaikuttanut hauen elohopeapitoisuuteen sitä alentavasti. Laskeuman merkitys kalan elohopeapitoisuuteen kasvaa, kun järven ala on suuri valuma-alueen alaan verrattuna.

Avoimille alueille (mm. järveen) laskeumana tulevan elohopeakuorman on havaittu olevan noin neljännes metsäalueiden kokonaiselohopean kuormasta (Grigal 2002). Eron syyksi on arvioitu puiden lehvästösadantaa, kuivalaskeuman huuhtoutumista sekä lehtiä ja muuta putoavaa kariketta. Valuma-alueen ilmalaskeumasta on arvioitu päätyvän vesiin noin 5–25 % ja tämän on arvioitu vaikuttavan edelleen 5–85 % kokonaiselohopean kuormituksesta vesistöihin riippuen järvelään ja valuma-alueen alojen suhteesta (Grigal 2002).

Havaittiin myös, että järven vesimäärää kuvaava keskisyvyys oli pienempi järvillä, joissa pitoisuus oli noussut verrattuna järviin, joissa muutosta hauen elohopeapitoisuudessa ei havaittu. Suuren vesimäärän pitoisuuksia laimentava ja alentava vaikutus havaittiin etenkin suurien järvien ryhmässä, jossa merkitseviksi pitoisuuden laskun selittäjiksi havaittiin järven keskisyvyyden lisäksi suurin syvyys, järven ala ja valuma-alueen kokonaisala. Suurissa järvissä havaittiin siis alhaisimpia hauen elohopeapitoisuuksia ja -pitoisuuden laskua.

Muutokseen vaikuttavat tekijät – vedenlaatu

Vedenlaatua kuvaavilla muuttujilla ei havaittu olevan merkittävää vaikutusta hauen elohopeapitoisuudessa havaittuun muutokseen pienillä järvillä. Suurten järvien ryhmään rajatussa tarkastelussa havaittiin vedenlaatumuuttujilla (pH, humusindikaattorit) merkitystä muutoksen kannalta. Keskisuurilla ja suurilla järvillä havaittiin korkean mangaanipitoisuuden korreloivan merkitsevästi elohopeapitoisuudessa havaitun laskun kanssa.

Järvissä joissa hauen elohopeapitoisuus oli noussut, havaittiin korkeampi veden fosforipitoisuus. Tässä tapauksessa fosforipitoisuuden voidaan ajatella olevan sitoutuneena orgaaniseen ainekseen ja kuvata järven humuspitoisuutta sen ravinteisuuden sijaan. Korkeita fosforipitoisuuksia havaittiin nimittäin järvissä, joissa myös orgaanisen aineksen indikaattorimuuttujien (mm. KHK ja väri) arvot olivat korkeita.

Muutokseen vaikuttavat tekijät – muut mahdollisesti vaikuttavat tekijät

Havaittuun hauen elohopeapitoisuuden muutokseen on voinut vaikuttaa mm. kalastuksen tehokkuuden muuttuminen. Tehokalastus vaikuttaa mm. kalojen kasvunopeuteen. Todennäköisesti tehokalastuksesta johtuva hauen elohopeapitoisuuden lasku havaittiin tässä tutkimuksessa Hakojärvässä, jossa vuosina 1984–1985 poistettiin arviolta puolet järven kokonaiskalabiomassasta. Kalaston poiston seurauksena hauen kasvu parantui ja elohopeapitoisuus aleni (Verta 1990b). Myös tutkimusjärvissä pienimmässä, Valkea-kotisessa voi pitoisuudessa havaittu lasku olla seurausta haukien elohopeapitoisuuden jatkuvasta seurannasta. Haukipopulaatio näin pienessä järvässä on todennäköisesti seurannan seurauksena ylikalastettu.

Tekoaltaiden ja järvien säännöstelyn on havaittu nostavan haukien elohopeapitoisuuksia altaan tulvituksen tai säännöstelyn aloittamisen jälkeen. Pitoisuuksien on havaittu pysyvän korkeammalla tasolla 15–25 vuoden ajan. Säännöstelyn vaikutuksen on havaittu ulottuvan myös alapuolisiin vesistöalueisiin (Verta ym. 1986b, Porvari 1998). Kainuussa Sotkamon ja Hyrynsalmen reitillä on melko paljon säännösteltyjä järviä, joiden säännöstelystä on kulunut jo melkoisesti aikaa. Säännöstely on aikoinaan voinut nostaa elohopeapitoisuuksia luontaista korkeammalle tasolle ja tämän tutkimuksen tutkimusjakson aikana pitoisuudet ovat voineet palautua ennalleen. Säännöstellyillä reittialueilla voidaan tämän seurauksena havaita pitoisuuksien laskua.

Viimeaikaisissa tutkimuksissa on havaittu metsätaloustoimien lisäävän kokonaiselohopean kuormaa valuma-alueelta moninkertaiseksi (Porvari 2003, Porvari ja Verta 2003, Porvari ym. 2004) ja vaikuttavan kiihdyttävästi elohopean kertymiseen ravintoketjussa (Garcia ja Carignan 2000, Garcia ja Carignan 2005). Metsätaloustoimien myötä orgaanisen aineksen ja siihen sitoutuneen elohopean lisääntynyt kuormitus järveen voi vaikuttaa elohopean kiertoon. Vuosien 1980–2000 välisenä aikana on hakattu vuosittain keskimäärin 447 000 ha, joka on Suomen metsätalousmaan alasta noin 1,7 % (Metsäntutkimuslaitos 2004). Näin ollen tutkimusjärvien valuma-alueilla on todennäköisesti toteutettu hakkuutoimenpiteitä, jotka voivat lisätä elohopean kuormitusta ja edelleen kerääntymistä haukeen.

Metsämaan pinta-ala on kasvanut 1950-luvulta lähtien 1980-luvulle saakka ojitusten muutettua kitu- ja joutomaan soita metsämaaksi. Suomen soista on ojitettu yli puolet (4,9 milj. ha). Sen lisäksi on ojitettu 1,3 milj. ha veden vaivaamia kangasmaita. Näistä osa on ollut ojitushetkellä ohutturpeisia soita (Metsäntutkimuslaitos 2004). Tutkimusajankohtien 1980–1983 ja 2000–2002 tehdyt ojitukset ovat pääasiassa olleet kunnostusojituksia, joita on tehty 1980-luvulla noin 40 000 ha:lla ja 1990-luvulla noin 70 000 ha:lla. Uudisojituksien määrä on laske-

nut varsin tasaisesti vuoden 1980 noin 117 000 ha:sta vuoden 2000 alle 1000 ha:iin (Metsän-
tutkimuslaitos 2004). Vuosittainen ojitusala vastaa alle 0,5 % Suomen metsätalousmaan
alasta. Ojitusten paikallinen vaikutus on voinut olla merkittävä, mikäli ojitustoimenpiteitä on
tehty tutkimusjärvien valuma-alueilla.

Kosteiden suoalueiden muuttuminen kuivemmiksi metsämaiksi on voinut vaikuttaa metyy-
lielohopean muodostumiseen ja kuormitukseen pienentävästi. Märissä ja hapettomissa olois-
sa on todettu metyylielohopean muodostumisen olevan merkittävää. Näin ollen ojitusten
myötä metsämaa on kuivunut ja elohopeakuormitus voinut pienentyä järvissä, joiden valuma-
alueen soita on muutettu metsiksi. Toisaalta ojituksia seuranneet välittömät kuormitusvaiku-
tukset ovat voineet olla merkittäviä. Ojituksien jälkeiset orgaanispitoiset valumavedet ovat
voineet tuoda merkittäviä elohopeakuormia vesistöihin. Kun ojituksista on kulunut jo kauan
aikaa, voi elohopean kuormitus jopa vähentyä.

Tutkimusjärvien pH vaihteli vuosina 2000–2002 välillä 5,5 (Valkea-Kotinen) – 7,5 (Karhijärvi
ja Vanajavesi) ja vuosina 1980–1983 välillä 5,4 (Lehtosenjärvi) – 7,4 (Kuortaneenjärvi). Kai-
ken kaikkiaan tutkimusjärvien pH oli tutkimusajankohtien välillä noussut havaintoaineiston
perusteella keskimäärin 0,22 yksikköä (pienillä järvillä 0,20, keskisuurilla järvillä 0,19 ja suu-
rilla järvillä 0,32). Veden pH:n lasku aiheuttaa 1 kg:n painoiselle haulle lasketun elohopeapi-
toisuuden nousua LakeWeb -mallin mukaan, mikäli happamoittava ilma-kuormitus on jatku-
vaa eikä järveä kalkita (Håkanson 2003). Kääntäen voisi arvioida, että pH:n nousu eli järvien
toipuminen happamoitumisesta voisi johtaa pitoisuuksien alenemiseen eliöstössä. Toisaalta
mikäli happamoitumisesta toipuminen lisää orgaanisen aineksen kuormitusta (Vuorenmaa
ym. 2005), voivat vaikutukset olla päinvastaiset.

Ihmistoiminnasta peräisin olevat päästöt ovat edelleen Euroopassa suuremmat kuin alueen
luonnontilaiset päästöt, joiden tasoksi on arvioitu noin 250-300 t a⁻¹ (Pacyna ym. 2001). Ark-
tisella alueella suurin osa kuormituksesta on antropogeenisiä ilmapäästöjä, joista suurin osa
on peräisin muualta (Pacyna ja Keeler 1995, Wängberg ja Munthe 2001). Vuoden 1995 ko-
konaispäästöiksi Euroopassa arvioitiin 342 t. Tässä arviossa on peräti 45 % lasku vuoteen
1990 verrattuna. Öljyjen ja etenkin kivihiilen poltto on ollut ja on edelleen merkittävin päästö-
lähde, vastaten yli puolesta kokonaispäästöistä. Kivihiilen poltosta aiheutuneet päästöt eivät
ole merkittävästi muuttuneet viimeisen 10 vuoden aikajaksolla (Pacyna ym. 2001, Pacyna ja
Pacyna 2001). Suurimman laskun päästöissä on esitetty johtuvan teollisuuden prosesseissa
tapahtuneista vähennyksistä, etenkin kloorialkaliteollisuuden elohopeasoluprosessien muu-
toksista.

Suomessa 1960 -luvulla elohopean teollinen käyttö oli noin 50 t a^{-1} , pääosin kloorialkaliteollisuuden vaikutuksesta. Puolestaan 1980 -luvulla elohopeayhdisteiden teollinen käyttö oli vähentynyt noin $19\text{--}25 \text{ t a}^{-1}$. Vuonna 1967 elohopean ilma- ja vesipäästöt olivat $2,8 \text{ t a}^{-1}$ ja $8,3 \text{ t a}^{-1}$, vuonna 1987 vastaavasti päästöt ilmaan olivat $3,48 \text{ t a}^{-1}$ ja vesiin $0,15 \text{ t a}^{-1}$. Vesipäästöjen pieneneminen johtuu pääasiassa siitä, että sellu- ja paperiteollisuus lakkasi käyttämästä elohopeaa limanestoaineena (Mukherjee 1991). Eri sektoreiden elohopean käyttö vuonna 1992 oli noin $7,4 \text{ t}$, joka oli noin puolet edellisestä arvioista vuodelta 1987. Vuoden 1992 ilmapäästöiksi Suomessa on arvioitu noin 2 t a^{-1} , kun vastaavasti päästöt vesiin ja maaperään ovat olleet $0,20$ ja $3,67 \text{ t a}^{-1}$. Luonnon omien päästölähteiden on arvioitu olevan $0,3\text{--}0,5 \text{ t a}^{-1}$. Suomeen tulevien ilmapäästöjen arvioitiin olevan noin $2,7 \text{ t a}^{-1}$ ja suomesta poistuvien noin $2,1 \text{ t a}^{-1}$ (Mukherjee ym. 1995). Vuodesta 1990 vuoteen 1997 elohopean ilmapäästöt ovat vähentyneet 1140 kilosta 620 kiloon vaikka teollisuuden ja energiantuotannon päästöt ovat samana aikana kasvaneet (Mukherjee ym. 2000).

Valkea-Kotisen sedimenttiprofiilin elohopeapitoisuuden perusteella Mannio (2001) arvioi, että elohopean ilmakehän kuormitus on vähentynyt kahden viime vuosikymmenen (<1986–1999) aikana $20\text{--}40 \%$. Tässä tutkimuksessa kilon painoiselle haulle estimoitu elohopeapitoisuus on samana aikana laskenut Valkea-Kotisessä $0,929 \text{ mg kg}^{-1}$:sta $0,529 \text{ mg kg}^{-1}$:aan eli noin 43% . Valkea-Kotisessä havaitun pitoisuuden laskun mahdollisia syitä ovat siis laskeumana tulevan kuormituksen pieneneminen tai haukipopulaation ylikalastus (ks. edellä). Elohopean ilmakehän kuormituksen pienenemisen ja elohopean teollisen käytön vähentämisen seurauksena on myös järvien elohopeakuormitus oletettavasti pientynyt. Kuormituksen pieneneminen on todennäköisesti merkittävin peruste sille, että 50% tutkimusjärvistä hauen elohopeapitoisuus on alentunut vuosien 1980–1983 ja 2000–2002 välisenä aikana.

Elohopean on havaittu kulkevan valuma-alueelta vesistöihin pääasiassa orgaaniseen ainekseen sitoutuneena. Orgaanisen aineksen mobilisoitumiseen valuma-alueelta vaikuttaa mm. sadannan vaihtelut ja intensiteetti. Vuosina 1980–2000 on ollut ilmastollisesti varsin vaihtelevia vuosia. Runsaiden sateiden kausina voi myös orgaanisen aineksen ja siten myös elohopean kuormitus vesistöihin kasvaa. Ympäristöhallinnon hydrologisten yleiskatsausten (2005) ja Hyvärisen ja Korhosen (2003) mukaan vuodet 1991, 1992 ja 1994 olivat poikkeuksellisen lämpimiä ja runsassateisia, vesivarat Suomessa kasvoivat vuosina 1981, 1984, 1986, 1987, 1991, 1992, 1994, 1996, 1998 ja 2000. Alueellisia eroja sadannan vaihteluissa havaittiin, mutta selvää sadannan muutosta ei havaittu tämän tutkimuksen tutkimusajankohtien välillä. Ilmatieteen laitoksen mukaan sateisuudessa ei ilmene tilastollisesti merkitseviä eroja enempää kuukausi-, vuodenaika- kuin vuositasolla kausien 1961–1990 ja 1971–2000 välillä.

Kymmenvuotiskaudella 1991–2000 talvet olivat peräti kolme astetta lämpimämmät kuin kaudella 1961–1970, muiden kuukausien, mukaan lukien kesäkuukausien, keskilämpötilat eivät poikenneet (Ilmatieteen laitos 2002). Mikäli lämpötilassa olisi tapahtunut muutoksia, olisi sillä voinut olla merkittäviä vaikutuksia mikrobien toimintaan ja edelleen metylaatioprosesseihin valuma-alueilla ja järvissä.

Tulevaisuudessa sademäärän odotetaan kasvavan ilmastonmuutoksen myötä (MMM 2005). Ilmastonmuutoksen odotetaan aiheuttavan muutoksia vuotuisessa sadannassa, valunnassa haihdunnassa ja lämpötiloissa sekä niiden jakaumassa. On arvioitu, että ääri-ilmiöt kuten kuivuus, rankkasateet ja tulvat yleistyvät tulevaisuudessa. Ilmaston mahdollinen lämpeneminen ja sateisuuden lisääntyminen vaikuttavat vesistöjen maksimivirtaamiin ja virtaaman ajalliseen vaihteluun. Arvioiden mukaan on odotettavissa jopa 50-80 % kasvua kaikkein suurimpien ja harvinaisimpien sateiden osalta seuraavan sadan vuoden aikana. Samoin erot vuosien välillä tulvien esiintymisessä voivat kasvaa. Talven lauhtuminen lisää hajakuormitusta ainakin maa- ja metsätalousvaltaisilta valuma-alueilta, vaikka vuositasolla keskimääräinen valunta ei lisääntyisi. Kuormituksen lisääntyminen johtuu siitä, että ravinteita pidättävät kasvillisuusvyöhykkeet puuttuvat ja pintavalunnan suhteellinen osuus kasvaa maan ollessa roudassa. Ilmastonmuutos saattaa myös johtaa metsämaahan vuosituhansien aikana kertyneen orgaanisen aineen nettomineralisaatioon (MMM 2005). Ilmastonmuutoksen seurauksena elohopean mobilisoituminen valuma-alueelta voi lisääntyä.

Tämän tutkimuksen perusteella hauen elohopeapitoisuudessa tapahtuneeseen muutokseen vaikuttaviksi tekijöiksi havaittiin ennen kaikkea järven morfologiset ominaisuudet ja valuma-alueen maatyppi. Valuma-alueen suhteellinen koko järveen nähden vaikuttaa valuma-alueelta taiilmakuormituksen tulevan kuormituksen suhteisiin ja siten kuormituksen muutoksen nopeuteen. Muutokset elohopean kuormituksessa aiheuttavat myös pitoisuuden muutoksia haussa. Valuma-alueen turvemaiden ja havumetsien havaittiin olevan merkittävää vaikutusta elohopeapitoisuuden nousuun haussa. Siihen, mitkä prosessit valuma-alueilla aiheuttavat muutoksia kuormitukseen tarvitaan tarkentavia tutkimuksia. Erityisesti orgaanisen aineksen ja sitä kautta elohopean mobilisoitumiseen vaikuttavia tekijöitä tulisi tutkia.

Eri valuma-alueiden vaikutusta hauen elohopeapitoisuuteen ja elohopeapitoisuuden muutokseen tulisi tarkastella myös ryhmittelemällä järviä valuma-alueen ominaisuuksien mukaan. Tällöin saataisi mahdollisesti parempaa tietoa eri tyyppisten valuma-alueiden vaikutuksista.

Hauen elohopeapitoisuuden nousua havaittiin pienillä ja keskisuurilla järvillä. Järven suuremman koon pitoisuuksia alentava vaikutus havaittiin tässä tutkimuksessa. Voi olla, että

suurissa järvissä tapahtuva muutos on niin paljon hitaampi kuin pienissä järvissä, että muutokset eivät välttämättä ehdi näkyä 20 vuoden aikajaksolla. Seuranta tulisi jatkaa ja elohopeapitoisuuksissa tapahtuvaa muutosta tarkastella jatkossakin. Ilmastonmuutoksen vaikutukset hauen elohopeapitoisuuden muutokseen voivat olla tulevaisuudessa merkittäviä.

5. Johtopäätökset

Tämän pro gradu -työn tavoitteena oli arvioida hauen (*Esox lucius* L.) järviokohtaisen elohopeapitoisuuden estimoimiseen käytettyjä menetelmiä, selvittää hauen elohopeapitoisuuteen vaikuttavia ympäristötekijöitä sekä arvioida elohopeapitoisuudessa vuosien 1980–1983 ja 2000–2002 välisellä kahdenkymmenen vuoden aikajaksolla mahdollisesti tapahtunutta muutosta sekä muutokseen vaikuttavia tekijöitä. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin kaikkiaan 66 järven haukien elohopeapitoisuuksia vuosina 1980–1983 ja 2000–2002. Tarkastelun kohteena olevia ympäristötekijöitä oli yhteensä 70 tutkimusjärven sijaintia ja morfologiaa, vedenlaatua ja valuma-alueen maankäyttöä ja maanpeitettä kuvaavaa muuttujaa.

Hauen elohopeapitoisuuden estimoimiseen käytettyjä menetelmiä vertailtiin lineaarisella, logaritmisella ja toisen asteen polynomiregressiolla. Eri regressiomenetelmien välillä ei havaittu suuria eroja tilastollisesti merkitsevien mallien määrässä tai saaduissa elohopeapitoisuuden estimaateissa. Regressiomenetelmänä käytettiin lineaarista kalan massan ja elohopeapitoisuuden regressiota.

Hauen elohopeapitoisuuteen vaikuttaa järven sijainti Suomessa siten, että idässä havaitaan korkeampia pitoisuuksia kuin lännessä ja etelässä korkeampia pitoisuuksia kuin pohjoisessa. Suurissa järvissä hauen elohopeapitoisuuden havaittiin olevan alhaisempi kuin pienissä. Toisaalta havaittiin, että mitä suurempi järven pinta-ala on valuma-alueen pinta-alaan verrattuna, sitä alhaisempi on elohopeapitoisuus. Järvien vedenlaadun perusteella happamissa humusjärvissä tavataan korkeimmat hauen elohopeapitoisuudet. Valuma-alueen ominaisuuksista hauen elohopeapitoisuuteen vaikuttavat ennen kaikkea veden humuspitoisuuteen vaikuttavat maanpeitetyypit, kuten havumetsät ja turvemaat. Valuma-alueen ominaisuuksien merkitys hauen elohopeapitoisuuden selittäjänä korostuu etenkin pienillä järvillä.

Tässä tutkimuksessa saatiin uutta tietoa hauen elohopeapitoisuudessa tapahtuneesta muutoksesta, jota on aikaisemmin tutkittu varsin vähän. Haukien elohopeapitoisuudet olivat odotetusti laskeneet, mutta Suomessa on myös järviä, joissa hauen elohopeapitoisuus oli noussut. Hauen elohopeapitoisuuden havaittiin vuosien 1980–1983 ja 2000–2002 välisenä aikana

nousseen kaikkiaan 11 järvessä. 22 järvessä pitoisuus oli pysynyt samalla tasolla ja 33 järvessä pitoisuus oli laskenut. Tässä tutkimuksessa havaittiin, että pitoisuus on 36 järvessä pysytellyt tai alentunut yleisesti turvallisena pidetylle tasolle ($< 0,5 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Hg}$), mutta neljäsässä järvessä pitoisuus on yhä tasolla tai on viimeisen 20 vuoden aikana noussut tasolle, jolla haukea ei pitäisi suositusten mukaan käyttää ihmisravinnoksi ($> 1,0 \text{ mg kg}^{-1}$).

Pitoisuuden nousua havaittiin ainoastaan pienissä ja keskisuurissa järvissä, näissä ryhmissä noin 20 % järvistä elohopeapitoisuuden havaittiin nousseen 20 vuoden tarkastelujakson aikana. Pitoisuuden laskua puolestaan havaittiin kaikissa kokoryhmissä, pienten ja keskisuurten järvien joukossa noin puolella ja suurilla järvillä kahdella kolmanneksella järvistä.

Ilmakuormitusta on usein pidetty merkittävimpana elohopean lähteenä vesistöön ja edelleen kaloihin. Havaittuun elohopeapitoisuuden laskuun hauissa on todennäköisesti vaikuttanut tutkimusajankohtien välillä merkittävästi pienentynyt ilmaperäinen elohopeakuormitus. Kuitenkin tämä tutkimus todistaa sen asian puolesta, että etenkin orgaaniseen maahan on kerääntynyt historiallisen kuormituksen seurauksena suuret elohopean varastot, jotka vapautuessaan voivat vaikuttaa pitoisuuksia nostavasti vaikka ilmakuormitus onkin pienentynyt. Muutokseen vaikuttaviksi tekijöiksi havaittiin tärkeimpänä valuma-alueen ominaisuudet. Orgaanisten maiden järvillä elohopeapitoisuuden havaittiin nousseen. Muutokseen vaikutti myös itä-länsi-suuntainen sijainti. Idässä sijaitsevilla järvillä elohopeapitoisuuden havaittiin nousseen enemmän kuin lännessä.

Elohopean pitoisuustasoon järvissä ja havaittuun muutokseen vaikuttavat ympäristötekijät olivat suurilta osin samoja. Humusjärvissä havaittiin korkeita pitoisuuksia ja pitoisuuden nousua edelleen. Suurissa järvissä puolestaan pitoisuudet olivat verrattain alhaisia ja pitoisuuden muutos laskeva.

Valuma-alueella tapahtuvat elohopean mobilisoitumiseen vaikuttavat prosessit ovat erittäin merkittäviä vaikuttavia tekijöitä haussa havaittavan elohopeapitoisuuden muutoksen kannalta. Tulevaisuudessa muutoksen arvioinnin tueksi on todennäköisesti saatavilla paikkatietojärjestelmiin tallennettua tietoa maankäytössä tapahtuneista muutoksista. Nämä tiedot voisivat vahvistaa käsityksiä maan muokkauksen, hakkuiden ja metsäojitusten vaikutuksista kalojen elohopeapitoisuuden nousuun.

Lähteet:

- Alriksson, A. 2001. Regional variability of Cd, Hg, Pb and C concentrations in different horizons of Swedish forest soils. *Water, Air & Soil Pollut.: Focus* 1: 325-341.
- Boening, D.W. 2000. Ecological effects, transport and fate of mercury: a general review. *Chemosphere* 40: 1335-1351.
- Branfireum, B.A., Roulet, N.T., Kelly, C.A ja Rudd, J.W.M. 1999. In situ sulphate stimulation of mercury methylation in a boreal peatland: Toward a link between acid rain and methylmercury contamination in remote environments. *Global Biogeochemical Cycles* 13: 743-750.
- Dmytriw, R., Mucci, A., Lucotte, M. ja Pichet, P. 1995. The partitioning of mercury in the solid components of dry and flooded forest soils and sediments from a hydroelectric reservoir, Quebec (Canada). *Water Air Soil Pollut.* 80: 1099-1103.
- Downs, S.G., Macleod, C.L. ja Lester, J.N. 1998. Mercury in precipitation and its relation to bioaccumulation in fish: a literature review. *Water Air Soil Pollut.* 108: 149-187.
- Driscoll, C.T., Holsapple, J., Schofield, C.L. ja Munson, R. 1998. The chemistry and transport of mercury in a small wetland in the Adirondack region of New York, USA. *Biogeochemistry* 40: 137-146.
- Ekholm, M. 1993. Suomen vesistöalueet. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja – sarja A. no. 126. Vesi- ja ympäristöhallitus. Painatuskeskus. Helsinki. 166 s. + karttaliitteet
- Elintarvikevirasto. 2004. Kalan syöntisuositukset. Elintarvikeviraston tiedote 28.4.2004. Liite 1. <http://www.elintarvikevirasto.fi/kuluttajalle/index.html?page=4017>. 10.11.2005.
- Fjeld, E. ja Rognerud S. 2004. Kvikksølv i ferskvannsfisk fra Sør-Norge i 1998-2002, nivåer og tidsmessig utvikling. NIVA-Rapport 893/03 Løpenr. 4813/2004. 57 s.
- Garcia, E. ja Carignan, R. 2000. Mercury concentrations in northern pike (*Esox lucius* L.) from boreal lakes with logged, burned, or undisturbed catchments. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57(Suppl 2): 129-135.
- Garcia, E. ja Carignan, R. 2005. Mercury concentrations in fish from forest harvesting and fire-impacted Canadian boreal lakes compared using stable isotopes of nitrogen. *Environmental Toxicology and Chemistry* 24(3): 685-693.
- Grigal, D.F. 2002. Inputs and outputs of mercury from terrestrial watersheds: a review. *Environ. Rev.* 10: 1– 39.
- Hall, B.D., Bodaly, R.A., Fudge, R.J.P., Rudd, J.W.M ja Rosenberg, D.M. 1997. Food as the dominant pathway of methylmercury uptake by fish. *Water, Air, Soil Pollut.* 100:13-24.
- Huuskonen, H. 2001. Kalojen elohopeapitoisuus Pielisjoessa ja Koitajoen vesistöalueella. Joensuun yliopisto. Karjalan tutkimuslaitoksen monisteita. N:o 3/2001. Joensuun yliopistopaino. 42 s
- Håkanson, L. 2000. The Derivation and use of a dynamic model for mercury in lake fish based on a static (regression) model. *Water, Air & Soil Poll.* 124: 301-317.
- Håkanson, L. 2003. Consequences and correctives related to lake acidification, liming and mercury in fish – a case study for lake Huljesjön, Sweden, using the LakeWeb model. *Environmental Modeling and Assessment* 8: 275-283.
- Hyvärinen V. ja Korhonen J. 2003. SY599 Hydrologinen vuosikirja 1996–2000. Suomen ympäristö 599, luonto ja luonnonvarat. 219 s. ISBN 952-11-1319-7
- Ilmatieteen laitos 2002. Tilastoja suomen ilmastosta 1971-2000. Ilmatieteen laitos. Helsinki 2002. 99s. ISBN 951-697-568-2.
- Iverfeldt, Å. 1991. Mercury in forest canopy throughfall water and its relation to atmospheric deposition. *Water Air Soil Pollut.* 56: 553-564.
- Iverfeldt, Å., Munthe, J., Brosset, C. ja Pacyna, J. 1995. Long-term changes in concentration and deposition of atmospheric mercury over Scandinavia. *Water Air Soil Pollut.* 80: 227-233.

- Jauni, M. 2004. Suomen maankäyttöluokkien pinta-alatiedot ja maankäytön tietojärjestelmät. Taus-taselvitys. Suomen maankäyttöluokkien vertailtavuutta, maankäyttöluokkien pinta-alatietoja ja maankäytön muutoksen seurantajärjestelmiä tarkastelevalle työryhmälle. Maa- ja metsätalousminis-teriö. 97 s.
- Jewett, S.C., Zhang, X.Z., Naidu, A.S., Kelley, J.J., Dasher, D. ja Duffy, L.K. 2003. Comparison of mercury and methylmercury in northern pike and arctic grayling from western Alaska rivers. *Chemosphere* 50: 383-392.
- Johansson, K., Aastrup, M., Andersson, A., Bringmark, L. ja Iverfeldt, Å. 1991. Mercury in Swedish forest soils and waters – assessment of critical load. *Water Air Soil Pollut.* 56: 267-281.
- Johansson, K., Bergbäck, B. ja Tyler, G. 2001. Impact of atmospheric long range transport of lead, mercury and cadmium on the Swedish forest environment. *Water, Air & Soil Pollut.: Focus* 1: 279-297.
- Järvinen, O. ja Vänni, T. 1990. Bulk deposition in Finland. s. 151-165 Teoksessa: Kauppi, P., Anttila, P. ja Kenttämies, K. (toim.). 1990. Acidification in Finland. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. 1237 s. ISBN 3-540-52213-1.
- Kidd, K.A., Hesslein, R.H., Fudge, R.J.P. ja Hallard, K.A. 1995. The influence of trophic level as measured ¹⁵N on mercury concentrations in freshwater organisms. *Water Air Soil Pollut.* 80: 1011-1015.
- Koli, L. 1977. Retkeilijän kalaopas. Kustannusosakeyhtiö Otavan painolaitokset Keuruu. 127 s. ISBN 951-1-00052-7.
- Landers, D.H., Gubala, C., Verta, M., Lucotte, M., Johansson, K., Vlasova, T. ja Lockhart, W.L. 1998. Using lake sediment mercury flux ratios to evaluate the regional and continental dimensions of mercury depositions in arctic and boreal ecosystems. *Atmospheric Environment* 32(5): 919-928.
- Lee, Y.H., Bishop, K.H. ja Munthe, J. 2000 Do concepts about catchment cycling of methylmercury and mercury in boreal catchments stand the test of time? Six years of atmospheric inputs and runoff export at Svartberget, northern Sweden. *The science of the Total Environment* 260: 11-20.
- Lee, Y.H., Bishop, K.H., Munthe, J., Iverfeldt, Å., Verta, M., Parkman, H. ja Hultberg, H. 1998. An examination of current Hg deposition and export in Fenno-Scandian catchments. *Biogeochemistry* 40: 125-135.
- Lindström, M. ja Håkanson, L. 2001. Urban land-use influences on transport of heavy metals to lakes and concentrations in fish. *Water Air Soil Pollut. Focus* 1: 119-132.
- Lodenius, M. 1991. Mercury concentrations in an aquatic ecosystem during twenty years following abatement the pollution source. *Water Air Soil Pollut.* 56: 323-332.
- Länsi-Suomen ympäristökeskus. Laboratorio. 2005. Elohopean määrittäminen kiinteistä ja nestemäisistä näytteistä automaattisella analysointilaitteella. Menetelmäohje n:o 490. Versio 5. Kokkola. 26.4.2005. 8 s.
- Mannio, J. 1987. Humuksen vaikutus hauen elohopeapitoisuuteen latvavesistöissä. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto. Limnologian laitos. 88 s.
- Mannio, J. 2001. Responses of headwater lakes to air pollution changes in Finland. *Monographs of the Boreal Environment Research*: 18, 51 s.
- Mannio, J., Verta, M., Kortelainen, P. ja Rekolainen, S. 1986. The effect of water quality on the mercury concentration of northern pike (*Esox lucius* L.) in Finnish forest lakes and reservoirs. *Publications of the Water Research Institute, National Board of Waters, Finland* 65: 32-43.
- Marvin-Dipasquale, M., Agee, J., McGovan, C., Oremland, R.S., Thomas, M., Krabbenhoft, D. ja Gil-mour, C.C. 2000. Methyl-mercury degradation pathways: a comparison among three mercury im-pacted ecosystems. *Environ. Sci. Technol.* 34: 4908-4916.
- Matilainen, T., Verta, M., Korhonen, H., Uusi-Rauva, A. ja Niemi, M. 2001. Behavior of mercury in soil profiles: impact of increased precipitation, acidity and fertilization on mercury methylation. *Water Air Soil Pollut.* 125: 105-119.
- Meili, M. 1991a. The coupling of mercury and organic matter in the biogeochemical cycle – towards a mechanistic model for the boreal forest zone. *Water Air Soil Pollut.* 56: 333-347

- Meili, M. 1991b. Fluxes, pools and turnover of mercury in Swedish forest lakes. *Water Air Soil Pollut.* 56: 719-727.
- Meili, M., Bishop, K., Bringmark, L., Johansson, K. ja Munthe J. 2004. Modelling and mapping critical levels of atmospheric mercury pollution in forest and lake ecosystems. *Proceedings of the 7th International Conference on Mercury as a Global Pollutant.* Ljubljana. 4 s.
- Metsäntutkimuslaitos. 2004. Metsätalustollinen vuosikirja 2004. Vammalan kirjapaino oy. Vammala 2004. 414 s. ISBN 951-40-1946-6
- MMM Maa- ja metsätalousministeriö. 2005. Ilmastonmuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia. MMM:n julkaisuja 1/2005. Veikko Marttila, Heikki Granholm, Jussi Laanikari, Tiia Yrjölä, Aimo Aalto, Pirkko Heikinheimo, Juha Honkatuki, Heikki Järvinen, Jari Liski, Raija Merivirta, Mikko Paunio. Vammalan kirjapaino oy, Vammala 2005. 278 s. ISBN 952-453-200-X.
- Mukherjee, A.B. 1991. Industrial emissions of mercury in Finland between 1967 and 1987. *Water Air Soil Pollut.* 56: 35-49
- Mukherjee, A.B., Innanen, S. ja Verta, M. 1995. An update of the mercury inventory and atmospheric mercury fluxes to and from Finland. *Water Air Soil Pollut.* 80: 255-264.
- Mukherjee, A.B., Melanen, M., Ekqvist, M. ja Verta, M. 2000. Assessment of atmospheric mercury emissions in Finland. *Sci. Tot. Environ.* 259 (1-3): 73-83.
- Munthe, J., Fjeld, E., Meili, M., Porvari, P., Rognerud, S. ja Verta, M. 2004. Mercury in Nordic Freshwater Fish: An Assessment of Spatial Variability in Relation to Atmospheric Deposition. *Proceedings of the 7th International Conference on Mercury as a Global Pollutant.* Ljubljana. 5 s.
- Munthe J., Fjeld E., Meili, M., Porvari, P., Rognerud, S., Verta, M., Wängberg, I. 2005. Mercury in Nordic freshwater fish, lake sediments and forest soils. An assessment of spatial variability in relation to atmospheric deposition. *Julkaisematon käsikirjoitusluonnos Tema Nord –sarjaan*
- Munthe, J., Kindbom, K., Kruger, O., Petersen, G., Pacyna, J. ja Iverfeldt, Å. 2001. Examining source-receptor relationships for mercury in Scandinavia. *Water, Air & Soil Pollut.: Focus* 1: 299-310.
- Pacyna, E.G., Pacyna, J.M. ja Pirrone, N. 2001. European emissions of atmospheric mercury from anthropogenic sources in 1995. *Atm. Env.* 35:2987-2996.
- Pacyna, J.M. ja Keeler, G.J. 1995. Sources of mercury in the arctic. *Water Air Soil Pollut.* 80: 621-632.
- Pacyna, J.M. ja Pacyna, E.G. 2001. An assessment of global and regional emissions of trace metals to the atmosphere from anthropogenic sources worldwide. *Environ. Rev.* 9: 269-298.
- Penttinen, R., Kallio-Mannila, K. ja Nikander, A. 2002. Ravinnon tuotanto-olosuhteet ja turvallisuus - ympäristöongelmien vaikutukset Suomessa. Suomen ympäristö n:o 568 ympäristönsuojelu. ISBN 952-11-1202-6 (PDF). Suomen ympäristökeskus. Helsinki 2002. 146 s.
- Ponce, R.A. ja Bloom, N.S. 1991. Effect of pH on the bioaccumulation of low level, dissolved methylmercury by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Water Air Soil Pollut.* 56: 631-640.
- Porvari, P. 1995. Development of fish mercury concentrations in Finnish reservoirs from 1979-1994. *Sci. Tot. Environ.* 213: 279-290.
- Porvari, P. 2003. Sources and fate of mercury in aquatic ecosystems. *Monographs of the Boreal Environment Research:* 23, 52 s.
- Porvari, P. Verta, M. 1993. Elohopea ympäristössä ja tekoaltaissa – Kirjallisuuskatsaus ja arvio Vuotoksen tekoaltaan Hauen elohopeapitoisuuden kehittymisestä. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja. Sarja A 162. 47 s.
- Porvari, P., Verta, M. 2003. Total and methyl mercury concentrations and fluxes from small boreal forest catchments in Finland. *Environmental Pollution* 123:181-191.
- Porvari, P., Verta M. ja Munthe, J. 2004. The effect of Forestry Practices on Mercury and Methyl Mercury Output from Forest Catchment: A Follow-up Study. *Proceedings of the 7th International Conference on Mercury as a Global Pollutant.* Ljubljana. 5 s.
- Porvari, P., Verta, M., Munthe, J. ja Haapanen, M. 2003. Forestry practices increase mercury and methyl mercury output from boreal forest catchments. *Environ. Sci. Technol.* 37(11):2389-2393.

- Ranta, E, Rita, H. ja Kouki, J. 2002. Biometria – tilastotiedettä ekologeille. ISBN 951-570-085-X. 8. painos. Yliopistopaino Helsinki. 569 s.
- Rask, M. ja Metsälä, T.-R. 1991. Mercury concentrations in northern pike (*Esox lucius* L.) in small lakes of Evo area, Southern Finland. *Water Air Soil Pollut.* 56: 369-378.
- Rekolainen, S., Verta, M. ja Liehu, A. 1986. The effect of airborne mercury and peatland drainage on sediment mercury contents in some Finnish Forest lakes. *Publications of the Water Research Institute, National Board of Waters, Finland.* 65: 11-20.
- Rognerud, S. ja Fjeld, E. 2002. Kvikksølv i fisk fra innsjøer i Hedmark, med hovedvekt på grenseområdene mot Sverige. NIVA-rapport 4487-2002. 46 s.
- Rudd, J.W.M. 1995. Sources of methyl mercury to freshwater ecosystems: a review. *Water Air Soil Pollut.* 80:697-713
- SAS. 2005. Help and documentation. <http://v8doc.sas.com/sashtml/> (9.11.2005)
- Schwesig, D. ja Matzner, E. 2000. Pools and fluxes of mercury and methylmercury in two forested catchments in Germany. *The science of the Total Environment* 260: 213-223.
- SFS 5229. 1986. Elintarvikkeet. Kalan elohopeapitoisuuden määrittäminen kylmähöyryatomiabsorptiometriesteti. Vahvistettu 1986-08-25. Suomen standardisoimisliitto. 4 s.
- Snodgrass, J.W., Jagoe, C.H., Bryan, A.L. Jr., Brant, H.A. ja Burger, J. 2000. Effects of trophic status and wetland morphology, hydroperiod, and water chemistry on mercury concentrations in fish. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57: 171-180.
- Sonesten, L. 2001. Mercury content in roach (*Rutilus rutilus* L.) in circumneutral lakes – effects of catchment area and water chemistry. *Environ. Poll.* 112: 471-481.
- Sonesten, L. 2003a. Fish mercury levels in lakes – adjusting for Hg and fish-size covariation. *Environmental pollution* 125: 255-265.
- Sonesten, L. 2003b. Catchment area composition and water chemistry heavily affects mercury levels in perch (*Perca fluviatilis* L.) in circumneutral lakes. *Water, Air, Soil Pollut.* 144(1):117-139.
- St. Louis, V., Rudd, J.W.M., Kelly, C.A., Beaty, K.G., Frett, R.J. ja Roulet, N.T. 1996. Production and loss of methylmercury and loss of total mercury from boreal forest catchments containing different types of wetlands. *Environ. Sci. Technol.* 30: 2719-2729.
- Surma-Aho, K., Paasivirta, J., Rekolainen, S. ja Kinnunen, K. 1986. Organic and inorganic mercury in the food chain of some lakes and reservoirs in Finland. *Publications of the Water Research Institute, National Board of Waters, Finland.* 65: 59-71.
- Tremblay, G., Legendre, P., Doyon, J-F., Verdon, R. ja Schetagne, R. 1998. The use of polynomial regression analysis with indicator variables for interpretation of mercury in fish data. *Biogeochemistry* 40: 189-201.
- Valtion ympäristöhallinto 2005a. www.ymparisto.fi (10.11.2005).
- Valtion ympäristöhallinto 2005b. Hydrologisten vuosikirjojen yleiskatsaukset vuodesta 1910 lähtien. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=6613&lan=fi>. 10.11.2005.
- Verta, M. 1990a. Mercury in Finnish forest lakes and reservoirs: 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.* No. 6: 5-34.
- Verta, M. 1990b. Changes in fish mercury concentrations in an intensively fished lake. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47: 1888–1897.
- Verta, M., Matilainen, T., Porvari, P., Niemi, M., Uusi-Rauva, A. ja Bloom, N. 1994. Methylmercury sources in boreal lake ecosystems. Teoksessa: Watras, C.J. ja Huckabee, J.W. (eds.). *Mercury Pollution, Integration and synthesis.* s. 119-136. Lewis Publishers, Boca Raton.
- Verta, M., Rekolainen, S. ja Kinnunen, K. 1986b. Causes of increased fish mercury levels in Finnish reservoirs. *Publications of the Water Research Institute, National Board of Waters, Finland.* No 65. s. 44-58.

- Verta, M., Rekolainen, S., Mannio, J. ja Surma-Aho, K. 1986a. The origin and level of mercury in Finnish forest lakes. Publications of the Water Research Institute, National Board of Waters, Finland. No 65. s. 21-31.
- Vuorenmaa, J., Forsius, M. ja Mannio, J. 2005. Increasing trend of total organic carbon concentrations in small forest lakes (in Finland) 1987–2003. Käsikirjoitus Science of the total environment -sarjaan.
- Weber, J.H, Evans, R., Jones, S.H ja Hines, M.E. 1998. Conversion of mercury(II) into mercury(0), monomethylmercury cation, and dimethylmercury in saltmarsh sediment slurries. Chemosphere 36 (7): 1669-1687
- WHO. 2005. Joint FAO/WHO expert committee on food additives. Sixty-first meeting. Rome, 10-19 June 2003. Summary and conclusions. 22 s. <ftp://ftp.fao.org/es/esn/jecfa/jecfa61sc.pdf>. 10.11.2005.
- Wängberg, I ja Munthe, J. 2001. Atmospheric mercury in Sweden, Northern Finland and Northern Europe. IVL Report. B1399. IVL Swedish Environmental Research Institute. Göteborg. 19 s.

alue- keskus	järvinumero	tutkimusjärvi	järven		rantaviivan pituus (km)	valuma- alueen		suurin syvyys	keski- syvyys	tilavuus (10 ⁶ m ³)	järvi / valuma- alue (%)
			ala (ha)	ala (km ²)		ala km ²	km ²				
HAM	35.787.1.030	Valkea Kotinen	4	0.04	1.0	0.35	6.1	.	.	0.103	10.4
HAM	35.787.1.062	Hakojarvi	16	0.16	2.3	4.36	16.0	.	.	.	3.7
PKA	04.956.1.002	Suuri Petajajarvi	36	0.36	6.6	9.01	4.1	1.7	0.616	4.0	
PKA	04.983.1.007	Poikapaa	45	0.45	6.2	15.31	3.9	1.7	0.783	3.0	
KAI	59.439.1.001	Hoikkajarvi	53	0.53	4.8	31.24	18.5	6.2	3.331	1.7	
LSU	35.462.1.001	Kolunjarvi	58	0.58	3.9	155.32	4.0	1.0	0.569	0.4	
ESA	14.964.1.001	Paihmaa	94	0.94	6.0	39.38	2.6	.	.	.	2.4
ESA	04.178.1.001	Iso-Kontunen	186	1.86	11.4	172.62	6.0	.	.	.	1.1
LSU	44.044.1.010	Vetamajarvi	225	2.25	11.5	14.95	6.0	1.3	2.927	15.1	
KSU	14.664.1.006	Kiesimenjarvi	297	2.97	20.7	50.83	4.0	1.5	4.365	5.8	
PSA	04.552.1.003	Rytkynjarvi	301	3.01	27.3	304.70	18.7	5.5	16.415	1.0	
KSU	14.452.1.002	Yla-Jappa	305	3.05	18.3	285.52	11.8	3.0	9.413	1.1	
LOS	36.019.1.001	Valkjarvi	335	3.35	25.4	12.64	5.2	2.9	9.647	26.5	
LSU	44.096.1.004	Iso Allasjarvi	359	3.59	18.8	94.49	1.7	0.6	2.299	3.8	
LSU	48.005.1.003	Rayringinjarvi	384	3.84	11.9	13.85	3.0	.	.	.	27.8
LSU	51.052.1.001	Lehtosenjarvi	387	3.87	23.1	26.17	2.0	.	.	.	14.8
PPO	54.071.1.001	Piipsjarvi	389	3.89	14.1	556.07	3.9	.	.	.	0.7
ESA	14.934.1.024	Niskajarvi	392	3.92	22.9	348.89	7.6	.	.	.	1.1
PSA	04.664.1.004	Tiilikka	420	4.20	35.9	120.27	8.1	2.4	10.001	3.5	
LSU	14.454.1.006	Salamajarvi	421	4.21	33.1	84.17	1.9	.	.	.	5.0
KAI	59.974.1.003	Kalkanen	422	4.22	26.8	118.65	13.5	.	.	.	3.6
KAI	04.665.1.006	Alanne	452	4.52	13.8	14.10	12.1	.	.	.	32.1
LOS	36.065.1.002	Siikkajarvi	476	4.76	30.8	348.78	5.0	1.6	7.480	1.4	
LAP	61.651.1.005	Kuusijarvi	558	5.58	19.5	239.56	6.0	1.4	7.661	2.3	
ESA	04.253.1.007	Nevajarvi	563	5.63	20.6	41.06	2.1	.	.	.	13.7
PSA	04.572.1.001	Luupuvesi	704	7.04	25.1	240.08	1.7	1.0	6.800	2.9	
ESA	04.253.1.024	Haapajarvi	715	7.15	56.6	296.83	10.1	.	.	.	2.4
PSA	04.554.1.001	Sulkavanjarvi	820	8.20	75.1	126.03	18.2	3.6	29.800	6.5	
LSU	42.074.1.002	Seinajarvi	863	8.63	42.7	98.91	4.2	2.0	17.040	8.7	
PPO	54.059.1.004	Parkkimajarvi	987	9.87	20.9	34.73	4.1	.	.	.	28.4
KAI	59.977.1.001	Saunajarvi	992	9.92	40.3	197.35	11.0	2.0	19.891	5.0	
KSU	14.493.1.001	Elamajarvi	1034	10.34	19.9	261.05	4.1	2.0	20.526	4.0	
KSU	14.661.1.001	Karankajarvi	1101	11.01	46.1	408.55	23.0	4.0	43.999	2.7	
KSU	14.236.1.003	Rutajarvi	1120	11.20	66.0	162.44	22.0	5.3	58.992	6.9	
LSU	44.095.1.001	Kuorasjarvi	1228	12.28	51.0	208.48	6.1	.	.	.	5.9
KSU	14.491.1.001	Saanimjarvi	1264	12.64	26.6	412.83	6.0	2.0	24.797	3.1	
LAP	61.631.1.001	Kyynjarvi	1268	12.68	36.4	830.38	8.0	1.4	17.859	1.5	
PSA	04.563.1.001	Nalantojarvi	1293	12.93	33.0	298.67	1.6	0.7	9.200	4.3	
LSU	49.054.1.001	Ullavanjarvi	1307	13.07	72.8	140.72	24.0	.	.	.	9.3
HAM	14.811.1.002	Nuoramoisjarvi	1341	13.41	41.4	1826.30	18.5	.	.	.	0.7
KAI	04.442.1.001	Jonkeri	1398	13.98	73.6	131.15	18.8	3.9	54.658	10.7	
KSU	14.614.1.002	Saarjarvi	1415	14.15	54.0	2559.65	2.5	5.0	70.589	0.6	
LSU	44.041.1.001	Kuortaneenjarvi	1488	14.88	33.8	1265.77	16.2	3.2	49.738	1.2	
KAI	59.882.1.001	Jormasjarvi	2047	20.47	69.8	299.93	28.0	5.8	119.237	6.8	
KSU	35.483.1.001	Pihlajavesi	2070	20.70	83.3	370.85	20.0	5.2	104.715	5.6	
ESA	04.242.1.001	Kolkonjarvi	2092	20.92	42.2	76.96	21.8	.	.	.	27.2
PKA	04.423.1.001	Pankajarvi	2375	23.75	121.1	7410.37	17.5	3.8	90.361	0.3	
LAP	65.592.1.001	Unarinjarvi	2881	28.81	73.0	1193.06	24.0	.	.	.	2.4
KSU	14.631.1.001	Paajarvi	2950	29.50	95.4	1213.90	14.9	3.8	112.312	2.4	
LOS	36.092.1.001	Karhijarvi	3335	33.35	75.0	497.26	7.3	2.2	71.709	6.7	
LOS	36.014.1.001	Isojarvi	3882	38.82	199.4	2876.94	10.2	2.9	113.937	1.3	
KSU	14.481.1.001	Alvajarvi	4563	45.63	101.4	548.81	25.5	5.5	249.703	8.3	
LAP	71.241.1.001	Mutusjarvi	5045	50.45	160.1	454.23	74.0	8.5	428.789	11.1	
PIR	35.411.1.001	Tarjannevesi	5487	54.87	243.2	3193.24	67.8	12.4	695.133	1.7	
LSU	51.041.1.001	Lestjarvi	6452	64.52	108.8	362.73	5.7	.	.	.	17.8
KAI	59.921.1.001	Lentua	7784	77.84	271.4	1641.40	52.0	7.4	581.626	4.7	
PSA	04.271.1.001	Unnukka	8045	80.45	478.4	13494.70	41.1	6.1	504.076	0.6	
KAS	14.912.1.001	Vuohijarvi	8624	86.24	228.8	5215.59	75.5	16.3	1403.836	1.7	
KAI	59.811.1.001	Nuasjarvi	9644	96.44	171.3	7482.33	42.0	8.5	822.122	1.3	
KSU	35.621.1.001	Keuruselka	9687	96.87	500.2	1647.20	40.0	6.4	619.994	5.9	
KSU	14.472.1.001	Kolima	10108	101.08	257.2	1564.15	66.3	8.5	870.874	6.5	
PIR	35.231.1.001	Vanajavesi	10289	102.89	217.2	2738.99	22.8	.	.	.	3.8
KAI	59.911.1.001	Ontojarvi	10457	104.57	315.9	4952.65	29.0	5.8	602.287	2.1	
KAI	59.511.1.001	Kiantajarvi	16902	169.02	436.2	3427.55	43.0	7.6	1325.453	4.9	
KSU	14.711.1.001	Konnevesi	18918	189.18	642.6	11470.16	57.1	10.3	2006.919	1.6	
LAP	71.111.1.001	Inarinjarvi	104028	1040.28	3277.8	14512.43	92.0	14.3	14876.000	7.2	

AK	JÄRVINRO	ALUE	VESIALA (ha)	RANTAVIIVAN PITUUS (km)	PVM	KERROS- TUNEISUUS	PAIKKA (hertta)	YKP	YKI	KOK.SYV.	NÄKÖ- SYVYYS	JÄÄ+LUMI	LABORATORIO	NSYV (m)
ESA	04.178.1.001	Iso-Kontunen	186	11.405	1.9.1981	syyskierto	Iso Kontunen 119	6868440	3556530	6	0,5		Suunnittelukeskus Oy	1
ESA	04.178.1.001	Iso-Kontunen	186	11.405	15.10.2002	syyskierto	Iso-Kontunen pohj 090	6868780	3555700	6	0,55		Etelä-Savon ympäristökeskus	1
ESA	04.242.1.001	Kolkonjärvi	2092	42.225	25.7.1977	kesä	Kolkonjärvi 001	6879460	3557660	22	8		Etelä-Savon ympäristökeskus	1
ESA	04.242.1.001	Kolkonjärvi	2092	42.225	15.10.2002	syyskierto	Kolkonjärvi 001	6879460	3557660	22	6,8		Etelä-Savon ympäristökeskus	1
ESA	04.253.1.007	Nevajärvi	563	20.594	18.4.1979	talvi	Nevajärvi 049	6872850	3526800	2,1	1,2		Etelä-Savon ympäristökeskus	1
ESA	04.253.1.007	Nevajärvi	563	20.594	11.10.2001	?	Nevajärvi 049	6872850	3526800	2,1	1,2		Etelä-Savon ympäristökeskus	1
ESA	04.253.1.024	Haapajärvi	715	56.550	6.7.1981	kesä	Haapajärvi 036	6886500	3518800	10	1,2		Etelä-Savon ympäristökeskus	1
ESA	04.253.1.024	Haapajärvi	715	56.550	16.10.2001	syyskierto	Haapajärvi 036	6886500	3518800	10	1,2		Etelä-Savon ympäristökeskus	5
PSA	04.271.1.001	Unnukka	8045	478.393	19.3.1981	talvi	Unnukka 31	6928543	3543885	33	2	0,60+0,30	Pohjois-Savon ympäristökeskus	5
PSA	04.271.1.001	Unnukka	8045	478.393	11.10.2001	syyskierto	Unnukka Timonselkä 4	6919740	3546780	34,8	4		Pohjois-Savon ympäristökeskus	15
PKA	04.423.1.001	Pankajärvi	2375	121.143	27.1.1982	talvi	Pankajärvi 21	7033908	3660404	16,9	1,2	0,40+0,20	Pohjois-Karjalan ympäristökeskus	1
PKA	04.423.1.001	Pankajärvi	2375	121.143	26.3.2001	talvi	Pankajärvi 21	7033908	3660404	16,9	1,4	0,50+0,30	Pohjois-Karjalan ympäristökeskus	1
KAI	04.442.1.001	Jonkeri	1398	73.551	4.10.1983	syyskierto?	Jonkeri 2	7083949	3645077	12,5	1,5		Kainuun ympäristökeskus	1
KAI	04.442.1.001	Jonkeri	1398	73.551	27.2.2001	talvi	Jonkeri 5	7084171	3644686	18	1	0,53+0,12	Kainuun ympäristökeskus	3
PSA	04.552.1.003	Rytynjärvi	301	27.311	10.10.1983	syyskierto?	Rytynjärvi 029	7048980	3479520	18	1,8		Pohjois-Savon ympäristökeskus	1
PSA	04.552.1.003	Rytynjärvi	301	27.311	10.10.2002	syyskierto	Rytynjärvi 029	7048980	3479520	18	1,8		Pohjois-Savon ympäristökeskus	1
PSA	04.554.1.001	Sulkavanjärvi	820	75.090	10.10.1983	syyskierto?	Sulkavanjärvi 071	7041140	3485340	15			Pohjois-Savon ympäristökeskus	1
PSA	04.554.1.001	Sulkavanjärvi	820	75.090	10.10.2002	syyskierto	Sulkavanjärvi 071	7041140	3485340	15	2,4		Pohjois-Savon ympäristökeskus	1
PSA	04.563.1.001	Näläntöjärvi	1293	32.967	7.1.1980	talvi	Näläntöjärvi Selkäs. pohj	7078300	3474720	1,4	1,4	0,40+0,30	Pohjois-Savon ympäristökeskus	0,8
PSA	04.563.1.001	Näläntöjärvi	1293	32.967	3.9.2002	syyskesä	Näläntöjärvi 1.3	7080500	3472700	1	0,5		Savo-Karjalan vsy. ry.	1
PSA	04.572.1.001	Luupuvesi	704	25.054	10.10.1983	syksy	Luupuvesi 004	7069620	3487220	1,3	0,4		Pohjois-Savon ympäristökeskus	1
PSA	04.572.1.001	Luupuvesi	704	25.054	10.10.2002	syksy	Luupuvesi 004	7069620	3487220	1,2	0,8		Pohjois-Savon ympäristökeskus	0,5
PSA	04.664.1.004	Tiilikka	420	35.890	11.10.1983	syyskierto	Tiilikka 65	7064208	3562386	8,1	2		Pohjois-Savon ympäristökeskus	1
PSA	04.664.1.004	Tiilikka	420	35.890	8.10.2002	syyskierto	Tiilikka 65	7064208	3562386	8,1	2		Pohjois-Savon ympäristökeskus	1
KAI	04.665.1.006	Älänne	452	13.788	5.10.1983	syyskierto	Älänne	7069640	3561700	12	3,4		Kainuun ympäristökeskus	1
KAI	04.665.1.006	Älänne	452	13.788	23.9.2002	syyskierto	Älänne 2	7068920	3562300	2,5	2,5		Kainuun ympäristökeskus	1
PKA	04.956.1.002	Suuri Petäjajärvi	36	6.553	20.12.1982	talvi	Suuri Petäjajärvi 10	7001952	3709881	2	0,6	0,00+0,10	Pohjois-Karjalan ympäristökeskus	1
PKA	04.956.1.002	Suuri Petäjajärvi	36	6.553	25.9.2002	syyskierto	Suuri Petäjajärvi 10	7001952	3709881	2	1,4		Pohjois-Karjalan ympäristökeskus	1
PKA	04.983.1.007	Poikapää	45	6.172	24.2.1982	talvi	Poikapää 11	6994981	3711399	4	0,7	0,50+0,30	Pohjois-Karjalan ympäristökeskus	1
PKA	04.983.1.007	Poikapää	45	6.172	25.9.2002	syyskierto	Poikapää 11	6994981	3711399	4	1,7		Pohjois-Karjalan ympäristökeskus	1
KSU	14.236.1.003	Rutajärvi	1120	65.976	17.9.1981	syyskierto	Rutajärvi 1	6871630	3451720	8	1,7		Keski-Suomen ympäristökeskus	1
KSU	14.236.1.003	Rutajärvi	1120	65.976	3.10.2002	syyskierto	Rutajärvi 1	6871630	3451720	9,3	2,5		Keski-Suomen ympäristökeskus	1
KSU	14.452.1.002	Ylä-Jäppä	305	18.324	28.9.1983	syyskierto	Ylä-Jäppä	7029394	3396419	11,5	0,9		Keski-Suomen ympäristökeskus	1
KSU	14.452.1.002	Ylä-Jäppä	305	18.324	30.9.2002	syyskierto	Ylä-Jäppä	7029394	3396419	11	1,2		Keski-Suomen ympäristökeskus	1
LSU	14.454.1.006	Salamajärvi	421	33.124	5.4.1982	talvi	Salamajärvi	7026556	3380266	1,5		0,50+0	Länsi-Suomen ympäristökeskus, Koki	1
LSU	14.454.1.006	Salamajärvi	421	33.124	23.10.2002	syyskierto	Salamajärvi	7026556	3380266	2		0,10+0,0	Länsi-Suomen ympäristökeskus, Koki	1
KSU	14.472.1.001	Kolima	10108	257.214	6.10.1983	syyskierto	Kolimajärvi 52	7020140	3437130	64			Keski-Suomen ympäristökeskus	1
KSU	14.472.1.001	Kolima	10108	257.214	2.10.2001	syyskierto	Kolimajärvi 52	7020140	3437130	58	3,5		Keski-Suomen ympäristökeskus	30
KSU	14.481.1.001	Alvajärvi	4563	101.399	28.9.1983	syyskierto	Alvajärvi 61	7034822	3421602	15,3			Keski-Suomen ympäristökeskus	1
KSU	14.481.1.001	Alvajärvi	4563	101.399	30.9.2002	syyskierto	Alvajärvi 1	7031880	3426500	22	2,5		Keski-Suomen ympäristökeskus	1
KSU	14.491.1.001	Saaninjärvi	1264	26.645	5.10.1983	syyskierto	Saaninjärvi 1	7036370	9429950	2,7	0,6		Keski-Suomen ympäristökeskus	1
KSU	14.491.1.001	Saaninjärvi	1264	26.645	30.9.2002	syyskierto	Saaninjärvi 3	7035960	3430500	2,9	1		Keski-Suomen ympäristökeskus	1
KSU	14.493.1.001	Elämajärvi	1034	19.928	5.10.1983	syyskierto	Elämajärvi	7041750	3436220	2,8	0,8		Keski-Suomen ympäristökeskus	1
KSU	14.493.1.001	Elämajärvi	1034	19.928	30.9.2002	syyskierto	Elämajärvi	7041750	3436220	2,8	0,7		Keski-Suomen ympäristökeskus	1
KSU	14.614.1.002	Saarijärvi	1415	53.990	4.10.1979	syyskierto	Saarijärvi 18 a	6955961	3411571	12			Keski-Suomen ympäristökeskus	1
KSU	14.614.1.002	Saarijärvi	1415	53.990	24.9.2001	kesä-syys	Saarijärvi 18	6958949	3407175	24	1,9		Keski-Suomen ympäristökeskus	10
KSU	14.631.1.001	Pääjärvi	2950	95.358	27.8.1981	syyskierto	Pääjärvi 256	6978200	3384664	10	1		Keski-Suomen ympäristökeskus	1
KSU	14.631.1.001	Pääjärvi	2950	95.358	24.9.2002	syyskierto	Pääjärvi 256	6978200	3384664	9	1,3		Keski-Suomen ympäristökeskus	0,1

Liite 2. Vedenlaatutulokset ja niiden määrittämenetelmät

JÄRVINRO	ALUE	C	mg/l	%	FNU	mg/l	mS/m	(mmol/l)	(mg/l Pt)	(ug/l)	(ug/l)	(ug/l)	(mg/l)	(mg/l)	(ug/l)	(mg/l)	(mg/l)		
		Lämpötila	happi, liukoinen	happi, kyllästys	sameus men.	kiinto-aine	johto-kyky men.	alkali-niteetti men.	väri	kok.N	kok.P	kloro-fylli-a	esikäs	KHK	TOC	Fe	men.	Cl	men.
04.178.1.001	Iso-Kontunen	13.9	6.1	61			4.7	5.7		320	1180	92			44.0				
04.178.1.001	Iso-Kontunen	3.2	11.3	84	4.00 TUA		5.5 CNA	6.3	0.124 TIH	350	910	53			39.0	25.1	2300 SP		3.5 IC
04.242.1.001	Kolkonjärvi	17.1	9.2	98	0.40 TUA		4.6	7.1	0.130	5	220	3			3.5		12		2.3
04.242.1.001	Kolkonjärvi	6.4	11.3	92	0.40 TUA		5.5 CNA	7.2	0.171 TIH	10	220	5			3.3	4.6	11 SP		3.4 IC
04.253.1.007	Nevajärvi	1.3	8.7	64	0.81 TUA	2.2	3.9	5.5	0.040	40	740	29			11.0		360		2.0
04.253.1.007	Nevajärvi	9.1	10.6	92	3.00 TUA		3.0 CNA	6.0	0.042 TIH	70	570	36			12.0	9.3	630 SP		1.8 IC
04.253.1.024	Haapajärvi	17.6	8.1	88	1.80 TUA		4.1	6.1	0.070	125	620	26			19.2		1700		2.6
04.253.1.024	Haapajärvi	9.0	9.7	84	1.70 TUA		4.4 CNA	6.4	0.078 TIH	140	590	27			16.0	14.3	1800 SP		2.0 IC
04.271.1.001	Unnukka	0.2	10.7	73	0.45 TUA		5.4	6.7	0.140	30	640	10			8.8	8.0	100		3.1
04.271.1.001	Unnukka	10.8	9.1	82	1.05 TUA		5.3 CNA	7.1	0.207 TIH	40	540	13			8.6	8.6	140 SP		2.7 IC
04.423.1.001	Pankajärvi	0.0	11.9	84	0.50 TUA	0.2	2.0	6.0	0.050	90	290	8			12.0		360		0.8
04.423.1.001	Pankajärvi	0.2	12.3	85	0.33 TUA		1.9 CNA	6.1	0.079 TIH	90	280	7			11.0		360 SP		
04.442.1.001	Jonkeri	5.7	11.2	89		2.4	1.8	6.3	0.050	80	480	12			12.2		590		
04.442.1.001	Jonkeri	1.8	10.9	78	0.47 TUA		1.9 CNA	5.9	0.048 TIH	80	320	11			13.5		560 SP		
04.552.1.003	Rytkynjärvi	6.6	9.6	78		11.6	5.4	6.9	0.180	100	570	39			15.2		940		
04.552.1.003	Rytkynjärvi	5.1	9.6	75	2.60 TUA		5.6 CNA	6.9	0.258 TIH	80	750	31			15.0	13.4	590 SP		2.1 IC
04.554.1.001	Sulkavanjärvi	5.9	10.5	84		2.4	5.0	7.0	0.160	90	410	33			13.9		760		
04.554.1.001	Sulkavanjärvi	4.0	10.5	80	1.82 TUA		5.4 CNA	7.0	0.249 TIH	70	670	26			14.0	12.3	390 SP		1.9 IC
04.563.1.001	Nälantöjärvi	0.6	8.5	59			4.6	5.9		140	1000	33			26.0				
04.563.1.001	Nälantöjärvi	16.3	5.9	61	5.30 TUA	11.0/6.0	3.5 CNA	6.4	0.150 TIB	250	1200	93	22.0 E12		23.0		2700 AAF		
04.572.1.001	Luupuvesi	4.2	10.2	78		10.5	4.9	6.4	0.100	280	980	88			35.2		2670		
04.572.1.001	Luupuvesi	0.4	12.1	84	4.60 TUA		4.6 CNA	6.9	0.219 TIH	240	990	67			23.0	20.0	3700 SP		2.0 IC
04.664.1.004	Tiilikka	4.6	11.0	85			1.7	6.3	0.020	90	230	14			12.0		1100		
04.664.1.004	Tiilikka	4.6	10.8	84	1.31 TUA		1.5 CNA	6.6	0.056 TIH	100	380	13			11.0	9.3	1700 SP		0.5 IC
04.665.1.006	Älänne	4.1	11.7	89		2.0	1.8	6.2	0.040	25	380	22			6.9		250		
04.665.1.006	Älänne	8.2	10.1	86	0.75 TUA		1.6 CNA	6.6	0.044 TIH	20	210	5			6.5	6.1	170 SP		0.5 IC
04.956.1.002	Suuri Petäjajärvi	0.2	12.3	87	0.60 TUA		2.9	5.5	0.020	160	490	75			25.0		650		1.8
04.956.1.002	Suuri Petäjajärvi	7.1	9.8	81	1.10 TUA		2.0 CNA	6.1	0.055 TIH	180	500	30			19.0	12.4	930 SP		0.8 IC
04.983.1.007	Poikapää	1.2	7.6	56	0.75 TUA		3.5	6.0	0.120	220	570	51			29.0		1500		1.5
04.983.1.007	Poikapää	7.1	10.2	84	1.40 TUA		2.3 CNA	6.5	0.085 TIH	160	500	37			18.0	14.1	1500 SP		0.5 IC
14.236.1.003	Rutajärvi	10.8	9.4	97			3.7	6.9		80	430	10			13.0				
14.236.1.003	Rutajärvi	6.2	11.2	91	1.50 TUA		4.4 CNA	7.0	0.158 TIH	35	360	9			8.0	7.9	280 SP		2.7 IC
14.452.1.002	Ylä-Jäppä	8.6	9.8	84	4.60 TUA	3.2	2.7	6.4	0.090	160	580	49			17.0		2800		
14.452.1.002	Ylä-Jäppä	7.5	9.5	79	4.80 TUA		2.7 CNA	6.5	0.124 TIH	170	520	29			17.0	13.8	2500 SP		1.0 IC
14.454.1.006	Salamajärvi	0.7	1.5	11		9.1	3.8	5.7	0.160	300	860	15			28.0		4110		
14.454.1.006	Salamajärvi	1.4	14.4	102	1.50 TUA		2.3 CNA	6.6	0.103 TIH	100	470	15			13.0	13.0	2400 SP		0.9 IC
14.472.1.001	Kolima	8.3	10.6	91	1.00 TUA	1.4	4.1	6.9	0.150	50	460	9			9.1		220		
14.472.1.001	Kolima	11.0	9.7	88	0.76 TUA		4.3 CNA	7.1	0.185 TIH	35	460	8			8.5	8.9	180 SP		2.1 IC
14.481.1.001	Alvajärvi	8.2	10.2	87	1.00 TUA	1.6	4.3	6.8	0.170	40	390	13			9.3		190		
14.481.1.001	Alvajärvi	8.7	10.5	90	1.00 TUA		4.8 CNA	7.2	0.242 TIH	35	360	11			8.5	8.3	130 SP		1.8 IC
14.491.1.001	Saanijärvi	4.7	11.7	91	11.10 TUA	11.0	3.8	6.5	0.130	140	670	55			17.0		2000		
14.491.1.001	Saanijärvi	6.6	11.1	91	4.10 TUA		3.7 CNA	6.8	0.170 TIH	100	630	43			18.0	14.0	1200 SP		2.0 IC
14.493.1.001	Elämäjärvi	4.8	11.4	89	7.10 TUA	8.0		6.5	0.110	120	680	49			17.0		1600		
14.493.1.001	Elämäjärvi	6.2	11.4	92	4.70 TUA		3.4 CNA	6.8	0.144 TIH	120	640	39			18.0	15.4	1500 SP		1.7 IC
14.614.1.002	Saarijärvi	7.6	10.6	92	1.00 TUA		4.0	6.7	0.090	100	480	28			14.0		710		
14.614.1.002	Saarijärvi	13.4	8.4	81	1.20 TUA		3.6 CNA	6.5	0.123 TIH	120	610	24	25.0 E12		19.0	15.6	610 SP		2.0 IC
14.631.1.001	Pääjärvi	13.2	8.4	82	2.00 TUA		3.4	6.4		300	670	44	8.4 E2		25.0		2100		2.8
14.631.1.001	Pääjärvi	9.0	9.6	83	3.20 TUA		3.4 CNA	6.7	0.142 TIH	180	590	42			19.0	15.2	2000 SP		1.5 IC

Liite 2. Vedenlaatutulokset ja niiden määrittämenetelmät

JÄRVINRO	ALUE	(ug/l)		(ug/l)		(mg/l)		(mg/l)		(mg/l)		(mg/l)		(mg/l)		(ug/l)		(ug/l)			
		Mn	men.	Al	men.	K	men.	Ca	men.	Mg	men.	Na	men.	SO4	men.	SiO2	men.	Hg syv. 0,10 m	men.	Se	men.
04.178.1.001	Iso-Kontunen																				
04.178.1.001	Iso-Kontunen	87	SP	592	AAG	1.2	AAF	5.0	AAF	1.5	AAF	3.6	AAF	7.1	IC	6.4	SP	0.009	AFD	L0,40	
04.242.1.001	Kolkonjärvi													9.2	.						
04.242.1.001	Kolkonjärvi	L15	SP	6	AAG	1.2	AAF	4.6	AAF	1.3	AAF	2.4	AAF	8.1	IC	0.9	SP	L0,002	AFD	L0,40	
04.253.1.007	Nevajärvi																				
04.253.1.007	Nevajärvi	77	SP	139	AAG	0.9	AAF	2.2	AAF	0.8	AAF	1.4	AAF	5.2	IC	0.4	SP				
04.253.1.024	Haapajärvi																				
04.253.1.024	Haapajärvi	130	SP	150	AAG	1.1	AAF	3.6	AAF	1.2	AAF	1.9	AAF	7.9	IC	1.5	SP				
04.271.1.001	Unnukka	7	.			1.4	.	3.8	.	1.6	.	2.1	.			2.5	.				
04.271.1.001	Unnukka	54	SP	34	AAG	1.8	AAF	4.1	AAF	1.7	AAF	2.3	AAF	6.1	IC	2.1	SP				
04.423.1.001	Pankajärvi	11	.											3.4	.						
04.423.1.001	Pankajärvi																				
04.442.1.001	Jonkeri	63	.																		
04.442.1.001	Jonkeri																				
04.552.1.003	Rytkynjärvi																				
04.552.1.003	Rytkynjärvi	580	SP	215	AAG	1.7	AAF	4.3	AAF	2.2	AAF	2.3	AAF	5.1	IC	3.1	SP	0.003	AFD	0,06/L0,40	
04.554.1.001	Sulkavanjärvi																				
04.554.1.001	Sulkavanjärvi	260	SP	69	AAG	1.6	AAF	4.3	AAF	2.0	AAF	2.4	AAF	5.6	IC	1.8	SP	0.006	AFD	0,14/L0,40	
04.563.1.001	Näläntöjärvi																				
04.563.1.001	Näläntöjärvi																				
04.572.1.001	Luupuvesi																				
04.572.1.001	Luupuvesi	46	SP	239	AAG	1.3	AAF	3.4	AAF	2.2	AAF	2.2	AAF	2.7	IC	1.8	SP	0.004	AFD	0,13/L0,40	
04.664.1.004	Tiilikka																				
04.664.1.004	Tiilikka	39	SP	90	AAG	0.3	AAF	1.1	AAF	0.5	AAF	0.9	AAF	1.1	IC	3.5	SP	0.003	AFD	0,09/L0,40	
04.665.1.006	Äläne	25	.																		
04.665.1.006	Äläne	13	SP			0.4	AAF	1.1	AAF	0.5	AAF	0.9	AAF	1.8	IC	1.0	SP				
04.956.1.002	Suuri Petäjajärvi	34	.											4.6	.						
04.956.1.002	Suuri Petäjajärvi	L30	SP	160	AAG	0.4	AAF	2.1	AAF	0.4	AAF	1.2	AAF	1.7	IC	4.0	SP	0.009	AFD	0,08/L0,40	
04.983.1.007	Poikapää	280	.									22.0	.	3.6	.						
04.983.1.007	Poikapää	54	SP	160	AAG	0.3	AAF	3.2	AAF	0.4	AAF	0.9	AAF	2.1	IC	2.4	SP	0.007	AFD	0,08/L0,40	
14.236.1.003	Rutajärvi																				
14.236.1.003	Rutajärvi	38	AAF	52	AAG	0.8	AAF	3.9	AAF	1.0	AAF	2.4	AAF	4.9	IC	3.8	SP				
14.452.1.002	Ylä-Jäppä	90	.																		
14.452.1.002	Ylä-Jäppä	160	AAF	167	AAG	0.6	AAF	2.4	AAF	0.9	AAF	1.3	AAF	1.4	IC	3.4	SP	0.004	AFD	L0,40	
14.454.1.006	Salamajärvi																				
14.454.1.006	Salamajärvi	21	AAG	185	AAG	0.5	AAF	2.1	AAF	0.7	AAF	1.3	AAF	1.4	IC	4.1	SP	0.003	AFD	L0,40	
14.472.1.001	Kolima	20	.																		
14.472.1.001	Kolima	23	SP	49	AAG	1.1	AAF	3.5	AAF	1.5	AAF	1.9	AAF	4.2	IC	2.3	SP				
14.481.1.001	Alvajärvi	17	.																		
14.481.1.001	Alvajärvi	26	AAF	60	AAG	1.2	AAF	4.0	AAF	1.6	AAF	1.9	AAF	4.6	IC	2.5	SP	0.003	AFD	L0,40	
14.491.1.001	Saanijärvi	120	.																		
14.491.1.001	Saanijärvi	54	AAF	289	AAG	1.1	AAF	2.9	AAF	1.3	AAF	2.0	AAF	2.6	IC	2.6	SP	0.004	AFD	L0,40	
14.493.1.001	Elämäjärvi	63	.																		
14.493.1.001	Elämäjärvi	60	AAF	273	AAG	1.0	AAF	2.7	AAF	1.3	AAF	1.9	AAF	2.3	IC	1.7	SP	0.005	AFD	L0,40	
14.614.1.002	Saarijärvi																				
14.614.1.002	Saarijärvi	140	SP	172	AAG	0.9	AAF	3.3	AAF	1.2	AAF	1.6	AAF	3.1	IC	6.2	SP				
14.631.1.001	Pääjärvi	210	.																		
14.631.1.001	Pääjärvi	180	AAF	324	AAG	0.9	AAF	3.1	AAF	1.1	AAF	1.6	AAF	2.4	IC	4.5	SP	0.005		L0,40	

Liite 2. Vedenlaatutulokset ja niiden määrittäminen

AK	JÄRVINRO	ALUE	VESIALA (ha)	RANTAVIIVAN PITUUS (km)	PVM	KERROS- TUNEISUUS	PAIKKA (hertta)	YKP	YKI	KOK.SYV.	NÄKÖ- SYVYYS	JÄÄ+LUMI	LABORATORIO	NSYV (m)
KSU	14.661.1.001	Karankajärvi	1101	46.084	3.10.1983	syyskierto	Karankajärvi 1	6958192	3388618	19.6	1.2		Keski-Suomen ympäristökeskus	1
KSU	14.661.1.001	Karankajärvi	1101	46.084	24.9.2002	syyskierto	Karankajärvi 2	6961838	3389438	6	1.2		Keski-Suomen ympäristökeskus	1
KSU	14.664.1.006	Kiesimenjärvi	297	20.703	3.10.1983	syyskierto	Kiesimenjärvi	6955345	3380085	2.7	1		Keski-Suomen ympäristökeskus	1
KSU	14.664.1.006	Kiesimenjärvi	297	20.703	24.9.2002	syyskierto	Kiesimenjärvi	6955345	3380085	2.6	0.7		Keski-Suomen ympäristökeskus	1
KSU	14.711.1.001	Konnevesi	18918	642.617	29.9.1982	syyskierto	Konnevesi 64	6945400	3473780	49			Keski-Suomen ympäristökeskus	20
KSU	14.711.1.001	Konnevesi	18918	642.617	3.10.2002	syyskierto	Konnevesi 64	6945400	3473780	49	5.3		Keski-Suomen ympäristökeskus	25
HAM	14.811.1.002	Nuoramoisjärvi	1341	41.442	19.12.1983	talvi	Nuoramoisjärvi 017	6813750	3434560	18.5		0,20+0,10	Etelä-Savon ympäristökeskus	5
HAM	14.811.1.002	Nuoramoisjärvi	1341	41.442	6.11.2002	syyskierto	Nuoramoisjärvi 017	6813750	3434560	18.5	4		Kaakkois-Suomen ympäristökeskus	1
KAS	14.912.1.001	Vuohijärvi	8624	228.830	14.11.1983	syyskierto	Vuohijärvi lautan 039 86	6786500	3483970	60	4.7		Kaakkois-Suomen ympäristökeskus	30
KAS	14.912.1.001	Vuohijärvi	8624	228.830	8.10.2002	syyskierto	Vuohijärvi lautan 039 86	6786500	3483970	61	4.5		Kaakkois-Suomen ympäristökeskus	30
ESA	14.934.1.024	Niskajärvi	392	22.911	12.9.1983	syyskierto	Niskajärvi 028	6901480	3499720	8	2		Etelä-Savon ympäristökeskus	1
ESA	14.934.1.024	Niskajärvi	392	22.911	15.10.2002	syyskierto	Niskajärvi 028	6901480	3499720	7	1.8		Etelä-Savon ympäristökeskus	1
ESA	14.964.1.001	Paihmaa	94	6.000	14.10.1982	syyskierto	Paihmaa 021	6895600	3490740	2.6			Etelä-Savon ympäristökeskus	1
ESA	14.964.1.001	Paihmaa	94	6.000	15.10.2002	syyskierto	Paihmaa 021	6895600	3490740	1.5	1.5		Etelä-Savon ympäristökeskus	1
PIR	35.231.1.001	Vanajavesi	10289	217.176	22.10.1981	syyskierto	Vanajanse 98	6788339	3351336	20	1.5		Kokemäenjoen vesistön vsy. ry	1
PIR	35.231.1.001	Vanajavesi	10289	217.176	7.10.2002	syyskierto	Vanajanse 98	6788339	3351336	20.8	1.2		Pirkanmaan ympäristökeskus	10
PIR	35.411.1.001	Tarjannevesi	5487	243.175	24.3.1981	talvi	Tarjannev 112	6896176	3345636	64.6	1.8	0,60+0,30	Hämeen ympäristökeskus	5
PIR	35.411.1.001	Tarjannevesi	5487	243.175	23.10.2002	syyskierto	Tarjannev 112	6896176	3345636	63	2.7		Pirkanmaan ympäristökeskus	30
LSU	35.462.1.001	Kolunjärvi	58	3.882	30.9.1982	syyskierto	Kolunjärvi syväne	6958933	3357222	5.2			Länsi-Suomen ympäristökeskus	1
LSU	35.462.1.001	Kolunjärvi	58	3.882	2.10.2001	syyskierto	Kolunjärvi syväne	6958933	3357222	5	0.6		Länsi-Suomen ympäristökeskus	4
KSU	35.483.1.001	Pihlajavesi	2070	83.266	4.10.1982	syyskierto	Pihlajavesi 168	6920743	3360013	15	1.1		Keski-Suomen ympäristökeskus	1
KSU	35.483.1.001	Pihlajavesi	2070	83.266	10.10.2002	syyskierto	Pihlajavesi 168	6920743	3360013	15	1.4		Keski-Suomen ympäristökeskus	5
KSU	35.621.1.001	Keuruselkä (N60 105	9687	500.231	10.3.1982	talvi	Keuruselkä 113	6899597	3378757	30	1.5		Keski-Suomen ympäristökeskus	5
KSU	35.621.1.001	Keuruselkä (N60 105	9687	500.231	10.10.2002	Syyskierto	Keuruselkä 113	6899597	3378757	29	2.3		Keski-Suomen ympäristökeskus	15
HAM	35.787.1.030	Valkea Kotinen	4	0.981	16.3.1983	talvi	Valkea-Kotinen, Kesk.2	6794148	3396198	6	1	0,30+0,20	Uudenmaan ympäristökeskus	1
HAM	35.787.1.030	Valkea Kotinen	4	0.981	9.10.2002	syyskierto	Valkea-Kotinen, Kesk.2	6794148	3396198	6.4	1.5		Pirkanmaan ympäristökeskus	1
HAM	35.787.1.062	Hakojärvi	16	2.309	26.1.1984	talvi	Hakojärvi, itäosa 1	6794817	3402996	17	1.1		Uudenmaan ympäristökeskus	1
HAM	35.787.1.062	Hakojärvi	16	2.309	25.1.2000	talvi	Hakojärvi, itäosa 1	6794817	3402996	16.6	0.9	0,27+0,09	Pirkanmaan ympäristökeskus	1
LOS	36.014.1.001	Isojärvi	3882	199.387	17.10.1983	syyskierto	Isojärvi Sotamiehenluoto	6857290	3230265	4.3	1.8		Hämeen ympäristökeskus	1
LOS	36.014.1.001	Isojärvi	3882	199.387	2.10.2002	syyskierto	Isojärvi Sotamiehenluoto	6857290	3230265	4.3	0.98		Lounais-Suomen ympäristökeskus	0-2
LOS	36.019.1.001	Valkjärvi	335	25.423	19.10.1983	syyskierto	Valkjärvi 1	6860310	3236515	4	3.5		Hämeen ympäristökeskus	1
LOS	36.019.1.001	Valkjärvi	335	25.423	6.9.2001	kesä, ei kerr.	Valkjärvi 1	6860310	3236515	4	2.6		Lounais-Suomen ympäristökeskus	1
LOS	36.065.1.002	Siikaisjärvi	476	30.798	20.9.1982	syyskierto	Siikaisjärvi 1	6875972	3227704	3.7	1		Hämeen ympäristökeskus	1
LOS	36.065.1.002	Siikaisjärvi	476	30.798	5.3.2003	talvi	Siikaisjärvi 1	6875972	3227704	3.3	0.4	0,75+0,10	Lounais-Suomen ympäristökeskus	1
LOS	36.092.1.001	Karhijärvi	3335	74.987	15.3.1982	talvi	Karhija 124 (XA320 maat)	6837912	3261238	6.3	0.8	0,50+0,10	Hämeen ympäristökeskus	1
LOS	36.092.1.001	Karhijärvi	3335	74.987	1.9.2003	kesä-syys	Karhija 124 (XA320 maat)	6837912	3261238	5.7	0.8		Lounais-Suomen ympäristökeskus	1
LSU	42.074.1.002	Seinäjärvi	863	42.711	11.10.1982	syyskierto	Seinäjärvi 2	6924662	3312928	2.5			Länsi-Suomen ympäristökeskus	1
LSU	42.074.1.002	Seinäjärvi	863	42.711	10.10.2002	syyskierto	Seinäjärvi syväne 2	6923801	3313339	3.5	1.25		Länsi-Suomen ympäristökeskus	1
LSU	44.041.1.001	Kuortaneenjärvi	1488	33.779	28.9.1983	Syyskierto	Kuortaneenjärvi et 162	6972768	3320124	15.5	0.8		Länsi-Suomen ympäristökeskus	1
LSU	44.041.1.001	Kuortaneenjärvi	1488	33.779	7.10.2002	Syyskierto	Kuortaneenjärvi et 162	6972768	3320124	15.3	1.05		Länsi-Suomen ympäristökeskus	1
LSU	44.044.1.010	Vetämäjärvi	225	11.523	5.10.1983	syyskierto	Vetämäjärvi	6953229	3321427	3	1.3		Länsi-Suomen ympäristökeskus	1
LSU	44.044.1.010	Vetämäjärvi	225	11.523	9.10.2002	syyskierto	Vetämäjärvi	6953229	3321427	2.2	1.1		Länsi-Suomen ympäristökeskus	1
LSU	44.095.1.001	Kuorasjärvi	1228	50.955	6.10.1983	syyskierto	Kuorasjärvi et.syv.	6959642	3308446	5.5	1.8		Länsi-Suomen ympäristökeskus	1
LSU	44.095.1.001	Kuorasjärvi	1228	50.955	7.10.2002	syyskierto	Kuorasjärvi et.syv.	6959642	3308446	6.2	1.25		Länsi-Suomen ympäristökeskus	1
LSU	44.096.1.004	Iso Allasjärvi	359	18.806	5.10.1983	Syyskierto	Iso-Allasjärvi	6945015	3312873	0.8	0.6		Länsi-Suomen ympäristökeskus	0.5
LSU	44.096.1.004	Iso Allasjärvi	359	18.806	9.10.2002	syyskierto	Iso-Allasjärvi	6945015	3312873	1.7	1		Länsi-Suomen ympäristökeskus	1
LSU	48.005.1.003	Räyringinjärvi	384	11.898	1.4.1982	talvi	Räyringinjärvi	7036265	3339726	1.9	0.7	0,50+.	Länsi-Suomen ympäristökeskus, Koki	1
LSU	48.005.1.003	Räyringinjärvi	384	11.898	16.10.2001	Syyskierto	Räyringinjärvi	7036265	3339726	2	0.7		Länsi-Suomen ympäristökeskus, Koki	1

Liite 2. Vedenlaatutulokset ja niiden määrittäminen

JÄRVINRO	ALUE	C	mg/l	%	FNU		mg/l	mS/m	(mmol/l)		(mg/l Pt)	(ug/l)	(ug/l)	(ug/l)	(mg/l)			(mg/l)					
		Lämpötila	happi, liukoinen	happi, kyllästys	sameus	men.	kiinto-aine	johto-kyky	men.	pH	alkaliniteetti	men.	väri	kok.N	kok.P	kloro-fylli-a	esikäs	KHK	TOC	Fe	men.	Cl	men.
14.661.1.001	Karankajärvi	7.8	10.3	87	1.70 TUA	1.2	3.2	6.2	0.080	.	140	470	40		17.0		1500	.					
14.661.1.001	Karankajärvi	9.2	9.5	82	2.00 TUA		2.9 CNA	6.6	0.115	TIH	180	530	34		19.0	14.6	1300 SP				1.0	IC	
14.664.1.006	Kiesimenjärvi	3.9	11.8	90	2.00 TUA	3.7	2.4	6.3	0.060	.	100	510	49		15.0		810	.					
14.664.1.006	Kiesimenjärvi	7.0	9.9	82	1.80 TUA		2.1 CNA	6.3	0.089	TIH	170	570	35		20.0	13.9	1700 SP				0.6	IC	
14.711.1.001	Konnevesi	11.1	9.7	88	0.45 TUA		4.4	7.0			30	400	6	2.7 E2	7.0		61	.					
14.711.1.001	Konnevesi	9.5	9.8	86	0.50 TUA		4.6 CNA	7.0	0.191	TIH	15	340	5		5.4	6.3	31 SP				2.2	IC	
14.811.1.002	Nuoramoisjärvi	3.4	12.4	93	0.87 TUA		6.2	6.6	0.170	.	25	490	13		6.9		140	.			3.4	.	
14.811.1.002	Nuoramoisjärvi	2.0	12.8	93	0.50 TUA		6.1 CNA	7.0	0.214	TIH	15	380	11		5.4	6.3	44 SP				2.5	IC	
14.912.1.001	Vuohijärvi	4.9	11.4	89	0.25 TUA		4.8	6.6			15	580	4		5.6								
14.912.1.001	Vuohijärvi	8.6	10.1	87	0.40 TUA		5.1 CNA	6.8	0.175	TIH	15	410	4		5.0	6.7 L20	SP				2.5	IC	
14.934.1.024	Niskajärvi	12.8	9.3	88	0.90	.	4.2	6.8	0.130	.	70	480	29	20.3 E2	12.0		690	.					
14.934.1.024	Niskajärvi	2.8	12.0	89	1.10 TUA		4.3 CNA	6.9	0.157	TIH	80	480	17		14.0	11.7	460 SP				2.0	IC	
14.964.1.001	Paihmaa	3.2	11.9	89	0.77 TUA		3.7	6.6	0.100	.	80	530	21		13.9		360	.			2.3	.	
14.964.1.001	Paihmaa	1.8	12.4	89	1.90 TUA		3.8 CNA	6.6	0.152	TIH	80	640	23		18.0	13.4	480 SP				2.0	IC	
35.231.1.001	Vanajavesi	8.2	10.3	90	3.80 TUA	4.5	12.0	7.3			50	930	45		9.8		350	.					
35.231.1.001	Vanajavesi	9.4	10.1	88	6.30 TUA		13.1 CNA	7.5	0.537	TIH	45	590	32		8.9	8.9	240 SP				7.2	TI	
35.411.1.001	Tarjannevesi	0.9	10.7	80	0.50 TUA		4.7	6.2	0.090	.	80	550	16		12.0		440	.			3.1	.	
35.411.1.001	Tarjannevesi	5.5	10.3	82	1.10 TUA		3.8 CNA	6.6	0.120	TIH	70	560	12		13.0	12.0	360 SP				2.2	TI	
35.462.1.001	Kolunjärvi	7.9			1.70 TUA	6.1	3.7	6.3			220	620	47				1400	.					
35.462.1.001	Kolunjärvi	6.2	9.1	73	2.20 TUA		3.1 CNA	5.8	0.092	TIH	360	800	41		47.0	29.0	2100 SP				1.3	IC	
35.483.1.001	Pihlajavesi	9.8	9.8	87	0.70 TUA	2.4	2.9	6.4	0.040	.	120	430	14		16.0		760	.					
35.483.1.001	Pihlajavesi	5.3	11.1	87	1.50 TUA		2.8 CNA	6.5	0.087	TIH	140	440	17		17.0	13.6	1100 SP				1.1	IC	
35.621.1.001	Keuruselkä (N60 10€	1.1	11.0	78	0.80 TUA	61/25	GVS/G'	3.8	6.2	0.070	.	140	570	19		18.0	14.0	610	.			3.1	.
35.621.1.001	Keuruselkä (N60 10€	5.9	11.1	89	1.40 TUA		3.7 CNA	6.8	0.132	TIH	80	460	13		14.0	10.0	380 SP				2.0	IC	
35.787.1.030	Valkea Kotinen	1.4	9.9	70			3.9	5.5	0.030	.	150	960	17		19.0		340	.					
35.787.1.030	Valkea Kotinen	4.6	9.3	72			3.0 CNA	5.5	0.023	TIH	90	420	10	7.9 E12	14.0	11.0	250 PLM				1.2	TI	
35.787.1.062	Hakojärvi	1.5	11.4	81		0.3	4.3	6.6	0.110	.	85	580	16		13.0		650	.					
35.787.1.062	Hakojärvi	1.9	10.5	76	0.80 TUA		4.3 CNA	6.1	0.080	TIB	130	510	23		18.0		940 SP				1.0	TI	
36.014.1.001	Isojärvi	6.8	11.6	95		4.5	6.2	7.0	0.150	.	80	530	37		9.7		820	.					
36.014.1.001	Isojärvi	8.2	10.8	91		2.9	GVS				700	51	12.0 E12										
36.019.1.001	Valkjärvi	6.8	11.3	93		1.7	4.4	7.0	0.150	.	15	470	12		5.6		68	.					
36.019.1.001	Valkjärvi	16.2	8.5	91	1.90 TUA		3.9 CNA	7.2	0.180	TIB	35	490	18	13.0 E12	7.6		200 SP						
36.065.1.002	Siikaisjärvi	11.4	9.9	91	3.20 TUA		5.0	6.6	0.100	.	180	540	48		18.0		2100	.			3.7	.	
36.065.1.002	Siikaisjärvi	1.7	6.7	48	3.40 TUA		7.0 CNA	6.6	0.250	TIB	120	1000	35		26.0		2600 SP						
36.092.1.001	Karhijärvi	0.3	12.6	87	4.80 TUA		11.1	6.3	0.120	.	160	1100	42		19.0	16.0	1100	.			4.9	.	
36.092.1.001	Karhijärvi	12.7	9.4	88	16.00 TUA	14.0	GVS	7.0 CNA	7.5		770	62	33.0 E12										
42.074.1.002	Seinäjärvi	5.2	10.8	85	1.20 TUA	2.4	2.5	6.2	0.070	.	120	350	36		16.0		1500	.					
42.074.1.002	Seinäjärvi	2.0	12.2	88	1.60 TUA		2.3 CNA	6.3	0.058	TIH	170	480	22		18.0	17.0	1900 SP				1.3	IC	
44.041.1.001	Kuortaneenjärvi	9.6	10.1	89	4.80	8.8	5.5	7.4	0.120	.	160	760	100	13.0	20.0		2100	.			5.2	.	
44.041.1.001	Kuortaneenjärvi	5.8	10.8	86	6.60 TUA		5.6 CNA	6.9	0.185	TIH	170	750	60		18.0	16.0	1800 SP				4.3	IC	
44.044.1.010	Vetämäjärvi	5.8	11.3	90	1.90 TUA	2.4	5.1	6.4	0.080	.	110	690	44		15.0		1100	.					
44.044.1.010	Vetämäjärvi	2.2	11.3	82	3.60 TUA		4.7 CNA	6.6	0.137	TIH	140	940	35		19.0	17.0	1400 SP				3.6	IC	
44.095.1.001	Kuorasjärvi	6.5	11.3	92	1.80 TUA	3.9	3.9	7.1	0.060	.	90	590	72		12.0		1100	.					
44.095.1.001	Kuorasjärvi	4.4	11.4	88	4.30 TUA		3.6 CNA	6.7	0.109	TIH	100	590	23		16.0	16.0	730 SP				2.3	IC	
44.096.1.004	Iso Allasjärvi	5.5	11.8	94	4.20 TUA	14.0	4.1	6.4	0.060	.	180	780	59		16.0		1600	.					
44.096.1.004	Iso Allasjärvi	2.0	12.3	89	2.40 TUA		3.9 CNA	6.6	0.124	TIH	170	730	43		22.0	19.0	2200 SP				3.3	IC	
48.005.1.003	Räyriinjärvi	1.1	7.3	51		1.6	12.6	6.4	0.400	.	125	1340	32		28.0		624	.					
48.005.1.003	Räyriinjärvi	7.2	10.4	86	12.00 TUA		9.6 CNA	6.9	0.486	TIH	70	1500	55		15.0	12.0	870 SP				5.7	IC	

Liite 2. Vedenlaatutulokset ja niiden määrittämenetelmät

JÄRVINRO	ALUE	(ug/l)		(mg/l)		(mg/l)		(mg/l)		(mg/l)		(mg/l)		(ug/l)		(ug/l)				
		Mn	men.	Al	men.	K	men.	Ca	men.	Mg	men.	Na	men.	SO4	men.	SiO2	men.	Hg syv. 0,10 m	men.	Se
14.661.1.001	Karankajärvi	110	.																	
14.661.1.001	Karankajärvi	450	AAF	211	AAG	0.7	AAF	2.4	AAF	0.9	AAF	1.5	AAF	2.0	IC	5.5	SP	0.006	AFD	L0,40
14.664.1.006	Kiesimenjärvi	22	.																	
14.664.1.006	Kiesimenjärvi	29	AAF	164	AAG	0.4	AAF	1.8	AAF	0.7	AAF	1.3	AAF	1.0	IC	3.9	SP	0.005	AFD	L0,40
14.711.1.001	Konnevesi																			
14.711.1.001	Konnevesi	7	AAF	35	AAG	1.2	AAF	3.7	AAF	1.4	AAF	2.0	AAF	5.5	IC	1.9	SP			
14.811.1.002	Nuoramoisjärvi																			
14.811.1.002	Nuoramoisjärvi	L20	SP	18	AAG	1.4	AAF	5.4	AAF	1.5	AAF	2.5	AAF	9.3	IC	2.5	SP			
14.912.1.001	Vuohijärvi																			
14.912.1.001	Vuohijärvi	L20	SP	26	AAG	1.2	AAF	4.9	AAF	1.2	AAF	2.2	AAF	5.9	IC	2.2	SP			
14.934.1.024	Niskajärvi																			
14.934.1.024	Niskajärvi	36	SP	53	AAG	1.0	AAF	3.9	AAF	1.2	AAF	2.2	AAF	4.9	IC	2.1	SP	L0,002	AFD	L0,40
14.964.1.001	Paihmaa	11	.	120	.															
14.964.1.001	Paihmaa	32	SP	138	AAG	1.3	AAF	3.4	AAF	1.0	AAF	2.1	AAF	3.1	IC	0.6	SP	0.012	AFD	L0,40
35.231.1.001	Vanajavesi													19.0						
35.231.1.001	Vanajavesi	140	SP	160	AAG	2.5	AAF	12.0	AAF	3.4	AAF	6.8	AAF	19.0	TUA	2.8	SP			
35.411.1.001	Tarjannevesi	28	.			1.1	.	3.7	.	1.3	.	2.2	.							
35.411.1.001	Tarjannevesi	39	SP	200	AAG	1.0	AAF	3.2	AAF	1.1	AAF	1.9	AAF	3.6	TUA	3.8	SP			
35.462.1.001	Kolunjärvi																			
35.462.1.001	Kolunjärvi	93	SP	425	AAG	0.6	AAF	3.2	AAF	1.1	AAF	1.7	AAF	1.6	IC	7.6	SP			
35.483.1.001	Pihlajavesi																	L0,010	.	
35.483.1.001	Pihlajavesi	550	AAF	213	AAG	0.6	AAF	2.3	AAF	0.8	AAF	1.4	AAF	2.4	IC	5.2	SP	0.005	AFD	L0,40
35.621.1.001	Keuruselkä (N60 10€	23	.			0.8	.	3.5	.	1.0	.	1.7	.			6.0	.			
35.621.1.001	Keuruselkä (N60 10€	190	AAF	129	AAG	0.8	AAF	3.2	AAF	1.0	AAF	2.1	AAF	3.6	IC	4.0	SP			
35.787.1.030	Valkea Kotinen																	L0,010	.	
35.787.1.030	Valkea Kotinen	16	PLM	130	PLM	0.3	AAF	2.3	AAF	0.7	AAF	1.4	AAF	7.7	TUA	2.5	SP			
35.787.1.062	Hakojärvi	18	.																	
35.787.1.062	Hakojärvi																			
36.014.1.001	Isojärvi	59	.																	
36.014.1.001	Isojärvi																			
36.019.1.001	Valkjärvi	27	.																	
36.019.1.001	Valkjärvi	95	SP																	
36.065.1.002	Siikkaisjärvi	89	.																	
36.065.1.002	Siikkaisjärvi																			
36.092.1.001	Karhijärvi	86	.			1.9	.	5.4	.	2.4	.	3.2	.			7.3	.			
36.092.1.001	Karhijärvi																			
42.074.1.002	Seinäjärvi																			
42.074.1.002	Seinäjärvi	37	SP	382	AAG	0.6	AAF	1.9	AAF	0.8	AAF	1.3	AAF	1.9	IC	2.4	SP	0.01	AFD	L0,40
44.041.1.001	Kuortaneenjärvi	96	.																	
44.041.1.001	Kuortaneenjärvi	76	SP	510	AAG	1.8	AAF	4.4	AAF	1.7	AAF	2.9	AAF	5.4	IC	1.1	SP			
44.044.1.010	Vetämäjärvi	40	.																	
44.044.1.010	Vetämäjärvi	180	SP	118	AAG	2.1	AAF	3.0	AAF	1.6	AAF	2.2	AAF	4.3	IC	1.0	SP	0.006	AFD	L0,40
44.095.1.001	Kuorasjärvi	43	.																	
44.095.1.001	Kuorasjärvi	60	SP	106	AAG	1.1	AAF	2.7	AAF	1.2	AAF	1.8	AAF	3.3	IC	0.5	SP	0.007	AFD	L0,40
44.096.1.004	Iso Allasjärvi	58	.																	
44.096.1.004	Iso Allasjärvi	41	SP	360	AAG	1.3	AAF	3.2	AAF	1.2	AAF	1.8	AAF	2.5	IC	1.4	SP	0.009	AFD	L0,40
48.005.1.003	Räyriinjärvi																			
48.005.1.003	Räyriinjärvi	294	AAG	279	AAG	3.2	AAF	11.0	AAF	2.0	AAF	3.1	AAF	9.3	IC	2.3	SP			

Liite 2. Vedenlaatutulokset ja niiden määrittäminen

AK	JÄRVINRO	ALUE	VESIALA (ha)	RANTAVIIVAN PITUUS (km)	PVM	KERROS- TUNEISUUS	PAIKKA (hertta)	YKP	YKI	KOK.SYV.	NÄKÖ- SYVYYS	JÄÄ+LUMI	LABORATORIO	NSYV (m)
LSU	49.054.1.001	Ullavanjärvi	1307	72.803	15.10.1981	Syyskierto	Ullavanjärvi	7063883	3353599	1.8	0.7		Länsi-Suomen ympäristökeskus, Koki	1
LSU	49.054.1.001	Ullavanjärvi	1307	72.803	9.10.2002	syyskierto	Ullavanjärvi	7063883	3353599	1.8	0.8		Länsi-Suomen ympäristökeskus, Koki	1
LSU	51.041.1.001	Lestijärvi	6452	108.785	19.10.1983	Syyskierto	Lestijärvi syväne	7049109	3393178	5.7			Länsi-Suomen ympäristökeskus, Koki	1
LSU	51.041.1.001	Lestijärvi	6452	108.785	7.10.2002	syyskierto	Lestijärvi syväne	7049109	3393178	5.6	2.6		Länsi-Suomen ympäristökeskus, Koki	1
LSU	51.052.1.001	Lehtosenjärvi	387	23.067	19.10.1983	syyskierto	Lehtosenjärvi	7034731	3387197	2			Länsi-Suomen ympäristökeskus, Koki	1
LSU	51.052.1.001	Lehtosenjärvi	387	23.067	7.10.2002	syyskierto	Lehtosenjärvi Riutanselk	7033547	3387574	2.3	1.3		Länsi-Suomen ympäristökeskus, Koki	1
PPO	54.059.1.004	Parkkimajärvi	987	20.858	5.4.1982	talvi	Parkkimanjärvi	7071130	3442840	3.5		0,60+	Länsi-Suomen ympäristökeskus, Koki	1
PPO	54.059.1.004	Parkkimajärvi	987	20.858	10.10.2001	Syyskierto	Parkkimanjärvi	7071130	3442840	5	2.2		Länsi-Suomen ympäristökeskus, Koki	1
PPO	54.071.1.001	Piipsjärvi	389	14.061	12.10.1983	syyskierto	Piipsjärvi alapää	7133917	3399462	4			Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus	1
PPO	54.071.1.001	Piipsjärvi	389	14.061	24.2.2000	talvi	Piipsjärvi alapää	7133917	3399462	3.8		0,45+0,10	Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus	1
KAI	59.439.1.001	Hoikkajärvi	53	4.824	12.3.1984	talvi	Hoikkajärvi 015 Hoikka	7182143	3578724	17		0.9 0,60+0,20	Kainuun ympäristökeskus	1
KAI	59.439.1.001	Hoikkajärvi	53	4.824	30.8.2002	kesä	Hoikkajärvi 015 Hoikka	7182143	3578724	17	2.1		Kainuun ympäristökeskus	0-2
KAI	59.511.1.001	Kiantajärvi	16902	436.173	19.3.1981	talvi	Kiantajärvi syv. 136	7216488	3600122	39.3	1.3	0,60+0,30	Kainuun ympäristökeskus	5
KAI	59.511.1.001	Kiantajärvi	16902	436.173	7.10.2002	Syyskierto	Kiantajärvi syv. 136	7216488	3600122	41	2.2		Kainuun ympäristökeskus	20
KAI	59.811.1.001	Nuasjärvi	9644	171.314	16.3.1983	talvi	Rehjanselkä 135	7124670	3542810	40	1.4	0,50+0,30	Kainuun ympäristökeskus	5
KAI	59.811.1.001	Nuasjärvi	9644	171.314	2.10.2002	syyskierto	Rehjanselkä 135	7124670	3542810	41	1.9		Kainuun ympäristökeskus	20
KAI	59.882.1.001	Jormasjärvi	2047	69.824	6.10.1983	syyskierto	Jormasjärvi syv p3	7106280	3556840	27	2		Kainuun ympäristökeskus	1
KAI	59.882.1.001	Jormasjärvi	2047	69.824	1.11.2000	syyskierto	Jormasjärvi syv p3	7106280	3556840	26.2	1.9		Kainuun ympäristökeskus	1
KAI	59.911.1.001	Ontojärvi	10457	315.866	20.3.1980	talvi	Ontojärvi syväne 133	7114296	3609103	20	1	0,50+0,50	Kainuun ympäristökeskus	5
KAI	59.911.1.001	Ontojärvi	10457	315.866	3.10.2002	syyskierto	Ontojärvi syväne 133	7114296	3609103	22.1	2.1		Kainuun ympäristökeskus	10
KAI	59.921.1.001	Lentua	7784	271.407	23.11.1982	syyskierto	Lentua syväne 132	7128315	3621859	49	3.2		Kainuun ympäristökeskus	25
KAI	59.921.1.001	Lentua	7784	271.407	14.10.2002	syyskierto	Lentua syväne 132	7128315	3621859	49	2.6		Kainuun ympäristökeskus	25
KAI	59.974.1.003	Kälkänäen	422	26.839	4.10.1983	Syyskierto	Kälkänäen	7098980	3648716	12.8	2.1		Kainuun ympäristökeskus	1
KAI	59.974.1.003	Kälkänäen	422	26.839	3.10.2001	syyskierto	Kälkänäen 3	7099124	3648369	3.4	2.9		Kainuun ympäristökeskus	1
KAI	59.977.1.001	Saunajärvi	992	40.272	3.10.1983	syyskierto	Saunajärvi 7	7095339	3644541	7	7		Kainuun ympäristökeskus	1
KAI	59.977.1.001	Saunajärvi	992	40.272	20.8.2002	kesä	Saunajärvi 7	7095339	3644541	4.4	1.4		Kainuun ympäristökeskus	1
LAP	61.631.1.001	Kynsijärvi	1268	36.363	20.1.1981	talvi	Kynsijärvi rr 4	7309858	3559465	8		2 0,60+0,20	Lapin ympäristökeskus	1
LAP	61.631.1.001	Kynsijärvi	1268	36.363	10.10.2002	syyskierto	Kynsijärvi rr 4	7309858	3559465	7.1			Lapin ympäristökeskus	1
LAP	61.651.1.005	Kuusijärvi	558	19.506	20.9.1978	syyskierto	Kuusijärvi Kynsij. 3	7307240	3549700	1.5			Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus	0.5
LAP	61.651.1.005	Kuusijärvi	558	19.506	30.10.2002	syyskierto	Kuusijärvi Kynsij. 2	7307610	3550020	3			Lapin ympäristökeskus	1
LAP	65.592.1.001	Unarijärvi	2881	73.006	5.10.1981	syyskierto	Unarijärvi 1	7453685	3444792	22	2		Lapin ympäristökeskus	1
LAP	65.592.1.001	Unari	2881	73.006	26.9.2002	syyskierto	Unarijärvi 1	7453685	3444792	23.9	1.7		Lapin ympäristökeskus	1
LAP	71.111.1.001	Inarijärvi	104028	3277.802	19.3.1981	talvi	Inarijärvi vasikkas 151	7674592	3552938	93			Lapin ympäristökeskus	5
LAP	71.111.1.001	Inarijärvi	104028	3277.802	2.10.2002	syyskierto	Inarijärvi vasikkas 151	7674592	3552938	93			Lapin ympäristökeskus	1
LAP	71.241.1.001	Mutusjärvi	5045	160.148	24.3.1983	talvi	Mutusjärvi 1	7655120	3491880	67		4.5 0,60+0,10	Lapin ympäristökeskus	5
LAP	71.241.1.001	Mutusjärvi	5045	160.148	9.10.2002	syyskierto	Mutusjärvi 1	7655120	3491880	74	4		Lapin ympäristökeskus	1

Liite 2. Vedenlaatutulokset ja niiden määrittäminen

JÄRVINRO	ALUE	C	mg/l	%	FNU	mg/l	mS/m	(mmol/l)	(mg/l Pt)	(ug/l)	(ug/l)	(ug/l)	(mg/l)	(mg/l)	(ug/l)	(mg/l)	(mg/l)	(ug/l)	(mg/l)
		Lämpötila	happi, liukoinen	happi, kyllästys	sameus men.	kiinto-aine	johto-kyky men.	alkali-niteetti men.	väri	kok.N	kok.P	kloro-fylli-a	esikäs	KHK	TOC	Fe	men.	Cl	men.
49.054.1.001	Ullavanjärvi		5.3	11.1	90	3.70 TUA	4.2 .	3.2 .	7.2	300	820	40			27.0	3100 .			3.2 .
49.054.1.001	Ullavanjärvi		1.4	12.7	90	5.90 TUA		3.5 CNA	6.7	0.124 TIH	140	840	33		16.0	17.0	1600 SP		2.5 IC
51.041.1.001	Lestijärvi		5.4	11.8	93		3/0,9	GVS/G'	2.6 .	6.3	0.060 .	85	309	8	13.0		1200 .		
51.041.1.001	Lestijärvi		3.6	12.4	94	1.10 TUA		3.2 CNA	6.9	0.115 TIH	40	400	13	8.9	9.3	410 SP			1.5 IC
51.052.1.001	Lehtosenjärvi		5.6	11.4	91		24,4/14,8	GVS/G'	1.8 .	5.4 L0,02	180	802	31	22.0		2460 .			
51.052.1.001	Lehtosenjärvi		2.6	12.6	93	1.10 TUA		1.6 CNA	6.2	0.035 TIH	100	380	22	10.0	11.0	1500 SP			0.7 IC
54.059.1.004	Parkkimajärvi		1.3	8.4	60		2.2 .	4.9 .	6.2	0.140 .	80	520	9	16.0		340 .			
54.059.1.004	Parkkimajärvi		7.0	11.4	94	2.40 TUA		4.1 CNA	6.9	0.168 TIH	25	530	17	7.0	8.1	32 SP			2.8 IC
54.071.1.001	Piipsjärvi		4.3	10.5	80	6.30 .	6.7 .	16.6 .	6.8	0.290 .	180	760	62	8.6 E2	19.0	2600 .			8.6 .
54.071.1.001	Piipsjärvi		0.4	5.9	41	13.00 TUA		13.0 CNA	6.3	0.570 TIB	250	1200	65	20.0		5000 SP			
59.439.1.001	Hoikkajärvi		0.3	9.8	68	0.43 TUA		3.8 .	6.1	0.120 .	100	510	14	18.7		720 .			
59.439.1.001	Hoikkajärvi													3.3 E12					
59.511.1.001	Kiantajärvi		1.2	10.8	79	0.34 TUA		3.2 .	6.6	0.160 .	40	280	6	7.3	8.0	180 .			1.0 .
59.511.1.001	Kiantajärvi		6.0	10.9	88	0.63 TUA		2.5 CNA	7.0	0.130 TIB	40	250	8	2.0 E12	7.1	6.5	140 SP		0.7 IC
59.811.1.001	Nuasjärvi		0.2	11.7	80	0.38 TUA		2.8 .	6.5	0.080 .	80	420	10	12.8	9.0	400 .			1.1 .
59.811.1.001	Nuasjärvi		9.2	9.4	82	1.00 TUA		2.9 CNA	6.7	0.110 TIB	50	310	18	2.9 E12	9.5	8.4	300 SP		1.0 IC
59.882.1.001	Jormasjärvi		6.3	10.8	87		2.2 .	2.8 .	6.4	0.060 .	90	440	12	12.5		540 .			
59.882.1.001	Jormasjärvi		4.4	11.2	86	1.00 TUA	1.1 GVS		6.3	0.060 TIB	90	500	14	1.4 E12	11.8		670 SP		
59.911.1.001	Ontojärvi		2.0	9.3	70	0.31 TUA	0.5 .	2.9 .	6.2	0.100 .	70	630	12	11.0		590 .			1.6 .
59.911.1.001	Ontojärvi		6.0	10.6	85	1.80 TUA		2.4 CNA	6.8	0.110 TIB	50	300	13	3.9 E12	11.0	8.3	250 SP		0.8 IC
59.921.1.001	Lentua		1.5	12.8	91	0.38 TUA		2.4 .	6.7	0.090 .	55	310	10	10.9		140 .			
59.921.1.001	Lentua		5.2	11.3	89	0.51 TUA		2.4 CNA	7.0	0.110 TIB	40	240	6	2.5 E12	9.1	7.7	110 SP		0.7 IC
59.974.1.003	Kälkänen		5.4	11.3	89		1.0 .	1.8 .	6.4	0.050 .	70	450	12	10.3		480 .			
59.974.1.003	Kälkänen		7.9	10.3	87	1.00 TUA		1.8 CNA	6.5	0.060 TIB	50	240	27	3.3 E12	9.2		380 SP		
59.977.1.001	Saunajärvi		3.8	11.9	90	1.45 TUA	5.0 .	1.9 .	6.3	0.050 .	140	420	28	16.7		1600 .			
59.977.1.001	Saunajärvi		18.5	8.3	89	1.40 TUA		1.9 CNA	6.6	0.074 TIH	100	410	23	6.4 E12			980 SP		
61.631.1.001	Kynsijärvi		0.3	10.5	75			4.1 .	6.6		35	390	7	6.3		350 SP			1.3 .
61.631.1.001	Kynsijärvi		1.5	13.2	94	2.20 TUA		3.9 CNA	7.3	0.280 TIH	35	320	14	5.9		340 SP			0.8 IC
61.651.1.005	Kuusijärvi		5.8	10.8	89	3.80 TUA	15.0 .	4.2 .	7.1	0.280 .	80	270	29	11.0		550 .			1.3 .
61.651.1.005	Kuusijärvi		1.2	13.4	95	1.20 TUA		5.8 CNA	7.3	0.452 TIH	40	330	10	6.2	6.1	340 SP			1.3 IC
65.592.1.001	Unarinjärvi		7.80	10.6	92.0	1.5 TUA		2.5 .	7.0		125	430	22	12.3		1560 .			1.2 .
65.592.1.001	Unari		7.4	10.6	88	3.00 TUA		2.6 CNA	7.0	0.158 TIH	85	390	32	8.8	8.3	1300 SP			0.8 IC
71.111.1.001	Inarinjärvi		0.6	12.7	91	0.25 TUA		3.2 .	7.1	0.160 .	5	110	2	2.3	4.0	5 .			1.3 .
71.111.1.001	Inarinjärvi		7.6	11.1	93	0.30 TUA		2.7 CNA	7.2	0.161 TIH	8	170	4	2.6	2.7	13 SP			1.0 IC
71.241.1.001	Mutusjärvi		0.5	12.7	88	0.17 TUA		3.5 .	6.8	0.150 .	30	210	4	4.8	5.0	88 .			1.2 .
71.241.1.001	Mutusjärvi		6.2	10.9	88	0.40 TUA		2.9 CNA	7.1	0.184 TIH	20	170	6	3.5	3.2	98 SP			1.0 IC

Liite 2. Vedenlaatutulokset ja niiden määrittämenetelmät

JÄRVINRO	ALUE	(ug/l)		(ug/l)		(mg/l)		(mg/l)		(mg/l)		(mg/l)		(mg/l)		(ug/l)		(ug/l)		
		Mn	men.	Al	men.	K	men.	Ca	men.	Mg	men.	Na	men.	SO4	men.	SiO2	men.	Hg syv. 0,10 m	men.	Se
49.054.1.001	Ullavanjärvi																			
49.054.1.001	Ullavanjärvi	74	AAG	188	AAG	1.4	AAF	2.3	AAF	1.3	AAF	2.0	AAF	3.1	IC	0.3	SP			
51.041.1.001	Lestjärvi	45	.																	
51.041.1.001	Lestjärvi	19	AAG	60	AAG	0.8	AAF	2.5	AAF	1.1	AAF	1.4	AAF	2.7	IC	1.4	SP	L0,002	AFD	L0,40
51.052.1.001	Lehtosenjärvi	160	.																	
51.052.1.001	Lehtosenjärvi	13	AAG	137	AAG	0.3	AAF	1.1	AAF	0.5	AAF	0.9	AAF	1.8	IC	0.6	SP	0.003	AFD	L0,40
54.059.1.004	Parkkimajärvi																			
54.059.1.004	Parkkimajärvi	47	AAG	121	AAG	1.4	AAF	2.4	AAF	1.6	AAF	2.1	AAF	3.3	IC	1.0	SP			
54.071.1.001	Piipsjärvi																			
54.071.1.001	Piipsjärvi			81	AAG	2.0	AAF	9.8	AAF	4.7	AAF	5.5	AAF			16.0	SP			
59.439.1.001	Hoikkajärvi																			
59.439.1.001	Hoikkajärvi																			
59.511.1.001	Kiantajärvi	15	.			0.3	.	2.5	.	0.9	.	1.0	.			4.4	.			
59.511.1.001	Kiantajärvi	21	SP	38	AAG	0.5	AAF	2.2	AAF	0.8	AAF	1.0	AAF	1.5	IC	3.9	SP			L0,40
59.811.1.001	Nuasjärvi	11	.							0.9	.	1.1	.			3.5	.			
59.811.1.001	Nuasjärvi	78	SP	54	AAG	0.7	AAF	2.2	AAF	1.1	AAF	1.3	AAF	3.2	IC	3.6	SP			
59.882.1.001	Jormasjärvi	31	.																	
59.882.1.001	Jormasjärvi																			
59.911.1.001	Ontojärvi	29	.			0.6	.	1.0	.	0.5	.	1.4	.			4.1	.			
59.911.1.001	Ontojärvi	54	SP	48	AAG	0.6	AAF	2.0	AAF	0.8	AAF	1.2	AAF	1.9	IC	4.0	SP			
59.921.1.001	Lentua	13	.																	
59.921.1.001	Lentua	17	SP	38	AAG	0.5	AAF	2.1	AAF	0.8	AAF	1.1	AAF	1.5	IC	3.7	SP			L0,40
59.974.1.003	Kälkänen	33	.																	
59.974.1.003	Kälkänen	49	SP																	
59.977.1.001	Saunajärvi																			
59.977.1.001	Saunajärvi	40	SP																	
61.631.1.001	Kynsijärvi	44	SP																	
61.631.1.001	Kynsijärvi	39	SP	44	AAG	0.7	AAF	4.3	AAF	1.1	AAF	1.5	AAF	2.5	IC	3.5	SP	0.005	AFD	L0,40
61.651.1.005	Kuusijärvi	22	.																	
61.651.1.005	Kuusijärvi	27	SP	26	AAG	0.9	AAF	6.5	AAF	1.7	AAF	1.9	AAF	2.7	IC	5.3	SP	0.003	AFD	L0,40
65.592.1.001	Unarinjärvi	36	.																	
65.592.1.001	Unari	61	SP	48	AAG	0.5	AAF	2.2	AAF	1.4	AAF	1.4	AAF	1.6	IC	5.4	SP	0.007	AFD	L0,40
71.111.1.001	Inarinjärvi	0	.			L0,1	.	3.1	.	0.9	.	1.3	.			4.4	.			
71.111.1.001	Inarinjärvi	L10	SP	11	AAG	0.3	AAF	2.5	AAF	0.9	AAF	1.3	AAF	2.5	IC	4.0	SP	0.006	AFD	L0,40
71.241.1.001	Mutusjärvi	11	.			0.3	.	2.6	.	0.9	.	1.3	.			7.2	.			
71.241.1.001	Mutusjärvi	L10	SP	13	AAG	0.4	AAF	2.5	AAF	0.9	AAF	1.4	AAF	2.3	IC	5.7	SP	0.005	AFD	L0,40

Liite 3. CORINE -maankäyttö/maanpeiteaineiston maankäyttöluokat

Luokka	nimi	kuvaus
1 RAKENNETUT ALUEET		
1110	Tiiviisti rakennetut asuinalueet	Luokka koostuu SLICES kerrostaloalueista ja RHR:n asuinkerrostaloista ja asuntolarakennuksista sekä satelliittikuvilta päivitetystä rakennetuista alueista.
1120	Väljästi rakennetut asuinalueet	Luokka koostuu SLICES rivi- ja kytkettyjen pientalojen alueista ja erillispientalojen alueista sekä RHR:n rivi- ja ketjutaloista sekä erillisistä pientaloista. Lisäksi mukana on myös satelliittikuvilta päivitettyjä rakennettuja alueita.
1210	Teollisuuden ja palveluiden alueet	Luokka koostuu SLICES liike- ja toimistorakennusten alueista, yleisten rakennusten alueista sekä teollisuusalueista ja varastorakennusten alueista sekä vastaavista RHR:n luokista. Mukana on myös digitoituja alueita sekä satelliittikuvilta päivitettyjä rakennettuja alueita. Lisäksi lähteenä on käytetty maasto- ja puustotulkinnan (SLAM3) teollisuusalueita. Teollisuuden jätealtaat kuuluvat tähän luokkaan.
1220	Liikennealueet	Luokka koostuu SLICES tieliikennealueista, yleisistä teistä ja rautateistä ja muista raideliikenne-alueista ja muista liikennealueista sekä vastaavista RHR:n luokista (asemat, terminaalit, pysäköintialot, kulkuneuvojen suoja- ja huoltorakennukset sekä muut liikenteen rakennukset). Mukana on lisäksi digitoituja alueita sekä satelliittikuvilta päivitettyjä rakennettuja alueita.
1230	Satama-alueet	Luokka koostuu SLICES satama-alueista, digitoituista alueista sekä satelliittikuvilta päivitetystä rakennetuista alueista.
1240	Lentokenttäalueet	Luokka koostuu SLICES lentoliikenne- ja ilmailualueista, digitoituista alueista sekä satelliittikuvilta päivitetystä rakennetuista alueista.
1310	Maa-aineisten ottoalueet	Luokka koostuu SLICES kaivoksista, kalliokiviaineisten louhinta-alueista sekä soran- ja hiekan ottoalueista. Lisäksi mukana on MTK:n maa-aineisten ottoalueita (karkea ja hieno kivennäisaines), satelliittikuvilta päivitettyjä alueita sekä digitoituja alueita. Myös alueellisten ympäristö-keskusten digitoimia soranottoalueita (Motto) on käytetty lähtöaineistona.
1320	Kaatopaikat	Luokka koostuu SLICES ympäristöhuollon alueista, digitoituista alueista ja satelliittikuvilta päivitetystä alueista. Kaatopaikkojen jätealtaat kuuluvat tähän luokkaan.
1330	Rakennustyöalueet	Luokka koostuu digitoituista alueista.
1410	Taajamien viheralueet ja puistot	Luokka koostuu SLICES puistoista.
1421	Kesämökki	Luokka koostuu SLICES loma-asuntoalueista sekä RHR:n vapaa-ajan asuinrakennuksista ja vuokrattavista lomamökeistä ja -osakkeista.
1422	Urheilu- ja vapaa-ajan toiminta-alueet	Luokka koostuu SLICES urheilu- ja virkistyspalveluiden alueista, RHR:n kuntoilu- ja urheilurakennuksista, digitoituista alueista sekä satelliittikuvilta päivitetystä alueista. Leirintäalueet kuuluvat kansallisessa CLC2000-aineistossa metsäluokkiin.
2 MAATALOUSALUEET		
2110	Pellot	Luokka koostuu SLICES pelloista, taimitarhoista ja katetuista viljelmistä sekä pitkäaikaisista kensannoista. Lisäksi mukana on käytetty satelliittikuvilta päivitettyjä alueita.
212	Keinokastellut pellot	Luokkaa ei esiinny Suomessa
213	Riisipellot	Luokkaa ei esiinny Suomessa
221	Viinitarhat	Luokkaa ei esiinny Suomessa
222	Hedelmäpuu- ja marjapensasviljelmät	Luokka koostuu SLICES hedelmäpuu- ja marjaviljelmistä.
223	Oliivipuuviljelmät	Luokkaa ei esiinny Suomessa
2310	Laidunmaat	Luokka koostuu SLICES monivuotisista nurmista ja niityistä, latvuspeittävyden on oltava satelliit-tikuvatulkinnan mukaan < 30%.
241	Yhdistelmäviljelmät	Luokkaa ei esiinny Suomessa
242	Peltojen ja niittyjen muodostama mosaiikki	Luokkaa on ainoastaan CLC2000 25 ha:n yleistetyssä aineistossa.
2430	Pienipiirteinen maatalousmosaiikki	Luokka koostuu kansallisessa CLC2000-aineistossa SLICES käytöstä poistuneista maatalousmaista.
244	Puustoiset pelto- ja laidunmaat	Luokkaa ei esiinny Suomessa
3 METSÄT SEKÄ AVOIMET KANKAAT JA KALLIOMAAT		
311	Lehtimetsät (Pääluokka)	Suomessa metsien määrittämiseen käytettävät kynnsarvot ovat puuston pituus > 5 m ja latvuspeitto (cc) > 30% eteläisessä Suomessa, pituus > 5 m ja latvuspeitto > 20% Lapin eteläosissa (kasvillisuusvyöhykkeet 4a ja 4b) sekä pituus > 5 m ja latvuspeitto > 15% Lapin pohjoisosissa (kasvillisuusvyöhykkeet 4c ja 4d). Luokka koostuu satelliittikuvilta tulkituista alueista, joissa latvuspeitto on yli 30 % ja puulajeista lehtipuita on > 70%.

Liite 3. CORINE -maankäyttö/maanpeiteaineiston maankäyttöluokat

3111 Lehtimetsät kivennäismaalla	Luokka koostuu satelliittikuvatulkinnan lehtimetsistä suo/soistuma-maskin (MTK + perusCD:itä tulkitut suot) ulkopuolella.
3112 Lehtimetsät turvemaalla	Luokka koostuu satelliittikuvatulkinnan lehtimetsistä suo/soistuma-maskilla (MTK + perusCD:itä tulkitut suot).
312 Havumetsät (Pääluokka)	Luokka koostuu satelliittikuvilta tulkituista alueista, joissa latvuspeitto on yli 30 % ja puulajeista havupuuta on > 75%.
3121 Havumetsät kivennäismaalla	Luokka koostuu satelliittikuvatulkinnan havumetsistä suo/soistuma-maskin (MTK + perusCD:itä tulkitut suot) ulkopuolella.
3122 Havumetsät turvemaalla	Luokka koostuu satelliittikuvatulkinnan havumetsistä suo/soistuma-maskilla (MTK + perusCD:itä tulkitut suot).
3123 Havumetsät kalliomaalla	Luokka koostuu satelliittikuvatulkinnan havumetsistä kallio/kivikko-maskilla (MTK).
313 Sekametsät (Pääluokka)	Luokka koostuu satelliittikuvilta tulkituista alueista, joissa latvuspeitto on yli 30 % ja puulajeista havu- ja lehtipuiden osuus on < 70%.
3131 Sekametsät kivennäismaalla	Luokka koostuu satelliittikuvatulkinnan sekametsistä suo/soistuma-maskin (MTK + perusCD:itä tulkitut suot) ulkopuolella.
3132 Sekametsät turvemaalla	Luokka koostuu satelliittikuvatulkinnan sekametsistä suo/soistuma-maskilla (MTK + perusCD:itä tulkitut suot)
3133 Sekametsät kalliomaalla	Luokka koostuu satelliittikuvatulkinnan sekametsistä kallio/kivikko-maskilla (MTK).
3210 Luonnonniityt	Luokka koostuu satelliittikuvatulkinnan perusteella alueista, joissa latvuspeitto on < 15%, puuston pituus < 1,5m ja kasvillisuuspeitto > 75%. Kenttäkerros on heinä- tai saravaltainen. Luokkaa esiintyy pääasiassa Pohjois-Suomessa metsänrajan yläpuolella.
3220 Varvikot ja nummet	Luokka koostuu satelliittikuvatulkinnan perusteella alueista, joissa latvuspeitto on < 15%, puuston pituus on < 3m ja kasvillisuuspeitto > 75%. Kenttäkerros on jäkälä- / varpu- / sammalvaltainen. Luokkaa esiintyy pääasiassa Pohjois-Suomessa metsänrajan yläpuolella.
323 Nahkealehtisen kasvillisuuden alueet	Luokkaa ei esiinny Suomessa.
324 Harvapuustoiset alueet (Pääluokka)	Luokka koostuu satelliittikuvilta tulkituista alueista, joissa latvuspeitto on alle 30 %.
3241 Harvapuustoiset alueet, cc < 10%	Luokka koostuu satelliittikuvatulkinnan mukaan harvapuustoisista alueista, joilla on latvuspeitto on < 10%.
3242 Harvapuustoiset alueet, cc 10-30%, kivennäismaalla	Luokka koostuu satelliittikuvatulkinnan mukaan harvapuustoisista alueista, joilla latvuspeitto on 10-30% ja jotka ovat suo/soistuma-maskin (MTK + perusCD:itä tulkitut suot) ulkopuolella.
3243 Harvapuustoiset alueet, cc 10-30%, turvemaalla	Luokka koostuu satelliittikuvatulkinnan mukaan harvapuustoisista alueista, joilla latvuspeitto on 10-30% ja jotka ovat suo/soistuma-maskilla (MTK + perusCD:itä tulkitut suot).
3244 Harvapuustoiset alueet, cc 10-30%, kalliomaalla	Luokka koostuu satelliittikuvatulkinnan mukaan harvapuustoisista alueista, joilla latvuspeitto on 10-30% ja jotka ovat kallio/kivikko-maskilla (MTK).
3245 Harvapuustoiset alueet tunturissa	Luokka koostuu satelliittikuvatulkinnan mukaan harvapuustoisista alueista, joilla latvuspeitto on < 30% ja jotka ovat metsänrajan yläpuolella.
3246 Harvapuustoiset alueet, sähkölinjan alla	Luokka koostuu SLICES energiahuollon alueista.
3310 Rantahietikot ja dyynialueet	Luokka koostuu MTK:n hietikoista kun latvuspeitto on > 10% satelliittikuvatulkinnan mukaan. Lisäksi mukana on käytetty digitoituja alueita.
3320 Kalliomaat	Luokka koostuu MTK:n kallioalueista ja kivikoista kun latvuspeitto on < 10% satelliittikuvatulkinnan mukaan.
3330 Niukkakasvustoiset kangasmaat	Luokka koostuu satelliittikuvatulkinnan perusteella alueista, joilla latvuspeitto on < 10% ja kasvillisuuspeitto < 50%. Luokkaa esiintyy pääasiassa Pohjois-Suomessa metsänrajan yläpuolella.
334 Paloalueet	Luokkaa ei esiinny Suomessa
335 Jäätiköt ja pysyvän lumen alueet	Luokkaa ei esiinny Suomessa.
4 KOSTEIKOT JA AVOIMET SUOT	
4111 Sisämaan kosteikot maalla	Luokka koostuu MTK:n maatuvista vesialueista, tulva-alueista soiden ulkopuolelta, kaislikoista sekä soistumista kun latvuspeitto on < 10% satelliittikuvatulkinnan mukaan. Lisäksi mukana on digitoituja alueita.

Liite 3. CORINE -maankäyttö/maanpeiteaineiston maankäyttöluokat

4112 Sisämaan kosteikot vedessä	Luokka koostuu MTK:n maativista vesialueista, tulva-alueista soiden ulkopuolelta, kaislikoista sekä soistumista kun latvuspeitto on < 10% satelliittikuvatulkinnan mukaan ja alueet sijaitsevat vedessä SLICES-aineiston mukaan. Lisäksi mukana on digitoituja alueita.
4121 Avosuot	Luokka koostuu MTK:n avosoista, metsää kasvavista soista ja soistumista kun latvuspeitto on < 10% satelliittikuvatulkinnan mukaan. Lisäksi mukana on digitoituja alueita.
4122 Turvetuotantoalueet	Luokka koostuu SLICES ja MTK turvetuotantoalueista, satelliittikuvista päivitetystä alueista sekä digitoituista alueista.
4211 Merenrantakosteikot maalla	Luokka koostuu merenrannikolla sijaitsevista MTK:n avosoista, metsää kasvavista soista ja soistumista kun latvuspeitto on < 10% satelliittikuvatulkinnan mukaan sekä digitoituista alueista.
4212 Merenrantakosteikot vedessä	Luokka koostuu merenrannikolla sijaitsevista MTK:n avosoista, metsää kasvavista soista ja soistumista kun latvuspeitto on < 10% satelliittikuvatulkinnan mukaan ja kun alueet sijaitsevat meressä SLICES-aineiston mukaan. Lisäksi mukana on digitoituja alueita.
422 Merenrannan suolamaat	Luokkaa ei esiinny Suomessa
423 Vuorovesialueet	Luokkaa ei esiinny Suomessa
5 VESIALUEET	
5110 Joet	Luokka koostuu SLICES sisävesialueista, joista joet on luokiteltu peruskartan rantaviiva-aineiston (ns. ranta20-aineisto) avulla. Lisäksi lähteenä on käytetty satelliittikuvilta tulkittua vettä.
5210 Järvet	Luokka koostuu SLICES sisävesialueista, joista järvet on luokiteltu peruskartan rantaviiva-aineiston (ns. ranta20-aineisto) avulla. Lisäksi lähteenä on käytetty satelliittikuvilta tulkittua vettä.
521 Rannikon laguunit	Luokkaa ei esiinny Suomessa
522 Jokisuistot	Luokkaa ei esiinny Suomessa
5230 Meri	Luokka koostuu SLICES merialueista. Lisäksi lähteenä on käytetty satelliittikuvilta tulkittua vettä.

Liite 4. Yhdisteltyjen maankäyttöluokkien osuudet tutkimusjärvien valuma-alueella

	Rakennettu	Viljelty	Kivennäismaa, havu	Kivennäismaa, lehti	Kivennäismaa, seka	Kivennäismaa, harvap.	Turvemaa, havu	Turvemaa, lehti	Turvemaa, seka	Turvemaa, harvap.	Kalliomaa, havu	Kalliomaa, seka	Kalliomaa, harvap.	Harvap. alueet
04.178.1.001	2.00	4.78	24.47	4.24	12.82	3.14	17.25	1.77	10.10	2.80	0.13	0.02	0.01	10.20
04.242.1.001	3.94	13.15	24.91	8.28	16.05	3.47	5.48	0.90	3.29	0.81	0.06	0.02	0.00	9.32
04.253.1.007	2.19	6.37	22.55	5.12	14.78	3.05	11.59	1.89	11.08	4.75	0.02	0.02	0.00	8.05
04.253.1.024	2.18	5.49	19.11	3.55	12.78	3.04	11.69	1.46	8.03	3.64	0.17	0.02	0.02	7.92
04.271.1.001	3.45	9.18	19.23	4.62	13.57	4.66	6.48	1.21	7.37	3.28	0.36	0.08	0.05	10.35
04.423.1.001	0.17	0.11	6.43	0.02	1.60	1.27	2.42	0.11	1.07	1.22	0.06	0.01	0.01	2.19
04.442.1.001	0.37	0.50	16.62	0.00	16.77	7.16	5.36	1.92	15.14	7.34	0.06	0.01	0.01	9.88
04.552.1.003	2.65	12.96	17.16	7.04	17.41	4.33	6.45	1.47	7.05	2.49	0.48	0.09	0.07	12.64
04.554.1.001	2.81	10.23	19.45	6.49	17.40	5.71	7.87	1.59	7.10	3.04	0.50	0.07	0.09	13.32
04.563.1.001	1.01	5.73	10.36	6.19	16.42	2.35	8.02	3.41	19.80	8.72	0.04	0.02	0.01	6.03
04.572.1.001	1.49	9.67	9.45	5.66	13.80	2.67	9.13	3.78	16.90	7.49	0.04	0.01	0.01	7.89
04.664.1.004	0.30	0.26	19.62	0.00	10.06	5.43	8.29	1.28	12.93	7.07	0.02	0.01	0.01	8.43
04.665.1.004	0.34	0.49	17.98	0.01	10.24	5.94	13.06	1.27	28.95	5.66	0.01	0.01	0.00	10.17
04.956.1.002	1.78	0.22	33.88	0.00	5.31	5.28	23.90	0.20	3.97	6.82	0.00	0.00	0.00	11.88
04.983.1.007	0.53	0.05	37.52	0.01	4.86	1.37	35.69	0.46	10.02	6.46	0.00	0.00	0.00	0.61
14.236.1.003	2.92	1.78	27.87	3.51	17.19	6.05	6.84	1.32	5.06	2.18	0.17	0.04	0.03	11.01
14.452.1.002	1.04	3.05	19.75	1.83	13.65	4.96	7.50	1.03	4.64	9.21	0.48	0.05	0.42	7.50
14.454.1.004	0.58	0.49	18.66	0.85	10.82	5.16	7.23	0.72	4.47	8.05	0.12	0.01	0.13	8.13
14.472.1.001	2.07	6.92	26.04	4.29	16.14	3.70	6.15	0.84	7.01	3.21	0.64	0.04	0.13	10.95
14.481.1.001	2.17	8.47	30.51	3.18	14.72	3.71	5.65	0.86	7.11	3.26	0.66	0.04	0.11	10.85
14.491.1.001	1.44	6.53	23.01	4.88	18.79	3.18	7.45	0.97	9.60	4.62	0.45	0.02	0.08	10.73
14.493.1.001	1.18	6.37	22.82	5.22	19.74	2.95	8.28	1.06	10.05	5.59	0.34	0.01	0.04	10.05
14.614.1.002	2.46	6.30	26.53	2.50	14.54	3.57	8.81	0.89	5.82	5.38	0.28	0.03	0.06	8.19
14.631.1.001	2.25	6.36	24.07	2.01	15.05	3.24	10.10	1.11	7.24	7.43	0.18	0.02	0.03	6.10
14.661.1.001	1.72	5.20	27.09	2.83	15.35	4.21	10.08	0.97	6.84	5.96	0.10	0.02	0.02	10.56
14.664.1.004	1.12	1.49	30.10	0.72	7.61	5.57	11.92	0.32	3.96	7.93	0.05	0.00	0.01	12.39
14.711.1.001	2.57	5.56	23.63	4.42	14.57	4.04	6.36	0.90	4.84	2.32	0.73	0.09	0.17	9.63
14.811.1.002	3.83	7.74	21.16	5.13	22.01	4.22	2.46	0.83	3.09	0.65	0.66	0.18	0.09	7.07
14.912.1.001	3.90	5.10	25.20	4.82	16.60	3.74	4.88	0.95	3.87	1.18	0.99	0.16	0.10	8.17
14.934.1.024	3.47	4.86	24.24	3.49	9.85	3.80	13.87	1.45	6.60	3.13	0.07	0.00	0.01	10.39
14.964.1.001	2.36	8.11	28.01	3.84	12.53	4.25	9.87	1.17	6.26	1.83	0.02	0.01	0.00	13.07
35.231.1.001	7.66	22.20	25.31	2.37	12.41	4.54	3.92	0.84	3.41	0.77	0.30	0.05	0.04	8.87
35.411.1.001	3.32	6.92	30.12	1.85	12.95	4.23	8.06	0.49	4.39	3.76	1.47	0.12	0.30	8.80
35.462.1.001	1.25	3.84	33.29	1.26	12.37	2.80	11.21	0.52	3.93	8.95	0.33	0.01	0.06	4.98
35.483.1.001	2.14	2.23	31.80	1.55	12.44	3.81	14.80	0.57	5.60	5.51	0.29	0.02	0.06	8.27
35.621.1.001	3.65	4.63	31.71	2.86	15.71	4.65	7.83	0.86	4.97	3.39	0.43	0.03	0.05	10.92
35.787.1.034	0.00	0.00	68.44	0.00	9.63	0.41	15.57	0.00	1.84	0.00	0.00	0.00	0.00	3.28
35.787.1.062	0.00	0.00	29.51	0.92	35.06	6.56	3.41	1.30	6.86	0.48	0.79	0.16	0.00	9.70
36.014.1.001	3.51	12.66	31.29	1.74	7.62	4.05	9.39	1.19	5.16	3.70	1.67	0.13	0.31	6.21
36.019.1.001	11.04	1.88	45.75	1.41	5.44	2.22	7.68	0.88	2.94	0.59	8.96	0.40	0.33	3.25
36.065.1.002	1.65	8.18	27.65	2.98	12.52	3.65	8.37	2.28	8.25	4.70	2.06	0.23	0.51	5.15
36.092.1.001	4.12	13.32	38.41	1.88	8.61	4.60	7.64	1.25	4.48	2.20	2.25	0.11	0.59	6.32
42.074.1.002	1.25	3.30	24.40	0.40	12.09	6.04	12.63	0.44	4.33	9.83	2.01	0.10	0.75	7.95
44.041.1.001	4.71	17.21	24.29	1.47	10.45	4.54	8.22	0.65	5.07	4.30	2.00	0.12	0.72	8.93

Liite 4. Yhdisteltyjen maankäyttöluokkien osuudet tutkimusjärvien valuma-alueella

	Avosuot	Turvetuotanto	Kosteikot	Vesi	Muu havumetsä	Muu lehtimetsä	Muu	Kmaa yht.	Tmaa yht	Kalmaa yht	Havu yht	Lehti yht	Seka yht	harva yht
04.178.1.001 Iso-Kontunen	1.85	0.42	0.16	3.85	0.00	0.00	0.00	44.67	34.19	0.15	41.85	6.01	22.93	16.15
04.242.1.001 Kolkonjarvi	0.58	0.00	0.00	9.74	0.00	0.00	0.00	52.70	11.07	0.08	30.45	9.18	19.35	13.61
04.253.1.007 Nevajarvi	7.17	0.45	0.10	0.82	0.00	0.00	0.00	45.51	36.93	0.04	34.16	7.01	25.88	15.86
04.253.1.024 Haapajarvi	3.62	5.45	0.35	11.48	0.00	0.00	0.00	38.48	33.89	0.21	30.97	5.00	20.83	14.62
04.271.1.001 Unnukka	3.17	0.42	0.33	12.19	0.00	0.00	0.00	42.08	21.92	0.49	26.07	5.83	21.02	18.35
04.423.1.001 Pankajarvi	3.82	0.02	0.04	13.17	65.06	1.20	0.00	9.32	8.66	0.08	73.97	1.34	2.68	4.69
04.442.1.001 Jonkeri	13.36	0.00	0.24	1.97	3.29	0.00	0.00	40.55	43.12	0.08	25.33	1.92	31.92	24.39
04.552.1.003 Rytynjarvi	1.86	0.01	0.04	5.81	0.00	0.00	0.00	45.94	19.32	0.64	24.08	8.50	24.55	19.54
04.554.1.001 Sulkavanjarvi	1.61	0.02	0.06	2.64	0.00	0.00	0.00	49.05	21.22	0.67	27.82	8.08	24.57	22.16
04.563.1.001 Nalantojarvi	8.98	2.62	0.17	0.10	0.00	0.00	0.00	35.33	51.56	0.07	18.43	9.60	36.24	17.11
04.572.1.001 Luupuvesi	3.93	5.89	1.32	0.87	0.00	0.00	0.00	31.59	47.11	0.06	18.62	9.44	30.71	18.06
04.664.1.004 Tiilikka	21.18	0.00	0.11	4.99	0.00	0.00	0.00	35.12	50.75	0.04	27.94	1.28	23.01	20.93
04.665.1.006 Alanne	5.15	0.00	0.12	0.61	0.00	0.00	0.00	34.16	54.08	0.03	31.05	1.27	39.20	21.77
04.956.1.002 Suuri Petajarvi	6.05	0.00	0.09	0.61	0.00	0.00	0.00	44.47	40.95	0.00	57.78	0.20	9.28	23.98
04.983.1.007 Poikapaa	2.12	0.00	0.05	0.24	0.00	0.00	0.00	43.76	54.74	0.01	73.22	0.47	14.88	8.45
14.236.1.003 Rutajarvi	5.68	2.07	0.16	6.12	0.00	0.00	0.00	54.61	23.15	0.25	34.88	4.83	22.30	19.27
14.452.1.002 Yla-Jappa	19.67	0.00	0.66	4.55	0.00	0.00	0.00	40.19	42.04	0.95	27.74	2.87	18.34	22.08
14.454.1.006 Salamajarvi	28.78	0.00	1.03	4.75	0.00	0.00	0.00	35.49	49.26	0.27	26.01	1.57	15.30	21.48
14.472.1.001 Kolima	2.99	0.49	0.13	8.26	0.00	0.00	0.00	50.17	20.69	0.80	32.83	5.12	23.19	17.98
14.481.1.001 Alvajarvi	3.23	0.00	0.12	5.34	0.00	0.00	0.00	52.12	20.12	0.81	36.82	4.05	21.88	17.93
14.491.1.001 Saanjarvi	3.27	0.75	0.09	4.16	0.00	0.00	0.00	49.86	26.65	0.55	30.90	5.84	28.42	18.61
14.493.1.001 Elamajarvi	3.40	0.66	0.10	2.13	0.00	0.00	0.00	50.73	29.03	0.39	31.44	6.28	29.79	18.64
14.614.1.002 Saarijarvi	4.74	1.53	0.26	8.12	0.00	0.00	0.00	47.13	27.17	0.37	35.61	3.38	20.39	17.19
14.631.1.001 Paajarvi	8.01	2.09	0.38	4.32	0.00	0.00	0.00	44.37	35.98	0.24	34.35	3.13	22.31	16.81
14.661.1.001 Karankajarvi	3.75	2.56	0.09	2.65	0.00	0.00	0.00	49.49	30.16	0.13	37.27	3.81	22.21	20.74
14.664.1.006 Kiesimenjarvi	6.83	4.52	0.24	5.23	0.00	0.00	0.00	43.99	35.49	0.06	42.07	1.04	11.57	25.89
14.711.1.001 Konnevesi	1.98	0.36	0.19	17.65	0.00	0.00	0.00	46.66	16.76	0.98	30.72	5.32	19.50	16.15
14.811.1.002 Nuoramaisjarvi	0.84	0.49	0.38	19.17	0.00	0.00	0.00	52.51	8.36	0.93	24.27	5.96	25.28	12.03
14.912.1.001 Vuohijarvi	1.01	0.16	0.26	18.91	0.00	0.00	0.00	50.36	12.05	1.24	31.06	5.77	20.62	13.19
14.934.1.024 Niskajarvi	3.55	0.04	0.17	11.02	0.00	0.00	0.00	41.38	28.64	0.08	38.18	4.93	16.46	17.32
14.964.1.001 Paihmaa	0.69	0.00	0.56	7.44	0.00	0.00	0.00	48.62	19.82	0.03	37.90	5.00	18.80	19.15
35.231.1.001 Vanajavesi	1.22	0.27	0.20	5.61	0.00	0.00	0.00	44.63	10.43	0.39	29.53	3.21	15.88	14.23
35.411.1.001 Tarjanne	2.62	0.85	0.21	9.53	0.00	0.00	0.00	49.14	20.18	1.89	39.64	2.35	17.46	17.09
35.462.1.001 Kolunjarvi	11.60	1.47	0.18	1.93	0.00	0.00	0.00	49.72	37.69	0.41	44.83	1.78	16.31	16.79
35.483.1.001 Pihlajavesi	2.80	2.38	0.21	5.51	0.00	0.00	0.00	49.60	31.67	0.36	46.89	2.13	18.05	17.65
35.621.1.001 Keurusselka	1.77	0.41	0.13	6.00	0.00	0.00	0.00	54.93	19.23	0.51	39.96	3.72	20.72	19.01
35.787.1.036 Valkea-Kotinen	0.61	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	78.48	18.03	0.00	84.02	0.00	11.48	3.69
35.787.1.062 Hakojarvi	1.03	0.00	0.00	4.22	0.00	0.00	0.00	72.05	13.07	0.95	33.72	2.22	42.08	16.74
36.014.1.001 Isojarvi	5.86	1.82	0.55	3.16	0.00	0.00	0.00	44.70	27.11	2.10	42.34	2.94	12.91	14.26
36.019.1.001 Valkjarvi	2.64	0.00	0.57	4.02	0.00	0.00	0.00	54.83	14.73	9.69	62.40	2.29	8.78	6.39
36.065.1.002 Siikaisjarvi	9.71	0.97	0.38	0.76	0.00	0.00	0.00	46.80	34.29	2.80	38.08	5.26	21.00	14.01
36.092.1.001 Karhijarvi	2.48	0.02	0.15	1.56	0.00	0.00	0.00	53.50	18.07	2.95	48.30	3.13	13.19	13.71
42.074.1.002 Seinajarvi	11.03	0.67	0.50	2.28	0.00	0.00	0.00	42.93	38.94	2.85	39.03	0.84	16.52	24.58
44.041.1.001 Kuortaneenjarvi	3.01	1.30	0.28	2.74	0.00	0.00	0.00	40.75	22.55	2.83	34.50	2.12	15.64	18.48

Liite 4. Yhdisteltyjen maankäyttöluokkien osuudet tutkimusjärvien valuma-alueella

	Rakennettu	Viljelty	Kivennäismaa, havu	Kivennäismaa, lehti	Kivennäismaa, seka	Kivennäismaa, harvap.	Turvemaa, havu	Turvemaa, lehti	Turvemaa, seka	Turvemaa, harvap.	Kalliomaa, havu	Kalliomaa, seka	Kalliomaa, harvap.	Harvap. alueet
44.044.1.010 Vetamajarvi	4.83	14.23	27.71	0.94	11.81	4.48	9.21	0.81	5.87	4.92	1.49	0.03	0.31	8.67
44.095.1.001 Kuorasjarvi	2.87	9.56	17.41	1.71	10.62	3.73	8.91	1.46	8.57	6.96	0.75	0.06	0.40	6.75
44.096.1.002 Iso Allasjarvi	1.80	13.05	19.08	0.82	11.25	4.82	8.94	0.94	6.95	6.44	0.80	0.04	0.59	7.72
48.005.1.003 Rayringinjarvi	13.70	25.13	9.20	6.76	8.00	1.54	4.80	3.35	6.49	3.16	0.00	0.00	0.00	5.99
49.054.1.001 Ullavanjarvi	1.70	8.60	16.64	4.25	14.86	5.02	3.26	0.74	5.12	7.79	0.15	0.03	0.05	14.49
51.041.1.001 Lestijarvi	1.83	4.27	19.95	2.09	12.51	4.39	7.93	0.76	7.96	7.61	0.54	0.03	0.12	11.47
51.052.1.001 Lehtosenjarvi	0.14	0.00	15.37	1.07	14.98	4.50	7.67	1.14	5.29	11.22	0.32	0.02	0.17	8.61
54.059.1.002 Parkkimajarvi	3.44	13.27	18.50	6.31	21.94	3.71	5.39	0.84	8.85	3.94	0.06	0.01	0.01	10.32
54.071.1.001 Piipsjarvi	2.55	9.67	14.05	3.02	9.34	2.65	5.80	4.74	15.67	6.66	0.34	0.01	0.18	10.78
59.439.1.001 Hoikkajarvi	0.69	1.25	28.79	0.00	10.34	14.87	3.61	1.71	8.50	7.25	0.63	0.05	0.23	17.50
59.511.1.001 Kiantajarvi	0.93	1.28	23.74	0.34	13.40	6.37	3.10	0.73	10.17	6.83	0.15	0.01	0.03	11.94
59.811.1.001 Nuasjarvi	1.55	2.46	21.61	0.00	10.19	6.89	6.12	1.01	11.53	6.69	0.25	0.03	0.07	9.94
59.882.1.001 Jormasjarvi	1.28	2.11	21.70	0.00	19.96	10.66	4.02	2.11	15.07	5.53	0.19	0.08	0.08	11.84
59.911.1.001 Ontojarvi	1.06	1.60	22.15	0.00	8.59	6.48	6.28	0.87	10.88	7.70	0.24	0.03	0.07	9.60
59.921.1.001 Lentua	0.88	1.29	22.89	0.00	9.44	6.61	5.67	0.78	10.10	8.08	0.26	0.03	0.06	9.28
59.974.1.003 Kalkanen	0.45	0.22	19.68	0.00	11.30	7.13	5.24	1.33	15.32	6.91	0.30	0.08	0.13	6.44
59.977.1.001 Saunajarvi	0.60	0.94	18.00	0.00	9.54	5.36	8.54	1.51	13.79	9.79	0.12	0.01	0.04	7.41
61.631.1.001 Kynsijarvi	1.20	1.83	22.94	0.64	10.57	5.47	3.66	0.26	5.72	7.26	0.17	0.02	0.04	17.32
61.651.1.006 Kuusijarvi	0.76	1.52	15.66	0.95	15.44	6.30	2.84	0.49	5.64	8.85	0.10	0.02	0.04	19.71
65.592.1.001 Unari	0.58	0.90	25.53	3.90	7.32	4.60	3.33	5.21	9.57	8.74	0.72	0.01	0.11	10.69
71.111.1.001 Inarijarvi	0.34	0.05	24.61	13.38	18.86	1.90	0.15	1.14	1.07	0.00	0.19	0.04	0.01	19.92
71.241.1.001 Mutusjarvi	0.75	0.13	18.51	21.75	18.70	1.67	0.06	1.61	0.86	0.00	0.00	0.00	0.00	11.04

Liite 4. Yhdisteltyjen maankäyttöluokkien osuudet tutkimusjärvien valuma-alueella

	Avosuot	Turvetuotanto	Kosteikot	Vesi	Muu havumetsä	Muu lehtimetsä	Muu	Kmaa yht.	Tmaa yht	Kalmaa yht	Havu yht	Lehti yht	Seka yht	harva yht
44.044.1.010 Vetamajarvi	4.24	0.00	0.11	0.34	0.00	0.00	0.00	44.94	25.05	1.83	38.40	1.76	17.71	18.38
44.095.1.001 Kuorasjarvi	10.26	2.82	1.01	6.15	0.00	0.00	0.00	33.48	38.98	1.20	27.07	3.17	19.25	17.84
44.096.1.004 Iso Allasjarvi	6.54	4.44	0.98	4.80	0.00	0.00	0.00	35.96	34.25	1.43	28.82	1.77	18.24	19.57
48.005.1.003 Rayringinjarvi	10.93	0.00	0.30	0.67	0.00	0.00	0.00	25.49	28.73	0.00	14.00	10.11	14.49	10.68
49.054.1.001 Ullavanjarvi	11.64	1.35	4.04	0.27	0.00	0.00	0.00	40.78	29.89	0.23	20.05	4.98	20.01	27.35
51.041.1.001 Lestijarvi	14.26	0.02	0.78	3.49	0.00	0.00	0.00	38.93	38.54	0.69	28.42	2.85	20.49	23.58
51.052.1.001 Lehtosenjarvi	24.43	0.00	0.15	4.91	0.00	0.00	0.00	35.92	49.75	0.51	23.36	2.21	20.30	24.50
54.059.1.004 Parkkimajarvi	3.36	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	50.46	22.39	0.07	23.95	7.15	30.80	17.98
54.071.1.001 Piipsjarvi	9.87	0.98	0.42	3.28	0.00	0.00	0.00	29.06	43.72	0.53	20.19	7.76	25.02	20.27
59.439.1.001 Hoikkajarvi	4.42	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	54.01	25.49	0.91	33.04	1.71	18.89	39.85
59.511.1.001 Kiantajarvi	12.09	0.00	0.19	6.23	2.46	0.00	0.00	43.85	32.92	0.19	29.45	1.07	23.58	25.17
59.811.1.001 Nuasjarvi	8.47	0.09	0.20	10.63	2.27	0.00	0.00	38.69	33.91	0.36	30.24	1.02	21.76	23.59
59.882.1.001 Jormasjarvi	3.30	0.25	0.05	1.76	0.00	0.00	0.00	52.33	30.28	0.36	25.92	2.11	35.11	28.11
59.911.1.001 Jontojarvi	10.76	0.00	0.21	10.00	3.45	0.00	0.00	37.23	36.50	0.34	32.13	0.88	19.50	23.85
59.921.1.001 Lentua	9.42	0.00	0.17	8.49	6.52	0.00	0.00	38.95	34.06	0.36	35.35	0.78	19.58	24.03
59.974.1.003 Kalkanen	12.17	0.00	0.39	6.20	6.70	0.00	0.00	38.12	40.97	0.52	31.92	1.33	26.71	20.61
59.977.1.001 Saunajarvi	17.62	0.00	0.17	3.49	3.01	0.04	0.00	32.91	51.25	0.18	29.67	1.55	23.35	22.61
61.631.1.001 Kynsijarvi	13.97	0.00	0.07	8.84	0.00	0.00	0.00	39.63	30.87	0.22	26.77	0.91	16.31	30.09
61.651.1.006 Kuusijarvi	16.30	0.00	0.01	5.36	0.00	0.00	0.00	38.36	34.13	0.16	18.61	1.44	21.10	34.90
65.592.1.001 Unari	16.04	0.00	0.01	2.75	0.00	0.00	0.00	41.35	42.88	0.84	29.58	9.11	16.89	24.14
71.111.1.001 Inarijarvi	12.79	0.00	0.00	5.40	0.00	0.00	0.14	58.75	15.15	0.25	24.95	14.52	19.96	21.83
71.241.1.001 Mutusjarvi	17.63	0.00	0.00	7.29	0.00	0.00	0.00	60.63	20.16	0.00	18.57	23.36	19.56	12.71

Liite 5. Järvikohtaisia kalatietoja. Vuosien 1980-1983 pitoisuudet on muutettu uusiksi vastaavaksi

Järvinumero	Järvi	koko aineisto						vuodet 1980-1983						vuodet 2000-2002								
		massa (g)		massa (g)	Hg (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Hg (mg/kg)	massa (g)		massa (g)	Hg (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Hg (mg/kg)	massa (g)		massa (g)	massa (g)	Hg (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Hg (mg/kg)		
		N	keskiarvo	(g), min	max	keskiarvo	min	max	N	keskiarvo	(g), min	max	keskiarvo	min	max	N	keskiarvo	min	max	keskiarvo	min	max
04.178.1.001	Iso-Kontunen	11	933	558	2000	0.72	0.16	1.38	6	1070	600	200	0.65	0.16	1.38	5	769	558	998	0.80	0.61	0.88
04.242.1.001	Kolkonjärvi	15	1033	468	2002	0.22	0.12	0.33	5	1120	800	1500	0.25	0.17	0.33	10	989	468	2002	0.21	0.12	0.27
04.253.1.007	Nevajärvi	14	587	426	1600	0.55	0.18	0.90	5	696	430	1600	0.68	0.62	0.72	9	526	426	619	0.48	0.20	0.90
04.253.1.024	Haapajärvi	12	792	440	1600	0.65	0.42	1.09	5	948	490	1600	0.55	0.42	0.64	7	681	440	1238	0.72	0.48	1.09
04.271.1.001	Unnukka	16	879	580	1100	0.33	0.25	0.47	6	722	580	1100	0.37	0.30	0.47	10	974	798	1080	0.30	0.25	0.40
04.423.1.001	Pankajärvi	13	661	423	993	0.55	0.36	0.83	6	702	490	895	0.64	0.51	0.83	7	625	423	993	0.48	0.36	0.64
04.442.1.001	Jonkeri	31	782	415	1660	0.64	0.21	1.24	11	634	415	915	0.47	0.21	0.75	20	863	494	1660	0.73	0.41	1.24
04.552.1.003	Rytkyjärvi	16	757	450	1200	0.49	0.34	0.72	6	702	450	1200	0.57	0.34	0.72	10	790	522	1051	0.45	0.35	0.56
04.554.1.001	Sulkavanjärvi	15	762	497	1019	0.50	0.20	0.81	7	741	565	1000	0.59	0.45	0.81	8	780	497	1019	0.42	0.20	0.65
04.563.1.001	Nalantojärvi	15	886	580	1542	0.26	0.13	0.52	5	660	580	800	0.14	0.13	0.16	10	998	698	1542	0.32	0.21	0.52
04.572.1.001	Luupuvesi	20	1075	420	2408	0.50	0.25	0.89	11	804	420	1930	0.42	0.25	0.71	9	1406	632	2408	0.59	0.39	0.89
04.664.1.004	Tiilikka	23	767	498	1350	0.58	0.36	0.75	13	804	550	1350	0.55	0.36	0.72	10	719	498	992	0.61	0.45	0.75
04.665.1.006	Alanne	14	1043	534	1650	0.35	0.19	0.63	10	1029	577	1650	0.36	0.19	0.62	4	1079	534	1273	0.34	0.25	0.48
04.956.1.002	Suuri Petajjärvi	17	726	420	1746	1.06	0.73	1.60	3	533	420	700	0.77	0.73	0.85	14	767	441	1746	1.12	0.87	1.60
04.983.1.007	Poikapaa	7	868	470	1567	0.91	0.62	1.13	3	680	470	950	0.73	0.62	0.84	4	1009	735	1567	1.05	0.90	1.13
14.236.1.003	Rutajärvi	15	931	475	1950	0.45	0.22	0.84	6	798	475	1310	0.46	0.29	0.64	9	1020	478	1950	0.44	0.22	0.84
14.452.1.002	Ylä-Jappa	19	644	405	947	0.66	0.33	1.34	9	572	405	848	0.95	0.59	1.34	10	708	534	947	0.41	0.33	0.49
14.454.1.006	Salamajärvi	19	849	430	2161	0.72	0.46	1.19	9	799	430	1350	0.72	0.48	1.04	10	894	605	2161	0.73	0.46	1.19
14.472.1.001	Kolima	26	783	472	1485	0.41	0.20	0.79	16	792	588	1170	0.46	0.28	0.79	10	768	472	1485	0.33	0.20	0.51
14.481.1.001	Alvajärvi	15	891	403	1599	0.63	0.49	1.09	5	631	403	1190	0.70	0.49	1.09	10	1022	734	1599	0.60	0.49	0.76
14.491.1.001	Saanjärvi	25	863	487	1600	0.53	0.27	0.82	15	918	595	1600	0.61	0.41	0.82	10	781	487	1180	0.41	0.27	0.57
14.493.1.001	Elamajärvi	21	1085	635	1596	0.63	0.42	0.86	11	971	635	1420	0.71	0.58	0.83	10	1210	839	1596	0.54	0.42	0.86
14.614.1.002	Saarjärvi	15	918	606	1330	0.52	0.32	0.86	5	1002	798	1330	0.46	0.32	0.63	10	875	606	1153	0.55	0.35	0.86
14.631.1.001	Paajärvi	20	694	401	1530	0.57	0.28	1.16	10	716	401	1530	0.71	0.28	1.16	10	671	472	1167	0.43	0.33	0.59
14.661.1.001	Karankajärvi	17	754	468	1510	0.62	0.38	0.93	9	718	499	1180	0.71	0.41	0.93	8	794	468	1510	0.53	0.38	0.80
14.664.1.006	Kiesimenjärvi	20	1101	535	1780	0.78	0.50	1.23	10	958	535	1780	0.87	0.50	1.23	10	1244	796	1572	0.68	0.50	0.97
14.711.1.001	Konnevesi	17	977	590	1800	0.37	0.20	0.83	8	1006	590	1800	0.50	0.26	0.83	9	950	634	1194	0.26	0.20	0.32
14.811.1.002	Nuoramoisjärvi	10	977	590	1800	0.37	0.20	0.83	4	863	650	1200	0.26	0.23	0.29	6	856	649	1004	0.37	0.27	0.43
14.912.1.001	Vuohijärvi	12	866	475	2100	0.32	0.15	0.63	4	530	510	580	0.40	0.31	0.49	8	1034	475	2100	0.29	0.15	0.63
14.934.1.024	Niskajärvi	17	731	504	1336	0.81	0.57	1.39	7	577	520	680	0.64	0.57	0.69	10	839	504	1336	0.92	0.61	1.39
14.964.1.001	Paihmaa	15	836	530	1168	1.04	0.78	1.27	5	680	530	1100	1.06	0.96	1.15	10	914	596	1168	1.03	0.78	1.27
35.231.1.001	Vanajavesi	15	1081	460	1915	0.21	0.10	0.37	6	1118	460	1800	0.26	0.17	0.37	9	1057	696	1915	0.18	0.10	0.27
35.411.1.001	Tarjannevesi	18	972	480	1800	0.77	0.39	1.41	8	997	480	1800	0.80	0.39	1.41	10	952	604	1240	0.76	0.60	1.06
35.462.1.001	Kolunjärvi	14	651	475	820	0.77	0.48	1.06	4	683	475	820	0.90	0.73	1.06	10	638	495	819	0.71	0.48	0.99
35.483.1.001	Pihlajavesi	55	906	405	2440	0.95	0.39	1.95	45	856	405	2440	1.02	0.56	1.95	10	1131	647	1529	0.64	0.39	0.86
35.621.1.001	Keuruselka	16	960	650	1320	0.73	0.34	1.22	6	1012	650	1320	0.75	0.34	1.22	10	928	810	1097	0.72	0.41	0.92
35.787.1.030	Valkea Kotinen	11	1041	545	2438	0.71	0.41	1.77	5	1128	670	2310	0.98	0.59	1.77	6	968	545	2438	0.48	0.41	0.59
35.787.1.062	Hakojärvi	22	929	420	2150	0.99	0.48	1.76	13	1023	446	2150	1.26	0.77	1.76	9	793	420	1025	0.61	0.48	0.88
36.014.1.001	Isojärvi	28	1074	452	2224	0.47	0.15	0.86	16	912	515	2110	0.56	0.23	0.86	12	1289	452	2224	0.35	0.15	0.53
36.019.1.001	Valkjärvi	16	775	460	1906	0.33	0.10	0.73	6	651	460	919	0.54	0.35	0.73	10	849	500	1906	0.20	0.10	0.31
36.065.1.002	Sikaisjärvi	20	872	500	1474	0.93	0.56	1.25	10	774	500	1370	0.96	0.56	1.25	10	971	595	1474	0.91	0.56	1.25
36.092.1.001	Karhijärvi	15	1050	495	1639	0.20	0.06	0.42	5	873	635	1120	0.08	0.06	0.10	10	1138	495	1639	0.26	0.17	0.42
42.074.1.002	Seinajärvi	38	708	411	1930	0.72	0.33	1.73	30	745	421	1930	0.79	0.33	1.73	8	570	411	978	0.48	0.39	0.76
44.041.1.001	Kuortaneenjärvi	14	1350	780	2348	0.50	0.34	0.68	5	854	780	1000	0.44	0.34	0.48	9	1625	1178	2348	0.54	0.41	0.68

Liite 5. Järvikohtaisia kalatietoja. Vuosien 1980-1983 pitoisuudet on muutettu uusiksi vastaavaksi

Järvinumero	Järvi	koko aineisto							vuodet 1980-1983						vuodet 2000-2002							
		massa (g),		massa (g),		Hg (mg/kg),	Hg (mg/kg),	Hg (mg/kg),	massa (g),		massa (g),		Hg (mg/kg),	Hg (mg/kg),	Hg (mg/kg),	massa (g),		massa (g),		Hg (mg/kg),	Hg (mg/kg),	Hg (mg/kg),
		N	keskiarvo	(g), min	max	keskiarvo	min	max	N	keskiarvo	(g), min	max	keskiarvo	min	max	N	keskiarvo	min	max	keskiarvo	min	max
44.044.1.010	Vetamajärvi	18	765	420	1340	0.39	0.17	0.74	8	542	420	794	0.55	0.38	0.74	10	944	563	1340	0.25	0.17	0.41
44.095.1.001	Kuorasjärvi	27	684	420	1600	0.51	0.30	0.80	17	679	420	1600	0.59	0.34	0.81	10	692	468	952	0.36	0.30	0.58
44.096.1.004	Iso Allasjärvi	16	652	456	1200	0.55	0.32	0.90	6	750	500	1200	0.76	0.60	0.90	10	593	456	902	0.42	0.32	0.51
48.005.1.003	Rayringinjärvi	15	660	429	916	0.18	0.11	0.24	5	642	610	690	0.23	0.21	0.24	10	668	429	916	0.16	0.11	0.19
49.054.1.001	Ullavanjärvi	13	891	490	1845	0.32	0.18	0.52	3	510	490	530	0.23	0.18	0.29	10	1005	633	1845	0.35	0.21	0.52
51.041.1.001	Lestijärvi	27	956	543	2000	0.30	0.13	0.66	17	1023	600	2000	0.29	0.13	0.51	10	841	543	1486	0.32	0.18	0.66
51.052.1.001	Lehtosenjärvi	19	903	460	1568	0.85	0.47	1.24	9	736	460	960	1.02	0.59	1.24	10	1053	516	1568	0.70	0.47	0.92
54.059.1.004	Parkkimajärvi	22	1054	575	1919	0.40	0.11	0.72	12	1045	575	1700	0.57	0.38	0.72	10	1065	674	1919	0.19	0.11	0.29
54.071.1.001	Piipsjärvi	15	951	410	2367	0.34	0.24	0.70	4	415	410	420	0.25	0.24	0.25	11	1146	608	2367	0.37	0.24	0.70
59.439.1.001	Hoikkajärvi	12	836	500	1522	0.78	0.31	1.10	2	650	500	800	0.98	0.85	1.10	10	874	659	1522	0.74	0.31	1.10
59.511.1.001	Kiantajärvi	16	844	420	1757	0.42	0.25	0.60	5	532	420	700	0.49	0.36	0.60	11	985	424	1757	0.38	0.25	0.55
59.811.1.001	Nuasjärvi	15	1033	500	1910	0.47	0.29	0.85	5	984	500	1800	0.50	0.40	0.65	10	1058	707	1910	0.46	0.29	0.85
59.882.1.001	Jormasjärvi	20	882	539	1420	0.73	0.41	1.09	10	854	539	1290	0.85	0.58	1.09	10	909	598	1420	0.62	0.41	1.00
59.911.1.001	Ontojärvi	15	1333	800	2153	0.55	0.44	0.92	8	1031	800	1500	0.52	0.44	0.62	7	1677	1059	2153	0.59	0.46	0.92
59.921.1.001	Lentua	15	932	500	2000	0.50	0.26	1.01	5	620	500	800	0.52	0.48	0.59	10	1088	593	2000	0.49	0.26	1.01
59.974.1.003	Kalkanen	12	791	413	1750	0.49	0.33	0.63	9	853	450	1750	0.50	0.41	0.64	3	606	413	723	0.44	0.33	0.56
59.977.1.001	Saunajärvi	18	1060	425	1874	0.55	0.39	0.78	8	840	425	1500	0.51	0.40	0.73	10	1235	604	1874	0.59	0.44	0.78
61.631.1.001	Kynsijärvi	13	1109	830	1630	0.34	0.15	0.45	3	1283	830	1630	0.23	0.15	0.31	10	1057	846	1303	0.38	0.33	0.45
61.651.1.005	Kuusijärvi	16	733	410	1121	0.18	0.11	0.23	6	608	410	1090	0.16	0.11	0.22	10	809	587	1121	0.19	0.15	0.23
65.592.1.001	Unarinjärvi	14	1111	430	2050	0.39	0.18	0.71	5	1268	430	2050	0.57	0.46	0.71	9	1024	655	1929	0.29	0.18	0.38
71.111.1.001	Inarinjärvi	15	858	412	1442	0.24	0.10	0.50	5	844	540	1330	0.36	0.25	0.50	10	865	412	1442	0.18	0.10	0.27
71.241.1.001	Mutusjärvi	16	1290	636	2416	0.34	0.15	1.10	7	957	730	1610	0.25	0.15	0.31	9	1550	636	2416	0.41	0.20	1.10

Liite 6. Linearisella regressiolla saatujen mallien parametrit ja pitoisuus estimaatit

The SAS
System

Massan log-muunnos ja hg:n neliöjuurimuunnos: Malli lineaarinen $Hg_{rt0} = a + b \cdot \text{weightlog} + d \cdot \text{dummy} + \text{error}$

Merkitseviä malleja: 45

Regressors: 2

Parameters: 3

Pitoisuus pysynyt samana ja malli merkitsevä $p(F) < 0,05$ ja $P(t) > 0,05$, $n = 8$

Pitoisuus noussut ja malli merkitsevä $p(F) < 0,05$ ja $p(t) < 0,05$, $n = 9$

Pitoisuus laskenut ja malli merkitsevä $p(F) < 0,05$ ja $p(t) < 0,05$, $n = 28$

Location_Id	Location_name	RMSE	Intercept	weightlog	dummy	freedom degrees	R2	Hg00 1000	Hg80 1000	Hg00 800	Hg80 800	P (t muutos)	P (F malli)
04.178.1.001	Iso-Kontunen	0.13043	-2.15038	0.42378	0.23719	8	0.6381	1.028	0.604	0.846	0.466	0.0244	0.0364
04.242.1.001	Kolkonjärvi	0.05421	0.34498	0.02207	-0.04376	12	0.2107	0.206	0.247	0.201	0.243	0.1783	0.2419
04.253.1.007	Nevajärvi	0.11388	0.44484	0.0595	-0.13852	11	0.3415	0.515	0.732	0.496	0.710	0.0561	0.1005
04.253.1.024	Haapajärvi	0.10145	0.69116	0.00707	0.10319	9	0.2444	0.711	0.548	0.708	0.545	0.1375	0.2833
04.271.1.001	Unnukka	0.04974	0.64515	-0.00637	-0.05303	13	0.2615	0.300	0.361	0.302	0.363	0.176	0.1394
04.423.1.001	Pankajärvi	0.08496	1.01359	-0.03362	-0.11153	10	0.3451	0.449	0.611	0.459	0.622	0.0452	0.1205
04.442.1.001	Jonkeri	0.12987	-0.34637	0.15854	0.12567	28	0.3586	0.765	0.561	0.704	0.509	0.0309	0.002
04.552.1.003	Rytkynjärvi	0.07153	0.2512	0.07673	-0.0915	13	0.3212	0.476	0.610	0.452	0.584	0.0328	0.0806
04.554.1.001	Sulkavanjärvi	0.10072	0.24034	0.0798	-0.1299	12	0.3489	0.438	0.627	0.415	0.599	0.0289	0.0762
04.563.1.001	Nälantöjärvi	0.06072	-1.12009	0.23087	0.09203	12	0.7668	0.321	0.225	0.265	0.179	0.0619	0.0002
04.572.1.001	Luupuvesi	0.08649	-0.41319	0.15976	0.0279	17	0.5405	0.516	0.477	0.466	0.429	0.571	0.0013
04.664.1.004	Tiilikka	0.07261	0.07613	0.09958	0.04842	20	0.1955	0.660	0.584	0.624	0.550	0.134	0.1135
04.665.1.006	Älänne	0.1086	-0.18862	0.11278	-0.0116	11	0.1519	0.335	0.349	0.307	0.320	0.8603	0.4041
04.956.1.002	Suuri Petäjajärvi	0.08529	0.00959	0.13892	0.13355	14	0.5402	1.216	0.939	1.149	0.880	0.0342	0.0043
04.983.1.007	Poikapää	0.05049	0.1579	0.10764	0.12379	4	0.8414	1.051	0.813	1.002	0.770	0.0551	0.0251
14.236.1.003	Rutajärvi	0.08507	-0.45774	0.17058	-0.04899	12	0.5185	0.451	0.519	0.401	0.466	0.3022	0.0125
14.452.1.002	Ylä-Jäppä	0.05677	-0.52349	0.23595	-0.3848	16	0.9173	0.521	1.224	0.447	1.110	<0,0001	<0,0001
14.454.1.006	Salamajärvi	0.07301	-0.6476	0.22436	-0.01335	16	0.5804	0.790	0.814	0.704	0.726	0.6976	0.001
14.472.1.001	Kolima	0.07829	-0.54974	0.18411	-0.08826	23	0.5104	0.402	0.521	0.351	0.464	0.0109	0.0003
14.481.1.001	Alvajärvi	0.0912	0.58098	0.03911	-0.08084	12	0.1234	0.593	0.724	0.580	0.710	0.2395	0.4538
14.491.1.001	Saaninjärvi	0.08098	0.3263	0.06616	-0.13311	22	0.4749	0.423	0.614	0.404	0.591	0.0008	0.0008
14.493.1.001	Elämäjärvi	0.06696	0.05034	0.11583	-0.13861	18	0.4935	0.507	0.723	0.471	0.680	0.0006	0.0022
14.614.1.002	Saarijärvi	0.11401	-0.5483	0.17694	0.08559	12	0.157	0.577	0.454	0.519	0.403	0.2202	0.359
14.631.1.001	Pääjärvi	0.13723	1.19465	-0.05695	-0.17062	17	0.3174	0.398	0.642	0.414	0.662	0.0129	0.0389
14.661.1.001	Karankajärvi	0.08946	-0.00666	0.12885	-0.12141	14	0.4275	0.581	0.780	0.538	0.730	0.0148	0.0202
14.664.1.006	Kiesimenjärvi	0.07527	-0.78893	0.25193	-0.17886	17	0.6182	0.597	0.905	0.513	0.801	0.0002	0.0003
14.711.1.001	Konnevesi	0.08774	-0.47282	0.17053	-0.18349	14	0.6347	0.272	0.497	0.234	0.445	0.0007	0.0009
14.811.1.002	Nuoramoisjärvi	0.04122	1.14763	-0.09421	0.09116	7	0.656	0.346	0.247	0.371	0.268	0.0111	0.0239
14.912.1.001	Vuohijärvi	0.06784	-0.73096	0.21635	-0.22232	9	0.7219	0.293	0.583	0.243	0.512	0.0018	0.0032
14.934.1.024	Niskajärvi	0.07984	0.07577	0.11387	0.11838	14	0.5589	0.962	0.744	0.913	0.700	0.0271	0.0033
14.964.1.001	Paihmaa	0.06745	0.65613	0.05756	-0.03713	12	0.0643	1.034	1.110	1.008	1.083	0.417	0.671
35.231.1.001	Vanajavesi	0.07221	0.09655	0.05944	-0.09171	12	0.3754	0.173	0.257	0.162	0.244	0.0329	0.0594

Liite 6. Linearisella regressiolla saatujen mallien parametrit ja pitoisuus estimaatit

Location_Id	Location_name	RMSE	Intercept	weightlog	dummy	freedom degrees	R2	Hg00 1000	Hg80 1000	Hg00 800	Hg80 800	P (t muutos)	P (F malli)
35.411.1.001	Tarjannevesi	0.13011	1.74777	-0.12783	-0.00784	15	0.1001	0.734	0.748	0.784	0.798	0.9006	0.4533
35.462.1.001	Kolunjärvi	0.08386	0.32583	0.09507	-0.09807	11	0.3118	0.782	0.965	0.745	0.924	0.0763	0.1281
35.483.1.001	Pihlajavesi	0.1356	-0.21028	0.18065	-0.26207	52	0.3726	0.601	1.077	0.541	0.995	<0,0001	<0,0001
35.621.1.001	Keuruselkä (N60)	0.12472	-1.29862	0.31227	0.00961	13	0.2097	0.754	0.737	0.637	0.622	0.8846	0.2165
35.787.1.030	Valkea Kotinen	0.13789	-0.38632	0.19542	-0.2363	8	0.6687	0.529	0.929	0.467	0.846	0.0244	0.012
35.787.1.062	Hakojärvi	0.09329	-0.22414	0.19621	-0.30172	19	0.8179	0.688	1.280	0.617	1.183	<0,0001	<0,0001
36.014.1.001	Isojärvi	0.11156	0.30468	0.06434	-0.16949	25	0.3676	0.336	0.561	0.320	0.540	0.0008	0.0033
36.019.1.001	Valkjärvi	0.05684	-0.38039	0.17274	-0.33201	13	0.9012	0.231	0.661	0.196	0.600	<0,0001	<0,0001
36.065.1.002	Siikaisjärvi	0.14065	0.7259	0.0367	-0.03147	17	0.0159	0.899	0.959	0.883	0.943	0.6447	0.8729
36.092.1.001	Karhijärvi	0.05554	-0.49884	0.11439	0.20333	12	0.8395	0.245	0.085	0.220	0.071	<0,0001	<0,0001
42.074.1.002	Seinäjärvi	0.14277	-0.12603	0.15315	-0.14931	35	0.3282	0.612	0.868	0.560	0.806	0.0144	0.0009
44.041.1.001	Kuortaneenjärvi	0.05995	0.64592	0.00196	0.07364	11	0.313	0.537	0.435	0.537	0.434	0.2899	0.1268
44.044.1.010	Vetämäjärvi	0.06648	0.30332	0.06951	-0.27624	15	0.7985	0.257	0.614	0.242	0.590	<0,0001	<0,0001
44.095.1.001	Kuorasjärvi	0.0767	0.23542	0.08174	-0.16843	24	0.5672	0.399	0.640	0.376	0.611	<0,0001	<0,0001
44.096.1.004	Iso Allasjärvi	0.05507	0.19241	0.10329	-0.2045	13	0.8361	0.492	0.821	0.460	0.779	<0,0001	<0,0001
48.005.1.003	Räyriinjärvi	0.03461	0.2295	0.03822	-0.08397	12	0.6251	0.168	0.244	0.161	0.235	0.0008	0.0028
49.054.1.001	Ullavanjärvi	0.04378	-0.63601	0.17855	0.00279	10	0.7752	0.360	0.357	0.314	0.311	0.9433	0.0006
51.041.1.001	Lestijärvi	0.08531	-0.67279	0.17548	0.05152	24	0.3526	0.349	0.291	0.304	0.250	0.1563	0.0054
51.052.1.001	Lehtosenjärvi	0.09824	0.4859	0.07881	-0.19618	16	0.485	0.696	1.062	0.667	1.026	0.0019	0.0049
54.059.1.004	Parkkimajärvi	0.06093	-0.02578	0.11206	-0.31512	19	0.8882	0.188	0.560	0.167	0.523	<0,0001	<0,0001
54.071.1.001	Piipsjärvi	0.04481	-0.83388	0.2212	-0.10314	12	0.8423	0.349	0.482	0.293	0.416	0.021	<0,0001
59.439.1.001	Hoikkajärvi	0.16177	0.39528	0.09152	-0.16584	9	0.1375	0.742	1.056	0.708	1.014	0.2622	0.5139
59.511.1.001	Kiantajärvi	0.05128	0.04146	0.10467	-0.13648	13	0.5941	0.394	0.584	0.366	0.549	0.001	0.0029
59.811.1.001	Nuasjärvi	0.08107	-0.47116	0.17249	-0.0527	12	0.4414	0.446	0.519	0.396	0.465	0.2628	0.0304
59.882.1.001	Jormasjärvi	0.08936	0.14708	0.11524	-0.14923	17	0.4688	0.630	0.889	0.590	0.842	0.0018	0.0046
59.911.1.001	Ontojärvi	0.06775	-0.13116	0.12279	-0.01435	12	0.2604	0.494	0.514	0.456	0.476	0.7844	0.1636
59.921.1.001	Lentua	0.06114	-0.93963	0.25897	-0.16307	12	0.745	0.471	0.721	0.395	0.626	0.0015	0.0003
59.974.1.003	Kälkänen	0.06159	0.45581	0.03787	-0.03782	9	0.1831	0.462	0.515	0.450	0.503	0.4051	0.4025
59.977.1.001	Saunajärvi	0.05409	-0.19579	0.13652	-0.00492	15	0.5767	0.551	0.558	0.507	0.514	0.8695	0.0016
61.631.1.001	Kynsijärvi	0.04679	0.05278	0.05917	0.1481	10	0.6759	0.372	0.213	0.356	0.201	0.0012	0.0036
61.651.1.005	Kuusijärvi	0.03948	0.14978	0.03826	0.03244	13	0.3117	0.199	0.171	0.192	0.164	0.1902	0.0882
65.592.1.001	Unarinjärvi	0.04692	-0.0714	0.1171	-0.19509	11	0.8805	0.294	0.544	0.267	0.506	<0,0001	<0,0001
71.111.1.001	Inarinjärvi	0.05684	-0.35218	0.14197	-0.18551	12	0.7942	0.196	0.395	0.169	0.356	<0,0001	<0,0001
71.241.1.001	Mutusjärvi	0.11233	-1.02531	0.22241	0.03033	13	0.5212	0.293	0.261	0.242	0.213	0.6429	0.0083

Liite 7. Logaritmisella regressiolla saatujen mallien parametrit ja pitoisuusestimaatit

The SAS
System

Massan log-muunnos ja hg:n neliöjuurimuunnos: Malli logaritminen $Hg_{rt} = a + b \cdot \log(\text{weight}) + d \cdot \text{dummy} + \text{error}$
 Merkitseviä malleja: 45 Pitoisuus pysynyt samana ja malli merkitsevä $p(F) < 0,05$ ja $P(t) > 0,05$, $n = 9$
 Regressors: 2 Pitoisuus noussut ja malli merkitsevä $p(F) < 0,05$ ja $p(t) < 0,05$, $n = 9$
 Parameters: 3 Pitoisuus laskenut ja malli merkitsevä $p(F) < 0,05$ ja $p(t) < 0,05$, $n = 27$

Location_Id	Location_name	RMSE	Intercept	weightlog	dummy	freedom degrees	R2	std001000	std801000	std00800	std80800	P (t muutos)	P (F malli)
04.178.1.001	Iso-Kontunen	0.13263	-4.81261	2.8945	0.23516	8	0.62573	1.033	0.611	0.849	0.471	0.0271	0.0196
04.242.1.001	Kolkonjärvi	0.05424	0.21095	0.1483	-0.04352	12	0.2098	0.206	0.248	0.202	0.243	0.1822	0.2435
04.253.1.007	Nevajärvi	0.11375	0.06516	0.4103	-0.13888	11	0.343	0.517	0.736	0.498	0.713	0.0547	0.0992
04.253.1.024	Haapajärvi	0.10138	0.59384	0.07604	0.10434	9	0.24549	0.714	0.549	0.710	0.545	0.1329	0.2815
04.271.1.001	Unnukka	0.04974	0.67846	-0.03993	-0.05314	13	0.26147	0.300	0.362	0.302	0.363	0.1772	0.1394
04.423.1.001	Pankajärvi	0.08497	1.19798	-0.21534	-0.11158	10	0.34496	0.449	0.611	0.459	0.622	0.0453	0.1206
04.442.1.001	Jonkeri	0.12967	-1.31306	1.06761	0.12479	28	0.36047	0.766	0.563	0.706	0.512	0.032	0.0019
04.552.1.003	Rytkyjärvi	0.07142	-0.20755	0.51203	-0.09229	13	0.32325	0.476	0.612	0.453	0.586	0.0318	0.079
04.554.1.001	Sulkavanjärvi	0.1006	-0.24727	0.53769	-0.12985	12	0.35035	0.438	0.627	0.415	0.599	0.0287	0.0752
04.563.1.001	Näläntöjärvi	0.06109	-2.56014	1.57131	0.09093	12	0.76389	0.322	0.227	0.266	0.181	0.0683	0.0002
04.572.1.001	Luupuvesi	0.08649	-1.43702	1.10232	0.02733	17	0.54047	0.519	0.481	0.469	0.432	0.5797	0.0013
04.664.1.004	Tiilikka	0.07245	-0.53767	0.67382	0.04852	20	0.19917	0.661	0.585	0.626	0.551	0.1324	0.1085
04.665.1.006	Älänne	0.10875	-0.88261	0.76267	-0.01135	11	0.14946	0.336	0.350	0.308	0.321	0.8634	0.4105
04.956.1.002	Suuri Petäjajärvi	0.08625	-0.78095	0.90542	0.13381	14	0.5298	1.216	0.939	1.151	0.882	0.036	0.0051
04.983.1.007	Poikapää	0.05074	-0.49657	0.72387	0.12341	4	0.83982	1.052	0.814	1.004	0.772	0.0572	0.0257
14.236.1.003	Rutajärvi	0.08466	-1.5347	1.16793	-0.04738	12	0.52313	0.456	0.522	0.405	0.468	0.3146	0.0118
14.452.1.002	Ylä-Jäppä	0.05659	-1.85466	1.53117	-0.38528	16	0.91778	0.517	1.220	0.448	1.111	<0,0001	<0,0001
14.454.1.006	Salamajärvi	0.07346	-2.04624	1.52668	-0.01315	16	0.57526	0.794	0.818	0.707	0.730	0.7037	0.0011
14.472.1.001	Kolima	0.07823	-1.65707	1.23104	-0.08658	23	0.51115	0.404	0.521	0.354	0.465	0.0124	0.0003
14.481.1.001	Alvajärvi	0.09109	0.31519	0.27836	-0.08269	12	0.12544	0.594	0.728	0.580	0.712	0.2347	0.4475
14.491.1.001	Saaninjärvi	0.08113	-0.05482	0.43369	-0.13341	22	0.47295	0.422	0.614	0.404	0.592	0.0008	0.0009
14.493.1.001	Elämäjärvi	0.0672	-0.66223	0.78286	-0.13798	18	0.4898	0.508	0.724	0.472	0.681	0.0006	0.0023
14.614.1.002	Saarijärvi	0.11424	-1.59844	1.17593	0.08511	12	0.15363	0.577	0.455	0.519	0.404	0.2234	0.3676
14.631.1.001	Pääjärvi	0.13719	1.54141	-0.38333	-0.17041	17	0.3178	0.397	0.641	0.413	0.661	0.013	0.0387
14.661.1.001	Karankajärvi	0.08934	-0.78223	0.86208	-0.12085	14	0.42897	0.582	0.781	0.540	0.732	0.015	0.0198
14.664.1.006	Kiesimenjärvi	0.07491	-2.41061	1.7409	-0.18001	17	0.62184	0.599	0.910	0.514	0.804	0.0002	0.0003
14.711.1.001	Konnevesi	0.088	-1.55585	1.17093	-0.18498	14	0.63256	0.273	0.500	0.234	0.447	0.0007	0.0009
14.811.1.002	Nuoramoisjärvi	0.04128	1.7197	-0.63279	0.09135	7	0.65501	0.346	0.247	0.371	0.268	0.011	0.0241
14.912.1.001	Vuohijärvi	0.06937	-2.06434	1.46528	-0.22321	9	0.70921	0.296	0.589	0.246	0.518	0.0021	0.0039
14.934.1.024	Niskajärvi	0.07995	-0.59446	0.75381	0.11844	14	0.5576	0.962	0.744	0.914	0.702	0.0276	0.0033
14.964.1.001	Paihmaa	0.06751	0.32386	0.37757	-0.03704	12	0.0625	1.033	1.110	1.008	1.084	0.4208	0.6789
35.231.1.001	Vanajavesi	0.07233	-0.27267	0.404	-0.09229	12	0.37324	0.173	0.258	0.162	0.245	0.0323	0.0606
35.411.1.001	Tarjannevesi	0.13059	2.48751	-0.84017	-0.00681	15	0.09347	0.734	0.746	0.782	0.794	0.914	0.479

Liite 7. Logaritmisella regressiolla saatujen mallien parametrit ja pitoisuusestimaatit

Location_Id	Location_name	RMSE	Intercept	weightlog	dummy	freedom degrees	R2	std001000	std801000	std00800	std80800	P (t muutos)	P (F malli)
35.462.1.001	Kolunjärvi	0.08382	-0.21059	0.6169	-0.0982	11	0.3124	0.781	0.964	0.745	0.924	0.0757	0.1275
35.483.1.001	Pihlajavesi	0.13584	-1.31887	1.22011	-0.26212	52	0.37035	0.604	1.080	0.543	0.998	<0,0001	<0,0001
35.621.1.001	Keuruselkä (N60 105)	0.12508	-3.2279	2.11528	0.0077	13	0.20516	0.753	0.740	0.637	0.625	0.9075	0.2248
35.787.1.030	Valkea Kotinen	0.13851	-1.6896	1.37418	-0.23381	8	0.66575	0.536	0.934	0.472	0.848	0.0264	0.0125
35.787.1.062	Hakojärvi	0.09418	-1.4076	1.3151	-0.30384	19	0.81435	0.689	1.286	0.619	1.190	<0,0001	<0,0001
36.014.1.001	Isojärvi	0.11138	-0.12561	0.45332	-0.1695	25	0.36955	0.338	0.563	0.320	0.541	0.0008	0.0031
36.019.1.001	Valkjärvi	0.05659	-1.44762	1.17075	-0.33228	13	0.90201	0.233	0.664	0.197	0.603	<0,0001	<0,0001
36.065.1.002	Siikaisjärvi	0.14061	0.4868	0.25524	-0.03187	17	0.01644	0.899	0.961	0.883	0.944	0.641	0.8686
36.092.1.001	Karhijärvi	0.05584	-1.20273	0.77311	0.20447	12	0.83777	0.246	0.085	0.221	0.071	<0,0001	<0,0001
42.074.1.002	Seinäjärvi	0.14313	-1.01341	1.00701	-0.14971	35	0.32478	0.613	0.870	0.563	0.809	0.0144	0.001
44.041.1.001	Kuortaneenjärvi	0.05995	0.6008	0.03056	-0.07216	11	0.31313	0.536	0.435	0.534	0.434	0.3106	0.1267
44.044.1.010	Vetämäjärvi	0.06647	-0.11532	0.46553	-0.27681	15	0.79853	0.258	0.615	0.242	0.592	<0,0001	<0,0001
44.095.1.001	Kuorasjärvi	0.07678	-0.23658	0.53646	-0.16893	24	0.56631	0.399	0.640	0.377	0.612	<0,0001	<0,0001
44.096.1.004	Iso Allasjärvi	0.05516	-0.39231	0.67151	-0.20487	13	0.83561	0.491	0.820	0.460	0.780	<0,0001	<0,0001
48.005.1.003	Räyringinjärvi	0.03458	0.00914	0.25045	-0.08382	12	0.62585	0.168	0.243	0.161	0.235	0.0008	0.0027
49.054.1.001	Ullavanjärvi	0.04372	-1.80106	1.24486	-0.00306	10	0.77582	0.362	0.366	0.315	0.318	0.9391	0.0006
51.041.1.001	Lestijärvi	0.08563	-1.77708	1.19932	0.05167	24	0.3477	0.351	0.292	0.306	0.251	0.1569	0.0059
51.052.1.001	Lehtosenjärvi	0.09813	-0.01276	0.54007	-0.19631	16	0.48619	0.697	1.063	0.667	1.027	0.0018	0.0049
54.059.1.004	Parkkimajärvi	0.06076	-0.76101	0.78133	-0.31512	19	0.88882	0.188	0.561	0.167	0.523	<0,0001	<0,0001
54.071.1.001	Piipsjärvi	0.04652	-2.28132	1.548	-0.11659	12	0.83	0.353	0.505	0.295	0.435	0.0169	<0,0001
59.439.1.001	Hoikkajärvi	0.16209	-0.0705	0.56675	-0.16425	9	0.13412	0.741	1.050	0.709	1.012	0.2702	0.5231
59.511.1.001	Kiantajärvi	0.05124	-0.60457	0.70957	-0.13728	13	0.59466	0.396	0.588	0.367	0.553	0.001	0.0028
59.811.1.001	Nuasjärvi	0.08252	-1.54018	1.17076	-0.05359	12	0.42115	0.447	0.522	0.397	0.468	0.264	0.0376
59.882.1.001	Jormasjärvi	0.08964	-0.53262	0.76374	-0.14947	17	0.46547	0.630	0.890	0.591	0.843	0.0018	0.0049
59.911.1.001	Ontojärvi	0.06798	-0.95354	0.86462	-0.01343	12	0.25541	0.496	0.515	0.456	0.475	0.7987	0.1704
59.921.1.001	Lentua	0.06253	-2.58265	1.77821	-0.1646	12	0.73326	0.475	0.729	0.398	0.633	0.0017	0.0004
59.974.1.003	Kälkänen	0.06143	0.20856	0.26366	-0.03734	9	0.18743	0.463	0.516	0.452	0.503	0.4099	0.393
59.977.1.001	Saunajärvi	0.05402	-1.05341	0.93284	-0.00561	15	0.5778	0.553	0.562	0.509	0.517	0.8518	0.0016
61.631.1.001	Kynsijärvi	0.04685	-0.32134	0.4054	0.14757	10	0.67502	0.372	0.214	0.356	0.201	0.0012	0.0036
61.651.1.005	Kuusijärvi	0.03958	-0.0585	0.24429	0.0325	13	0.30847	0.199	0.171	0.192	0.165	0.1929	0.0909
65.592.1.001	Unarinjärvi	0.04721	-0.80916	0.80175	-0.197	11	0.87906	0.295	0.548	0.267	0.510	<0,0001	<0,0001
71.111.1.001	Inarinjärvi	0.05706	-1.18597	0.93887	-0.18492	12	0.79264	0.197	0.395	0.170	0.357	<0,0001	<0,0001
71.241.1.001	Mutusjärvi	0.11361	-2.50255	1.56002	0.033	13	0.51023	0.297	0.263	0.244	0.213	0.6172	0.0097

Liite 8. Polynomiregressiolla saatujen mallien parametrit ja pitoisuusestimaatit

The SAS
System

Massan log-muunnos ja hg:n neliöjuurimuunnos: Malli polynomi $Hg_{rt0} = a + b \cdot \text{weightlog} + \text{weightlog}^2 + d \cdot \text{dummy} + \text{error}$

Merkitseviä malleja: 41

Regressors: 3

Parameters: 4

Pitoisuus pysynyt samana ja malli merkitsevä $p(F) < 0,05$ ja $P(t) > 0,05$, $n = 9$

Pitoisuus noussut ja malli merkitsevä $p(F) < 0,05$ ja $p(t) < 0,05$, $n = 7$

Pitoisuus laskenut ja malli merkitsevä $p(F) < 0,05$ ja $p(t) < 0,05$, $n = 25$

Location_Id	Location_name	RMSE	Intercept	weightlog	weightlogsq	dummy	freedom degrees	R2	std001 000	std801 000	std008 00	std808 00	P (t muutos)	P (F malli)
04.178.1.001	Iso-Kontunen	0.12808	11.747	-3.5986	0.29013	0.24285	7	0.69461	0.952	0.537	0.808	0.430	0.0237	0.032
04.242.1.001	Kolkonjärvi	0.05626	1.781	-0.3989	0.03079	-0.04983	11	0.22065	0.198	0.245	0.194	0.241	0.1897	0.4137
04.253.1.007	Nevajärvi	0.11597	-9.389	3.0191	-0.22101	-0.16779	10	0.3792	0.567	0.848	0.562	0.842	0.0517	0.1727
04.253.1.024	Haapajärvi	0.07806	-20.219	6.2486	-0.46364	0.08224	8	0.60235	0.816	0.674	0.838	0.694	0.134	0.0508
04.271.1.001	Unnukka	0.05155	-5.89	1.9411	-0.14484	-0.05947	12	0.26794	0.300	0.369	0.307	0.376	0.194	0.2737
04.423.1.001	Pankajärvi	0.08937	-2.72	1.1229	-0.08943	-0.1085	9	0.34787	0.436	0.591	0.464	0.624	0.0735	0.2567
04.442.1.001	Jonkeri	0.13095	-6.484	2.0047	-0.13849	0.12203	27	0.37114	0.770	0.571	0.723	0.530	0.0381	0.0052
04.552.1.003	Rytkynjärvi	0.07185	-11.759	3.7285	-0.27654	-0.12115	12	0.36774	0.462	0.641	0.471	0.652	0.0315	0.1264
04.554.1.001	Sulkavanjärvi	0.09769	-32.524	10.046	-0.75703	-0.11423	11	0.43848	0.402	0.560	0.474	0.645	0.0509	0.0853
04.563.1.001	Näläntöjärvi	0.06129	7.859	-2.3919	0.19085	0.11297	11	0.78213	0.309	0.197	0.261	0.159	0.0488	0.0006
04.572.1.001	Luuuvesi	0.08915	-0.468	0.1758	-0.00115	0.02783	16	0.54046	0.516	0.477	0.466	0.429	0.5859	0.0051
04.664.1.004	Tiilikka	0.07242	-8.036	2.5314	-0.18189	0.0472	19	0.23978	0.669	0.594	0.648	0.574	0.1436	0.1485
04.665.1.006	Älänne	0.11206	7.977	-2.2853	0.17557	-0.01496	10	0.17907	0.307	0.324	0.282	0.299	0.827	0.5588
04.956.1.002	Suuri Petäjajärvi	0.07696	10.133	-2.8916	0.22549	0.15297	13	0.65241	1.147	0.842	1.065	0.773	0.0117	0.0026
04.983.1.007	Poikapää	0.05783	1.646	-0.332	0.03235	0.12669	3	0.84394	1.046	0.803	0.997	0.760	0.1026	0.0996
14.236.1.003	Rutajärvi	0.08656	-5.428	1.6294	-0.1067	-0.03419	11	0.54304	0.492	0.541	0.437	0.484	0.5089	0.0297
14.452.1.002	Ylä-Jäppä	0.05778	-7.019	2.246	-0.15528	-0.38732	15	0.91965	0.488	1.180	0.447	1.115	<0,0001	<0,0001
14.454.1.006	Salamajärvi	0.07491	1.282	-0.34	0.04112	-0.01389	15	0.58589	0.778	0.803	0.694	0.718	0.6941	0.0035
14.472.1.001	Kolima	0.07993	-2.787	0.8538	-0.05006	-0.08227	22	0.51187	0.410	0.522	0.362	0.467	0.0526	0.0011
14.481.1.001	Alvajärvi	0.09275	-5.322	1.7973	-0.13006	-0.10955	11	0.16892	0.605	0.787	0.595	0.776	0.1775	0.5473
14.491.1.001	Saaniinjärvi	0.07952	10.168	-2.8337	0.21324	-0.13461	21	0.51667	0.402	0.590	0.384	0.568	0.0006	0.0014
14.493.1.001	Elämäjärvi	0.06318	17.661	-4.9744	0.36737	-0.13899	17	0.57399	0.476	0.687	0.470	0.680	0.0004	0.0019
14.614.1.002	Saarijärvi	0.11348	26.989	-7.9553	0.59985	0.08647	11	0.23441	0.556	0.434	0.492	0.378	0.216	0.3819
14.631.1.001	Pääjärvi	0.14126	3.499	-0.7523	0.05227	-0.16789	16	0.31925	0.396	0.635	0.407	0.650	0.0194	0.0964
14.661.1.001	Karankajärvi	0.09234	-3.425	1.1556	-0.07695	-0.11676	13	0.43367	0.591	0.785	0.554	0.742	0.0267	0.0537
14.664.1.006	Kiesimenjärvi	0.07648	-5.739	1.6917	-0.10441	-0.18386	16	0.629	0.611	0.932	0.519	0.818	0.0003	0.001
14.711.1.001	Konnevesi	0.08939	7.266	-2.0721	0.16191	-0.16342	13	0.64801	0.264	0.459	0.236	0.421	0.0078	0.0029
14.811.1.002	Nuoramaisjärvi	0.04368	-7.566	2.4873	-0.19098	0.08571	6	0.66885	0.346	0.253	0.375	0.278	0.0303	0.0688
14.912.1.001	Vuohijärvi	0.06342	6.522	-1.909	0.15448	-0.19812	8	0.78394	0.258	0.499	0.217	0.440	0.0042	0.0049
14.934.1.024	Niskajärvi	0.08167	7.138	-2.0002	0.15775	0.12502	13	0.57136	0.948	0.720	0.886	0.667	0.0272	0.0098
14.964.1.001	Paihmaa	0.06646	21.996	-6.3226	0.47562	-0.00405	11	0.16721	1.024	1.032	0.961	0.968	0.9392	0.552
35.231.1.001	Vanajavesi	0.07459	2.821	-0.7312	0.05711	-0.08421	11	0.38906	0.169	0.245	0.160	0.235	0.0709	0.1301

Liite 8. Polynomiregressiolla saatujen mallien parametrit ja pitoisuusestimaatit

Location_id	Location_name	RMSE	Intercept	weightlog	weightlogsq	dummy	freedom degrees	R2	std001000	std801000	std00800	std80800	P (t muutos)	P (F malli)
35.411.1.001	Tarjannevesi	0.12362	-16.495	5.2384	-0.39325	-0.05636	14	0.24182	0.757	0.858	0.799	0.902	0.4067	0.2607
35.462.1.001	Kolunjärvi	0.0864	-22.664	7.2451	-0.55522	-0.11089	10	0.33585	0.606	0.791	0.715	0.915	0.0752	0.2326
35.483.1.001	Pihlajavesi	0.13628	2.903	-0.7337	0.0669	-0.25889	51	0.37843	0.591	1.056	0.532	0.977	<0,0001	<0,0001
35.621.1.001	Keuruselkä (N60 105	0.10981	102.525	-30.0356	2.21379	0.17956	12	0.43456	0.741	0.464	0.720	0.448	0.0876	0.0687
35.787.1.030	Valkea Kotinen	0.14437	6.896	-1.8637	0.1449	-0.26487	7	0.68227	0.451	0.877	0.420	0.833	0.0377	0.0365
35.787.1.062	Hakojärvi	0.09293	4.192	-1.1077	0.09577	-0.2901	18	0.82874	0.673	1.233	0.603	1.138	<0,0001	<0,0001
36.014.1.001	Isojärvi	0.11193	-4.673	1.5042	-0.1036	-0.16274	24	0.38882	0.374	0.600	0.348	0.567	0.0015	0.0072
36.019.1.001	Valkjärvi	0.0586	-2.265	0.7309	-0.04117	-0.33248	12	0.903	0.237	0.671	0.201	0.610	<0,0001	<0,0001
36.065.1.002	Siikaisjärvi	0.14349	-8.04	2.6452	-0.19345	-0.03824	16	0.03594	0.927	1.002	0.920	0.995	0.5892	0.8957
36.092.1.001	Karhjärvi	0.05634	3.894	-1.1695	0.09373	0.19395	11	0.84861	0.232	0.083	0.210	0.070	<0,0001	0.0002
42.074.1.002	Seinjärvi	0.14292	5.108	-1.4204	0.11769	-0.14946	34	0.34601	0.582	0.833	0.523	0.761	0.0146	0.0022
44.041.1.001	Kuortaneenjärvi	0.06122	-7.788	2.3188	-0.15807	0.02552	10	0.34886	0.507	0.472	0.455	0.421	0.7909	0.2133
44.044.1.010	Vetämäjärvi	0.06878	-0.448	0.2948	-0.01682	-0.27785	14	0.79864	0.258	0.618	0.244	0.595	<0,0001	<0,0001
44.095.1.001	Kuorasjärvi	0.078	2.647	-0.6475	0.05492	-0.16337	23	0.57106	0.399	0.633	0.372	0.598	<0,0001	0.0002
44.096.1.004	Iso Allasjärvi	0.05679	4.046	-1.076	0.09001	-0.20175	12	0.83916	0.499	0.825	0.454	0.766	<0,0001	<0,0001
48.005.1.003	Räyriinjärvi	0.03516	-7.241	2.3552	-0.17964	-0.07462	11	0.64538	0.145	0.208	0.161	0.226	0.007	0.0079
49.054.1.001	Ullavanjärvi	0.04607	-1.757	0.5034	-0.02327	-0.00714	9	0.77596	0.364	0.372	0.315	0.323	0.9215	0.0028
51.041.1.001	Lestijärvi	0.08603	3.58	-1.0601	0.08952	0.04885	23	0.36904	0.334	0.280	0.294	0.244	0.0128	0.184
51.052.1.001	Lehtosenjärvi	0.10031	-4.606	1.5933	-0.11244	-0.18918	15	0.49668	0.715	1.071	0.691	1.041	0.0038	0.014
54.059.1.004	Parkkimajärvi	0.06147	-4.638	1.4454	-0.09619	-0.31472	18	0.8922	0.195	0.572	0.169	0.527	<0,0001	<0,0001
54.071.1.001	Piipsjärvi	0.03763	6.52	-1.9015	0.14977	0.03391	11	0.89802	0.319	0.282	0.286	0.251	0.6108	<0,0001
59.439.1.001	Hoikkajärvi	0.15488	28.712	-8.2414	0.61045	-0.08254	8	0.2973	0.688	0.831	0.667	0.809	0.5884	0.3939
59.511.1.001	Kiantajärvi	0.05337	-0.14	0.1584	-0.00396	-0.13688	12	0.59416	0.395	0.586	0.367	0.551	0.002	0.0106
59.811.1.001	Nuasjärvi	0.05978	16.75	-4.786	0.35534	-0.01431	11	0.72154	0.398	0.416	0.385	0.403	0.6908	0.0022
59.882.1.001	Jormasjärvi	0.08188	25.422	-7.3753	0.55363	-0.12185	16	0.58021	0.594	0.797	0.544	0.738	0.0069	0.0025
59.911.1.001	Ontojärvi	0.06774	10.508	-2.8528	0.20758	-0.01294	11	0.32223	0.482	0.500	0.492	0.510	0.8056	0.2159
59.921.1.001	Lentua	0.05675	7.452	-2.1748	0.17532	-0.1392	11	0.7986	0.430	0.632	0.371	0.560	0.0049	0.0004
59.974.1.003	Kälkänen	0.06329	-2.683	0.9735	-0.06947	-0.03609	8	0.23322	0.477	0.528	0.468	0.519	0.4414	0.5226
59.977.1.001	Saunajärvi	0.05588	-1.019	0.3781	-0.01764	-0.00606	14	0.57836	0.555	0.564	0.510	0.519	0.8471	0.0059
61.631.1.001	Kynsijärvi	0.04169	40.755	-11.5734	0.82956	0.21148	9	0.76836	0.364	0.154	0.449	0.210	0.0011	0.0032
61.651.1.005	Kuusijärvi	0.03873	6.305	-1.8395	0.1427	0.0469	12	0.38863	0.206	0.165	0.186	0.148	0.0948	0.1053
65.592.1.001	Unarinjärvi	0.04887	1.108	-0.2268	0.02492	-0.1899	10	0.88217	0.291	0.532	0.265	0.496	0.0001	<0,0001
71.111.1.001	Inarinjärvi	0.059	1.504	-0.4166	0.04194	-0.18773	11	0.79679	0.193	0.394	0.165	0.352	0.0001	0.0004
71.241.1.001	Mutusjärvi	0.09927	18.189	-5.1734	0.37763	0.00213	12	0.65479	0.225	0.223	0.234	0.232	0.9714	0.0042