

KALA- JA RIISTARAPORTTEJA nro 377

*Hanna Kuukka
Nina Peuhkuri
Irma Kolari*

Viljeltyjen lohikalojen kaihi Kartoitus vuonna 2004

Helsinki 2006

Hanna Kuukka, Nina Peuhkuri, Irma Kolari

Viljeltyjen lohikalojen kaihi – kartoitus vuonna 2004

Kaihi ja sen merkitys vesiviljelyssä ja istutusten tuloksellisuudessa, 202317

Kaihi on silmäsairaus, joka johtaa näkökyvyn heikkenemiseen tai jopa täydelliseen sokeutumiseen. Muun muassa ravinnon väärän koostumuksen, ympäristömyrkkujen, UV-valolle altistumisen, nopeakasvuisuuden, lämpötilan vaihteluiden tai vääräaikaisen suola-altistuksen tiedetään aiheuttavan kaloille kaihia. Lisäksi *Diplostomum* sp. imumatoloinen voi aiheuttaa silmässä ns. loiskaihin. Suomessa kaihia on havaittu laitoskasvatetuilla kaloilla enemmässä määrin ainakin 1990-luvun alkupuolelta lähtien. Nieriän (*Salvelinus alpinus*) kaihista on RKTL:n raportti vuodelta 1996, mutta muita selvityksiä viljeltyjen lohikalojen kaihista ja sen yleisyydestä ei Suomesta ole julkaistu. Tässä tutkimuksessa kartoitettiin kaihin esiintymistä viidellä viljelyssä olevalla lohikalalajilla. Kartoituksessa olivat mukana nieriä, harjus (*Thymallus thymallus*), lohi (*Salmo salar*, järvi- ja merilohi), taimen (*Salmo trutta*; järvi- ja meritaimen) sekä harmaanieriä (*Salvelinus namaycush*). Tutkimme yli 4 000 kalan silmät eri puolilla Suomea sijaitsevilla kahdeksalla viljelylaitoksella kevään ja kesän 2004 aikana. Havaitimme kaihia kaikilla tutkituilla kalalajeilla/vaellusmuodoilla sekä kaikilla kartoituksessa mukana olleilla laitoksilla. Kartoituksessa havaittiin sekä loiskaihia että kaihia, johon ei liity loistartuntaa. Kaihin yleisyys vaihteli 0-100 %:n välillä eri parvissa (79 kpl). Parvia, joissa yli puolet tutkituista kaloista oli kaihisia, oli seitsemällä laitoksella ja kaikilla lajeilla/vaellusmuodoilla. Kaloilla oli joko vain toisessa silmässä olevaa kaihia tai molemmanpuoleista kaihia. Silmät luokiteltiin kaihin linsissä peittämän alueen mukaan. Kaihit olivat useimmiten suhteellisen pieniä.

lohikalat, silmäsamentuma, kaihi, loiskaihi, *Diplostomum* sp.

Kala- ja riistaraportteja 377

951-776-523-1

1238-3325

18 s + 2 liitettä

suomi

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos

Viikinkaari 4

PL 2

00791 Helsinki

Puh. 0205 7511 Faksi 0205 751 201

<http://www.rktl.fi/tutkimuslaitos/julkaisut> (pdf)

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos

Viikinkaari 4

PL 2

00791 Helsinki

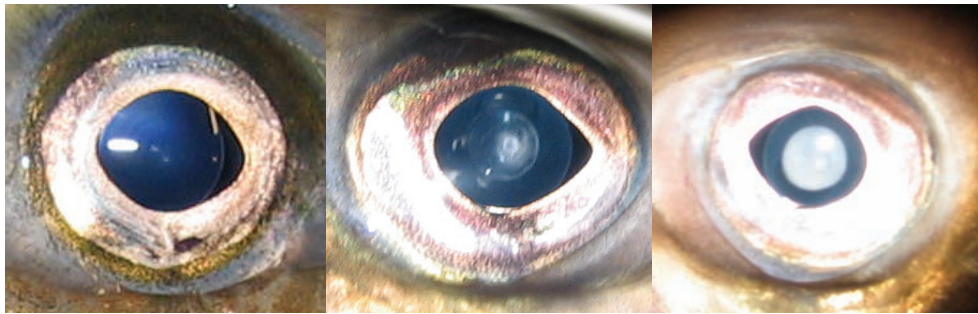
Puh. 0205 7511 Faksi 0205 751 201

Sisällys

1. JOHDANTO.....	1
2. AINEISTO JA MENETELMÄT.....	3
3. TULOKSET	5
4. TULOSTEN TARKASTELU	11
KIITOKSET	15
KIRJALLISUUS	16

1. Johdanto

Kaloja viljellään Suomessa ruokakalatuotannon lisäksi erityisesti uhanalaisten kalakantojen säilyttämiseksi, luonnonkantojen elvyttämiseksi ja kalastusmahdollisuuksien parantamiseksi. Kalojen elinkelpoisuuden säilyminen laitosolosuhteissa on siten myös luonnonkantojemme elinvoimaisuuden vuoksi tärkeää. Laitoskasvatuksessa ilmenee kuitenkin kalojen terveyteen ja hyvinvointiin liittyviä ongelmia, joista yksi on kalan silmän linssin samentava kaihi (kuva 1). Kaihi voi heikentää näkökykyä tai jopa sokeuttaa kalan (Noga ym. 1981, Pylkkö 1996, Bjerkås ym. 2003). Norjassa kaihin on todettu aiheuttavan vuosittain miljoonien eurojen tappioita kalojen heikentyneen kasvun ja lisääntyneen kuolleisuuden takia (Menzies ym. 2002). Kaihia tavataan myös luonnonkaloilla, joskin niiden kaihista on saatavilla vain niukasti julkaistua tietoa (Bjerkås ym. 1996, Valtonen ja Gibson 1997). Suomessa kaihia on havaittu laitoksessa kasvatetuilla kaloilla ainakin 1990-luvun alusta lähtien. Esimerkiksi vuonna 1996 julkaistun tutkimuksen mukaan joillakin viljelylaitoksilla jopa kaikkien kaksivuotiaiden nieriöiden silmissä oli samentumia (Pylkkö ym. 1996).



Kuva 1. Terve kalan silmä (vasemmalla) ja kaksi kaihista silmää. Kalan silmän linssi on pallomainen ja koostuu eri kerroksista. Se muodostuu pääosin proteiineista, jotka yhdistyvät säännönmukaisiksi, läpinäkyviksi rakenteiksi (Kincaid ja Calkins 1991, Midtlyng ym. 1999). Samentumia muodostuu, kun linssin proteiinien koostumus muuttuu.

Kaihin syntyyn vaikuttavia tekijöitä on tutkittu kaloilla paljon (ks. yhteenvetoartikkeli Bjerkås ja Sveier 2004). Yleisimpiä kaihin aiheuttajia ovat puutteellinen tai väärä ravinnon koostumus (mm. Waagbo ym. 1996, Waagbo ym. 1998, 2003, Breck ym. 2003), altistuminen UV-säteilylle (Doughty ym. 1997, Björnsson 2004) tai ympäristömyrkyille (Fraser ym. 1990, Laycock ym. 2000, Lemly 2002), nopeakasvuisuus (Kincaid ja Elrod 1991, Bjerkås ym. 1996), lämpötilan vaihtelu (Bjerkås ym. 2001) tai smolttiutumiseen nähden liian aikainen suola-altistus (Iwata ym. 1987, Bjerkås ym. 2003). Lisäksi kaihin (tai kaihialttiuden) periytyvyydestä on viitteitä kirjallisuudessa (Kincaid ja Elrod 1991, Wall ja Richards 1992, Ersdal ym. 2001). Myös makeassa ja murtovedessä esiintyvä *Diplostomum* sp. imumatoloinen aiheuttaa kaloille kaihia - (Betterson 1974). Loisen pääisäntä on kalaa syövä lintu, kuten lokki. Kala on *Diplostomum*-loisen toinen väli-isäntä, jonka silmiin loistoukat hakeutuvat vapauduttuaan veteen ensimmäisinä väli-isäntinä toimivista kotiloista. Kaihi syntyy loistoukan mekaanisesti aiheuttaman vaurion ja toukan erittämien aineenvaihduntatuotteiden seurauksena (Shariff ym. 1980). *Diplostomum*-loisen aiheuttamasta kaihista käytetään tässä raportissa nimitystä loiskaihi ja vastaavasti kaihista, johon ei liity loistartuntaa, käytetään termiä loiseton kaihi.

Kaihin vaikutuksista kaloihin on olemassa vain vähän tutkimustietoa. Kaihin merkitys istutettavan kalan selviytymiselle luonnossa tunnetaan huonosti ja olemassa oleva tietokin on ristiriitaista (Kincaid ja Elrod 1991, Kincaid 1993). Kaihin laitoskasvatukses-

sa aiheuttaman kalojen heikentyneen kasvun (Bjerkås ym. 1996, Ersdal ym. 2001) ja lisääntyneen kuolleisuuden (Menzies 2002) lisäksi laboratoriokokeissa on todettu loisitun kalan pakoreaktioiden olevan heikompia kuin tervesilmäisillä kaloilla (Seppälä ym. 2005) ja loisittujen tai loiskaihisten kalojen olevan tervesilmäisiä alttiimpia jäämään saaliiksi (Brassard ym. 1982, Seppälä ym. 2004, 2005). Kaihi saattaa myös vaikuttaa välillisesti kalan kelpoisuuteen esimerkiksi vähentämällä aivojen saaman valon määrää ja heikentämällä tämän seurauksena kalan hedelmällisyyttä ja mädin laatua, kuten Pylkkö ym. (1996) pohtivat raportissaan.

Uutta tietoa kaihista ja sen merkityksestä tarvitaan, jotta viljelyssä pystytään tuottamaan mahdollisimman terveitä ja elinkykyisiä poikasia ja siten luomaan paremmat edellytykset myös istukkaiden selviytymiselle luonnossa. Tässä raportissa esitetään tulokset Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksessa (RKTL) käynnistyneen kaihitutkimushankkeen alussa tehdystä kartoituksesta, jossa selvitettiin kaihin esiintymistä viljelyssä olevilla lohikaloillamme. Kartoituksesta saatiin myös taustatietoa kokeellisia tutkimuksia varten. Kaihiprojektin aikana tutkitaan kaihin syntyyn vaikuttavia tekijöitä Suomen oloissa ja kaihin vaikutuksia kalan menestymiseen sekä viljely- että luonnonympäristössä.

2. Aineisto ja menetelmät

Kaihin esiintymistä selvitettiin nieriän (*Salvelinus alpinus*), harjuksen (*Thymallus thymallus*), lohen (*Salmo salar*; järvi- ja merilohi), taimenen (*Salmo trutta*; järvi- ja meritaimen) ja harmaanieriän (*Salvelinus namaycush*) eri kannoilla ja ikäryhmillä kevään ja alkukesän 2004 aikana. Kartoitusta tehtiin kahdeksalla kalanviljelylaitoksella eri puolilla Suomea. Lohia ja taimenia tutkittiin kuudella laitoksella, nieriöitä viidellä, harjuksia kolmella ja harmaanieriöitä yhdellä laitoksella. Yksittäisten laitosten tietoja ei tässä raportissa eritellä. Kaihin esiintyminen kartoitettiin yhteensä 79 poikas- ja emoparvesta. Nieriästä oli kartoituksessa mukana kolme kantaa, harjuksesta viisi kantaa, järvilohesta yksi kanta, merilohesta, järvitaimenesta ja meritaimenesta kustakin kuusi kantaa sekä harmaanieriästä yksi kanta. Tutkittujen parvien lukumäärä kantaa kohti riippui kalalajista/vaellusmuodosta (liite 1). Tutkittujen kalojen ikä vaihteli ensimmäisen kesän poikasista (0+ -vuotiaista) seitsemänvuotiaisiin. Suurin osa kaloista oli kuitenkin 1-4 -vuotiaita (liite 1). Kustakin parvesta otettiin pääsääntöisesti 50 kalan satunnaisotos silmien tarkastusta varten (ks. poikkeukset liite 1). Kalat nukutettiin (puskuroitu MS 222: 7 ml l⁻¹), mitattiin, punnittiin ja molemmat silmät tutkittiin Kowa SL-15 -rakovalomikroskoopilla, jonka avulla kaihi sekä loistartunta voidaan todentaa nukutetuilta kaloilta (kuva 2). Silmät tarkastettiin pimiössä heijastumien ehkäisemiseksi.



Kuva 2. Rakovalomikroskooppi sekä kalan silmän tutkimista rakovalomikroskoopin avulla. Rakovaloa käytettäessä kapea valonsäde kohdistetaan nukutetun kalan silmään ja silmää tarkastellaan mikroskoopin (×16 suurennos) läpi. Tarkasteluetaisyttä säätämällä ja kuljettamalla valonsädettä silmän halki voidaan nähdä linssissä olevat samentumat ja määrittää niiden peittävyys linssissä.

Kaihin yleisyys (kaihitujen kalojen prosentuaalinen osuus) laskettiin kustakin tutkittuun parvesta ja kaloilta määritettiin myös oliko kaihia vain toisessa vai kummassakin silmässä. Kaihin peittävyys linssissä luokiteltiin asteikolla 0-4, jossa: 0 = ei kaihia, 1 = alle 10 %, 2 = 10-49 %, 3 = 50-75 % ja 4 = yli 75 % linssistä samaa (Wall ja Bjerkås 1999). Kullekin kalalle määriteltiin kaihiluokka, joka sai arvoja väliltä 0-8. Se laskettiin summaamalla kaihituilta kaloilta molempien silmien kaihiin peittävyysasteet yhteen. Kalakohtainen kaihiluokka kuvastaa näin kaihin vakavuutta kalalle.

Rakovalon avulla voidaan myös laskea silmässä olevien *Diplostomum*-loisten lukumäärä, mikäli niitä on vähän. Menetelmä ei ole kuitenkaan loisten laskemisen osalta tarkka, joten loisten lukumääriä ei ole tässä selvityksessä huomioitu. Loiskaihia ja loisetonta kaihia on lisäksi mahdotonta erottaa ainakaan elävän kalan silmästä, erityisesti

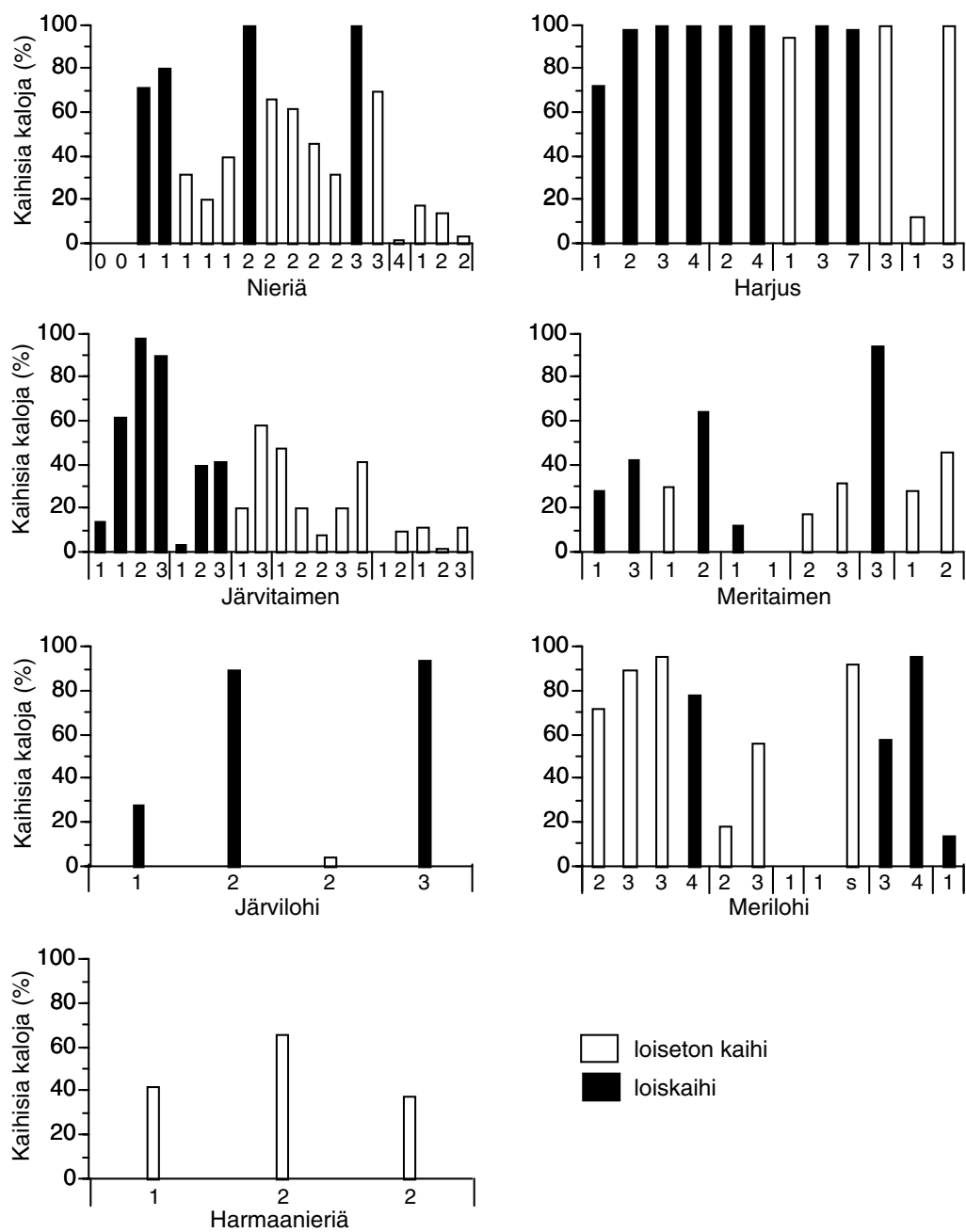
silloin, kun samentuma peittää linssissä olevat loiset. Siksi kaihia ei tässä kartoituksessa eroteltu yksilötasolla em. kahteen tyyppiin, vaan luokittelu tehtiin parvikohtaisesti. Parvessa ilmenevä kaihi määriteltiin loiskaihiksi aina, mikäli kyseisessä parvessa havaittiin keskimäärin yksi tai useampi loinen kaihista silmää kohti. Mitä enemmän kaihisia silmiä parvessa oli, sitä enemmän piti loisia havaita, jotta kaihi määritettiin loiskaihiksi. Tällä pyrittiin pienentämään sitä riskiä, että loiseton kaihi tulisi virheellisesti luokiteltua loiskaihiksi vain yksittäisten loishavaintojen takia. Siten on mahdollista, että joillain parven kaloilla oli loisetonta kaihia tai molempaa kaihityyppiä, vaikka kaihi olikin määritelty loiskaihiksi. Silmät tutki ja kaihin luokitteli sama henkilö, jotta arvioinnin vaihtelu olisi mahdollisimman pientä.

Karkean yleiskuvan saamiseksi loisen vaikutuksesta kalojen silmiin laitokset jaettiin kahteen ryhmään sen mukaan esiintyikö niillä *Diplostomum*-loista vai ei. Jos millään laitoksen parvista ei havaittu vähintään yhtä loista kaihista silmää kohti, laitos katsottiin loisettomaksi. Loisettomien ja loisellisten laitosten välillä verrattiin kaihin yleisyyttä tutkituissa parvissa t-testillä (SAS for Windows 9.1.). Aineiston jakauma normalisoitiin analyysiä varten arcsin-muunnoksella (Ranta ym. 1999). Laitosten sisäistä tilastollista vertailua lajien/vaellusmuotojen tai kantojen kesken ei tehty, jotta yksittäisten laitosten tietoja ei voisi tuloksesta päätellä. Selvitimme kuitenkin laitoksittain Spearmanin korrelaatioanalyysillä (SAS for Windows 9.1.) onko kaihin yleisyyden tai kalan kaihiluokan ja parven ikäluokan välillä suhdetta. Kaihiluokkana käytettiin parven mediaaniarvoa. Korrelaatioanalyysi tehtiin kaikissa niissä tapauksissa, joissa laitokselta oli tutkittu silmät saman kalakannan kaloilta kolmesta tai useammasta ikäluokasta. Lisäksi selvitimme kaikista tutkituista parvista Spearmanin korrelaatioanalyysillä kalakohtaisen kaihiluokan ja kalan pituuden välistä suhdetta parven sisällä. Kaihiluokan suhdetta kalan painoon tai kuntokertoimeen ei tässä kartoituksessa analysoitu, sillä kalojen ruokintaa ei kaikkien parvien osalta oltu kontrolloitu etukäteen ennen mittauksia.

3. Tulokset

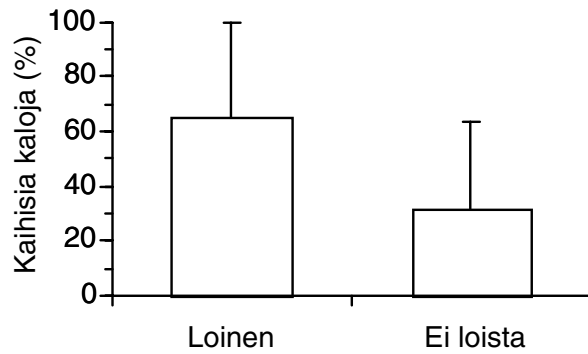
Kaihia oli kalojen silmissä kaikilla kartoituksessa mukana olleilla kahdeksalla laitoksella ja kaikilla lajeilla/vaellusmuodoilla. Kaihisten yksilöiden määrä parvissa vaihteli 0-100 %:n välillä (kuva 3). Vain kuudessa tutkituista 79 parvesta ei havaittu lainkaan kaihia. Parvia, joissa yli puolet tutkituista kaloista oli kaihisia, oli seitsemällä laitoksella. Tällaisia parvia tavattiin myös kaikilta lajeilta/vaellusmuodoilta, kuitenkin selkeästi eniten harjukselta (n. 92 %:a tutkituista parvista) ja merilohelta (n. 67 %:a tutkituista parvista; kuva 3).

Kartoituksessa havaittiin sekä *Diplostomum*-loisen aiheuttamaa loiskaihia että loisetonta kaihia (kuva 3). Useimmilla selvityksessä mukana olleilla lajeilla/vaellusmuodolla oli molempia kaihityyppejä.



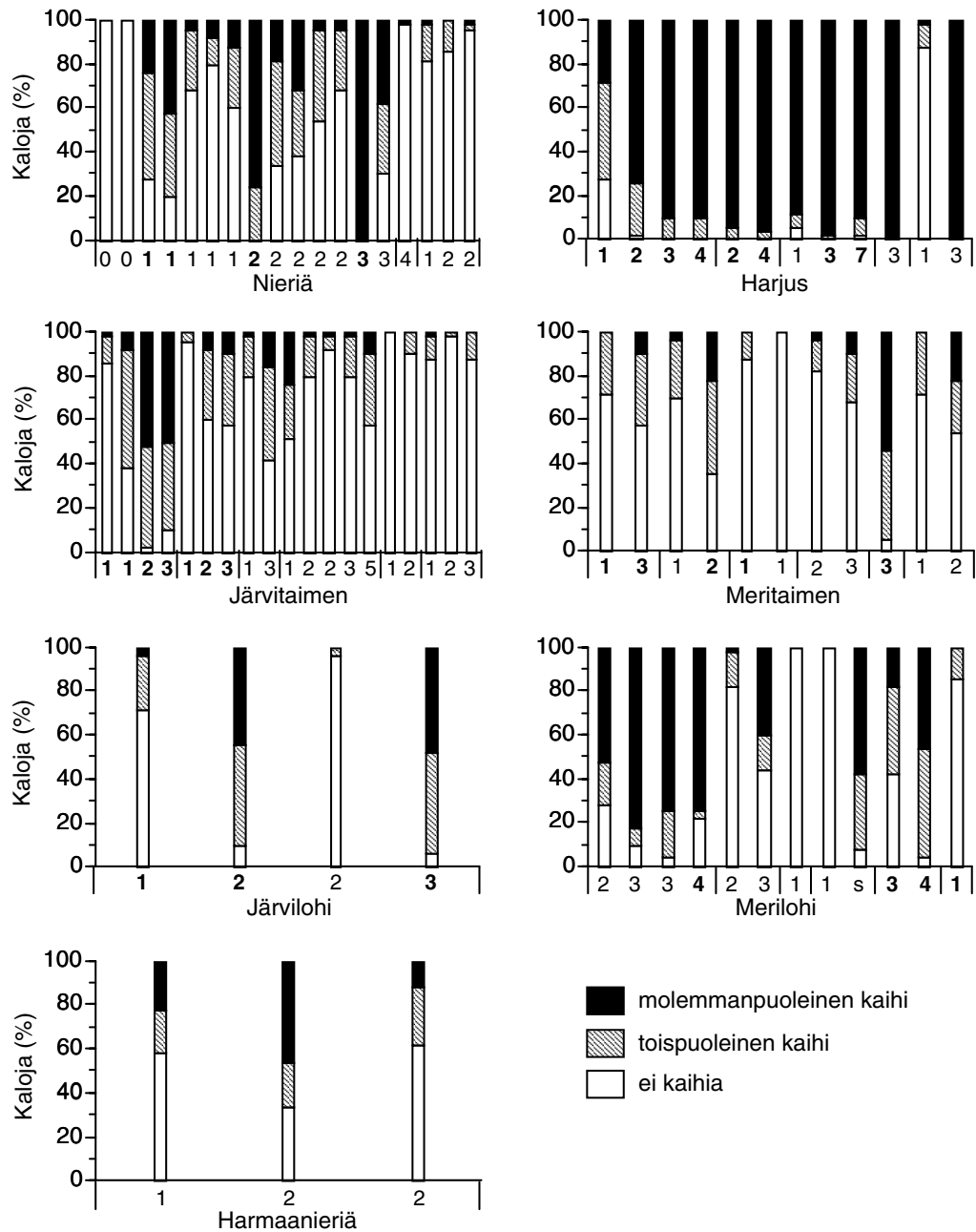
Kuva 3. Kaihin yleisyys parvissa ($n = 50$ kalaa/parvi; ks. poikkeukset liite 1, sama parvien järjestys) kannoittain ja ikäluokittain eri lohikalalajeilla/vaellusmuodoilla. Loiseton ja loiskaihi on eritelty parvittain. Pylvään alapuolella oleva luku on kalojen ikä tutkitussa parvessa ($s =$ eri-ikäisistä kaloista koostuva sekaparvi). Kannat on erotettu toisistaan x-akselin alapuolisilla poikkiviivoilla.

Jos laitoksella esiintyi *Diplostomum*-loista, parvissa havaittu kaihi oli pääsääntöisesti loiskaihia. Kaihi oli tällaisilla laitoksilla myös yleisempää kuin laitoksilla, joilla loista ei esiintynyt (t-testi: $t = 5.07$, $N_1 = 42$, $N_2 = 37$, $p < 0.001$; kuva 4).



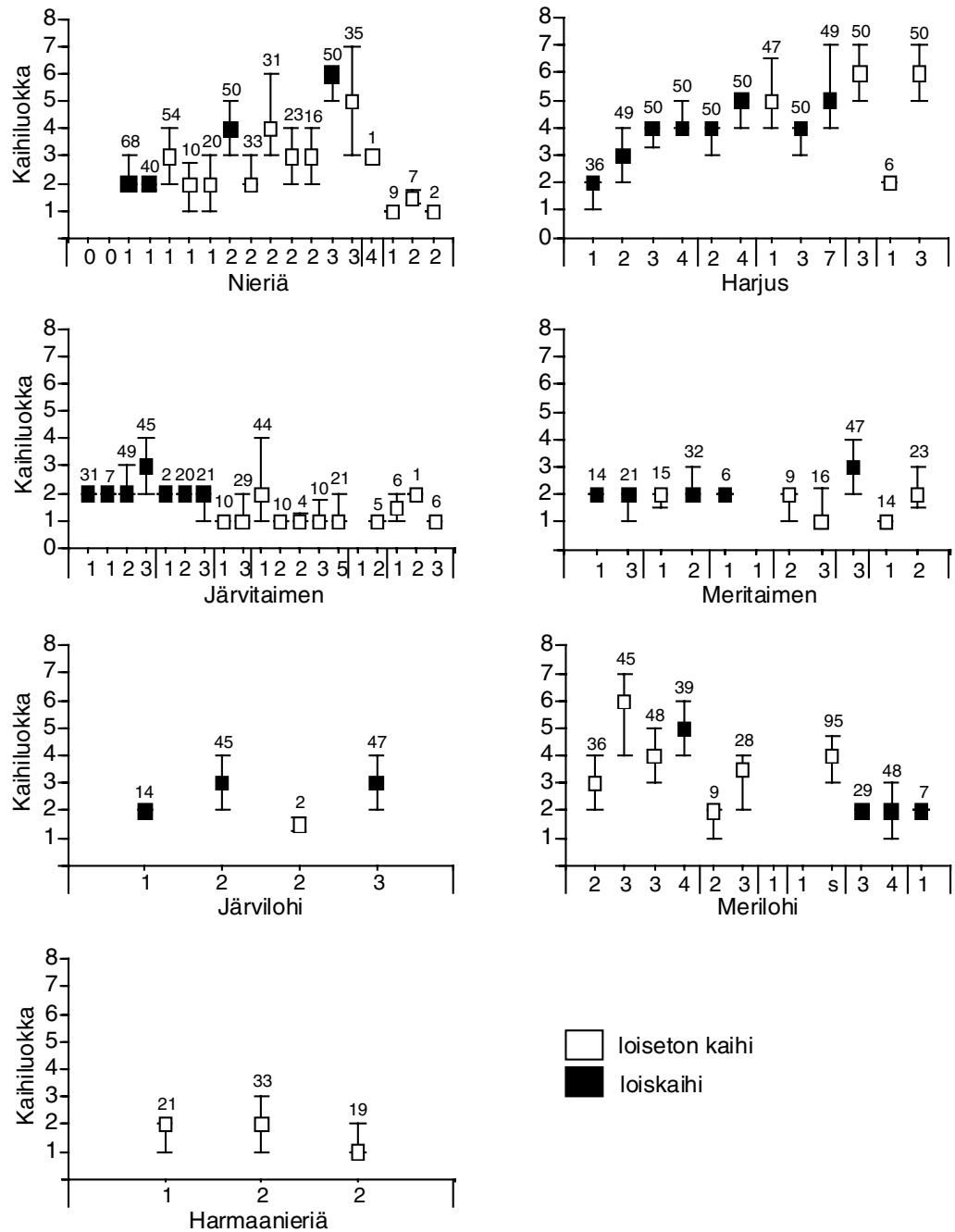
Kuva 4. Kaihisten kalojen yleisyys parvea kohden (keskiarvo + SD) laitoksilla, joilla *Diplostomum*-loista havaittiin (Loinen, $n = 42$ parvea), ja loisettoiksi luokitelluilla laitoksilla (Ei loista, $n = 37$ parvea).

Kaihin ei havaittu kehittyvän säännönmukaisesti yhtä aikaa molempiin silmiin, vaan tutkituissa parvissa oli sekä tois- että molemmanpuoleista kaihia (kuva 5). Parvissa, joissa kaihia esiintyi runsaasti (ks. kuva 3), molemmanpuoleinen kaihi näytti yleistyvän (kuva 5). Erityisesti harjusparvissa oli runsaasti molemmanpuoleista kaihia. Molemmanpuoleinen kaihi oli toispuoleista kaihia yleisempi tai ainoa kaihityyppi 83 %:ssa tutkituista harjusparvista, mutta myös merilohella molemmanpuoleinen kaihi oli useassa parvessa (60 %:ssa tutkituista parvista) yleisempi kuin toispuoleinen kaihi (kuva 5).



Kuva 5. Kaihittomien kalojen ja tois- tai molemmanpuoleisesti kaihisten kalojen yleisyys tutkituissa parvissa ($n = 50$ kalaa/parvi; ks. poikkeukset liite 1, sama parvien järjestys). Kanta ja kalojen ikä (tummennettu numero tarkoittaa loiskaihistä parvea) esitetty kuten kuvassa 3.

Silmistä löytyi eniten pienehköjä kaiheja, jotka peittivät alle 50 %:a linssin pinta-alasta. Parvia, joissa kalakohtaisen kaihiluokan mediaani oli vähintään viisi (kaihi aina molemmissa silmissä ja kaihin keskimääräinen peittävyys vähintään 46 %:a; ks. liite 2) oli vain muutamia (kuva 6). Harjusparvista tällaisia oli viisi sekä merilohi- ja nieräparvista molemmista kaksi.



Kuva 6. Kalakohtainen kaihiluokka (mediaani ja kvartiilit) eri lajeilla/vaellusmuodoilla (kanta ja kalojen ikä esitetty kuten kuvassa 3). Aineistossa ovat mukana vain kaihiset kalat, joiden lukumäärä kussakin parvessa on ilmoitettu symbolin yläpuolella.

Kalojen iän ja kaihin yleisyyden tai kaihiluokan (parvikohtainen mediaani) välistä suhdetta voitiin tutkia yhdeksässä tapauksessa, joista kaksi oli nieriöitä, kaksi harjusia, yksi järvilohia ja neljä järvitaimenia. Neljässä tapauksessa, joista kaksi oli nieriöitä ($n = 3$ ja 7 parvea), yksi järvilohia ($n = 3$) ja yksi järvitaimenta ($n = 3$), havaittiin tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio kalojen iän ja kaihin yleisyyden välillä. Kolmessa näistä oli kyseessä loiskaihi. Lopuissa viidessä tapauksessa, joista kolmessa kaloilla oli loiskaihi, ei havaittu tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota kalojen iän ja kaihin yleisyyden välillä. Kaihiluokan havaittiin korreloivan positiivisesti kalojen iän kanssa yhdessä tapauksessa (nieriä, $n = 7$ parvea) yhdeksästä. Näillä kaloilla ei ollut

Diplostomum-loista. Kahdeksassa muussa tapauksessa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota kalojen iän ja kaihiluokan välillä.

Kalojen pituus ja kalakohtainen kaihiluokka korreloivat merkitsevästi vain 13 parvessa kaikista 73 kaihisesta parvesta. Korrelaatio oli positiivinen yhdeksässä parvessa (neljässä parvessa loiskaihia) ja negatiivinen neljässä parvessa (kaksi nieriäparvea, yksi järvitaimen- ja yksi merilohiparvi), joista yhdessä oli loiskaihi. Lopuissa 60 parvessa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota kalojen pituuden ja kaihiluokan välillä.

4. Tulosten tarkastelu

Kahdeksalla kalanviljelylaitoksella tehdyn kartoituksen mukaan kaihi oli yleinen viljelyillä lohikaloillamme. Käytännössä kaikista tutkituista yli vuoden ikäisten kalojen parvista löydettiin silmäamentumia. Kaksivuotiaiden ja tätä vanhempien harjusten parvissa vähintään puolet kaloista oli kaihisia. Merilohilla suurin osa tutkituista yksilöistä sai kaihin kolmeen ikävuoteen mennessä. Lisäksi Pylkön ym. (1996) tulosten mukaisesti tässä tutkimuksessa havaittiin yhdessä tapauksessa kaihia jopa kaikkien kaksivuotiaiden nieröiden silmissä. Saman ikäluokan eri parvien välillä oli kaihin yleisyydessä kuitenkin varsin paljon vaihtelua, jopa saman kannan sisällä. Tämä johtuu todennäköisesti ainakin osittain laitosten välisistä eroista, sillä joistakin kannoista samanikäisten kalojen parvia oli mukana useammalta laitokselta.

Vaikka kaihi oli yleistä, se oli useimmiten varsin lievää. Kaihin yhteenlaskettu peittävyys kaihisen kalan silmissä jäi yleensä selvästi alle 50 %:iin (kaihiluokka <5). Muutamissa merilohen, nierian ja erityisesti harjuksen parvissa kaihin peittävyys oli suurella osalla kaihisia kaloja kuitenkin tätä korkeampi, jolloin kaihia oli myös kalan molemmissa silmissä. Savinon ym. (1993) mukaan molemmanpuoleinen kaihi heikensi harmaanieröiden ruokailutehokkuutta. Savino ym. (1993) eivät kuitenkaan eritelleet kaihin peittävyysastetta. Seppälä ym. (2005) puolestaan havaitsivat kirjolohilla - (*Oncorhynchus mykiss*) tehdyssä kokeessa yksilöiden kiinnisaamiseen tarvittavan vähemmän haavimisyrityksiä loiskaihin peittävyysasteen kasvaessa. Lisäksi Owenin ym. (1993) kolmipiikillä (*Gasterosteus aculeatus*) tekemän tutkimuksen mukaan jo muutama (<10 kpl) silmäloinen voi vaikuttaa kalan huomiokykyyn merkittävästi. Seppälän ym. (2005) ja Owenin ym. (1983) tulokset eivät ole kuitenkaan suora osoitus kaihiluokan ja näkökyvyn välisestä yhteydestä, sillä loiset voivat vaikuttaa kalaan ja mahdollisesti sen saaliisijääntiin muullakin tavoin kuin näkökyvyn kautta (ks. Seppälä ym. 2005). Loisetoman kaihin laajuuden ja kalan näkökyvyn välistä suhdetta ei ole koekellisesti tutkittu. Kaihiluokan ja näkökyvyn välisestä riippuvuudesta ovat kuitenkin epäsuorana viitteenä muun muassa tulokset kaihin peittävyuden ja kalan koon välisestä negatiivisesta suhteesta (mm. Bjerkås ym. 1996, Ersdal ym. 2001). Yllämainittujen tutkimusten perusteella on oletettavaa, että osalla myös tässä työssä havaituista kaihisista kaloista oli terveisiin kaloihin verrattuna heikentynyt näkökyky. Kaihin vaikutus näkökykyyn riippuu kaihin peittävyuden lisäksi mitä todennäköisimmin myös samentuman voimakkuudesta ja sijainnista linssissä.

Kaihin yleisyyttä ja kaihiluokkaa tutkittiin myös suhteessa kalaparven ikään kannoista, joista saatiin samalta laitokselta näytteeksi kaloja vähintään kolmesta ikäluokasta. Systemaattista samansuuntaista suhdetta ei tutkituissa yhdeksässä tapauksessa havaittu kaihin yleisyyden ja kalojen iän välillä. Neljässä tapauksessa löydettiin kuitenkin positiivinen suhde, jollaisen myös Pyllkö ym. (1996) havaitsivat eri-ikäisiä nieröitä tutkiessaan. Kaihiluokalla ei myöskään näyttänyt aineistomme perusteella olevan selkeää yhteyttä kalojen ikään. Laitosten sisäisissä vertailuissa kalan kaihiluokan mediaanin havaittiin korreloivan positiivisesti parven ikäluokan kanssa yhdessä tapauksessa. Otokoko korrelaatioanalyseissä oli kuitenkin varsin rajoitettu (3-7 parvea analyysiä kohden). Kalojen iän ja kaihin välisen suhteen tutkimiseksi eri lajeilla ja kannoilla tarvittaisiin enemmän aineistoa kuin mitä tämän kartoituksen puitteissa oli mahdollista kerätä.

Kaihiluokan ja kalan pituuden välillä löydettiin joitakin positiivisia ja joitakin negatiivisia korrelaatioita parvien sisällä sekä loiskaihin vaivaamilla kaloilla että kaloilla, joilla oli silmissään loisetonta kaihia. Tällaisia tapauksia oli analysoiduista 73 kaihisesta parvesta 13 kappaletta. Suurimmassa osassa parvista tilastollisesti merkitsevää suhdetta ei näin havaittu. Kirjallisuudessa on kuitenkin viitteitä nopeakasvuisuuden aiheuttamasta kaihista, mutta toisaalta kaihituilla kaloilla kasvun on todettu hidastuvan kaihin pahentuessa (Bjerkås ym. 1996, Breck ja Sveier 2001). Tässä työssä kalojen

silmät tutkittiin kustakin parvesta vain yhtenä ajankohtana, joten kaihin ja kasvunopeuden välistä suhdetta ei voitu suoraan tutkia. Epäsuora viittaus kaihin vakavuuden ja kalan kasvun väliseen yhteyteen olisi ollut se, että nuorimmissa ikäluokissa olisi havaittu systemaattisesti positiivinen ja vanhemmissa ikäluokissa negatiivinen suhde kaihiluokan ja kalojen koon välillä. Tällaista tilannetta ei omassa aineistossamme kuitenkaan ilmennyt. Sen sijaan yhdellä kartoituksessa mukana olleista laitoksista havaittiin vastaava muutos kaihin yleisyyden ja keskikoon välillä eri-ikäisillä kaloilla. Keskipainoltaan suurempien (23,71 g) yksivuotiaiden nieriöiden parvessa havaittiin enemmän kaihia kuin pienempien kalojen (12,80 g) parvessa. Tilanne oli päinvastainen kaksivuotiaiden nieriöiden kohdalla. Kaiheja ilmeni eniten keskipainoltaan pienimpien (35,46 g) nieriöiden parvessa, seuraavaksi eniten keskikokoisten (60,65 g) kalojen parvessa ja vähiten suurimmilla yksilöillä (110,71 g). Siten on mahdollista, että ainakin joissain olosuhteissa nopeakasvuiset yksilöt saavat hidaskasvuisia herkemmin kaihin, mutta jäävät myöhemmin jälkeen kasvussa pahentuneen kaihin heikentäessä ravinnonhankintakykyä. Laitosoloissa kalan on kuitenkin yleensä helppoa löytää ravintoa myös altaan pohjalta ja siksi heikentynyt näkökyky ei laitosympäristössä välttämättä aina vaikuta kalan kasvuun. Tämä voi riippua myös kyseessä olevasta lajista ja sen ravinnonhankintatavasta.

Diplostomum-loinen on merkittävä kaihin aiheuttaja luonnonoloissa (Valtonen ja Gibson 1997). Tässä kartoituksessa loista havaittiin viidellä laitoksella, joilla parvissa oli myös keskimäärin enemmän kaihia kuin laitoksilla, joilla loista ei havaittu. Laitoksilla, joilla oli *Diplostomum*-loista, kaihittujen kalojen osuus lähes kaksinkertaistui. Koska loisetonta kaihia esiintyi kaikilla laitoksilla, joilla loiskaihia ei ollut, voidaan olettaa, että sitä esiintyi myös laitoksilla, jossa se *Diplostomum*-loistartunnan takia luokiteltiin loiskaihiksi. Syy kaihisten kalojen määrään selittyy siis mitä todennäköisimmin ainakin osaksi loisten esiintymisellä. On kuitenkin otettava huomioon, että loisetomilla ja loisellisilla laitoksilla viljeltiin pääsääntöisesti eri lajeja/vaellusmuotoja, kantoja ja ikäluokkia eivätkä olosuhteet olleet muutenkaan täysin vertailukelpoiset. Kirjallisuudessa on viitteitä lajien välisestä erosta alttiudessa *Diplostomum*-tartunnalle (Betterton 1974). Vaikka tämän kartoituksen perusteella emme voi osoittaa kalalajien/vaellusmuotojen, kantojen tai perheiden eroa loistartunta-alttiudessa tai loisen aiheuttamassa kaihissa, viittaavat nieriän ja harjuksen loiskaihin yleisyys sekä korkeat loiskaihiluokat näiden lajien herkkyyteen *Diplostomum*-tartunnalle ja sen aiheuttamalle kaihille.

Suomen oloissa syitä loisetoman kaihin kehittymiseen kalanviljelyssä ei toistaiseksi tunneta. Kalojen käsittely, kuten haaviminen, rikkoo silmän pintakudoksia ja aiheuttaa siten vaurioita myös syvemmissä rakenteissa, mutta havaitussa määrin haaviminen ei voi olla ainoa loisetoman kaihin aiheuttaja.

Ravintoperäisiä tekijöitä kaihin aiheuttajina on tutkittu varsin runsaasti ja kaihin kehittymisen syyksi on ehdotettu useiden ravintoaineiden joko liian pientä tai liian suurta määrää. Muun muassa A-vitamiinin, astaxantiinin, C-vitamiinin, histidiinin, kysteiinin, mangaanin, metioniinin, natriumkloridin, rasvan, raudan, riboflaviinin, sinkin, timiinin ja tryptofaanin pitoisuuden rehussa on todettu vaikuttavan kaihin muodostumiseen (Hughes 1985, Waagbo ym. 1996, Staurnes ja Finstad 2000, Breck ym. 2003, Deng ja Wilson 2003, Waagbo ym. 2003, Bjerkås ja Sveier 2004). Viitteet nopeakasvuisuuden aiheuttamasta kaihista (Kincaid ja Elrod 1991, Bjerkås ym. 1996) voivat myös liittyä ravintotekijöihin. Ravintoperäisen kaihin on havaittu kehittyvän samanaikaisesti kalan molempiin silmiin (Hughes 1985). Tässä kartoituksessa vastaavaa ilmiötä ei havaittu, vaan loisettomillakin laitoksilla toispuoleista kaihia esiintyi yleisesti. Tämä voi viitata muiden tekijöiden kuin ravinnon tärkeyteen loisetoman kaihin aiheuttajana, joskaan ravinnon mahdollista merkitystä ei voi kartoituksemme perusteella sulkea pois.

Merilohella tehdyissä tutkimuksissa on todettu smolttiutumiseen nähden vääriäaikaisen suola-altistuksen aiheuttavan silmäsamentumia, jotka kuitenkin palautuvat mikäli suola-altistus ei ole pitkäaikainen (Iwata ym. 1987). Eräällä viljelylaitoksella havaitsimme

kartoituksen yhteydessä saman kannan yhden ikäluokan merilohien silmissä kaihia, mikäli kalassa oli havaittavissa selkeitä smolttiutumisen merkkejä, kuten hopeoitumista ja poikaslaikkujen häviämistä. Mikäli smolttiutumisen merkkejä ei ollut, olivat silmät myös lähes aina terveet. Smolttiutuminen aiheuttaa voimakkaita fysiologisia muutoksia kalan elimistössä (ks. yhteenvetoartikkeli Folmar ja Dickhoff 1980, Thorpe 1994, Kiiskinen 2003). Smolttiutumisen yhteys silmän fysiologisiin muutoksiin (kaihin muodostumiseen) ilman suolavesikontaktia on kiinnostava kysymys, jota ei tiedäksemme vielä ole tutkittu.

Kirjallisuudessa on viitteitä siitä, että loisetoman kaihin taustalla saattaisivat olla perinnölliset tekijät (Kincaid ja Elrod 1991, Wall ja Richards 1992, Ersdal ym. 2001). Varsinaista kokeellista tutkimusta periytyvästä alttiudesta loisetomaan kaihiin ei tiedäksemme ole kuitenkaan tehty. Myöskään laitoskalakannoissa tyypillisesti ilmenevän perinnöllisen monimuotoisuuden köyhtymisen (Price 1984) ja kaihialttiuden yhteyttä ei ole tutkittu. Perinnöllisen monimuotoisuuden ja kalojen elinkykyvyn tai siihen vaikuttavien ominaisuuksien välillä sen sijaan on osoitettu olevan yhteyttä (esim. Primmer ym. 2003). Tämän kartoituksen perusteella perinnöllisen monimuotoisuuden mahdollinen merkitys kaihin synnyssä on mielenkiintoinen, erityisesti saimaannieriän kohdalla. Saimaannieriä näyttäisi kaihiutuvan jo nuorena myös laitoksilla, joilla *Diplostomum*-loista ei havaittu. Saimaannieriän koko laitospopulaatio on perustettu vuosina 1984–1993 Kuolimosta pyydetyistä noin 30 emokalasta. Primmerin ym. (1999) mikrosatelliitti-DNA -tutkimusten perusteella saimaannieriän laitoskannan molekyylogeneettinen muuntelu on käytännössä olematonta. On mahdollista, että perinnöllisillä tekijöillä on osuutensa nierian varhaisessa kaihiutumisessa.

Tutkituilla kalanviljelylaitoksilla ei ilmennyt selvää aihetta epäillä ympäristömyrkkujen (Fraser ym. 1990, Laycock ym. 2000, Lemly 2002) tai lämpötilan vaihtelun (Bjerkås ym. 2001) vaikutusta kaihin muodostumiseen. Muun muassa nierää oli tutkimuksessa mukana lämpötilaolosuhteiltaan erilaisista laitoksista, joilla kaikilla kaihia kuitenkin esiintyi. Varsinaista testausta laitosten välillä ei kuitenkaan tehty mm. niillä vallitsevien erilaisten loisolosuhteiden takia. Erot UV-säteilylle altistumisessa (Doughty ym. 1997, Björnsson 2004) eivät myöskään ole todennäköinen kaihin yleisyyttä tai vakavuutta selittävä tekijä, sillä kalahallien valaistus pidetään kaikilla tutkituilla laitoksilla mahdollisuuksien mukaan hämäränä. On silti mahdollista, että etenkin kaloilla, jotka viettävät osan elämästään ulkoaltaissa, UV-säteily on voinut vaikuttaa kaihin muodostumiseen. Havaitsimme useissa tutkituissa parvissa bakteri-infektioiden merkkejä, kuten ihotulehdusta. Kaihia voivat mahdollisesti aiheuttaa myös kalanviljelylaitoksilla esiintyvät bakteri-infektiot, kuten Bjerkås ym. (2000) ovat arvelleet (ks. myös Koppang ym. 2004).

Tuloksemme viittaavat siihen, että luonnossakin yleisen loiskaihin (Valtonen ja Gibson 1997) lisäksi joko jonkinasteiset silmäamentumat ovat lohikaloissa tavanomaisia ilman loisaltistustakin, tai mitä todennäköisimmin, jokin kalanviljelyyn liittyvä, luonnosta poikkeava tekijä tai olosuhde saa aikaan muutoksia linsin proteiinirakenteessa. Loisetoman kaihin ilmenemisen selvittämiseksi luonnonkaloilla tulisi kerätä näytteitä alueilta, joilla *Diplostomum*-loista ei esiinny.

Vaikka työmme pääasiallinen tarkoitus ei ollut kaihiin vaikuttavien tekijöiden selvittäminen, voidaan tulostemme perusteella kuitenkin suositella joitain toimenpiteitä kaihin välttämiseksi jo sillä perusteella, että loiskaihi oli loisetonta kaihia yleisempi kartoituksessa olevilla viljelylaitoksilla. *Diplostomum spathaceum*, joka luultavimmin on yleisin, ellei ainoa kartoituksessamme havaituista *Diplostomum*-loisista, ei pysty infektoimaan kalan linssiä alle 10 celsiusasteen lämpötilassa (Stables ja Chapell 1986). Yksi keino loisinfektioiden vähentämiseksi olisi alentaa veden lämpötila laitoksissa alle 10 asteeseen. Tämä vaihtoehto tosin sopisi vain kylmässä vedessä viihtyville kaloille, kuten nierialle. Myös veden nopean virtaaman on todettu ehkäisevän loistartuntaa. Stablesin ja Chapellin (1986) mukaan kymmenkertainen virtaus vähensi tartuntaa 30-kertaisesti. Kalanviljelylaitosten ulkoaltaiden kattaminen voisi ainakin osaltaan ehkäistä lokiin ulosteiden mukana kulkeutuvien loisen munien päätyminen kotiloihin.

Myös tällä hetkellä jossain määrin käytössä oleva ulkoaltaiden tyhjentäminen ja kal-kitseminen vaikeuttavat todennäköisesti loisen elinkiertoa tuhoamalla kotilot ainakin väliaikaisesti (ks. myös Rahkonen ym. 2000). Myös *Diplostomum*-loisen toukkien poistaminen veden käsittelyn, kuten mekaanisen suodattamisen avulla, on yksi vaihto-ehto. Mekaanisen suodatuksen eduksi voidaan laskea myös altaiden pysyminen puhtaampina. Myös veden otsonointi tai säteilytys voisi hyödyttää kalankasvatusta paitsi *Diplostomum*-tartunnan estämisen, myös muiden patogeenien karsimisen suhteen. Toisaalta on viitteitä siitä, että veden säteilytys voi myös aiheuttaa loisetonta kaihia (Björnsson 2004), joten menetelmää tulisi tutkia tarkemmin.

Loisettoman kaihien syitä Suomen oloissa ei tunneta, eikä tässä kartoituksessa myöskään ilmennyt tekijöitä, joiden suhteen keinoja loisettoman kaihien vähentämiseksi voisi ilman tarkempia tutkimuksia esittää.

Kiitokset

Prof. Ellen Bjerkås (Norges Veterinærhøgskole) ja Saimaan nieriän silmäsamentumia 90-luvun puolivälissä tutkinut FT Päivi Pylkkö (MTT) opettivat kalojen silmien tutkimista, josta lämmin kiitos heille. Kiitos myös kartoituksessa mukana olleiden laitosten henkilökunnalle kaikesta avusta. Dos. Jorma Piiroselle (RKTL) kiitos lukuisista aiheeseen liittyvistä antoisista keskusteluista.

Projektia ovat rahoittaneet RKTL:n lisäksi Pohjoismaiden ministerineuvosto (Kalan tutkimuksen pohjoismainen työryhmä), Maa- ja metsätalousministeriö, Etelä-Karjalan kulttuurirahasto sekä Suomalainen Konkordia-liitto.

Kirjallisuus

- Betterton, C. 1974. Studies on the host specificity of the eyefluke, *Diplostomum spathaceum*, in brown trout and rainbow trout. *Parasitol.* 69: 11-29.
- Bjerkås, E., Waagbo, R., Sveier, H., Breck, O., Bjerkås, I., Bjørnstad, E. & Maage, A. 1996. Cataract development in Atlantic salmon (*Salmo salar* L) in fresh water. *Acta Vet. Scand.* 37: 351-360.
- Bjerkås, E., Wall, A. E. & Prapas, A. 2000. Screening of farmed sea bass - (*Dicentrarchus labrax* L) and sea bream (*Sparus aurata* L) for cataract. *Bull. Eur. Ass. Fish Pathol.* 20: 180-185.
- Bjerkås, E., Bjørnstad, E., Breck, O. & Waagbo, R. 2001. Water temperature regimes affect cataract development in smolting Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *J. Fish Dis.* 24: 281-291.
- Bjerkås, E., Holst, J. C., Bjerkås, I. & Ringvold, A. 2003. Osmotic cataract causes reduced vision in wild Atlantic salmon postsmolts. *Dis. Aquat. Org.* 55: 151-159.
- Bjerkås, E. & Sveier, H. 2004. The influence of nutritional and environmental factors on osmoregulation and cataracts in Atlantic salmon (*Salmo salar* L). *Aquaculture* 235: 101-122.
- Björnsson, B. 2004. Can UV-treated seawater cause cataract in juvenile cod (*Gadus morhua* L.)? *Aquaculture* 240: 187-199.
- Brassard, P., Rau, M. E. & Curtis, M. A. 1982. Parasite-induced susceptibility to predation in diplostomiasis. *Parasitol.* 85: 495-501.
- Breck, O. & Sveier, H. 2001. Growth and cataract development in two groups of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) post smolts transferred to sea with a four-week interval. *Bull. Eur. Ass. Fish Pathol.* 21: 91-103.
- Breck, O., Bjerkås, E., Campbell, P., Arnesen, P., Haldorsen, P. & Waagbo, R. 2003. Cataract preventive role of mammalian blood meal, histidine, iron and zinc in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) of different strains. *Aquac. Nutr.* 9: 341-350.
- Chappel, L. H., Hardie, L. J. & Secombes, C. J. 1994. Diplostomiasis: the disease and host-parasite interactions. Kirjassa: *Parasitic diseases of Fish*. Samara Publishing. s. 59-86.
- Deng, D.-F. & Wilson, R. P. 2003. Dietary riboflavin requirement of juvenile sunshine bass (*Morone chrysops* ♀ × *Morone saxatilis* ♂). *Aquaculture* 218: 695-701.
- Doughty, M. J., Cullen, A. P. & Monteith-McMaster, C. A. 1997. Aqueous humour and crystalline lens changes associated with ultraviolet radiation of mechanical damage to corneal epithelium in freshwater rainbow trout eyes. *J. Photochem. Photobiol.* 41: 165-172.
- Ersdal, C., Midtlyng, P. J. & Jarp, J. 2001. An epidemiological study of cataracts in seawater farmed Atlantic salmon *Salmo salar*. *Dis. Aquat. Org.* 45: 229-236.
- Folmar, L. c. & Dickhoff, W. W. 1980. The parr-smolt transformation (smoltification) and seawater adaptation in salmonids. *Aquaculture* 21: 1-37.
- Fraser, P. J., Duncan, G. & Tomlinson, J. 1990. Nuvar and cataracts in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Exp. Eye Res.* 50: 443-447.
- Hughes, S. G. 1985. Nutritional eye diseases in salmonids: a review. *Prog. Fish-Cult.* 47: 81-85.
- Iwata, M., Komatsu, S., Collie, N. L., Nishioka, R. S. & Bern, H. A. 1987. Ocular cataract and seawater adaptation in salmonids. *Aquaculture* 66: 315-327.

- Kiiskinen, P. 2003. Smolting of hatchery-reared Saimaa landlocked salmon (*Salmo salar* m. *sebago*): causes and consequences. University of Joensuu, PhD Dissertations in Biology. No: 22. Joensuun yliopistopaino. 92s.
- Kincaid, H. L. & Calkins, G. T. 1991. Rapid classification of nuclear cataracts in lake trout. *Prog. Fish-Cult.* 53: 120-124.
- Kincaid, H. L. & Elrod, J. H. 1991. Growth and survival of stocked lake trout with nuclear cataracts in Lake Ontario. *North Am. J. Fish. Manage.* 11: 429-434.
- Kincaid, H. L. Effects of nuclear cataracts on yearling lake trout stocked in Lake Ontario. 36th Conference of the International Association for Great Lakes Research, June 4-10.1993. Program and Abstracts. P. 129.
- Koppang, E. O., Haugarvoll, E., Hordvik, I., Poppe, T. T. & Bjerkås, I. 2004. Granulomatous uveitis associated with vaccination in the Atlantic salmon. *Vet. Pathol.* 41: 122-130.
- Laycock, N. L., Schirmer, K., Bols, N. C. & Sivak, J. G. 2000. Optical properties of rainbow trout lenses after in vitro exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in the presence or absence of ultraviolet radiation. *Exp. Eye Res.* 70: 205-214.
- Lemly, A. D. 2002. Symptoms and implications of selenium toxicity in fish: the Belews Lake case example. *Aquatic Toxicol.* 57: 39-49.
- Menzies, F. D., Crockford, T., Breck, O. & Midtlyng, P. J. 2002. Estimation of direct costs associated with cataracts in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Bull. Eur. Ass. Fish Pathol.* 22: 27-32.
- Midtlyng, P. J., Ahrend, M., Bjerkås, E., Waagbo, R. & Wall, T. 1999. Current research on cataract in fish. *Bull. Eur. Ass. Fish Pathol.* 19: 299-301.
- Noga, E. J., Wolf, E. D. & Cardeilhac, P. T. 1981. Cataracts in cichlid fish. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 179: 1181-1182.
- Price, e. o. 1984. Behavioral aspects of animal domestication. *Q. Rev. Biol.* 59: 1-32.
- Primmer C. R., Aho, T., Piironen, J. & Ranta, E. 1999. Examination of microsatellite variability in Nordic land-locked arctic charr, *Salvelinus alpinus* populations: implications for conservation. *Hereditas* 130: 277-289.
- Primmer, C. R., Landry, P.-A., Ranta, E., Merilä, J., Piironen, J., Tiira, K., Peuhkuri, N., Pakkasmaa, S. & Eskelinen, P. 2003. Prediction of offspring fitness based on parental genetic diversity in endangered salmonid populations. *J. Fish Biol.* 63: 909-927.
- Pylkkö, P., Pohjanvirta, T. & Pursiainen, M. 1996. Nieriän (*Salvelinus alpinus*) silmäsamentumat. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalantutkimuksia 109. 21s.
- Rahkonen, R., Vennerström, P., Rintamäki-Kinnunen, P. & Kannel, R. 2000. Terve kala: Tautien ennaltaehkäisy, tunnistus ja hoito. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Helsinki. 140 s.
- Ranta, E., Rita, H. & Kouki, J. 1999. *Biometria*. 7. painos. Yliopistopaino, Helsinki. 569 s.
- Savino, J. F., Henry, M. G. & Kincaid, H. L. 1993. Factors affecting feeding behavior and survival of juvenile lake trout in Great Lakes. *Trans. Am. Fish. Soc.* 122: 366-377.
- Seppälä, O., Karvonen, A. & Valtonen, E. T. 2004. Parasite-induced change in host behaviour and susceptibility to predation in an eye fluke–fish interaction. *Anim. Behav.* 68: 257-263.
- Seppälä, O., Karvonen, A. & Valtonen, E. T. 2005. Manipulation of fish host by eye flukes in relation to cataract formation and parasite infectivity. *Anim. Behav.* 70: 889-894.

- Shariff, M., Richards, R. H. & Sommerville, C. 1980. The histopathology of acute and chronic infections of rainbow trout *Salmo gairdneri* Richardson with eye flukes, *Diplostomum* spp. J. Fish Dis. 3: 455-465.
- Stables, J. N. & Chappell, L. H. 1986. *Diplostomum spathaceum* (Rud. 1819): effects of physical factors on the infection of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) by cercariae. Parasitol. 93: 71-79.
- Staurnes, M. & Finstad, B. 2000. The effects of dietary NaCl supplement on hypo-osmoregulatory ability and sea water performance of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) smolts. Aquac. Res. 31: 737-743.
- Thorpe, J. E. 1994. An alternative view of smolting in salmonids. Aquaculture 121: 105-113.
- Valtonen, E. T. & Gibson, D. I. 1997. Aspects of the biology of diplostomid metacercarial (Digenea) populations occurring in fishes in different localities of Northern Finland. Ann. Zool. Fennici 34: 47-59.
- Waagbo, R., Bjerkås, E., Sveier, H., Breck, O., Bjørnstad, E. & Maage, A. 1996. Nutritional status assessed in groups of smelting Atlantic salmon, *Salmo salar* L., developing cataracts. J. Fish Dis. 19: 365-373.
- Waagbo, R., Sveier, H., Breck, O., Bjørnstad, E., Maage, A. & Bjerkås, E. 1998. Cataract formation in smolting Atlantic salmon, *Salmo salar*, fed low and high energy diets. Bull. Eur. Ass. Fish Pathol. 18: 201-205.
- Waagbo, R., Hamre, K., Bjerkås, E., Berge, R., Wathne, E., Lie, O. & Torstensen, B. 2003. Cataract formation in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., smolt relative to dietary pro- and antioxidants and lipid level. J. Fish Dis. 26: 213-229.
- Wall, A. E. & Richards, R. H. 1992. Occurrence of cataracts in triploid Atlantic salmon (*Salmo salar*) on four farms in Scotland. Vet. Rec. 131: 553-557.
- Wall, T. & Bjerkås, E. 1999. A simplified method of scoring cataracts in fish. 1999. Bull. Eur. Ass. Fish Pathol. 19: 162-165.

LIITE 1. Kartoituksessa mukana olleiden eri-ikäisten lohikalalajien/vaellusmuotojen parvikohtaiset otoskoot sekä pituuden ja painon keskiarvot keskihajontoineen kussakin tutkitussa kannassa.

Laji/vaellusm.	Kanta	Ikä	Otoskoko	Pituus (mm)	Keskihajonta	Paino (g)	Keskihajonta	
Nierjä	a	0+	50	39,2	4,8	0,4	0,2	
		0+	50	51,9	3,5			
		1	100	108,6	17,9	9,9	4,3	
			1	50	115,3	14,7	11,2	4,1
			1	150	116,4	12,9	10,4	3,4
			1	50	145,1	14,5	23,7	8,1
			1	50	119,7	12,3	12,8	4,1
			2	50	214,0	32,3	76,0	37,8
			2	50	239,9	23,7	98,6	30,6
			2	50	167,3	12,4	35,5	8,6
			2	50	199,2	16,3	60,7	15,3
			2	50	245,1	16,1	110,7	24,2
			3	50	371,9	34,2	464,8	169,7
			3	42	266,5	14,9	127,0	22,6
		b	4	41	289,1	73,4	298,4	240,8
		c	1	50	123,6	13,5	16,3	6,2
			2	50	233,5	23,8	117,2	34,2
		2	50	242,6	30,9	135,5	56,8	
Harjus	a	1	50	101,8	15,6	8,2	3,9	
		2	50	205,4	27,1	72,6	28,6	
		3	50	270,6	42,7	174,4	67,6	
		4	50	347,5	25,6	361,7	81,1	
		b	2	50	211,2	25,9	82,7	21,6
			4	50	312,2	29,2	259,1	69,6
		c	1	50	125,0	13,8	13,6	4,8
			3	50	311,3	30,7	266,3	78,8
			7	50	622,0	99,0	821,5	166,8
		d	3	50	256,1	21,4	155,0	31,8
		e	1	50	83,5	11,4	3,9	1,6
	3		50	264,3	18,9	184,9	36,9	
Järvitaimen	a	1	50	113,5	10,2	16,7	4,5	
		1	50	125,9	21,6	24,1	8,7	
		2	50	235,1	33,0	165,9	70,4	
		3	50	303,1	38,0	328,9	133,8	
		b	1	50	118,8	17,3	24,4	32,3
			2	50	214,1	33,5	122,8	52,8
			3	50	344,1	31,1	474,0	164,2
		c	1	50	79,6	7,1	5,0	1,3
			3	50	226,6	26,4	131,6	40,6
		d	1	100	73,6	7,3	4,1	1,3
			2	50	134,7	15,7	27,5	28,5
			2	50	174,7	21,6	55,8	21,9
			3	50	205,2	34,2	95,6	47,1
			5	50	470,6	41,2	1314,1	336,4
		e	1	50	73,5	6,1	3,9	1,0
	2		50	136,4	16,6	27,4	9,9	

	f	1	50	96,8	9,6	9,6	2,8
		2	50	168,1	24,4	51,4	21,7
		3	50	251,2	19,3	175,2	47,7
Meritaimen	a	1	50	131,3	22,4	26,4	12,4
		3	50	344,1	37,2	556,2	209,8
	b	1	50	133,9	19,2	27,7	11,7
		2	50	235,0	29,1	167,7	54,9
	c	1	50	132,0	18,2	26,7	12,0
		1	50	82,8	11,4	6,1	2,7
	d	2	50	151,2	24,4	41,0	20,3
		3	50	230,1	25,9	149,3	54,4
	e	3	50	261,9	28,8	182,9	63,8
	f	1	50	75,9	11,0	4,2	1,9
		2	50	161,7	117,4	30,5	13,3
Järvilohi	a	1	50	121,1	21,1	18,2	8,9
		2	50	300,4	43,9	316,2	135,0
		2	50	194,4	21,7	77,0	24,4
		3	50	365,5	40,3	546,8	201,6
Merilohi	a	2	50	266,4	22,5	194,2	45,3
		3	50	372,2	39,7	477,4	133,5
		3	50	346,2	43,5	407,9	151,9
		4	39	419,5	37,0	808,3	230,1
	b	2	50	142,0	24,2	27,9	11,7
		3	50	247,5	38,2	148,8	54,0
	c	1	50	90,9	13,3	7,3	3,2
	d	1	50	72,2	8,5		
		seka	100	481,3	78,2	920,6	439,3
	e	3	50	194,4	36,0	70,4	31,7
		4	50	324,2	43,4	272,7	97,4
	f	1	50	58,7	8,2	1,7	0,8
Harmaanieriä	a	1	50	113,1	10,8	9,9	3,0
		2	50	154,8	17,4	27,8	8,5
		2	50	202,4	18,9	64,6	19,3

LIITE 2. Kaihin peittävyysaste (a) ja kalakohtaista kaihiluokkaa vastaavan peittävyysprosentin laskeminen (b).

a)

Kaihin peittävyysaste	Kaihin peittävyys (%)
1	<10 (1-9)
2	10-49
3	50-75
4	>75 (76-100)

b)

Silmän kaihiaste oik. + vas.	Kalakohtainen kaihiluokka	Minimipeittävyys/ kala (%)	Maksimipeittävyys/ kala (%)	Keskiarvo (%)
0+1	1	0,5	4,5	2,5
0+2	2	5	24,5	
1+1		1	9	12,8
0+3	3	25	37,5	
1+2		5,5	29	21,5
0+4	4	37,5	50	
1+3		26	42	
2+2		10	49	30
1+4	5	38,5	42,5	
2+3		30	62	46
2+4	6	43	75	
3+3		51	75	59
3+4	7	63	87,5	75,3*
4+4	8	76	100	88

Kaihin peittävyysprosentti kalaa kohden laskettiin kutakin kaihiluokkaa vastaavan minimi- ja maksimipeittävyyskeskiarvona (taulukossa tummennetut luvut). *Esimerkiksi kala, jonka silmien kaihiluokat olivat kolme ja neljä, sai minimipeittävyudeksi 63 %:a ja maksimipeittävyudeksi 87,5 %:a, jolloin kaihin peittävyyskeskiarvo on 75,3 %.