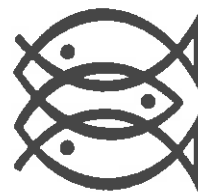


RIISTA-JA KALATALOUDEN TUTKIMUSLAITOS

KALATUTKIMUKSIA- FISKUNDERSÖKNINGAR



54
1992



RIISTA-JA KALATALOUDEN TUTKIMUSLAITOS

KALATUTKIMUKSIA- FISKUNDERSÖKNINGAR



Vastaava toimittaja: Lauri Urho

Toimittajat: Irma Kolari, Marja-Liisa Koljonen, Antti Lappalainen, Riitta Rahkonen, Atso Romakkaniemi, Matti Salminen, Lena Söderholm-Tana, Pirkko Söderkultalahti ja Aune Vihervuori

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
Kalantutkimusosasto
Kalanviljelyosasto
PL 202
00151 Helsinki

puh. 90 - 624 211
telex 19101236 vdx sf
telefax 90 - 631 513
telebox tbx668

Kalatutkimuksia – Fiskundersökningar sarjassa julkaistaan kalatalouteen liittyviä tutkimuksia, suunnitelmia, raportteja, selvityksiä, lausuntoja, esitelmiä sekä tutkimusten aineistoja tai muita vastaavia kirjoituksia. Julkaisukielenä ovat pääsääntöisesti suomi ja ruotsi. Kirjoitusohjeita on saatavilla Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen tietopalvelussa (PL 202, 00151 Helsinki).

Julkaisun jakelusta päätetään kunkin numeron osalta erikseen. Julkaisua koskevat tiedustelut osoitetaan tietopalveluun.

Kalatutkimuksia – Fiskundersökningar on jatkoa sarjoille: "Maataloushallituksen kalataloudellinen tutkimustoimisto. Monistettuja julkaisuja" (no:t 1–42) ja "Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja" (no:t 1–98), "Tiedonantoja" (no:t 1–24) ja "Meddelanden" (no:t 1–21).

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen kalantutkimusosaston ja kalanviljelyosaston muut julkaisusarjat ovat "Finnish Fisheries Research" ja "Suomen Kalatalous".

Ansvarig redaktör: Lauri Urho

Redaktörer: Irma Kolari, Marja-Liisa Koljonen, Antti Lappalainen, Riitta Rahkonen, Atso Romakkaniemi, Matti Salminen, Lena Söderholm-Tana, Pirkko Söderkultalahti och Aune Vihervuori

Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet
Fiskeriforskningsavdelningen
Fiskodlingsavdelningen
PB 202
00151 Helsingfors

tel. 90 - 624 211
telex 19101236 vdx sf
telefax 90 - 631 513
telebox tbx668

I serien Kalatutkimuksia – Fiskundersökningar publiceras undersökningar, planer, rapporter, utredningar, utlåtanden, föredrag samt forskningsmaterial eller motsvarande artiklar som behandlar fiskerihushållningen. Publikationsspråket är i huvudsak finska och svenska. Skrivinstruktioner kan erhållas från Vilt- och fiskeriforskningsinstitutets informationstjänst (PB 202, 00151 Helsingfors).

Publikationens distribuering fastställs skilt för varje nummer. Förfrågningar angående tidskriften bör riktas till informationstjänsten.

Kalatutkimuksia – Fiskundersökningar är en fortsättning på "Maataloushallituksen kalataloudellinen tutkimustoimisto. Monistettuja julkaisuja" (nr 1–42) ja "Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja" (nr 1–98), "Tiedonantoja" (nr 1–24) och "Meddelanden" (nr 1–21).

Övriga publikationsserier från Vilt- och fiskeriforskningsinstitutets fiskeriforskningsavdelning och fiskodlingsavdelning är "Finnish Fisheries Research" och "Suomen Kalatalous".

RIISTA- JA KALATALOUDEN TUTKIMUSLAITOS
KALATUTKIMUKSIA – FISKUNDERSÖKNINGAR

No 54

1992

Yhdennetyn ympäristöseurannan järvien koekalastukset

Aimo Järvinen, Martti Rask, Eero Niemelä, Jari Raitaniemi ja Timo Turunen

**Lapin happamoitumistutkimus - taimenen poikastutkimukset
Lutto- ja Paatsjoen vesistöalueilla**

Jaakko Erkinaro, Eero Niemelä ja Martti Rask

Iso Valkjärven vesikemialliset ja biologiset tutkimukset

**Marko Järvinen, Martti Rask, Kirsi Kuoppamäki, Erkki Makkonen,
Jukka Ruuhijärvi ja Lauri Arvola**

**Kalkituksen akuutit vaikutukset ahvenen ja pitkäaikaiset
vaikutukset siian elintoiintoihin Isossa Valkjärnessä**

Pekka Vuorinen, Seppo Peuranen, Marja Vuorinen ja Martti Rask

**Kalakantojen kehitys Etelä-Suomen pienissä happamoituneissa
järvissä kalkituksen jälkeisinä vuosina**

Jari Raitaniemi, Martti Rask, Aimo Järvinen ja Kari Nyberg

**Suomalaisten suhtautuminen vesistöjen happamoitumisen
torjuntatoimenpiteisiin**

Antti Lappalainen

Helsinki 1992

**Kalkituksen akuutit vaikutukset ahvenen ja pitkäaikaiset
vaikutukset siian elintoimintoihin Isossa Valkjärvessä**

**Pekka Vuorinen¹, Seppo Peuranen¹, Marja Vuorinen¹
ja Martti Rask²**

**¹Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
Kalantutkimusosasto
Helsinki**

**²Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
Evon kalastuskoeasema
Evo**

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	63
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	
2.1. Ahven	64
2.2. Siika	66
2.3. Tilastolliset menetelmät	67
3. TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU	
3.1. Ahven	67
3.2. Siika	70
4. JOHTOPÄÄTÖKSET	77
KIITOKSET	77
TIIVISTELMÄ	78
SAMMANDRAG	79
KIRJALLISUUS	80

1. JOHDANTO

Lammilla sijaitseva Iso Valkjärvi jaettiin 3.5.1991 muovilla kahteen puoliskoon, joista läntinen puolisko kalkittiin kalsiumkarbonaattijauheella 21.5.1991. Luontaisesti järvessä esiintyy ahventa ja haukea; siikaa sinne on istutettu viimeksi vuonna 1988. Särkeäkin järvessä on ollut, mutta se on hävinnyt.

Vesistöjä on kalkittu esimerkiksi Ruotsissa jo kauan. Kalkituksen vaikutuksista meillä tavallisten järvikalalajien elintoimintoihin ei kuitenkaan tiedetä kovin paljon. Laajasaa happamoitumista käsitelleessä kokouksessa, joka pidettiin Glasgow'ssa syksyllä 1990, juuri todettiin tällaisen tiedon puute. Kokouksessa pidetyistä noin sadasta esityksestä, jotka koskivat kalkituksen biologisia vaikutuksia, vain muutama käsitteli kalkituksen fysiologisia vaikutuksia kaloihin.

Kalkituksen jälkeen mm. alumiinin on arveltu voivan sakkautua kalan kiduksiin ja tukehduttaa sen (Dickson 1983). Lohien ja taimenten kidukset vaurioituivat ja kalojen ionisäätely häiriytyi kun niitä sumputettiin happaman ja kalkitun jokiveden sekoittumisvyöhykkeessä (Rosseland ym. 1992). Todennäköisin syy kidusten vaurioitumiseen oli alumiinin sakkautuminen kidusten pintaan. Sakkautuminen johtuu todennäköisimmin alumiinin liukoisuuden muuttumisesta pH:n muuttuessa sekä mahdollisesti kompleksoitumisesta kalsiumin kanssa. Suomesta on yksi havainto siitä, että kaloja olisi kuollut pian kalkituksen jälkeen (Raitaniemi ja Rask 1990). Joissakin kalkituissa järvissä kevään sulamisvedet ovat aiheuttaneet kalakuolemia (Nyberg 1984). Pääosin kalkituksen vaikutukset ovat kuitenkin suotuisia kaloille, mm. happamuudelle herkkien lajien lisääntymisen on todettu onnistuneen kalkituksen jälkeen (Nyberg 1984, Janicki ja Greening 1988, Raitaniemi ja Rask 1990, Degerman ja Appelberg 1992, Howells ym. 1992, Lacroix 1992). Kalkituksen seurauksena suurta veden kalsiumpitoisuutta tarvitsevien lajien (esim. särki)

asema kilpailussa paranee veden alhaista kalsiumpitoisuutta sietävien lajien (esim. ahven) kustannuksella (Weatherley 1988).

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia kalkituksen akuutteja vaikutuksia ahveneen heti kalkitusta seuraavana päivänä, jolloin kiinnitettiin erityisesti huomiota vaikutuksiin kiduksissa ja ionisäätelyssä sekä veren hapenkuljetusominaisuuksissa. Pitkäaikaisia vaikutuksia tutkittiin siikaan puolisen vuotta kalkituksen jälkeen. Koska kolme vuotta aikaisemmin istutetut siikat olivat nyt tulossa sukukypsiksi, havainnoitiin niiden lisääntymisvalmiutta. Aikaisemmin on tutkittu happamuudelle ja alumiinille laboratoriossa altistettujen (Vuorinen ym. 1990) ja happamiin järviin istutettujen (Tuunainen ym. 1990) siikojen mädin kehittymistä ja ovulaation onnistumista sekä kiduksia, ionisäätelyä ja kasvua.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1. Ahven

Ahvenet pyydettiin katiskoilla. Sukukypsiä ahvenia sumputettiin (sumpun halkaisija 0,8 m ja syvyys 0,9 m) ennen kalkitusta jakomuovin kummallakin puolella 1 - 6 vrk. Ahvenia otettiin näytteeksi vuorokausi kalkituksen jälkeen, 22.5.1991. Sekä happamalta että kalkitulta puolelta näytteet otettiin 11 naaraasta ja 11 koiraasta. Happaman puolen pH kentällä mitattuna oli näytteenottopäivänä 5,55 ja kalkitun puolen 8,59; veden laatu on esitetty taulukossa 1. Kalat nukutettiin yksi kerrallaan (3 min) MS-222 -liuoksessa ($0,13 \text{ g l}^{-1}$), jonka pH säädettiin NaHCO_3 :lla vastaamaan järven veden pH:ta. Kalat mitattiin ja punnittiin (taulukko 2) ja iän määrittämistä varten irrotettiin operculum (ahvenet olivat 4 - 8 -vuotiaita). Kuntokerroin laskettiin kaavalla $K = 100 * (\text{paino, g}) / (\text{pituus, cm})^3$. Veri- ja kudokset otettiin (lihas ja gonadit) otto ja jatkokäsittely tehtiin kuten aikaisemminkin (Vuorinen ym. 1990). Kidusten pintaan sitoutuneen

alumiinin osoittamista varten irrotettiin kiduskaari, upotettiin 20 minuutiksi hematoksyliini-natriumjodaatti -väriin (Havas 1986), minkä jälkeen se huuhdeltiin tislatusella vedellä ja säilöttiin 70 %:een etanoliin. Toinen kiduskaari kestäväitettiin 4 %:sella puskuroidulla formaldehydiliuoksella ja

Taulukko 1. Vesianalyysituloksia kevään ahven- ja syksyn siikanäytteenotosta. Vesinäyte otettiin keväällä sumppujen vierestä ja syksyllä aivan rannasta.

	KALKITTU	HAPAN
KEVÄT		
pH, 25°C	8,34	5,40
Alk., mmol l ⁻¹	0,171	0,007
Kov., mmol l ⁻¹	0,132	0,048
Ca ²⁺ , mmol l ⁻¹	0,125	0,016
Väri, mg Pt l ⁻¹	40	40
Johtok., mS m ⁻¹	3,0	1,5
COD, Mn mg l ⁻¹	7,2	7,0
Al _{tot} , µg l ⁻¹	29	21
Fe, µg l ⁻¹	312	259
SYKSY		
pH, 25°C	6,31	5,62
Alk., mmol l ⁻¹	0,448	0,108
Kov., mmol l ⁻¹	0,322	-
Ca ²⁺ , mmol l ⁻¹	0,100	0,024
Väri, mg Pt l ⁻¹	40	50
Johtok., mS m ⁻¹	5,5	2,2
COD, Mn mg l ⁻¹	4,2	4,9
Al _{tot} , µg l ⁻¹	22	36
Fe, µg l ⁻¹	148	143

Taulukko 2. Ahventen keskipituus, -paino ja kuntokerroin (\pm SE). Kalojen lukumäärä suluissa.

	KALKITTU	HAPAN
KOIRAAT		
pituus, cm	15,8 \pm 0,23 (11)	16,1 \pm 0,3 (11)
paino, g	34,8 \pm 5,0 (11)	34,7 \pm 7,0 (11)
kuntokerr.	0,88 \pm 0,01 (11)	0,83 \pm 0,02 (11)
NAARAAT		
pituus, cm	17,1 \pm 1,2 (11)	17,0 \pm 1,7 (11)
paino, g	41,4 \pm 9,4 (11)	40,9 \pm 13,7 (11)
kuntokerr.	0,82 \pm 0,01 (11)	0,81 \pm 0,01 (11)

jatkokäsiteltiin kuten tutkimuksessa Vuorinen ym. (1990). Limasolujen ja alumiinitäplien määrät kidusepiteelissä las-kettiin lamellia kohti.

2.2. Siika

Siiat pyydettiin pauneteilla. Siikoja sumputettiin (sumpun halkaisija 1,9 m ja syvyys 1,8 m) ennen näytteenottoa 1 - 4 viikkoa. Siioista otettiin näytteet 11.11.1991. Kalkitulta puolelta saatiin näytteet vain 5 siikakoiraasta ja happamalta puolelta samoin viidestä koiraasta sekä lisäksi 7 naaraasta. Happaman puolen pH oli näytteenoton yhteydessä mitattuna 5,74 ja kalkitun puolen 6,64; veden laatu on esitetty taulukossa 1. Näytteet otettiin siioista samoin kuin ahvenista, paitsi iän määrittystä varten otettiin kylkisuomuja (siiat olivat kaikki 3-vuotiaita).

2.3. Tilastolliset menetelmät

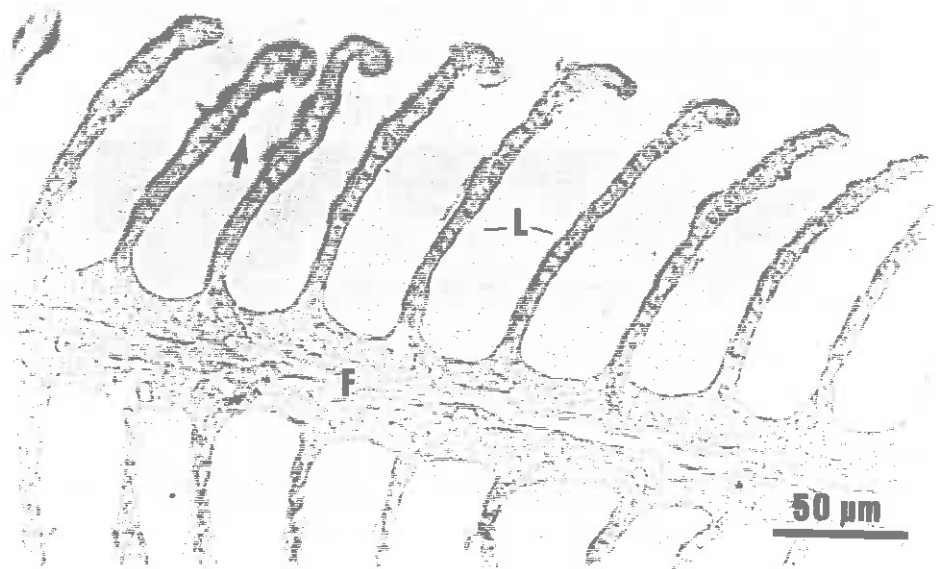
Muuttujien välisiä eroja happaman ja kalkitun puolen välillä testattiin yksisuuntaisella varianssianalyysillä ja ryhmien muuttujien keskiarvojen välisiä eroja Scheffén testillä ($p < 0,05$). Tilastolliseen testaukseen käytettiin SAS-ohjelmistoa (SAS 1988).

3. TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

3.1. Ahven

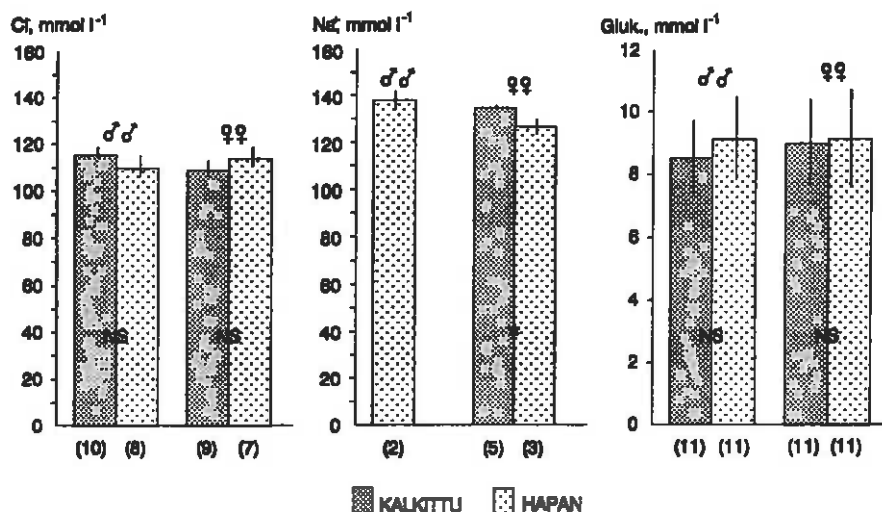
Kalkituksella ei ollut akuuttia vaikutusta ahventen kidusten epiteelin rakenteeseen. Hematoksyliini-natriumjodaatilla värjäytyneitä täpliä tavattiin kiduslehtien ja kiduslehdyköiden epiteelissä yhtä paljon jakomuovin molemmilla puolilla sumputetuissa ahvenissa. Kiduskudoksessa tavatut täplät tunnistettiin värin perusteella alumiiniksi. Alumiinia on löydetty myös happamista järvistä pyydettyjen ahventen kiduksista (Vuorinen ym. 1992) sekä laboratorioaltistuksissa happamassa vedessä myös siialla (Vuorinen ym. 1990).

Kalkitun puolen ahventen lamellien pinnalla oli ohut kerros värjäytyneitä sakkaa (kuva 1). Koska kalkitulla puolella alumiinin kokonaispitoisuus oli $29 \mu\text{g l}^{-1}$ ja raudan $312 \mu\text{g l}^{-1}$, osa ahvenen kidusten pintaan saostuneesta aineksestä saattoi olla rautaa. Sakkautuminen näkyi selvästi myös näytteenoton yhteydessä tehdyssä kiduskaaren värjäyksessä. Weatherley ym. (1991) löysivät rautaa happaman ja kalkitun joen sekoittumisvyöhykkeessä sumputettujen taimenien kiduksista, mutta he eivät kyenneet arvioimaan raudan osuutta myrkkyyvaikutuksen synnyssä. Raudan vaikutuksia kalojen ionisäätelyyn tunnetaan huonosti (McDonald ym. 1989). Taimenen kidusten kuitenkin todettiin vaurioituvan kun veteen lisättiin rautaa (2 mg l^{-1}) ilman orgaanista ainetta (Peuranen ym., julkaisematon). Weatherleyn ym. (1991) kokeissa sumputettujen taimenten kuolleisuutta aiheutti todennäköisimmin



Kuva 1. Ahvenen kidusten epiteeliä kalkitulta puolelta vuorokauden kuluttua kalkituksesta. Lamellien pinnalla on ohut alumiinivärillä värjäytynyt kerros (nuoli). F = filamentti, L = lamelli.

kiduksiin sitoutunut alumiini. Kidusepiteelin pintaan saostuvan alumiinin on happamassa vedessä arveltu vaurioittavan epiteeliä, jolloin ionisäätely häiriintyy (Playle ym. 1989). Tässä tutkimuksessa happaman ja kalkitun puolen ahvennaarilla oli plasman natriumpitoisuudessa merkitsevä ero, joskin vertailtavien yksilöiden määrä oli pieni. Plasman kloridipitoisuudessa kuten ei myöskään veren glukoosipitoisuudessa ollut tilastollisesti merkitsevää eroa kalkitun ja happaman puolen välillä (kuva 2). Koska järven pH-arvo ei ollut ennen kalkitusta erityisen alhainen ja veden alumiinipitoisuus oli varsin pieni, happamuutta hyvin kestävä ahvenen ionisäätely lienee toiminut moitteettomasti ennen kalkitus-takin. Kidusten pinnalla ollut sakka ei vaikeuttanut kalkitun puolen ahventen hapen saantia, sillä hapenkuljetusta kuvaavissa suureissa (Hb, Hkr, MCHC) ei ollut merkitseviä



Kuva 2. Ahventen plasman kloridi- ja natriumpitoisuus sekä veren glukoosipitoisuus kalkitulla ja happamalla puolella vuorokauden kuluttua kalkituksesta. Keskiarvo \pm SE. * = tilastollisesti merkitsevä ero ($p < 0,05$) puoliskojen välillä. NS = ero ei tilastollisesti merkitsevä. Pylväiden alla sulussa tutkittujen yksilöiden lukumäärä.

eroja kalkitun ja happaman puolen ahventen välillä (taulukko 3).

On esitetty, että alumiinin saostuminen kiduksiin kalkituksen yhteydessä on kaloille haitallista ja johtaa jopa kuolemaan (Gunn ja Geller 1984); kuolemia onkin havaittu (Dickson 1983, Raitaniemi ja Rask 1990, Rosseland ym. 1992). Dicksonin (1983) tutkimuksessa kalanviljelylaitoksessa havaittiin kalakuolemia kevättalvella kalkituksen jälkeen, jolloin tulevan järiveden kokonaisalumiinipitoisuus oli enimmillään $700 \mu\text{g l}^{-1}$. On kuitenkin tutkimuksia, joissa veden suuresta alumiinipitoisuudesta huolimatta kalkituksella on ollut suotuisa vaikutus kalojen elintoimintoihin (Whitehead ja Brown 1989: $455 - 654 \mu\text{g l}^{-1}$; Brown ym. 1990: $261 \mu\text{g}$

l⁻¹; Lacroix 1992: 150 µg l⁻¹). Yksikään sumputetuista ahvenista ei kuollut Ison Valkjärven kalkituksen seurauksena.

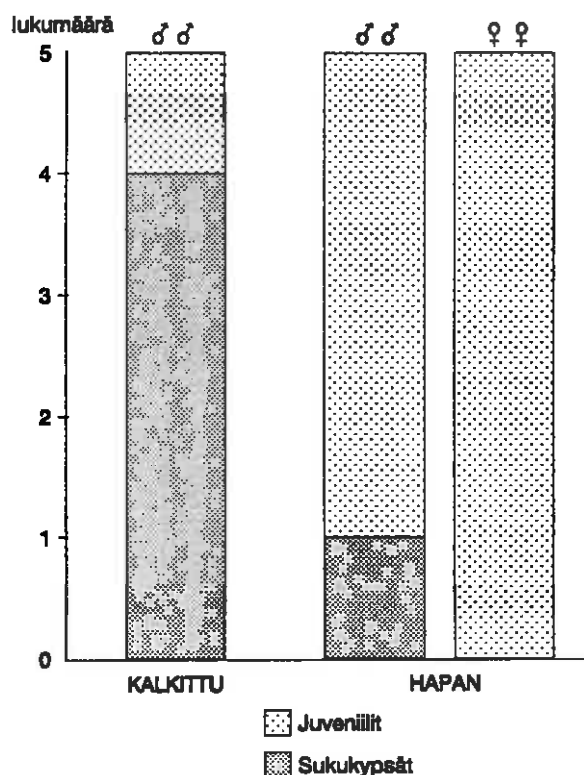
Taulukko 3. Ahventen veren hematokriittiarvo (Hkr), hemoglobiinipitoisuus (Hb) ja punasolujen keskimääräinen hemoglobiinipitoisuus (MCHC) (keskiarvo ± SE) vuorokauden kuluttua kalkituksesta. Kalojen lukumäärä suluissa.

	KALKITTU	HAPAN
KOIRAAT		
Hkr	0,41 ± 0,01 (11)	0,40 ± 0,02 (11)
Hb, g l ⁻¹	95,9 ± 3,3 (11)	86,0 ± 5,4 (11)
MCHC	223,2 ± 4,7 (11)	219,5 ± 4,3 (11)
NAARAAT		
Hkr	0,41 ± 0,01 (11)	0,39 ± 0,01 (11)
Hb, g l ⁻¹	87,7 ± 4,0 (11)	89,0 ± 2,5 (11)
MCHC	215,9 ± 6,6 (11)	227,4 ± 4,3 (11)

3.2. Siika

Kalkitus saattoi edistää sukukypsyyden saavuttamista. Viidestä kalkitulta puolelta pyydetyistä siikakoiraasta 4 oli sukukypsiä ja yksi juveniili, happamalla puolella suhteet olivat päinvastoin (kuva 3). Kalkitulta puolelta ei saatu naaraita saaliiksi, mutta happaman puolen viidestä naaraasta yksikään ei ollut sukukypsä. Pitkäaikaisessa siikojen laboratorioaltistuksessa (Vuorinen ym. 1990) havaittiin ainakin

jonkinasteista ovulaation viivästymistä kun pH oli 5,75 ja alumiinipitoisuus $150 \mu\text{g l}^{-1}$; selvästi ovulaatio viivästyi pH:ssa 4,75. Kalsiumaineenvaihdunnan häiriintyminen naarailla on yksi mahdollinen kutua viivästyttävä tekijä (Beamish ym. 1975, Mount ym. 1988, Vuorinen ym. 1992). Laboratorioaltistuksen siikanaaraiden plasman kalsiumpitoisuus oli $3,0 - 3,5 \text{ mmol l}^{-1}$, kun se vertailuryhmässä oli noin 4 mmol l^{-1} (Vuorinen ym. 1990). Isosta Valkjärvestä pyydettyjen kutemattomien siikanaaraiden plasman kalsiumpitoisuuden keskiarvo oli $2,4 \text{ mmol l}^{-1}$.



Kuva 3. Sukukypsien ja juveniilien siikojen lukumäärä juuri ennen kutuaikaa kalkitulla ja happamalla puolella yli viisi kuukautta kalkituksen jälkeen. Naaraita ei saatu näytteeksi kalkitululta puolelta.

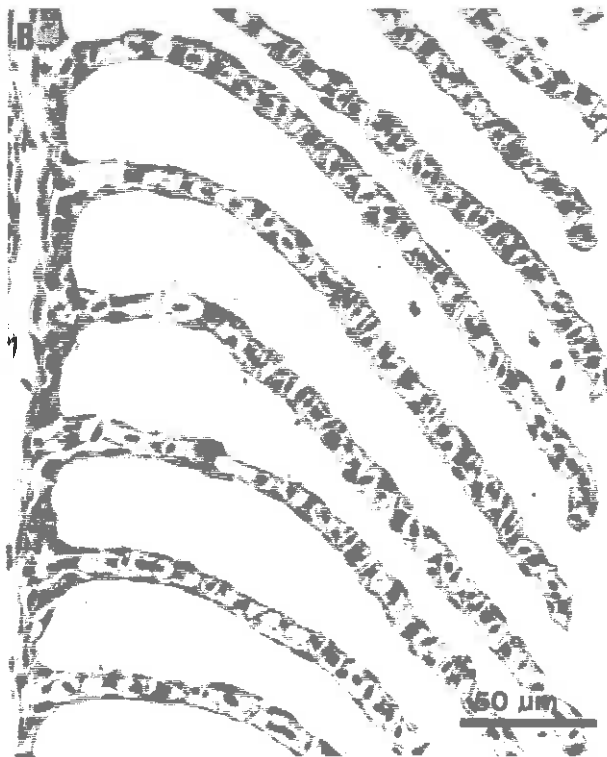
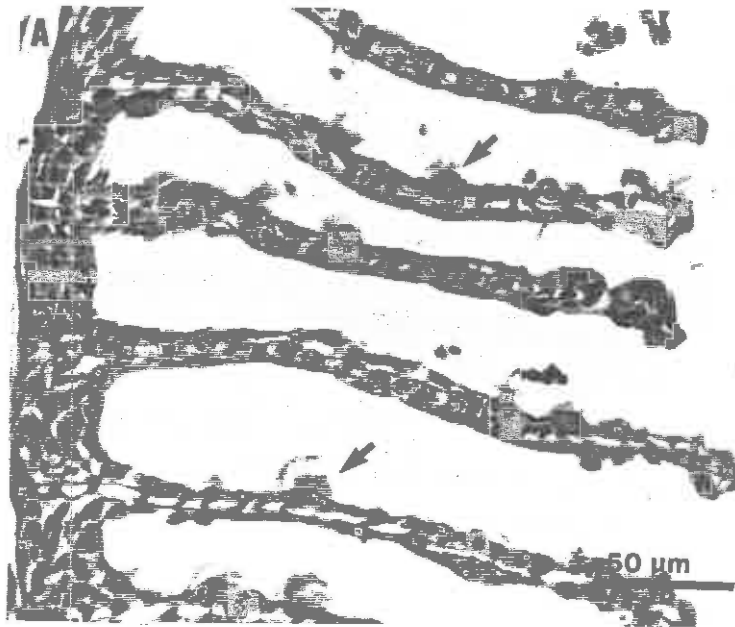
Runsaat viisi kuukautta kalkituksen jälkeen siikakoiraiden keskipituus ja -paino olivat kalkitulla puolella merkitsevästi ($p < 0,05$) suurempia kuin happamalla puolella, (taulukko 4). Parempi kasvu johtunee stressin vähenemisestä, sillä ravintoeläinten määrissä tai lajistossa ei juuri ollut eroja järven puoliskojen välillä kalkituksen jälkeisenä kesänä ja syksynä (Järvinen ym., tässä niteessä). Laboratoriossa altistettujen järvikutuisten siikojen kasvu hidastui happamuuden ja alumiinin vaikutuksesta (Vuorinen ym. 1990). Koekalastusaineistojen (15 järveä) perusteella voitiin myös havaita, että siikat kasvoivat nopeammin järvissä, joiden pH oli $> 5,5$ kuin sellaisissa järvissä, joiden pH oli $< 5,5$ (Rask ym. 1988). Toisaalta happamaan järveen (pH 4,6, Al_{tot}

Taulukko 4. Siikojen keskipituus, -paino ja kuntokerroin (\pm SE) yli viisi kuukautta kalkituksen jälkeen. Eri kirjain yläindeksinä tarkoittaa tilastollisesti merkitsevää ($p < 0,05$) eroa järven puoliskojen välillä. Kalojen lukumäärä suluissa.

	KALKITTU	HAPAN
KOIRAAT		
pituus, cm	$37,0 \pm 0,6^a$ (5)	$34,2 \pm 0,8^b$ (5)
paino, g	$454,4 \pm 37,8^a$ (5)	$330,0 \pm 25,5^b$ (5)
kuntokerr.	$0,88 \pm 0,03^a$ (5)	$0,82 \pm 0,02^a$ (5)
NAARAAT		
pituus, cm	-	$35,8 \pm 0,7$ (5)
paino, g	-	$371,4 \pm 13,3$ (5)
kuntokerr.	-	$0,81 \pm 0,03$ (5)

noin $150 \mu\text{g l}^{-1}$) kesänvanhoina istutetuilla siioilla painon suureneminen oli nopeampaa kuin lähes neutraaliin järveen istutetuilla siioilla (Rask ym. 1992). Kuitenkaan happaman järven siikojen pituus ei eronnut neutraalimman järven siikojen pituudesta ja happaman järven siikojen ionisäätely oli häiriytynyt ja kalat olivat veltoja. Happaman järven siikojen nopeamman painon lisäyksen syyn pääteltiin olleen vähäisemmän ravintokilpailun happamassa järvessä (Tuunainen ym. 1990). Suomessa happamien järvien kalkituksen on havaittu parantavan erityisesti särjen (Raitaniemi ja Rask 1990) ja jonkin verran myös ahvenen (Raitaniemi ja Rask 1992) kasvua. Happaman jokiveden kalkitus paransi lohen kasvua (Brown ym. 1990).

Siian kidusten epiteeli oli sekä happamalla että kalkitulla puolella normaalin näköinen. Happamalla puolella siian kidusten epiteelissä limasolut olivat kuitenkin suurempia kuin kalkitulla puolella ja lisäksi runsaammin erittäviä (kuva 4). Limasolujen määrässä ei sen sijaan ollut tilastollisesti merkitsevää eroa kalkitun ($2,5 \pm 1,0$) ja happaman puolen ($3,9 \pm 0,5$) välillä. Samoin happamassa jokivedessä pidettyjen lohien kidusten limasolut olivat suurempia kuin kalkitussa vedessä pidettyjen lohien limasolut (Jagoe ja Haines 1990). Limasolujen määrä ja koko suurenevät puronieriällä (*Salvelinus fontinalis*) vedessä, jonka pH oli 5,2 ja Al_{tot} $75 \mu\text{g l}^{-1}$ (Mueller ym. 1991). Mueller ym. (1991) tulkitsivat limasolujen määrän ja koon suurenemisen suojaavan kaloja alumiinin vaikutuksilta, sillä kidusepiteelin pinnalla oleva lima mm. lisää diffuusioetäisyyttä eläimestä ympäristöön ja vähentää näin ionien passiivista ulosvuotoa. Kidusten limanerityksen lisääntyminen on yksi keino, jolla lohensukuisten kalojen ionisäätely voi jossain määrin sopeutua - eli kala akklimoitua - alumiinia sisältävään veteen (McDonald ym. 1991, Mueller ym. 1991). Siian kidusepiteeliin ei ollut sitoutunut lainkaan alumiinia edes happamalla puolella, mikä johtunee osittain veden alhaisesta alumiinipitoisuudesta



Kuva 4. Siian kidusta (A) happamalla ja (B) kalkitulla puolella yli viisi kuukautta kalkituksen jälkeen. Li-masolut olivat happaman puolen siioissa suuria ja runsaammin erittäviä (nuolet). Alsiansini-PAS -värjäys.

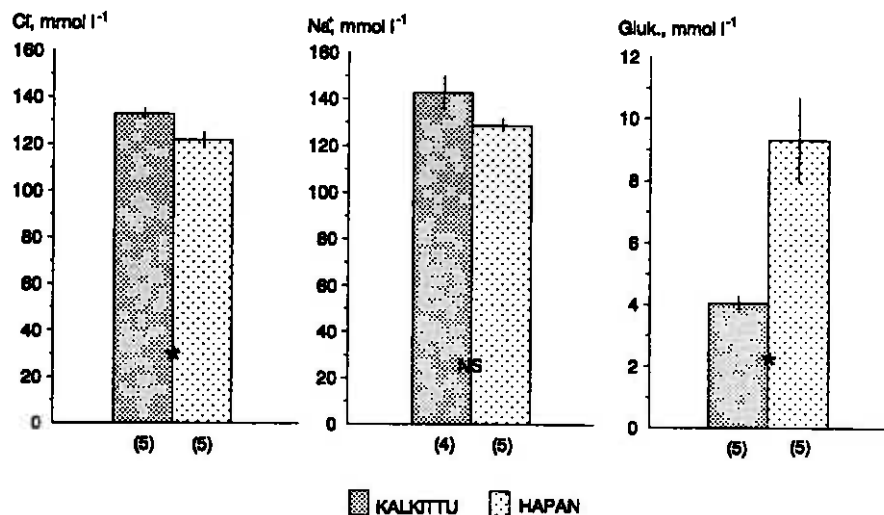
sekä etenkin suhteellisen korkeasta pH:sta, mutta myös mahdollisesti alumiinin huuhtoutumisesta liman mukana pois (Handy & Eddy 1989). Runsas liman erityys saattaa kuitenkin heikentää hapen saantia (Walker ym. 1991).

Siikojen verestä mitattujen suureiden perusteella arvioituna hapen saanti ei ollut vaikeutunut kummallakaan puolella (taulukko 5). Kalkitun puolen siikojen limasolujen pienempi koko viittaa siihen, että happamassa vedessä kiduksiin kohdistunut ärsytys oli lieventynyt kalkituksen myötä. Sakkaa ei kidusten pinnalta tavattu.

Taulukko 5. Siikojen veren hematokriittiarvo (Hkr), hemoglobiinipitoisuus (Hb) ja punasolujen keskimääräinen hemoglobiinipitoisuus (MCHC) (keskiarvo \pm SE) yli viisi kuukautta kalkituksen jälkeen. Kalojen lukumäärä suluissa.

	KALKITTU	HAPAN
KOIRAAT		
Hkr	0,35 \pm 0,01 (5)	0,37 \pm 0,00 (5)
Hb, g l ⁻¹	95,3 \pm 4,5 (5)	97,7 \pm 1,7 (5)
MCHC	270,8 \pm 4,3 (5)	262,6 \pm 4,6 (5)
NAARAAT		
Hkr	-	0,38 \pm 0,01 (7)
Hb, g l ⁻¹	-	104,7 \pm 2,9 (7)
MCHC	-	273,8 \pm 2,1 (7)

Kalkitus helpotti jonkin verran siikojen ionisäätelyä, mikä näkyy suurempana plasman kloridi- ja natriumpitoisuutena kalkitun puolella kaloissa (kuva 5). Lihaksen vesipitoisuus oli kalkitulla puolella tilastollisesti merkitsevästi pienempi ($p < 0,05$) kuin happamalla puolella (kalkittu $79,1 \pm 0,2$ %; hapan $80,9 \pm 0,2$ %), mikä sekin ilmaisee parempaa ionisäätelyä kalkitulla puolella (Neville 1979). Kalkituksen on todettu vaikuttavan edullisesti myös lohen (Rosseland ym. 1986, Brown ym. 1990) ja taimenen (Leivestad ja Muniz 1976, Whitehead ja Brown 1989) ionisäätelyyn. Siian veren glukoosipitoisuuden todettiin kohonneen laboratorioaltistuksessa happamuuden ja alumiinin vaikutuksesta (Vuorinen ym. 1990). Glukoosipitoisuuden suurenemisen arvellaan liittyvän myös plasman osmolarisuuden säilyttämiseen kun plasman ionipitoisuudet ovat pienentyneet (Scherer ym. 1986). Siian veren glukoosipitoisuuden selvä pieneneminen kalkitulla puolella (kuva 5) ilmentäneen näin ollen happamuuden aiheuttaman stressin vähentymistä.



Kuva 5. Siikakoiraiden plasman kloridi- ja natriumpitoisuus sekä veren glukoosipitoisuus kalkitulla ja happamalla puolella yli viisi kuukautta kalkituksen jälkeen. Ks. selitykset kuvan 2 tekstistä.

4. JOHTOPÄÄTÖKSET

Kalkituksella ei ollut akuuttia vaikutusta ahveneen, vaikka kalkitun puolen ahventen kidusten pinnalla todettiin sakkaa. Kalkitus paransi siikojen ionisäätelyä ja kasvua sekä mahdollisesti nopeutti kutukypsyyden saavuttamista, mikä osoitti siikojen kärsineen jonkinasteisesta happamoitumisen aiheuttamasta stressistä ennen kalkitusta.

KIITOKSET

Kiitämme Evon kalastuskoeaseman henkilökuntaa avusta kalojen pyydystyksessä ja sumputuksessa sekä kalantutkimusosaston laboratorion henkilökuntaa näytteiden analysoinnista.

TIIVISTELMÄ

Kalkituksen akuutteja vaikutuksia sukukypsiin ahveniin tutkittiin vuorokauden kuluttua kalkituksesta ja kalkituksen pitkäaikaisia vaikutuksia siikoihin noin kuuden kuukauden kuluttua kalkituksesta. Ahvenista ja siioista tutkittiin vaikutuksia kiduksiin, ionisäätelyyn ja veren hapenkuljetusominaisuuksiin. Verestä määritettiin glukoosipitoisuus sekä punasolujen tilavuusosuus (hematokriittiarvo) ja keskimääräinen hemoglobiinipitoisuus ja plasmasta Cl^- , Na^+ ja Ca^{2+} -ionien pitoisuudet. Kidusten histologisista leikkeistä tutkittiin kidusepiteelin rakennetta ja alumiinin sitoutumista kiduksiin. Lihasnäytteestä määritettiin vesipitoisuus. Siistä tutkittiin lisäksi lisääntymisvalmiutta (juveniili/sukukypsä) ja kasvua. Tutkimukset tehtiin Lammilla sijaitsevalla happamoituneella Isolla Valkjärvellä, joka oli jaettu muovilla kahteen puoliskoon. Toinen puoli kalkittiin kalsiumkarbonaattijauheella toukokuun lopulla 1991.

Kalkitun puolen ahventen kidusten pinnalla todettiin jonkin verran sakkaa, johon oli mahdollisesti sitoutunut alumiinia ja/tai rautaa. Tästä huolimatta ei veren hapenkuljetuskykyä mittaavissa suureissa ollut eroa happamaan puoleen verrattuna. Kalkitun puolen ahventen kidusten epiteelin limasolut olivat pienempiä kuin happamalla puolella, mutta muuten kidusten rakenteessa ei havaittu eroja eikä ionisäätely ollut häiriintynyt. Kalkitulla puolella siikakoiraiden plasman kloridipitoisuus oli suurempi ja veren glukoosipitoisuus pienempi. Neljä kalkitun puolen viidestä siikakoiraasta oli sukukypsiä, kun happamalla puolella sukukypsiä oli vain yksi viidestä. Siiat kasvoivat kalkitulla puolella nopeammin kuin happamalla puolella.

SAMMANDRAG

Kalkningens akuta effekter på köns mogna abborrar undersöktes ett dygn efter utförd kalkning och dess långvariga effekter på sikar ca sex månader efter åtgärden. Man undersökte effekter på gälar, jonreglering och blodets syretransportförmåga på abborrar och sikar. Glukoshalten, volymandelen röda blodkroppar (hematokritvärdet), och det genomsnittliga hemoglobinvärdet undersöktes ur blodprov och halterna av Cl^- , Na^+ och Ca^{2+} ur plasmavprov. Gälepitellets struktur och bindningen av aluminium till gälarna undersöktes via histologiska gälslutt. Vattenhalten bestämdes med hjälp av muskelvävnadsprov. Hos siken undersöktes därtill förökningsmognad (juvenil / köns mogen) och tillväxt. Undersökningarna utfördes i den försurade sjön Iso Valkjärvi i Lammi, som delats upp i två hälften med hjälp av en plasthinna. Den ena delen kalkades med kalciumkarbonatpulver i slutet av maj 1991.

I den kalkade delen upptäcktes en viss mängd fällning, eventuellt innehållande bundet aluminium, på abborrarnas gälytor. Blodets syretransportförmåga uppvisade dock inga mätbara skillnader jämfört med i den sura delen av sjön. I den kalkade delen var de mukösa cellerna på abborrarnas gälepitel mindre än i den sura delen, men i övrigt upptäcktes inga skillnader i gälstrukturen och regleringen av jonbalansen var inte heller störd. I den kalkade delen visade sikhannarnas plasma ett större kloridinnehåll och blodet en lägre glukoshalt. Fyra av fem hanar i den kalkade delen var köns mogna, mot endast en av fem i den sura delen. Sikarna växte snabbare i den kalkade delen än i den sura.

KIRJALLISUUS

- Beamish, R. J., Lochart, W. L., Van Loon, J. C. & Harvey, H. H. 1975. Long term acidification of a lake and resulting effects on fishes. *Ambio* 4, s. 98 - 102.
- Brown, S. B., Evans, R. E., Majewski, G. B., Sangalang, G. B. & Klaverkamp, J. F. 1990. Responses of plasma electrolytes, thyroid hormones, and gill histology in Atlantic salmon (*Salmo salar*) to acid and limed river waters. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47, s. 2431 - 2440.
- Degerman, E. & Appelberg, M. 1992. The response of stream-dwelling fish to liming. *Environ. Pollut.* 78, s. 149 - 155.
- Dickson, W. 1983. Liming toxicity of aluminium to fish. *Vatten* 39, s. 400 - 404.
- Gunn, J. M. & Geller, W. 1984. In situ manipulation of water chemistry using crushed limestone and observed effects on fish. *Fisheries* 9, s. 19 - 24.
- Handy, R. D. & Eddy, F. B. 1989. Surface absorption of aluminium by gill tissues and body mucus of rainbow trout, *Salmo gairdneri*, at the onset of episodic exposure. *J. Fish Biol.* 34, s. 865 - 874.
- Havas, M. 1986. A hematoxylin staining technique to locate sites of aluminium binding in aquatic plants and animals. *Water Air Soil Pollut.* 30, s. 735 - 741.
- Howells, G., Dalziel, T. R. K. & Turnpenny, A. W. H. 1992. Loch Fleet: liming to restore a brown trout fishery. *Environ. Pollut.* 78, s. 131 - 139.
- Jagoe, C. H. & Haines, T. A. 1990. Morphometric effects of low pH and limed water on the gills of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47, s. 2451 - 2460.
- Janicki, A. & Greening, H. S. 1988. The effects of stream liming on water chemistry and anadromous yellow perch spawning success in two Maryland coastal plain streams. *Water Air Soil Pollut.* 41, s. 359 - 383.

- Lacroix, G. L. 1992. Mitigation of low stream pH and its effects on salmonids. *Environ. Pollut.* 78, s. 157 - 164.
- Leivestad, H. & Muniz, I. 1976. Fish kill at low pH in a Norwegian river. *Nature (Lond.)* 259, s. 391 - 392.
- McDonald, D. G., Reader, J. P. & Dalziel, T. R. K. 1989. The combined effects of pH and trace metals on fish ionoregulation. Teoksessa: R. Morris, E. W. Taylor, D. J. A. Brown & J. A. Brown (toim.) *Acid toxicity and aquatic animals. Society for experimental biology, seminar series 34.* Cambridge. s. 221 - 242.
- McDonald, D. G., Wood, C. M., Rhem, R. G., Mueller, M. E., Mount, D. R. & Bergman, H. L. 1991. Nature and course of acclimation to aluminium in juvenile brook trout (*Salvelinus fontinalis*). I. Physiology. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48, s. 2006 - 2015.
- Mount, D. R., Hockett, J. R. & Gern, W. A. 1988. Effect of long-term exposure to acid, aluminium, and low calcium on adult brook trout (*Salvelinus fontinalis*). 2. Vitellogenesis and osmoregulation. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45, s. 1633 - 1642.
- Mueller, M. E., Sanchez, D. A., Bergman, H. L., McDonald, D. G., Rhem, R. G. & Wood, C. M. 1991. Nature and time course of acclimation to aluminium in juvenile brook trout (*Salvelinus fontinalis*). II. Gill histology. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48, s. 2016 - 2027.
- Neville, C. 1979. Sublethal effects of environmental acidification on rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Fish. Res. Bd. Can.* 38, s. 84 - 87.
- Nyberg, P. 1984. Effects of liming on fisheries. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 305, s. 549 - 560.
- Playle, R. C., Goss, G. G. & Wood, C. M. 1989. Physiological disturbances in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) during acid and aluminium exposures in soft water of two calcium concentrations. *Can. J. Zool.* 67, s. 314 - 324.

- Raitaniemi, J. & Rask, M. 1990. Preliminary observations on the effects of liming to the fish populations of small acidic lakes in southern Finland. *Aqua Fennica* 20, s. 115 - 123.
- Raitaniemi, J. & Rask, M. 1992. Observations on the development of fish populations in small acidified lakes in southern Finland during a four-year period after liming. EIFAC/XVII/92/Symp.E34 (käsikirjoitus).
- Rask, M., Vuorinen, P. J., Raitaniemi, J., Lappalainen, A. & Peuranen, S. 1992. Whitefish stocking in acidified lakes: ecological and physiological responses. *Hydrobiol.*, (painossa).
- Rask, M., Vuorinen, M. & Vuorinen, P. J. 1988. Whitefish stocking: an alternative in mitigating acidification effects? *Finnish Fisheries Research* 9, s. 489 - 495.
- Rosseland, B. O., Skogheim, O. K., Abrahamsen, H. & Matzow, D. 1986. Limestone slurry reduces physiological stress and increases survival of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in an acidic Norwegian river. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43, s. 1888 - 1893.
- Rosseland, B. O., Blakar, I. A., Bulger, A., Kroglund, F., Kvellstad, A., Lydersen, E., Oughton, D. H., Salbu, B., Staurnes, M. & Vogt, R. 1992. The mixing zone between limed and acidic river waters: complex aluminium chemistry and extreme toxicity for salmonids. *Env. Pollut.* 78, s. 3 - 8.
- SAS Institute Inc. 1988. *SAS/STAT User's Guide*. Release 6.03 Edition. Cary, NC, USA. 1028 s.
- Scherer, E., Harrison, S. E. & Brown, S. B. 1986. Locomotor activity and blood plasma parameters of acid-exposed lake whitefish, *Coregonus clupeaformis*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43, s. 1556 - 1561.
- Tuunainen, P., Vuorinen, P. J., Rask, M., Järvenpää, T., Vuorinen, M. & Niemelä, E. 1990. Happaman laskeuman vaikutukset kaloihin ja rapuihin. Raportti vuodelta 1989. English summary: Effects of acidic deposition on fish and crayfish. Report 1989. Helsinki, Riista-

- ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto. Monistettu ja julkaisu 84. 103 s.
- Vuorinen, P. J., Vuorinen, M. & Peuranen, S. 1990. Long-term exposure of adult whitefish (*Coregonus wartmanni*) to low pH/aluminium: effects on reproduction, growth, blood composition and gills. Teoksessa: P. Kauppi, P. Anttila, & K. Kenttämies (toim.) Acidification in Finland. Springer-Verlag. s. 941 - 961.
- Vuorinen, P. J., Vuorinen, M., Peuranen, S., Rask, M., Lappalainen, A. & Raitaniemi, J. 1992. Reproductive status, blood chemistry, gill histology and growth of perch (*Perca fluviatilis*) in three acidic lakes. Environ. Pollut. (painossa).
- Walker, R. L., Wood, C. M. & Bergman, H. L. 1991. Effects of long-term preexposure to sublethal concentrations of acid and aluminium on the ventilatory response to aluminium challenge in brook trout (*Salvelinus fontinalis*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 48, s. 1989 - 1995.
- Weatherley, N. S. 1988. Liming to mitigate acidification in freshwater ecosystems: A review of the biological consequences. Water Air Soil Pollut. 39, s. 421 - 437.
- Weatherley, N. S., Rutt, G. P., Thomas, S. P. & Ormerod, S. J. 1991. Liming acid streams: aluminium toxicity to fish in mixing zones. Water Air Soil Pollut. 55, s. 345 - 353.
- Whitehead, C. & Brown, A. 1989. Endocrine responses of brown trout, *Salmo trutta* L., to acid, aluminium and lime dosing in a Welsh hill stream. J. Fish Biol. 35, s. 59 - 71.