

*Kimmo Somppi
Jari Raitaniemi
Martti Rask*

Kalkituksen vaikutukset särki- ja ahvenkantoihin
Etelä-Suomen happamoituneissa pikkujärvissä



RIISTA- JA KALATALOUDEN TUTKIMUSLAITOS
KALATUTKIMUKSIA – FISKUNDERSÖKNINGAR

No 112

1996

Kalkituksen vaikutukset särki- ja ahvenkantoihin
Etelä-Suomen happamoituneissa pikkujärvissä

Kimmo Somppi, Jari Raitaniemi ja Martti Rask

Helsinki 1996

Vastaava toimittaja: Lauri Urho

Kansi: Kalkkia levitetään veteen lautalta. (Kuva: Martti Rask.)

Sisäsivujen kuvat: Jari Raitaniemi (s. 7), Martti Rask (s. 27).

Kirjoittajat ovat vastuussa kirjoituksensa sisällöstä, eikä se välttämättä edusta Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen virallista kantaa.

ISBN 951-776-074-4

ISSN 0787-8478

Oy Edita Ab

Helsinki 1996

Julkaisija

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos

Julkaisu-aika

Lokakuu 1996

Tekijä(t)

Kimmo Somppi, Jari Raitaniemi ja Martti Rask

*Julkaisun nimi***Kalkituksen vaikutukset särki- ja ahvenkantoihin Etelä-Suomen happamoituneissa pikkujärvissä***Julkaisun laji*

Tutkimusraportti

Toimeksiantaja

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos

*Toimeksiantopäivämäärä**Projektin nimi ja numero*

Happamoitumisen aiheuttamien kala- ja rapuhaittojen torjunta 202 095

Tiivistelmä

Työssä tutkittiin kalkituksen vaikutuksia särki- ja ahvenkantoihin kymmenessä laskeumaperäisesti happamoituneessa Etelä-Suomen pikkujärvessä. Ahven on happamoitumisen suhteen melko kestävä laji, kun taas särki on yksi herkimmistä. Järvissä tehtiin koekalastetuksia 8 verkon sarjalla, jossa verkkojen silmäkoot olivat 12-60 mm. Ennen kalkitusta syntyneiden ja eläneiden sekä kalkituksen jälkeen syntyneiden särkien kasvuja verrattiin toisiinsa. Lisäksi verrattiin särjen kasvua eri vuosiluokkien välillä toisen ikävuoden aikana. Ahvenella tutkittiin kasvukauden vuosittaisten keskilämpötilojen ja kalkituksen vaikutusta ensimmäisen kesän kasvuun. Veden pH-arvot nousivat kaikissa järvissä heti kalkituksen jälkeen, mutta muutoksen voimakkuudessa ja kestossa oli kuitenkin huomattavia eroja. Vesikemiallisesti kalkitus onnistui parhaiten Suurilammessa ja Haarajärven Valkjärvessä, jotka neutraloituivat selkeästi usean vuoden ajaksi. Lähes kaikissa järvissä kalkituksen jälkeen syntyneet särjet kasvoivat nopeammin kuin ennen kalkitusta eläneet. Suurilammessa ja Rukojärvessä särjen lisääntymistulos parani ja Suurilammessa särkikanta vahvistui niin voimakkaasti, että siitä tuli valtalaji ja ahvenkanta taantui. Ahvenen lisääntymistulokseen kalkituksella ei näyttänyt olevan vaikutusta. Kalkituksen vaikutuksesta ahvenen kasvuun ei saatu yksiselitteistä tulosta.

Kalkituksista ei tutkituissa järvissä koitunut selvää kalastuksellista hyötyä, lukuun ottamatta joissakin järvissä mahdollisesti tapahtunutta haukikannan voimistumista. Happamoituneet järvemme ovat yleensä vain lievästi happamoituneita, jolloin esim. ahvenen lisääntyminen ei ole häiriintynyt. Jos tällaisessa järvessä on säilynyt särkikanta, kalkituksen näkyvin vaikutus on useimmiten särkikannan elpyminen. Kalkituksia ei siis ole syytä toteuttaa summittain, vaan neutralointitarvetta arvioitaessa on huomioitava mm. järven kalakantojen tila ja kalkituksesta kalastajille koituva hyöty.

Asiasanat

ahven, särki, kasvu, happamoituminen, kalkitus

Sarjan nimi ja numero

Kalatutkimuksia — Fiskundersökningar 112

ISBN

951-776-074-4

ISSN

0787-8478

Sivumäärä

41 s. + 9 liites.

Kieli

suomi

Hinta

50 mk

Luottamuksellisuus

Julkinen

*Myynti*Edita-kirjakauppa
Annankatu 44
00100 Helsinki*Kustantaja*Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
PL 202
00151 Helsinki

Puh. (09) 566 0566 Fax (09) 566 0570

Puh. (09) 228 811 Fax (09) 631 513

PRESENTATIONSBLAD

Utgivare

Vilt- och fiskeriforskningsinstitut

Utgivningsdatum

Oktober 1996

Författare

Kimmo Somppi, Jari Raitaniemi och Martti Rask

Publikationens namn

Kalkningens effekter på mört- och abborrbestånd in södra Finlands försurade sjöar

Typ av publikation

Forskningsrapport

Uppdragsgivare

Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet

Datum för uppdragsgivandet

Projektnamn och -nummer

Bekämpning av fisk- och kräftskador förorsakade av försurning (202 095)

Referat

I arbetet undersöktes kalkningens effekter på mört- och abborrbestånd i tio genom nedfall försurade småsjöar i södra Finland. Abborren är en relativt tålig art beträffande försurning, medan mört är en av de känsligaste. I sjöarna gjordes provfiske med 8 näts serier, i vilka nätens maskstorlek var 12-60 mm. Tillväxten hos mörtar vilka fötts och levt innan kalkningen jämfördes med tillväxten hos de vilka fötts efter kalkningen. Dessutom jämfördes tillväxten hos olika årsklasser av mört under det andra levnadsåret. Hos abborren undersöktes tillväxtperiodens årliga medeltemperatur och kalkningens effekter på den första sommaren tillväxt. Vattnets pH-värden steg i samtliga sjöar genast efter kalkningen, men i förendringens storlek och varaktighet fanns märkbara skillnader. Ur vattenkemiska synpunkt lyckades kalkningen bäst i Suurilampi och i Haarajärvis Valkjärvi, vilka klart neutraliserades för flere års tid. I nästan alla sjöar växte mörtarna vilka fötts efter kalkningen snabbare än de vilka levt före kalkningen. I Suurilampi och Rukojärvi förbättrades mörtens förökningsresultat och i Suurilampi ökade mörtbeståndet så kraftigt att mört blev den dominerande arten och abborrbeståndet gick tillbaka. På abborrens förökningsresultat verkade kalkningen inte ha någon effekt. För kalkningens inverkan på abborrens tillväxt fann man ingen entydig förklaring.

Av kalkningarna uppstod ingen klar nytta för fisket, förutom det möjliga uppsvinget av gäddbeståndet i vissa sjöar. Våra försurade sjöar är i allmänhet endast svagt försurade och därmed är inte t.ex. abborrens reproduktion störd. Om mörtbeståndet finns kvar i en sådan sjö är kalkningens synligaste effekt troligen en återhämtning av mörtbeståndet. Kalkningar bör alltså inte utföras på måfå, utan vid en bedömning av neutraliseringsbehovet bör bl.a. tillståndet hos fiskbestånd och nytta av kalkningen för fiskarna beaktas.

Nyckelord

abborre, mört, tillväxt, försurning, kalkning

Seriens namn och nummer

Kalatutkimuksia – Fiskundersökningar 112

ISBN

951-776-074-4

ISSN

0787-8478

Sidoantal

41 s.

Språk

finska

Pris

50 mk

Sekretessgrad

Offentlig

Försäljning

Edita-bokhandel

Annegatan 44

00100 Helsingfors

Tel. (09) 566 0566 Fax (09) 566 0570

Förlag

Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet

PB 202

00151 Helsinki

Tel. (09) 228 811 Fax (09) 631 513

DOCUMENTATION PAGE

Published by
Finnish Game and Fisheries Research Institute

Date of Publication
October 1996

Author(s)
Kimmo Somppi, Jari Raitaniemi and Martti Rask

Title of Publication
The Effects of Liming on Roach and Perch Populations of Small Acidified Lakes in Southern Finland

Type of Publication
Research Report

Commissioned by
Finnish Game and Fisheries Research Institute

Date of Research Contract

Title and Number of Project
Priventing the damages of fish and crayfish stocks caused by acidification (202 095)

Abstract

The effects of liming on roach and perch populations were studied in 10 small acidified lakes in southern Finland. Unlike the fairly resistant perch, roach is one of the most acid-sensitive of our fish species. The fish were caught with a series of eight gill nets, in which the mesh sizes were from 12 to 60 mm from knot to knot. The growth of the roach that had lived before liming was compared with the growth of the roach born after liming. The growth of roach during the second year of life was also compared between different cohorts. The effect of the annual mean temperature on the growth of 0+ perch was studied.

In every lake pH rose after liming, but there were marked differences in the strength and duration of the effect. Chemically, the best results of liming were obtained in lakes Suurilampi and Haarakjärven Valkjärvi, where the neutralization effect lasted several years. In nearly every lake, the roach grew faster after liming than before liming. The reproduction success of roach improved clearly in two lakes, Suurilampi and Rukojärvi, of which the former became dominated by roach and its perch became scarce. Liming did not have clear effects on the reproduction of perch, nor were the effects on growth unambiguous.

The benefit of the liming for recreational fishing was questionable, excluding the probable strengthening of some pike populations, which was considered a positive change. The acidification of Finnish forest lakes has in most cases been only moderate, due to which the population structure of the most usual fish species, perch, has not been affected. If roach has survived in the lake, its population may recover, which may, through fisherman's eyes, decrease the value of the lake. So, when considering neutralization the needs of the people, and the probable effects and the advantage of the liming, are to be taken into account.

Key words

roach (*Rutilus rutilus*), perch (*Perca fluviatilis*), growth, acidification, liming

Series (key title and no.)
Kalatutkimuksia — Fiskundersökningar 112

ISBN
951-776-074-4

ISSN
0787-8478

Pages
41 p + 9 Appendix p

Language
Finnish

Price
50 FM

Confidentiality
Public

Distributed by
Oy Edita Ab
Book-shop
Annankatu 44
FIN-00100 Helsinki, Finland
Phone +358 9 566 0566 Fax +358 9 566 0570

Publisher
Finnish Game and Fisheries Research Institute
P.O.Box 202
FIN-00151 Helsinki, Finland
Phone +358 9 228 811 Fax +358 9 631 513

Sisällys

1 JOHDANTO	1
2 AINEISTO JA MENETELMÄT	4
2.1 TUTKIMUSJÄRVIÄ PIRKANMAALLA, ETELÄ-HÄMEESSÄ JA KAAKKOIS-SUOMESSA	4
2.2 KALKKIKIVIAUHETTA JÄÄLLE JA SUORAAN VETEEN.....	6
2.3 KOEKALASTUKSET KESÄKERROSTUNEISUUDEN AIKAAN	13
2.4 IÄN JA KASVUN MÄÄRITYKSET	13
2.5 TILASTOLLISET MENETELMÄT	14
3 TULOKSET.....	15
3.1 AHVEN YLEISIN KALALAJI KOEKALASTUSSAALIISIA	15
3.2 NUORET IKÄRYHMÄT ILMAANTUIVAT SÄRKISAALIISIIN	17
3.3 SÄRJEN KASVU NOPEUTUI KALKITUKSEN JÄLKEEN.....	17
3.4 VAIKUTUKSET AHVENEN KASVUUN VÄHÄISIÄ	19
3.4 SÄRJEN LISÄÄNTYMINEN PARANI PAIKOIN, AHVENELLA EI MUUTOKSIA	22
4 TARKASTELU	26
4.1 KALKITUKSEN VAIKUTUKSISSA HUOMATTAVIA EROJA JÄRVIEN VÄLILLÄ.....	26
4.2 VERKKOJEN VALIKOIVUUS VAIKUTTAÄ SAALIISIIN	28
4.3 KALALAJISTO ENNEN JA JÄLKEEN KALKITUKSEN	29
4.4 SÄRKI VOI SYRJÄYTTÄÄ AHVENEN	29
4.5 AHVENEEN VAIKUTTAVAT TUOTANNON KASVU JA LISÄÄNTYVÄ RAVINTOKILPAILU	31
5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET	32
6 YHTEENVETO.....	33
KIITOKSET	34
KIRJALLISUUS.....	35
LIITTEET 1-11	

1 JOHDANTO

Fossiilisten polttoaineiden käytöstä aiheutuva vesistöjen laskeumaperäinen happamoituminen on vakava ympäristöongelma laajoilla alueilla mm. Etelä-Skandinaviassa ja Pohjois-Amerikassa (Schofield 1976, Somers & Harvey 1984, Henriksen ym. 1989, Appelberg ym. 1992). Mm. Ruotsissa arvioidaan olevan noin 13 700 ihmisen toiminnan seurauksena happamoitunutta järveä, joista herkimvät kalalajit ovat hävinneet (Bernes 1991). Suomessa happamoitumisen arvellaan vaikuttaneen noin 2 200—4 400 kalakannan kasvuun tai rakenteeseen, ja näistä valtaosa on särkikantoja (Rask ym. 1995c). Eniten kärsineet vesistöt sijaitsevat keskisellä ja läntisellä Uudellamaalla, Pirkanmaalla ja Kaakkois-Suomessa. Happamoitumiselle herkimpiä vesistöjä ovat erityisesti pienet ja karut latvajärvet, joilla on pieni valuma-alue ja joiden sijaintialueilla hapan laskeuma on suuri (Raitaniemi ym. 1992). Kalasto näissä eteläisen Suomen pienissä järvissä koostuu yleisistä lajeista, eikä happamoitumisen voida katsoa uhkaavan yhdenkään kalalajin kuulumista Etelä-Suomen eläimistöön. Meillä suurin osa taantuneista ja hävinneistä kalakannoista on happamoitumiselle herkkiä särkikantoja. Useat muutkin särkikalat, sekä ahven, hauki, made, siika ja muikku, ovat paikoitellen kärsineet vesistöjen happamoitumisesta (Rask & Tuunainen 1990, Tuunainen ym. 1991).

Se, miten kalat kestävät happamoitumista riippuu veden pH-arvosta, alumiinipitoisuudesta ja muista vedenlaatutekijöistä, kuten kalsiumpitoisuudesta (Tuunainen ym. 1991). Kaloille myrkyllisten alumiinin muotojen pitoisuudet kasvavat happamoitumiselle herkkien järvien vedessä pH:n laskiessa (Brown & Sadler 1989). Kalsium ilmeisesti vähentää happamuuden vaikutusta sekä aikuisiin kaloihin (Wood & McDonald 1987), että varhaisiin kehitysvaiheisiin (Tuunainen ym. 1991).

Happamoituminen vaikuttaa kalakantojen rakenteeseen yleensä ensimmäiseksi lisääntymisen kautta. Ahven sietää melko voimakastakin happamoitumista ja pystyy lisääntymään vielä vesissä, joiden pH on jatkuvasti alle 5. Särki on huomattavasti herkempi ja sen kannoissa näkyy muutoksia jo pH-arvoissa 5,5—6,0 (Tuunainen ym. 1991). Kun lisääntyminen häiriintyy, nuorten ja pienten kalojen osuus vähenee. Tämä havaitaan ikä- ja kokojakaumien muuttumisena. Happamissa järvissä kalat ovat keskimäärin isompia ja vanhempia kuin lähempänä neutraalia olevissa järvissä (Raitaniemi ym. 1988). Jos lisääntyminen epäonnistuu monien vuosien ajan, kalakanta häviää kokonaan. Bergquistin (1991) mukaan lajien häviämiseen happamoituneista järvistä vaikuttavat seuraavat tekijät: lajin herkkyys alhaiselle pH:lle, veden laatu, järven koko, maantieteellinen sijainti ja lajien väliset vuorovaikutussuhteet, kuten kilpailu ja saalistus. Lappalainen ym. (1988) havaitsivat merkintä- ja takaisinpyyntitutkimuksilla voimakkaasti happamoituneiden järvien ahvenkantojen olevan selvästi harvempia kuin lievemmin happamoituneissa järvissä.

Tuunaisen ym. (1991) mukaan kalalajien määrän ja happamoitumisen välillä on selvä yhteys: HAPRO- tutkimuksessa happamimmista järvistä ($\text{pH} < 5,0$) saatiin yhtä tai kahta lajia (yleisimmin ahventa, mutta myös kiiskeä ja haukea), kun taas lähempänä neutraalia olevista järvistä ($\text{pH} > 6,0$) saatiin yleensä 3—5 lajia. Myös Almer ym. (1978), Appelberg ym. (1989) ja Degerman ym. (1992) ovat havainneet korrelaation lajilukumäärän ja ennen kalkitusta mitatun alhaisimman pH-arvon välillä. Ahvenkannoissa tapahtuneita muutoksia havaittiin järvissä, joiden pH oli keskimäärin 5,0 (vaihteluväli 4,8—5,5) ja särkikannoissa vastaavasti pH-arvossa 5,8 (vaihteluväli

5,3—6,4). Järvissä, joista ahven oli hävinnyt pH oli keskimäärin 4,8 (vaihteluväli 4,8—4,9), ja särjen osalta vastaavat arvot olivat 5,5 ja 5,2—6,0 (Tuunainen ym. 1991).

Koska meillä laskeumaperäisestä happamoitumisesta ovat toistaiseksi kärsineet vain pienet metsäjärvet, happamoitumisen aiheuttama mahdollinen kalataloudellinen haitta ilmenee lähinnä virkistyskalastusmahdollisuuksien heikentymisenä happamoitumisesta kärsineillä tiheään asutuilla seuduilla (Rask 1992). Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen vuoden 1991 valtakunnallisen virkistyskalastuskyselyn yhteydessä kartoitettiin 18—80 -vuotiaiden suomalaisten mielipiteitä happamoitumisen torjuntatoimenpiteistä, jotka toteutuessaan tapahtuisivat pääasiassa yhteiskunnan ja kaikkien kuluttajien kustannuksella. Tutkimuksen mukaan 60 % suomalaisista olisi valmiita siihen, että kalkituksia ryhdyttäisiin kustantamaan yhteiskunnan kustannuksella. Noin 30 % suomalaisista olisi valmiita kalkitsemaan vesistöjä myös siinä tapauksessa, että särki olisi ainoa kalkituksista hyötyvä kalalaji (Lappalainen 1992).

Happamien typpi- ja rikkipäästöjen rajoittamista pidetään ainoana keinona happamoitumisongelman ratkaisemiseksi. Rikkipäästöt ovat pienentyneet Etelä-Suomessa 1970-luvun lopulta lähtien (Laurila 1990, Leinonen 1993). Vaikka järvien sulfaattipitoisuudet alkoivat laskea Lounais-Suomen järvissä 1980-luvulla, myös laskeumaperäiset emäskationipitoisuudet laskivat, eikä happamoitumiskehityksen havaittu pysähtyvän (Roila 1992). Etelä-Suomen happamissa seurantajärvissä alkaliniteetin on havaittu hieman nousseen 1990-luvulla, ja myös happamimpien järvien ahvenkannat ovat uudelleen elpyneet lukuun ottamatta jo kalattomia järviä. Ahventa herkemman särjen populaatiot ovat kuitenkin jatkaneet taantumistaan (Rask ym. 1995). Ennenkuin kuoritus on vähentynyt vesistöjen sietokyvyn edellyttämälle tasolle, happamuuden aiheuttamia haittoja voidaan yrittää pienentää kehittämällä kalastusmahdollisuuksia happamuutta sietävien lajien avulla tai pyrkimällä kalkituksen avulla palauttamaan veden ominaisuudet mahdollisimman lähelle happamoitumista edeltänyttä tilaa.

Kalkitusten tavoitteena on yleensä ollut vesistöissä vielä esiintyvien kalakantojen säilyttäminen tai niistä happamoitumisen takia hävinneiden kantojen palauttaminen nostamalla veden pH:ta ja parantamalla puskurikykyä. Vaikka kalkituksen seurauksena vesistön lajisto yleensä monipuolistuu, kalkitus ei kuitenkaan palauta vesistöä luonnontilaansa (Henrikson & Brodin 1995). Kalkitus voidaan nähdä myös ennaltaehkäisevänä toimenpiteenä. Ruotsissa kalkitusta pidetään tarpeellisenä kun veden pH on talvella alle 6 tai alkaliniteetti alle 0,05 mmol/l (Fiskeristyrelsen 1982). Kalkituksen vaikutuksen kesto riippuu mm. järven viipymästä, käytetyn kalkin määrästä ja levitysmenetelmästä (Hasselrot & Hultberg 1984). Yleisimmin käytetään karbonaattipohjaisia neutralointikemikaaleja, kuten kalkkikiveä ja dolomiittikalkkia. Kalkkikivi liukenee veteen suhteellisen hitaasti ja siten sen avulla saavutettava neutralointituloksen voi olla suhteellisen pitkäaikainen, eikä yliannostuksestaakaan aiheudu eliöille vaarallisen voimakasta pH:n kohoamista. Suomessa yleisimmin käytössä ollut levitysmenetelmä on ollut kevättalvella jäälle tapahtuva levitys, jolloin sekoittuminen tapahtuu kevättäyskierron vaikutuksesta. Suoraan veteen tapahtuva levitys on tuottanut hyviä tuloksia järvissä, joissa on pitkä viipymä. Jos viipymä on lyhyt, tulisi harkita kalkitusta järveen laskevien purojen, yläpuolisten järvien, rantavyöhykkeen tai valuma-alueen maaperän kautta (Kalkitustyöryhmän mietintö 1991). Ruotsalaisten tutkimusten mukaan eri kalkitusmenetelmien yhdistelmä antaa yleensä parhaimman tuloksen (Henrikson & Brodin 1995).

Onnistuessaan kalkitus nostaa järven pH- ja alkaliniteettiarvoja ja kalsiumpitoisuutta. Kalkituksen jälkeen järven näkösyvyys usein alenee ainakin tilapäisesti ja veden väriluku voi kasvaa. Vedessä olevien humusaineiden sakkautuminen voi vähentyä, mikä yhdessä lisääntyneen planktoneliöstön kanssa alentaa näkösyvyyttä. Tärkeä kalkituksen aiheuttama kemiallinen muutos on myös alumiinin myrkyllisten muotojen osuuden pienentyminen sekä toisinaan huomattavakin veden alumiinipitoisuuden väheneminen sakkautumisen seurauksena (Hasselrot & Hultberg 1984). Vaikutukset alumiiniin havaittiin myös kahdessa suomalaisessa kalkitukseen liittyvässä ekosysteemitutkimuk-

nessa, Nokian Alisellajärvellä (Iivonen & Mannio 1995) ja Evon Iso Valkjärvellä (Järvinen ym. 1995).

Appelbergin ja Aldenin (1992) mukaan eliöyhteisöjen kalkituksen jälkeiseen kehitykseen vaikuttaa neljä perustekijää:

1. **Muutoksen suuruus**, eli mikä oli veden happamuus ennen kalkitusta ja mikä vaikutus kalkituksella oli veden kemiaan. Mitä happamampaa vesi oli ennen kalkitusta ja mitä suurempia kalkituksesta aiheutuvat vesikemialliset muutokset ovat, sitä suurempia muutoksia on odotettavissa myös eliöyhteisöissä.
2. **Ympäristömuuttujien, lähinnä vedenlaadun stabiilisuus**. Mitä vähäisempiä kalkituksen jälkeiset muutokset vedenlaadussa ovat, sitä nopeammin eliöyhteisöt asettuvat uuteen tasapainotilaan.
3. **Kalkituksesta kulunut aika**. Eliöt, joilla on nopea elinkierto, kuten kasviplanktonilajit saavuttavat uuden tasapainotilan huomattavasti nopeammin kuin kalat joiden elinkierto on hitaampi.
4. **Lajikoostumus**. Kalkitusajankohdan lajikoostumuksella on erittäin suuri merkitys eliöyhteisöjen kalkituksen jälkeiselle kehitykselle, kuin myös mahdollisuudella lajien uudelleen leviämiseen happamoitumiselta säästyneistä vesistä.

Runsaimmin kalkituksia on tehty Ruotsissa, missä vesistöjen kalkitus aloitettiin 1960-luvun alkupuolella aluksi lähinnä urheilukalastusjärjestöjen aloitteesta (Hultberg & Andersson 1982). Laajempi valtakunnallinen kalkitusten vaikutusten seurantaohjelma käynnistettiin Ruotsissa 1970-luvun puolivälissä ja vuoteen 1995 mennessä oli kalkittu jo noin 8 000 kohdetta pääasiassa valtion budjettivaroin (Henrikson & Brodin 1995). Ruotsissa ja Norjassa happamoituminen on uhannut mm. urheilukalastukselle tärkeitä lohi- ja taimenkantoja, ja valtio on osallistunut kalkitusten tukemiseen. Suomessa on kalkittu kaikkiaan parisataa kohdetta vähintään kerran ja pääasiassa yksityisin varoin. Vesistöalkitukset ovat olleet toistaiseksi kokeiluluontoista ja tapahtuneet pienessä mitakaavassa Norjaan ja Ruotsiin verrattuna. Laskeumaperäistä happamoitumisongelmaa ei meillä esiinny suurissa, alueellisesti merkittävässä vesistöissä, vaan kalkitustarve on selvästi paikallista ja keskittynyt tiedossa oleville ongelma-alueille (Iivonen & Kenttämies 1993).

Tässä työssä selviteltiin kalkituksen vaikutuksia kalakantoihin kymmenessä Etelä-Suomen laskeumaperäisesti happamoituneessa järvessä, joissa Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos teki koekalastuksia vuosina 1986-1993 osana projektia "Happamoitumisen aiheuttamat muutokset Etelä-Suomen järvien kalakantojen rakenteessa sekä happamoitumishaittojen vähentäminen". Tarkasteltavina lajeina olivat ahven ja särki. Ahven on yleisin kalalaji eteläisen Suomen happamoituneissa järvissä ja happamoitumisen suhteen melko kestävä laji, kun taas särki on yksi herkimmistä (Tuunainen ym. 1991). Huomiota kiinnitettiin vedenlaadussa, lajien välisissä runsaussuhteissa, kasvussa sekä lisääntymisessä tapahtuneisiin muutoksiin.

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Tutkimusjärviä Pirkanmaalla, Etelä-Hämeessä ja Kaakkois-Suomessa

Tutkimusjärvet sijaitsevat kolmella alueella, Tampereen koillisosassa ja Kangasalla (Matalajärvi, Rukojärvi, Havisevanjärvi ja Kalliojärvi), Kaakkois-Suomessa Taipalsaaressa (Suurilampi), Ylämaalla (Salminen ja Syväjärvi) ja Miehikkälässä (Iso Hanhilampi) sekä Etelä-Hämeessä Lammilla Evon alueella (Haarajärvi ja Haarajärven Valkjärvi) (kuva 1). Järvien morfometrisia tietoja on esitetty taulukossa 1.



Kuva 1. Tutkimusjärvien sijainti. 1) Havisevanjärvi, Kalliojärvi, Matalajärvi ja Rukojärvi; 2) Haarajärvi ja Haarajärven Valkjärvi; 3) Iso Hanhilampi, Salminen ja Syväjärvi; 4) Suurilampi.

Järvien valuma-alueet ovat pääasiallisesti kangasmetsää. Havisevanjärven, Matalajärven ja Rukojärven valuma-alueesta huomattava osa on ojitettua suota, mikä näkyy järvien korkeana humuspitoisuutena. Suurilampi on Saimaan harjanteella oleva las-kuojaton suppajärvi. Tutkimusjärvien kesäaikaiset pH:t ennen kalkituksia vaihtelivat 5,0 ja 6,4 välillä, lähimpänä neutraalia olivat Salmisen (pH 6,4) ja Haarajärven (pH 6,2) vedet (taulukko 2).

Taulukko 1. Tutkimusjärvien morfometrisiä tietoja.

Järvi	Pinta-ala (ha)	Max. syvyys (m)	Teor. viipymä (kk)	Valuma-alue (km ²)
Haarajärvi	12	14	10	1,5
Haarajärven Valkjärvi	4	12	40	0,3
Havisevanjärvi	37	n. 19	6	14,0
Iso Hanhilampi	15	9	11	3,0
Kalliojärvi	12	n. 22	82	0,5
Matalajärvi	72	n. 10	12	5,2
Rukojärvi	11	11	10	3,8
Salminen	21	7	14	1,4
Suurilampi	5	19	16	0,7
Syväjärvi	27	8	42	1,2

Taulukko 2. Järvien päänlyysveden analyysitietoja pääosin kesäkerrostuneisuuden ajalta. Analyysit on tehty enimmäkseen Riistan- ja kalantutkimuksen laboratoriossa SFS-standardien mukaisesti. Muut lähteet: Raitaniemi ym. (1992), Silvo & Weppling (1989), Oravalnen (1983, 1985) ja Tampereen vesi- ja ympäristöpiiri.

Järvi ja vuosi	pH	Alk. mmol/l	Värl. mg Pt/l	Johtok. mS/m	Kok.kov. mmol/l	Ca mmol/ l	GOD Mn mg/l	Al tot µg/l
Havisevanj. keväät 1983	5,1	0,01	100	3,6		0,05	15,0	220
1989	6,6	0,08	80	3,6	0,14	0,10	11,2	228
1991	6,4	0,06	85	3,6	0,20	0,04	13,6	218
1993	5,8	0,05	100	3,2	0,11	0,07		243
Kalliojärvi								
1984	5,5	<0,01	25	3,3		0,05	2,4	70
1989	7,0	0,10	10	3,6	0,16	0,10	4,6	22
1991	6,5	0,09	5	3,6	0,19	0,09	4,2	10
1993	6,1	0,09	10	3,2	0,12	0,08	4,6	35
Matalajärvi								
1982	5,0		80	2,5		0,03	9,3	170
1989	6,3	0,05	40	2,3	0,10	0,05	7,4	57
1991	6,5	0,05	25	2,7	0,20	0,05	7,2	31
1993	5,7	0,04	40	2,3	0,08	0,06	7,7	61
Rukojärvi								
1982	5,3	0,02	100	2,6		0,05	14,0	430
1989	6,0	0,04	80	2,4	0,11	0,05	10,1	186
1991	5,9	0,03	65	2,5	0,26	0,06	11,8	195
1993	5,5	0,02	80	2,2	0,07	0,06	14,2	235

Taulukko 2. Jatkoa.

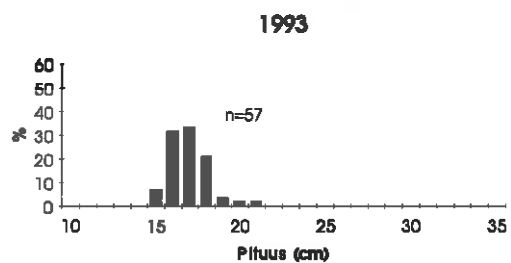
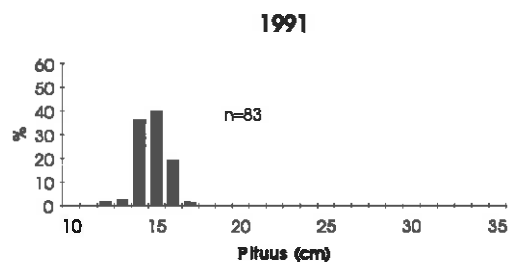
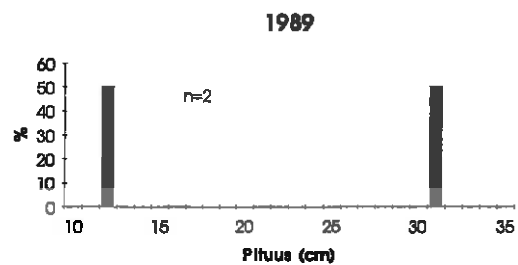
Järvi ja vuosi	pH	Alk. mmol/l	Väril. mg Pt/l	Johtok. mS/m	Kok.kov. mmol/l	Ca mmol/l	COD Mn mg/l	Al tot µg/l
Iso Hanhil.								
1987	5,3		80	3,7			11,0	
1989	6,2	0,04	40	3,6	0,13	0,10	9,5	206
1991	5,7	0,03	50	3,4	0,28	0,08	8,4	262
1993	5,6	0,03	40	3,5	0,13	0,10	8,1	214
Salminen								
1986	6,4		20	4,3	0,14	0,08	6,4	49
1989	6,5	0,05	15	3,9	0,13	0,08	5,1	44
1991	6,3	0,04	15	4,0	0,30	0,07	5,7	67
1993	5,4	0,03	10	4,1	0,11	0,09	3,2	36
Suurilampi								
1986	5,3	0,03	5	2,0	0,07	0,03	2,3	50
1989	6,9	0,16	15	3,4	0,14	0,12	4,8	49
1991	6,5	0,16	10	2,9	0,31	0,11	4,1	10
1993	5,6	0,08	10	2,5	0,11	0,09	3,1	11
Syväjärvi								
kevät 1987	5,4	0,02	10	3,8			3,0	
1989	6,8	0,08	10	3,5	0,14	0,10	4,2	12
1991	6,1	0,07	10	3,4	0,25	0,09	3,2	11
1993	5,6	0,04	10	3,3	0,12	0,09	3,1	24
Haarajärvi								
1987	6,2	0,08	110	3,6		0,12		
1989	6,2	0,18	100	4,2	0,12	0,07	8,0	
1991	6,0	0,19	80	3,9	0,29	0,11	19,6	65
1993	6,5	0,15	70	3,9		0,09	10,6	74
Haaraj. Valkj.								
1987	5,6	0,05	67	3,0		0,08		
1989	6,1	0,25	90	5,8	0,19	0,15	7,6	
1991	6,8	0,38	40	5,9	0,26	0,20	10,1	18
1993	6,8	0,24	55	4,3		0,14	5,4	45

2.2 Kalkkikivijauhetta jäälle ja suoraan veteen

Taulukossa 2 ja kuvissa 2—11 esitetyt vesianalyysitiedot on kerätty Vesi- ja ympäristöhallituksen (nykyään Suomen ympäristökeskus) ja Riistan- ja kalantutkimuksen vedenlaaturekistereistä. Näytteet otettiin pintavedestä (0—1 m).

Havisevanjärveen laskevassa purossa toimi kesinä 1986—1990 mekaaninen kalkinannostuslaite. Kalkitusta edeltäviä vedenlaatutietoja Havisevanjärvestä on keväiltä 1970, 1983 ja 1986. Tällöin pH on ollut hieman yli 5 ja alkaliniteetti huhtikuussa 1986 on ollut lähellä nollaa (0,01 mmol/l) (kuva 2). Kalkinannostelija oli toiminnassa kesäisin ja heti annostelijan asennuksen jälkeen päällysveden pH nousi lähelle seitsemää ja alkaliniteetti yli 0,1 mmol/l mutta tämän jälkeen arvot ovat vaihdelleet huomattavasti.

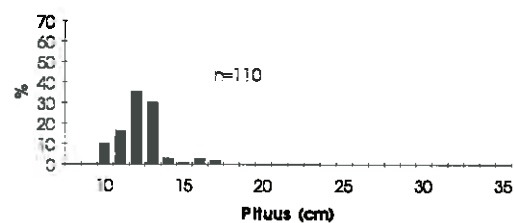
Särki



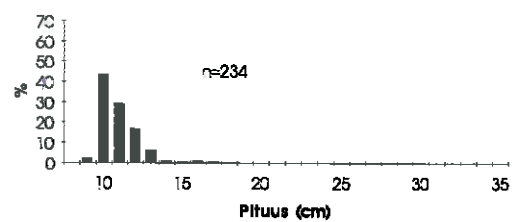
LIITE 6. Salmisen ahven- ja särkisaaliiden pituusjakaumat. Järvi kalkittiin kesällä 1986.

Ahven

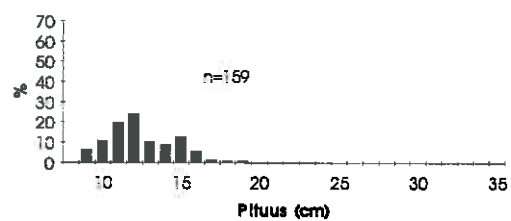
1986



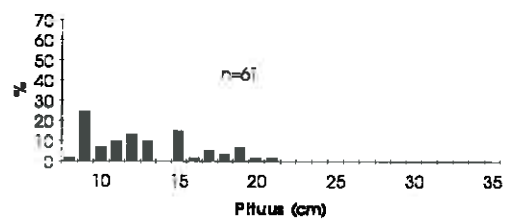
1989



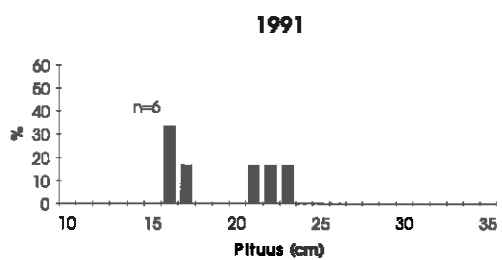
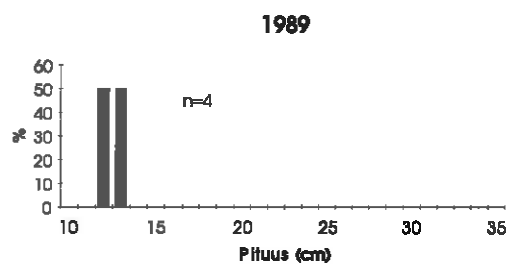
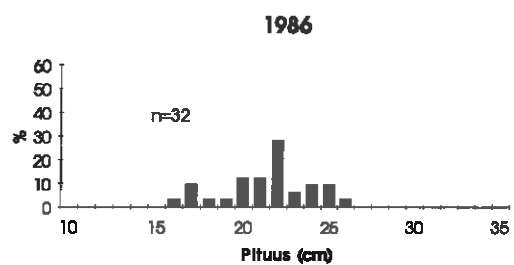
1991



1993



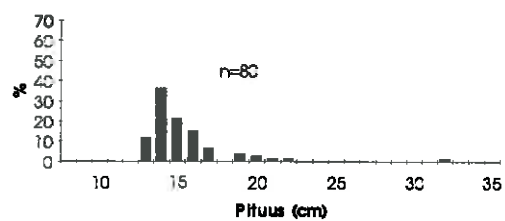
Särki



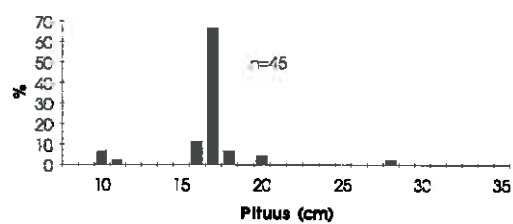
LIITE 7. Suurilammen ahven- ja särkisaaliiden pituusjakaumat. Järvi kalkittiin kesäkuussa 1987.

Ahven

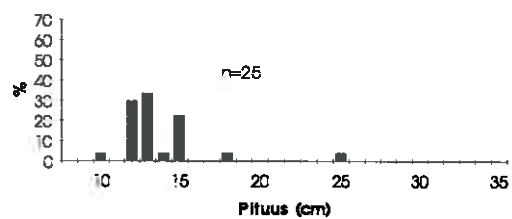
1986



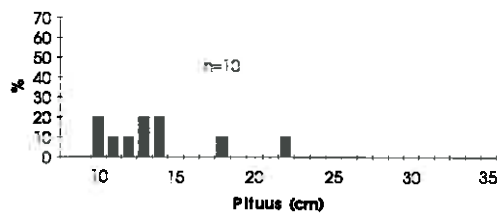
1989



1991

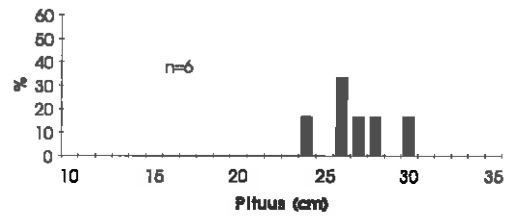


1993

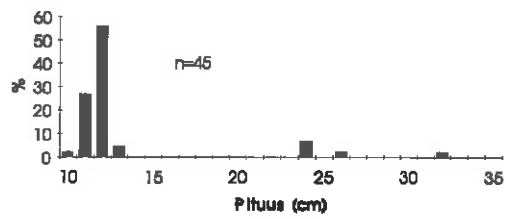


Särki

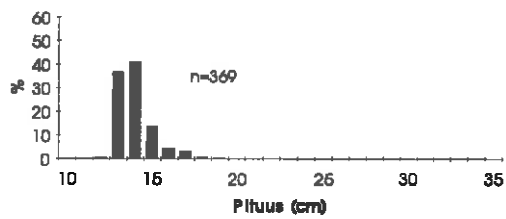
1986



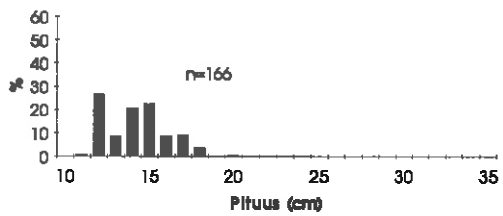
1989



1991



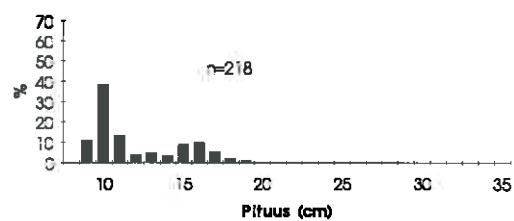
1993



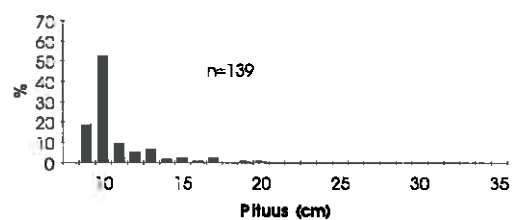
LIITE 8. Syväjärven ahven- ja särkisaaliiden pituusjakaumat. Järvi kalkittiin keväällä 1987.

Ahven

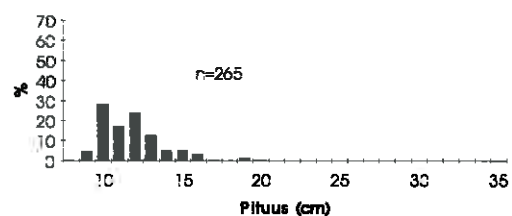
1987



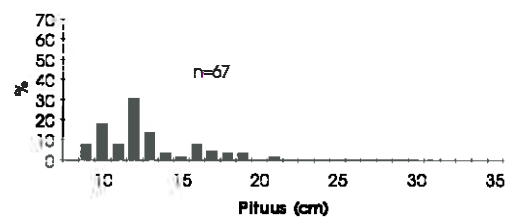
1989



1991

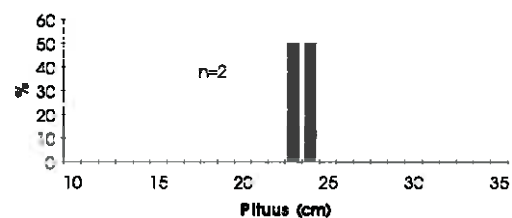


1993



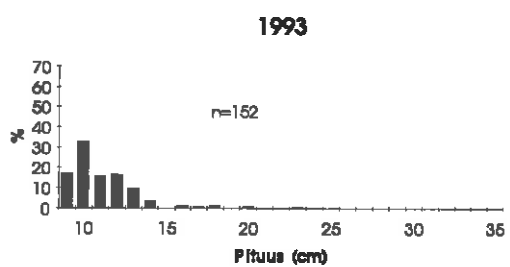
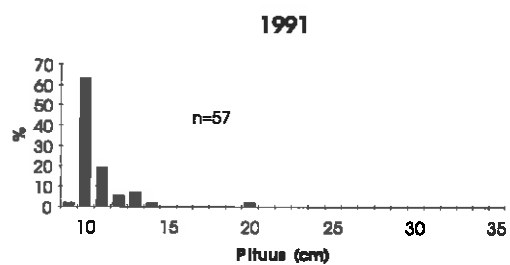
Särki

1991

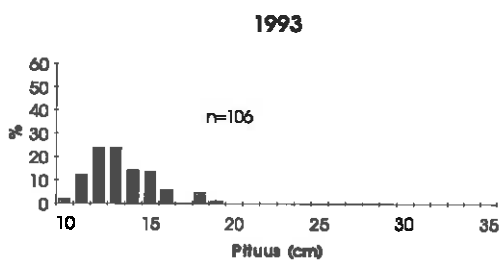
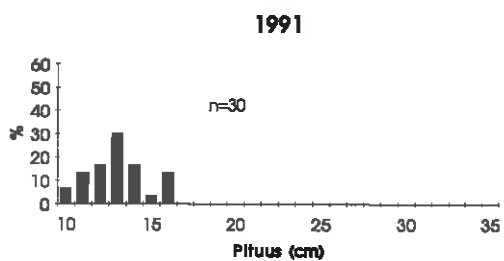


LIITE 9. Haarajärven ahven- ja särkisaaliiden pituusjakaumat. Järvi kalkittiin syksyllä 1988.

Ahven

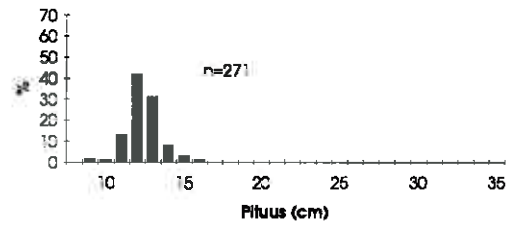


Särki

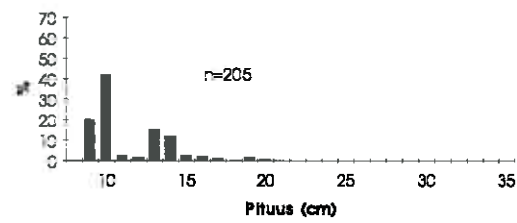


**LIITE 10. Haarajärven Valkjärven ahvensaaliiden pituusjakaumat. Järvi
kalkittiin syksyllä 1898.**

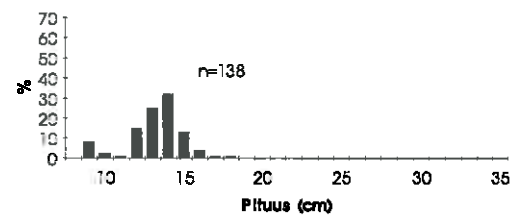
1985



1991



1993



LIITE 11. Takautuvaan kasvunmääritykseen perustuvat keskipituudet 1 - 3-vuotiailla särjillä. E = ennen kalkitusta syntyneet ja eläneet yksilöt, J = kalkituksen jälkeen syntyneet ja eläneet yksilöt, kp. = keskipituus (cm), SD = keskihajonta, n = yksilömäärä.

JÄRVI			1 v.	IKÄ 2 v.	3 v.
Havisevanjärvi	E	kp.	5,3	9,9	13,6
		SD	0,70	1,42	2,36
		n	20	20	20
	J	kp.	7,0	13,7	19,4
		SD	0,66	0,85	0,84
		n	4	4	2
Matalajärvi	E	kp.	5,9	10,1	12,5
		SD	0,46	1,37	1,21
		n	17	17	13
	J	kp.	8,4	13,8	17,5
		SD	1,19	1,19	1,40
		n	6	6	4
Rukojärvi	J	kp.	4,7	8,7	12,8
		SD	0,25	0,47	0,59
		n	65	65	65
Salminen	E	kp.	6,3	12,3	16,6
		SD	0,59	2,00	2,16
		n	28	28	28
	J	kp.	6,8	12,6	17,9
		SD	0,53	0,69	0,57
		n	6	6	3
Suurilampi	E	kp.	6,2	9,2	12,2
		SD	0,74	0,96	1,63
		n	11	11	11
	J	kp.	7,7	11,9	14,6
		SD	0,66	1,08	1,47
		n	93	93	73
Haarajärvi	E	kp.	4,5	6,6	8,4
		SD	0,41	0,63	0,82
		n	46	46	46
	J	kp.	5,1	7,0	9,2
		SD	0,24	0,23	0,21
		n	4	4	4

KALATUTKIMUKSIA – FISKUNDERSÖKNINGAR

Aiemmin ilmestyneitä julkaisuja

75. NYLANDER, E. ja PRUUKI, V.:

Tornionjoen vesistön kalastustilastot vuosilta 1991 ja 1992.

(Fiskestatistik för Torne älvs vattensystem, åren 1991–1992.) (The Fishery Statistics of the Tornionjoki River Basin in 1991 and 1992). 26 s. + 10 liites. Helsinki 1994.

76. AALTO, J. ja RAHKONEN, R.:

Gyrodactylus salaris -loisen esiintyminen, haitallisuus ja torjunta.

(Förekomst, skadlighet och bekämpning av parasiten (*Gyrodactylus salaris*.) (The Distribution, Adverse Effects and Prevention of the Parasite (*Gyrodactylus salaris*)). 50 s. + 2 liitettä. Helsinki 1994.

77. VEHANEN, T.:

Järvitaimenistutusten tuloksellisuus Pohjois-Suomessa.

(Resultat av utplantering av insjööring i norra Finland.) (Importance of Environment and Stocking Density for the Efficiency of Brown Trout Stocking in Northern Finland.) 50 s. + 2 liitettä. Helsinki 1994.

78. TAMMI, J. ja KUIKKA, S.:

Hauen ravinnonkäytön ajallinen ja alueellinen vaihtelu kutuaikana.

(Gäddans näringsanvändning -temporära och spatiella variationer under lektiden) (The Spatial and Temporal Variation in the Food and Food Consumption of Northern Pike (*Esox lucius* L.) during the Spawning Period). 43 s. Helsinki 1994.

79. KEMPPAINEN, S.:

Kiiminkijoen vapakalastuksen kehitys vuosina 1989–1992.

(Utvecklandet av spöfisket i Kiminge älv åren 1989–1992.) (The Development of Rod Fishing in the River Kiiminkijoki from 1989–1992). 39 s. + 7 liitettä. Helsinki 1994.

80. MÄKI-PETÄYS, A., MUOTKA, T., TIKKANEN, P., HUUSKO, A., KREIVI, P. ja KUUSELA, K.:

Kokoluokkien väliset erot taimenen poikasten mikrohaitaattien käytössä.

(Förellyngels utnyttjande av mikrohaitat: skillnader mellan olika storleksklasser.) (Size-Class Differences in Microhabitat Use by Juvenile Brown Trout.) 38 s. + 6 liitettä. Helsinki 1994.

81. HUUSKO, A., VEHANEN, T. ja KORHONEN, P.:

Järvitaimenistutusten tuloksellisuus Kuusamon alueella vuosina 1972–1988 Carlin-merkkipalautuksiin perustuen.

(Resultaten av utplanteringar med insjööring i Kuusamo med hjälp av Carlin-märkningar åren 1972–1988.) (Results of Stocking with Carlin-Tagged Brown Trout (*Salmo trutta* L.) in the Kuusamo Area in 1972–1988.) 41 s. Helsinki 1994.

82. SALMI, P., JUVONEN, L., LAAMANEN, K., PIIPPONEN, M. ja PITKÄNEN, M.:

Kenen ehdoilla kalavaroja hyödynnetään? Onkamojärven kalastuskiistan taustoja.

(På vems villkor utnyttjas fiskresurserna? Bakgrundsfaktorer angående fiskekonflikten kring sjön Onkamojärvi.) (On whose terms will the fish resources be harvested? Some background of the Lake Onkamo fishery conflict.). 33 s. Helsinki 1994.

83. SALMI, J., SALMI, P. ja SETÄLÄ, J.:

Ammattikalastajien kalan markkinointi. Ongelmat ja kehittämisedellytykset Pohjois-Satakunnan rannikolla.

(Yrkesfiskarnas marknadsföring av fisk. Problem och utvecklingsförutsättningar längs kusten i norra Satakunda.) (The marketing of fish products by professional fishermen. Problems and advancement in the Bothnian Sea.) 96 s. Helsinki 1994.

84. MIKKOLA, J. ja SAURA, A.:

Viemäristä lohioeksi –Vantaanjoen vaelluskalatutkimuksia vuosilta 1987–1993.

(Från kloak till laxälv –Vandringsfiskundersökningar i Vanda åren 1987–1993) (From sewer to salmon river – studies on migratory fish in the River Vantaanjoki from 1987–1993). 103 s. Helsinki 1994.

85. Valtion kalanviljelyn XVIII neuvottelupäivät.

(Statens XVIII fiskodlingskonferens) (State fish culture conference, No. XVIII). Yrjö Lankinen ja Juhani Pirhonen (toim.). 102 s. Helsinki 1994.

86. LAAMANEN, M., AHVONEN, A. ja JUTILA, E.:

Metsätalouden toimenpiteiden vaikutus Isojoen vesistön kalastukseen ja vesistön tilaan — tiedustelututkimus.

(Effekter av skogsbruksåtgärder på fisket och på vattendragets tillstånd i Isojoki-Lappfjärds å — gallupundersökning) (Effects of forestry on fish and fishing in the river Isojoki watercourse — questionnaire survey). 49 s. + liite. Helsinki 1994.

87. JUTILA, E., KARTTUNEN, V. ja NIEMITALO, V.:

Parempi kivi koskessa kuin kymmenen rannalla — Erilaisten kunnostusmenetelmien vaikutus taimenen poikasmääriin Iijoen sivujokien koskissa.

(Bättre en sten i forsen än tio på stranden — Olika restaureringsmetoders inverkan på örngång i Ijo älvs biflöden) (Better one stone in the rapid than ten on the bank — Influence of various restoring methods on the parr densities of brown trout in the rapids of the tributaries flowing into the Iijoki River). 29 s. + liite. 29 s. Helsinki 1994.

88. MAKKONEN, J., TOIVONEN, J., PIIRONEN, J., PURSIANEN, M. JA MÄKINEN, K.:

Järvilohen (*Salmo salar* m. sebago Girard) säilyttäminen ja kalastus Vuoksen vesistössä Carlin-merkintöjen perusteella.

(Bevarande och fiske av insjölox (*Salmo salar* m. *sebago* Girard) i Vuoksens insjösystem, undersökning med hjälp av Carlin-märkningar) Maintenance and fishing of landlocked salmon (*Salmo salar* m. *sebago* Girard) on the basis of Carlin-tagings in the Vuoksi watercourse) 65 s. + liite. Helsinki 1995.

89. NYLANDER, E. JA ROMA-KANIEMI, A.:

Tornionjoen meritaimen ja sen kalastus

(Havsöringen i Torne älv och havsöringsfisket) (Sea trout and fishing in the Tornionjoki River) 63 s. + liite. Helsinki 1995.

90. URHO, L., KAUKORANTA, M., KOLJONEN, M.-L., LEHTONEN, H., LEINONEN, K., PASANEN, P., RAHKONEN, R. JA TOLONEN, J.:

Uusien kalalajien ja -kantojen tuonnin mahdollisuudet

(import av nya fiskarter och -bestånd) (Possibilities for importing new fish species and stocks) 74 s. He(Möjligheter tillslutet) 1995.

91. VEHANEN, T.:

Rakennettujen jokien kalataloudelliset edellytykset.

I. Kalakannat ja kalastus. II. Kehittämistiedustelut (Fiskeriekonomiska förutsättningar i utbyggda älvar. I. Fiskbestånd och fiske. II. Utvecklingsgallupar) (Fish stocks and fisheries in large regulated rivers in northern Finland. I. The current state and fish stocks and fisheries. II: Development enquiries) 39 s. + liite. + 28 s. + liite. Helsinki 1995.

92. SALMI, P., HUUSKO, A.:

Muikun talvinuotto ja muikkukannat Kuusamossa

(Vintemotfångst av siklöja (*Coregonus albula* L.) och siklöjebestånden i Kuusamo) (Winter seine fishing of the vendace (*Coregonus albula* L.) in the Kuusamo area, northern Finland with implications on stock dynamics) 42 s. + liite. Helsinki 1995.

93. URHO, L.:

Kalatäit kalojen terveysriskinä.

(Fisklus som hälsorisk för fisken). Fish lice as a health risk for fish). 19 s. Helsinki 1995.

94. RAHKONEN, R. KILPELÄ S.-S., PASTERNAK, M.:

Lohikalajien paisetauti ja sen torjunta. Kirjallisuuskatsaus

(Furunkulos hos laxfiskar och bekämpning av den. Litteraturoversikt). (Furunculosis of salmonids and its prevention. A review of the literature). 47 s. Helsinki 1995.

95. KEMPPAINEN, S., NIEMITALO, V., LEHTINEN, E., PASANEN, P.:

Lohen ja meritaimen istutustutkimukset Kiiminkijoen

(Utplanteringsforskning gällande lax och havsöring i Kiiminge älv). (Stocking research on salmon and sea trout in the River Kiiminkijoki). 36 s. + 10 liit. Helsinki 1995.

96. Kalakantojen monimuotoisuuden hoito. Valtion kalanviljelyn XIX neuvottelupäivät.

Toim. Petri Heinimaa ja Keijo Juntunen. (Statens XIX fiskodlingskonferens) (State fish culture conference, No.XIX). 40 s. Helsinki 1995.

97. KREIVI, P., MUOTKA, T., TIKKANEN P., HUUSKO, A., MÄKI-PETÄYS, A., KUUSELA, K.:

Taimenen poikasten ravinnonkäyttö Kuusamon Kuusinkijoen

(Örngångens födoämnets användning i Kuusinkijoki i Kuusamo) (Diet composition and prey preferences of juvenile brown trout in the river Kuusinkijoki). 32 s. + 3 liit. Helsinki 1995.

98. TURUNEN, J.-P.:

Ympäristöpoliittisten ristiriitojen sovittelumenettely. Esimerkkitaupauksena lohenkalastuksen järjestäminen.

(Medling i miljöpolitiska konflikter med laxfisket som exempel) (Environmental dispute resolution procedure for conflicts. A case study: the management of salmon fishing) 46 s. Helsinki 1995.

99. MUTENIA, A., JANTUNEN, P., SALMINEN, A.:

Avoperärysäpyynnin soveltuvuus siian kalastukseen Lokan ja Porttipahdan tekojärvillä.

(Ryssjor med öppen botten som fångstredskap i de konstgjorda sjöarna Lokka och Porttipahta) Fishing of whitefish with open-end trap nets in the reservoirs of Lokka and Porttipahta Reservoirs). s. 1-12 + liit.

SALMINEN, A., MUTENIA, A.:

Ammatti- ja luontaiselinkeinokalastuksen kannattavuus Lokan tekojärvellä vuosina 1989-1991.

(Yrkes- och naturämningsfiskets lönsamhet i Lokka konstgjorda sjö åren 1989-91) (Profitability of commercial and traditional fisheries in the Lokka reservoir from 1989-1991) s. 19 -34. Helsinki 1995.

100. Luonnontilan muutokset Konnevedessä - 25 vuotta vesiluonnon tutkimusta.

(Förändringar i sjön Konnevesis naturtillstånd - 25 års studier av insjönaturen) (Changes in the Natural State of Lake Konnevesi: Aquatic Research over Twenty-Five Years). Toim. Pentti Valkeajärvi. 167 s. Helsinki 1995.

101. Neutraloinnin vaikutukset happamoituneen metsäjärven ekosysteemiin. Iso Valkjärven

kalkituskokeen tuloksia vuosilta 1990-1993

(Effekterna av neutralisering på ekosystemet i en försurad sjö Resultat av kalkningsförsöken i sjön Iso Valkjärvi under åren 1990-1993)

Martti Rask ja Marko Järvinen (toim.). 84 s. Helsinki 1995.

102. KIRJAVAINEN, E.:

Haudontalämpötilan vaikutus ravun poikastuottoon ja poikasten laatuun

(Kläckningstemperaturens inverkan på kräftans yngelproduktion och yngelkvalitet) (The Effects of Incubation Temperature on the Fry Production of Crayfish and the Quality of Fry). 27 s. Helsinki 1995.

103. TAMMI, J.:

Rehevöitymisen vaikutukset kaloihin, kalakantoihin ja kalastukseen –kirjallisuuskatsaus

(Eutrofieringens effekter på fisk, fiskbestånd och fiske – litteraturoversikt) (The Effects of Eutrophication on Fishes, Fish Stocks and Fisheries – A Literature Review). 66 s. Helsinki 1996.

104. SAURA, A., MIKKOLA, J.:

Henkiin herätetty lohijoki — Kymijoen vaelluskalatutkimuksia vuosilta 1992—1994

(En laxälv som återuppstått — Vandringsfiskundersökningar i Kymmene älv å 1992—1994) (Revived salmon river — Studies on migratory fish in the River Kymijoki from 1992—1994). 100 s. Helsinki 1996.

105. RAITANIEMI, J., HEIKINHEIMO, O., MIKKOLA, J.:

Vaellussiika — Uudenmaan rannikon tuottoisa istutuskala

(Vandringssiken — resultatrik utplantering längs den nyländska kusten) (Whitefish (*Coregonus lavaretus* (L.)) — Successful Stocking on the Coast of the Province of Uusimaa). 28 s. Helsinki 1996.

106. KORHONEN, P., KOSKINIEMI, J., TOLONEN, K.:

Taimenen ja kotiutetun puronierjän tila Ylä-Kemijoella vuosina 1993 — 1994

(Öringens och den införda bäckrödingens situation i Kemi älvs övre lopp åren 1993 — 1994) (The State of Brown and Stocked Brook Trout Populations in the Upper Part of the Kemijoki River between 1993 and 1994). 42 s. + 8 liit. Helsinki 1996.

107. LAPPALAINEN, A., PÖNNI, J.:

Suomenlahti kalastajan silmin — Tutkimus Suomenlahden likaantumista ja vapaa-ajankalastuksesta

(Finska viken ur fiskarens synpunkt — En undersökning av föroreningen av Finska viken och fritidsfisket) (The Gulf of Finland in the Fisherman's eyes — Pollution and Recreational Fishery in the Gulf of Finland). Helsinki 1996.

108. MAKKONEN, J., PIIRONEN, J., PURSIAINEN, M., TOIVONEN, J., KOLARI, I.:

Pyyntitavat heikentävät järvitaimenen istutustulosta — Vuoksen vesistöalueelle vuosina 1979 — 1992 tehtyjen Carlin-merkintöjen tulokset

(Utplanteringsresultatet för insjööring försämrats av fångstmetoderna — Resultat av Carlin-märkningar i Vuoksi insjösystem åren 1979 — 1992) (Fishing methods decrease the impact of stocking brown trout — Results of Carlin tagging experiments in the Vuoksi watercourse from 1979 — 1992). 105 s. + liite. Helsinki 1996.

109. PYLKKÖ, P., POHJANVIRTA, T., PURSIAINEN, M.:

Nieriän (*Salvelinus alpinus*) silmäsamentumat

(Grumling av ögat hos röding (*Salvelinus alpinus*)) (Cataract of Arctic charr (*Salvelinus alpinus*)). 21 s. Helsinki 1996.

110. Istutuspoikasten elinkaari — mätimunasta saaliiksi. Valtion kalanviljelyn XX neuvottelupäivät

Toim. Jarmo Makkonen ja Markku Pursiainen. (Utplanterade yngels livcykel — från romkorn till fångst. Statens fiskodlings XX diskussionsdag) (Fish stocking — lifecycle from eggs to catch. State Fish Culture Conference, No. XX). 103 s. + 4 liitettä. Helsinki 1996.

111. RAHKONEN, R., PASTERNAK, M., POHJANVIRTA, T., PYLKKÖ, P., LINDÉN, J.:

Kokeita Apoject 1-Fural paistetautirokotteella 1993—1995

(Försök med Apoject 1-Fural furunkulosvaccin 1993—1995) (Experiments with Apoject 1-Fural Furunculosis Vaccine, 1993—1995). 24 s.
Helsinki 1996.

Keväisin sulamisvesien aikaan pH on alimmillaan laskenut alle viiden ja alkaliniteetti on ollut alhaisimmillaan 0,02 mmol/l.



Havisevanjärveen laskevassa purossa käytetty kalkituslaite.

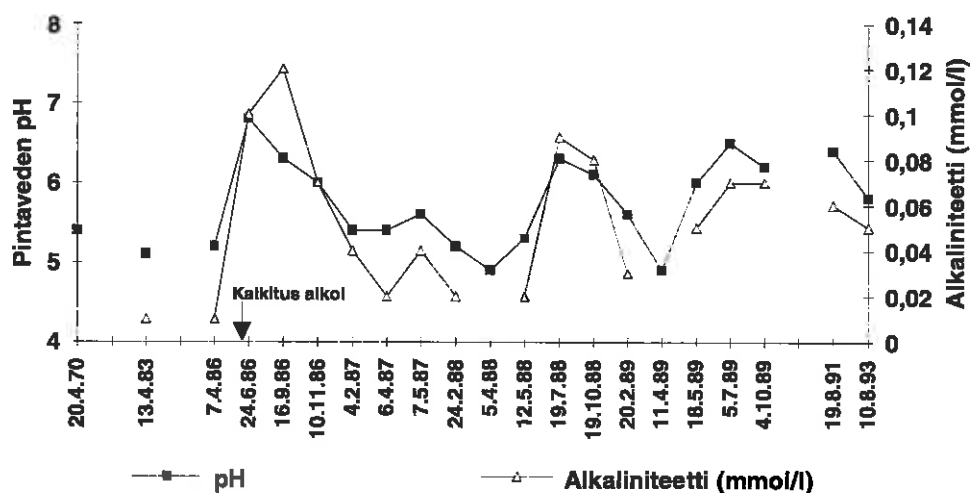
Kalliojärvi kalkittiin keväällä 1987 levittämällä kalkkikivijauhe jäälle. Järvestä on otettu vesinäytteitä vain muutaman kerran. Vuosina 1965 ja 1966 mitatut pH-arvot olivat alle 6,5. Kalkituksen jälkeisissä mittauksissa pH on ollut yli 6 (kuva 3), mutta aineisto ei tarjoa mahdollisuutta tarkastella pH:n ja alkaliniteetin heilahteluja sulamisvesien aikaan. Alkaliniteettiä ei näyttäisi laskeneen hieman alle 0,1 mmol/l.

Matalajärvi kalkittiin ensimmäisen kerran keväällä 1983 levittämällä kalkkikivijauhe jäälle. Kesällä 1987 järveen levitettiin veneestä kalkkiliettä. Kalkitusta edeltäneen vuoden syksyllä alkaliniteetti oli 0,01 mmol/l ja kalkitusvuonna loppupalven pH oli 4,8 (kuva 4). Vuoden 1983 kalkituksen jälkeen pH nousi yli 7:n ja alkaliniteetti yli 0,1 mmol/l. Tämän jälkeen alkaliniteetti on laskenut ja pysytellyt vuoden 1987 kalkituksesta huolimatta selvästi alle 0,1 mmol/l ja oli loppupalvesta 1989 0,01 mmol/l. Päälyysveden pH laski vuoden 1983 jälkeen ja on pysytellyt sen jälkeen 5,2 ja 6,5 välillä. Vuoden 1987 kalkitus näkyi avoveden aikaisten pH-arvojen hienoisena nousuna.

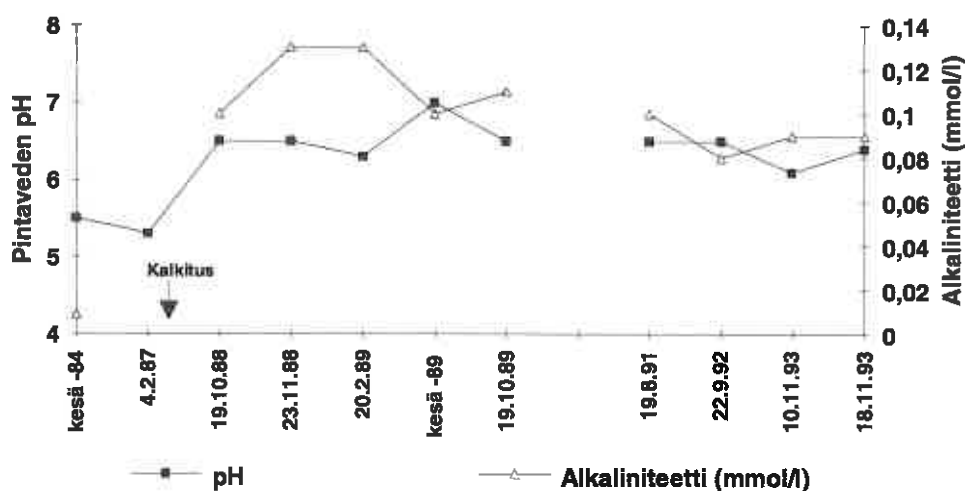
Rukojärvi kalkittiin keväällä 1987 levittämällä kalkkikivijauhe jäälle. Kalkitusta edeltävänä syksynä pH oli 4,9 ja kalkitusta seuraavana keväänä pH oli noussut ja oli 5,7 (kuva 5). Kalkituksen vaikutuksesta vedenlaatuun heti kalkituksen jälkeisenä avovesikautena ei ole tietoa.

Iso Hanhilampi kalkittiin kesäkuussa 1987 levittämällä kalkki lautalta veteen. Kalkituksen jälkeen järven pH nousi tasosta 5,3 yli 6:een ja pysytteli tällä tasolla koko avovesikauden (kuva 6). Seuraavan kesän pH-arvot olivat samaa luokkaa kuin heti kalkituksen jälkeen. Tämän jälkeen avovedenaikaiset pH-arvot ovat laskeneet ja kaksi vuotta kalkituksen jälkeen syyskuussa 1989 pH oli hieman yli 6 ja viisi vuotta kalkituksesta, kesäkuussa 1992 pH oli laskenut alle 6:n. Kevään pH laski kalkitusta seuranneen kevään arvosta 5,6 alle 5:een kaksi vuotta kalkituksen jälkeen. Alkaliniteetissä tapahtuneet muutokset ovat olleet samansuuntaisia kuin pH-muutoksetkin. Alkaliniteetti

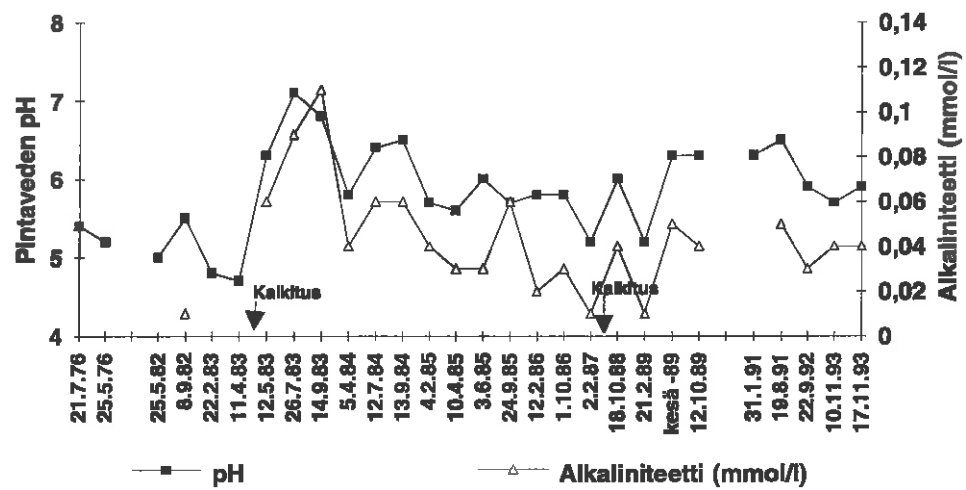
ei noussut yli 0,1:n ja kevään 1992 sulamisvesien aikaan puskurikyky puuttui kokonaan kun alkaliniteetti laski alle nollan.



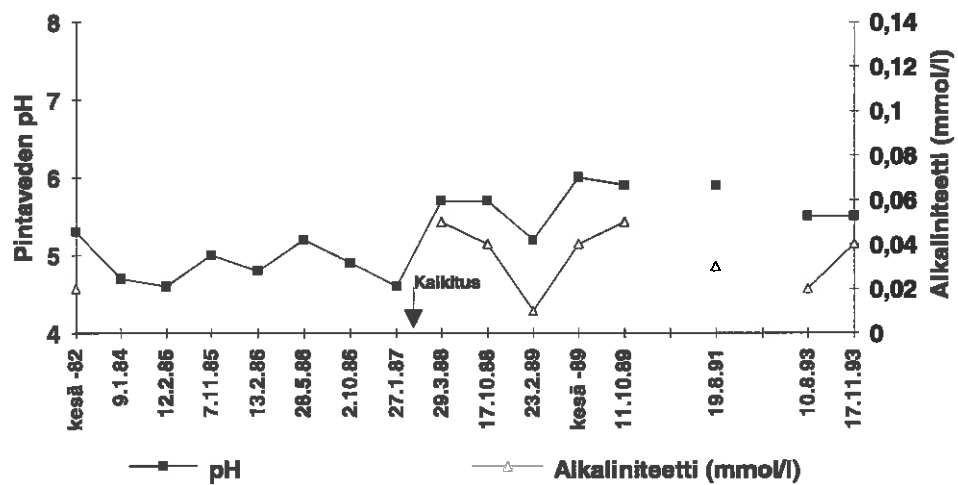
Kuva 2. Havisevanjärven päällysveden pH ja alkaliniteetti vuosina 1970 - 1993.



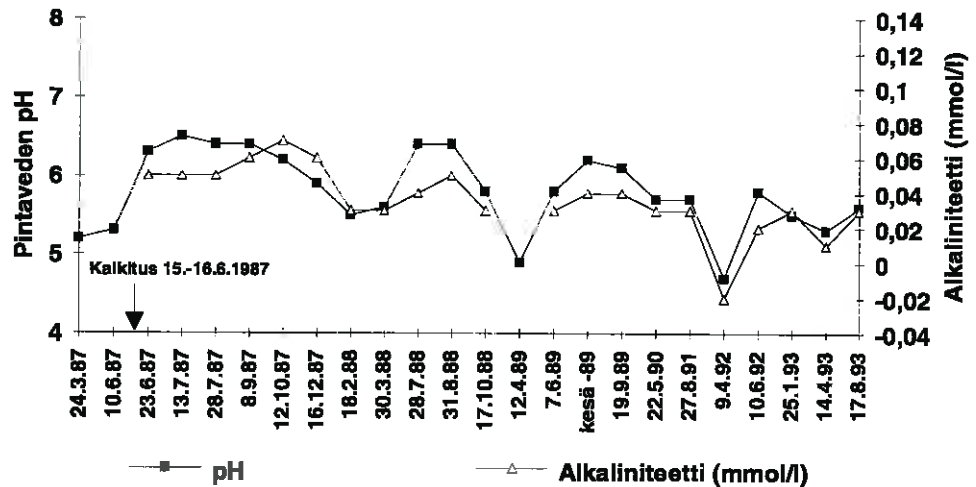
Kuva 3. Kalliojärven päällysveden pH ja alkaliniteetti vuosina 1984 - 1993.



Kuva 4. Matalajärven päällysveden pH ja alkaliniteetti vuosina 1976 - 1993.



Kuva 5. Rukojärven päällysveden pH ja alkaliniteetti vuosina 1982 - 1993.



Kuva 6. Ison Hanhijärven päänlyysveden pH ja alkaliniteetti vuosina 1987 - 1993.

Salmiseen kalkkikivijauhe levitettiin helikopterin avulla kesällä 1986. Järven kesäaikainen pH näyttää olleen melko korkealla jo ennen kalkitusta, eikä kalkitus vaikuttanut kovin merkittävästi järven pH-tasoon (kuva 7). Kuusi vuotta kalkituksen jälkeen kesän pH oli vielä yli 6 ja joulukuussa 1993 hieman sen alle. Alkaliniteetissä tapahtui sen sijaan hieman selvempiä muutoksia ja vajaa vuosi kalkituksen jälkeen keväällä alkaliniteetti oli yli 0,1 mmol/l. Tämän jälkeen puskurikyky on pudonnut selvästi ja vuoden 1992 kesäkuussa se oli pudonnut arvoon 0,03 mmol/l.

Suurilampi kalkittiin kesäkuussa 1987 puhaltamalla kalkki säiliöautosta lammen pintaan. Järven pH kohosi välittömästi kalkituksen jälkeen lähes kolme pH yksikköä ja laski sen jälkeen pH 7:n tuntumaan, jossa se pysytteli myös seuraavan kesän ja oli yli kuusi vuotta kalkituksen jälkeen joulukuussa yli 6 (kuva 8). Alkaliniteetti kohosi kalkituksen jälkeen huomattavasti yli 0,1 mmol/l ja oli kalkitusvuoden lokakuussa kohonnut yli kymmenkertaiseksi kalkitushetkeä edeltäneeseen tilanteeseen verrattuna ja seuraavan vuoden syyskuussa vieläkin korkeammaksi. Vuoden 1993 arvojen mukaan puskurikyky olisi yli kuusi vuotta kalkituksen jälkeen vielä yli 0,1 mmol/l.

Syväjärvi kalkittiin huhtikuussa 1987 levittämällä kalkki jäälle. Kalkitusta seuranneena kesänä pH oli korkeimmillaan 7 ja alkaliniteetti 0,1 mmol/l (kuva 9). Kalkitusta seuranneen vuoden kesällä pH pysytteli lähes samalla tasolla edellisvuoden kanssa. Huhtikuussa 1992 ja 1993 pH laski alle 6:n. Vuoden 1988 keväällä sulamisvesien aikaan huhtikuussa alkaliniteetti oli laskenut kalkitusta edeltävälle tasolle. Kesällä alkaliniteetti kohosi jäädä kuitenkin alle kalkitusvuoden tason. Huhtikuussa 1992 ja 1993 alkaliniteetti oli laskenut arvoon 0,02 mmol/l ja kesäkuussa 1992 alkaliniteetti oli 0,03 mmol/l.

Haarajärvi kalkittiin lokakuussa 1988 helikopterin avulla. Käytössä olevan aineiston perusteella kalkituksen jälkeen pH-arvoissa ei ole tapahtunut erityisen selkeitä muutoksia (kuva 10). Kalkitusta seuranneena keväänä pH oli 5,3 ja kesäkuussa 6,6. Tämän jälkeen keväiset sulamisvesien aikaiset pH arvot ovat olleet yli 6:n. Kalkituksen jälkeen marraskuussa 1988 alkaliniteetti oli 0,07 mmol/l ja kalkitusta seuranneena kesänä 0,18 mmol/l. Tämän jälkeen alkaliniteettiarvot ovat vaihdelleet jyrkästi, keväällä 1992 alkaliniteetti oli 0,05 mmol/l ja syksyllä 1993 0,15 mmol/l.

Haarajärven Valkjärvi kalkittiin vuonna 1988 lokakuussa helikopterin avulla. Kalkitus ei aiheuttanut suuria muutoksia veden pH-tasossa (kuva 11). Kalkituksen jälkeen

Figure 1 is a dual-axis line graph showing the pH of the water column (left y-axis, 4-8) and alkalinity in mmol/l (right y-axis, 0-0.14) from 1986 to 1993. The pH is represented by a solid line with square markers, and alkalinity by a solid line with triangle markers. A vertical arrow labeled 'Kalkitus 27.6.1986' points to the pH line. The graph shows significant fluctuations in both parameters over time, with a notable peak in alkalinity in early 1987 and a sharp drop in pH in late 1989.

Date	pH	Alkalinity (mmol/l)
17.6.1986	6.4	6.3
4.8.1986	6.8	6.3
14.10.1986	6.6	6.9
3.4.1987	6.1	7.2
6.8.1987	6.4	6.9
13.10.1987	6.3	6.9
kesä -89	5.5	5.5
27.8.1991	0.08	0.04
10.6.1992	0.08	0.03
21.1.1993	0.06	0.06
17.8.1993	0.05	0.03
14.12.1993	0.08	0.06

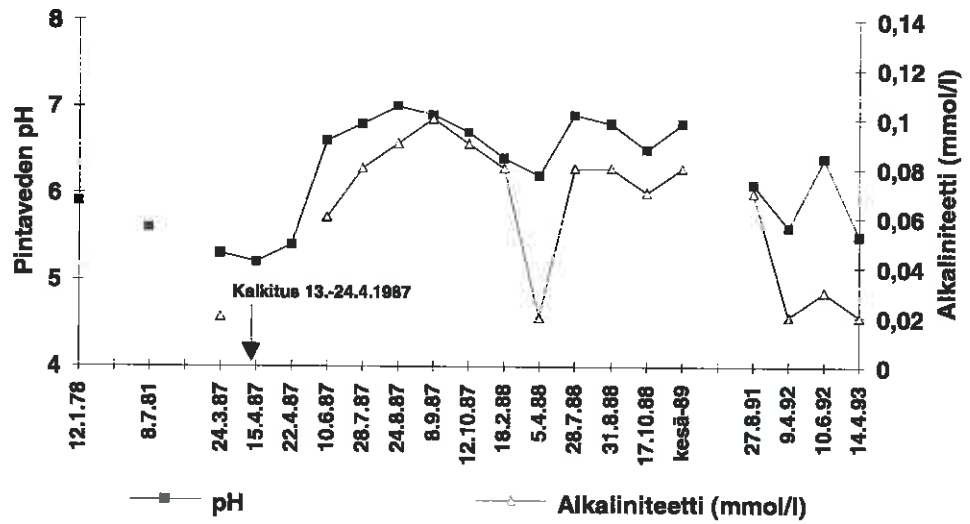
pH

Alkaliniteetti (mmol/l)

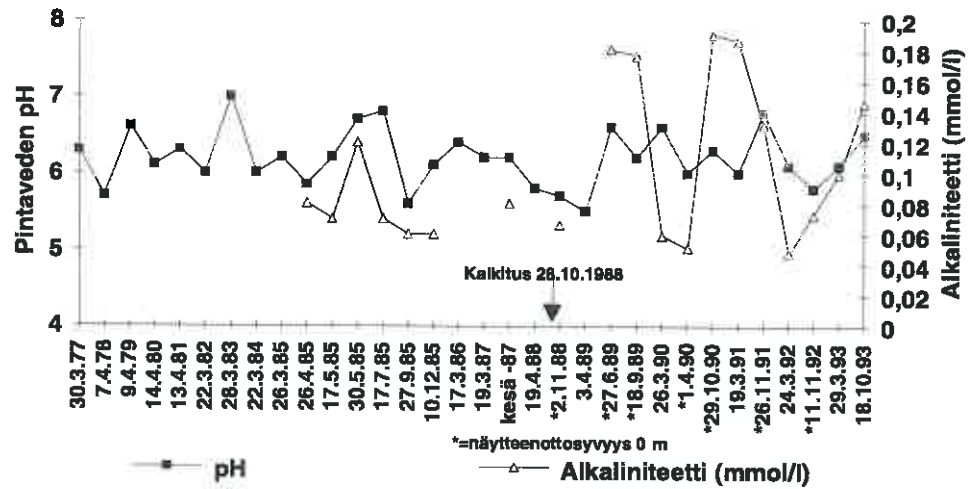
Kalkitus 15.6.1987

Date	pH	Alkalinity (mmol/l)
25.3.1987	6.0	0.12
12.6.1987	5.8	0.04
15.6.1987	8.6	0.14
16.6.1987	8.0	0.10
17.6.1987	7.1	0.08
18.6.1987	7.2	0.10
22.6.1987	7.3	0.12
10.7.1987	7.3	0.14
12.8.1987	7.5	0.16
1.9.1987	7.3	0.18
8.10.1987	7.1	0.22
31.8.1988	7.1	0.14
6.9.1988	7.4	0.24
17.10.1988	6.8	0.12
27.8.1991	6.6	0.12
21.1.1993	6.3	0.14
17.8.1993	5.7	0.08
14.12.1993	6.3	0.12

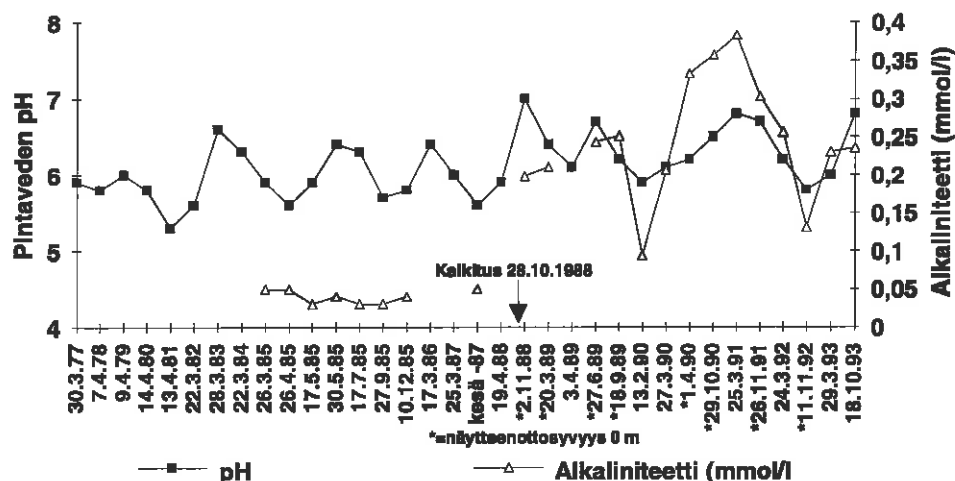
11



Kuva 9. Syväjärven päällysveden pH ja alkaliniteetti vuosina 1978 - 1993.



Kuva 10. Haarajärven päällysveden pH ja alkaliniteetti vuosina 1977 - 1993.



Kuva 11. Haarajärven Valkjärven päällysveden pH ja alkaliniteetti vuosina 1977 - 1993.

2.3 Koekalastukset kesäkerrostuneisuuden aikaan

Tutkimusjärvet koekalastettiin joko kalkitusta edeltävänä tai kalkitusvuotena sekä vuosina 1989, 1991 ja 1993, lukuunottamatta Haarajärveä jossa kalastettiin vain vuosina 1991 ja 1993 sekä Haarajärven Valkjärveä, jossa kalastettiin vuosina 1985, 1991 ja 1993. Koekalastukset tehtiin järvien kesäkerrostuneisuuden aikana elokuussa lukuunottamatta Haarajärveä, jossa kalastettiin heinäkuussa ja Haarajärven Valkjärveä, jossa koekalastettiin kesäkuussa. Kalastuksissa käytettiin verkkosarjaa, jonka solmuvälit olivat 12, 15, 20, 25, 30, 35, 45 ja 60 mm. Verkot olivat 180 cm korkeita ja 30 m pitkiä. Verkot pyrittiin yleensä laskemaan samoille paikoille eri pyyntikerroilla. Verkkosarja laskettiin pyyntiin rannansuuntaisesti noin 2—4 metrin syvyyteen siten, että tiheät ja harvat verkot vuorottelivat ja koettiin seuraavana päivänä, jolloin vedessäoloajaksi tuli noin 14—18 tuntia. Saaliit käsiteltiin heti pyynnin jälkeen. Pituusjakaumia varten kaikkien kalojen pituus mitattiin 1 cm:n tarkkuudella. Noin 50 yksilön otoksesta lajeittain mitattiin pituus 1 mm:n ja paino 1 g:n tarkkuudella. Otokset otettiin niin, että erikokoiset kalat olivat tasaisesti edustettuina. Iän ja kasvun määrittämistä varten ahvenilta otettiin kiduskannen operculum-luu ja joiltakin isokokoisimmilta yksilöiltä myös otoliitit. Särjiltä otettiin suomunäyte ja joiltakin suurimmilta yksilöiltä lisäksi myös hartian lunkoluu eli cleithrum.

2.4 Iän ja kasvun määritykset

Ahvenen iän- ja takautuva kasvunmäärittäminen tehtiin yleensä operculum-luusta, jonka vuosirenkaat etsittiin preparointimikroskoopin avulla. Operculum asetettiin mustalle alustalle ja valo ohjattiin siihen vinosti ylhäältä päin. Niiden ahvenien, joilta oli otettu taiteen myös otoliitti, iänmäärittäminen tehtiin otoliitista. Otoliitissa vuosirenkaat ovat vanhoilla ja hidaskasvuisilla ahvenilla vielä suhteellisen helposti paikannettavissa toisin kuin operculumissa. Otoliittia paahdettiin liekissä ja se katkaistiin poikittaissuunnassa. Tämän jälkeen otoliitin puolikas asetettiin petrimaljalle pystyyn sinitarran palasella katkaisupinta ylöspäin ja sitä tarkasteltiin vedellä peitettynä preparointimikroskoopin avulla. Särjen suomusta vuosirenkaat paikannettiin asettamalla suomut kahden preparointilasien väliin ja tarkastelemalla suomuja preparointimikroskoopin avulla tai

painamalla suomun pintakuvio muovilevyille ja tarkastelemalla jäljennöstä mikrofilminlukulaitteen avulla.

Takautuvassa kasvunmäärityksessä käytettiin ahvenelle Monastyrskyn vuonna 1926 esittämää menetelmää (Bagenal & Tesch 1978), jossa kalan pituuden ja luutuneen osan kasvusuhte on epälineaarinen ja noudattaa eksponenttifunktiota:

$$L = aS^b$$

L =kalan pituus pyyntihetkellä

S =luutuneen osan säde tai pituus

a ja b ovat vakioita

Exponentin b arvona käytettiin useasta järvestä otetuista otoksista saatua keskiarvoa 0,88, joka on käytännössä sama kuin Le Crenin (1958) Windermere- järvestä (b = 0,876) ja Kokon (1980) Lievestuoreenjärvestä (b = 0,879) saama arvo, joka sopii myös monien metsäjärvien ahvenille (Raitaniemi 1987).

Särjen suomuista takautuvat kasvut määritettiin Fraser-Leen menetelmällä (Bagenal & Tesch 1978), jossa kalan suomun ja kalan pituuden suhteen oletetaan olevan lineaarinen. Kalan pituuden, jossa lineaarisen suhteen katsotaan alkavan, oletettiin olevan 2 cm.

2.5 Tilastolliset menetelmät

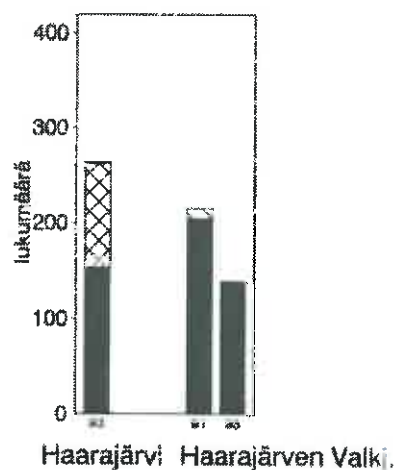
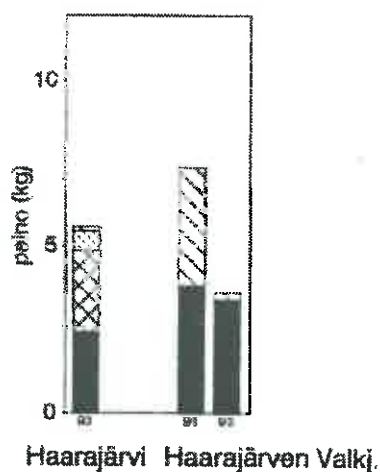
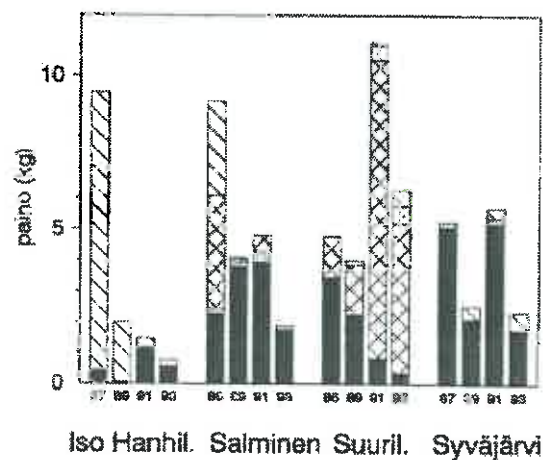
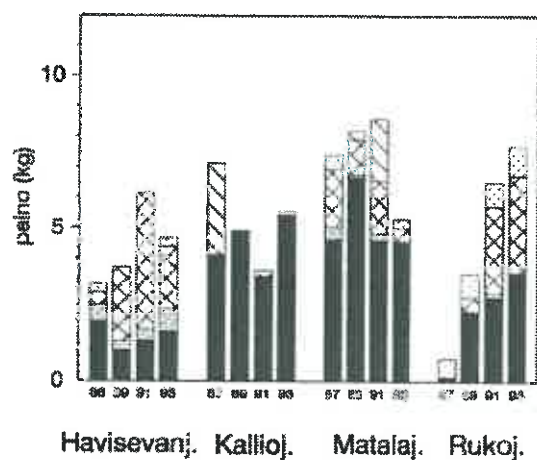
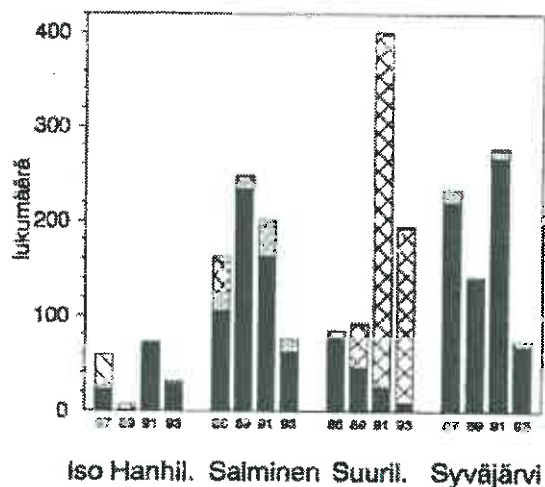
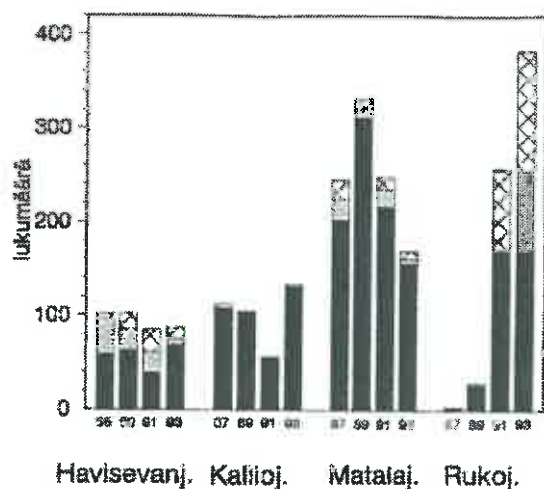
Särjen takautuvasti laskettuja keskipituuksia eri ikävuosina ennen kalkitusta syntyneiden ja eläneiden, sekä kalkituksen jälkeen syntyneiden yksilöiden välillä verrattiin toisiinsa Mannin-Whitneyn U-testin avulla. Särjen kasvun eroja eri vuosiluokissa toisen ikävuoden aikana testattiin toistettujen mittausten varianssianalyysillä, ja parittaiset vertailut tehtiin Tukeyn testillä (ikäryhmäkohtainen riskitaso 0,01). Neljässä kalkitusssä järvestä (Syväjärvi, Salminen, Haarakjärvi ja Haarakjärven Valkjärvi) laskettiin ahvenen vuosiluokkien kasvut erikseen ja tutkittiin kalkituksen sekä kasvukauden (toukokuu) vuosittaisten ilman keskilämpötilojen vaikutusta ensimmäisen kesän kasvuun faktorikokeen avulla. Vedenlämpötilojen on odotettu seuraavan ilmanlämpötilojen vaihteluita (McCombie 1959). Lämpötilat on mitattu Härmälän ja Lappeenrannan lentokentillä. Aineiston tilastollinen käsittely tehtiin SAS- tilasto-ohjelman mikrotietokoneversiolla (SAS 1988).

3 TULOKSET

3.1 Ahven yleisin kalalaji koekalastussaaliissa

Tutkituista 10 järvestä saatiin saaliiksi kaikkiaan 10 eri kalalajia. Ahven oli yleisin kalalaji ennen ja jälkeen kalkituksen tehdyissä koekalastuksissa, lukuunottamatta Suurilampea, jossa särjestä tuli neljässä vuodessa valtalaji ja ahvenkanta taantui (kuva 12). Uutena lajina Suurilammesta saatiin kalkituksen jälkeen syntyneitä sorvia. Verkko-saaliin perusteella myös Suurilammen kalatiheys on kasvanut kalkituksen jälkeen. Rukojärven verkkosaaliin kasvu vuonna 1991 johtui mitä ilmeisimmin verkkojen huonosta laskupaikasta vuosina 1987 ja 1989. Särkiä saatiin saaliiksi kaikkiaan seitsemästä järvestä ja myös Ruko- ja Havisevanjärvestä särjen osuus verkkosaaliissa lisääntyi kalkituksen jälkeen, joskaan muutos ei ollut yhtä voimakas kuin Suurilammessa. Muiden lajien osalta ei yhtä huomattavia muutoksia ollut havaittavissa. Istutuksista peräisin olevia siikoja saatiin saaliiksi kahdeksasta järvestä. Haukia saatiin saaliiksi kuudesta järvestä, kuten myös kiiskiä. Muikkua ja lahnaa saatiin kahdesta ja sorvaa, ruutanaa sekä kirjolohta yhdestä järvestä. Istutettu muikku lisääntyy luontaisesti ainakin Haarajärvestä.

Haarajärven vuoden 1991 koekalastussaaliin painot ja lukumäärät eivät ole tiedossa. Havisevanjärven vuoden 1986 saaliis on viiden koekalastuskerran keskiarvo. Selvyiden vuoksi kuvassa 12 on esitetty vain ahvenien, särkien, haukien, siikojen ja kiiskien osuudet saaliista. Näiden lisäksi saaliiksi saatiin Havisevanjärvestä 1987 yksi ruutana (182 g), Matalajärvestä 1989 yksi muikku (54 g) ja vuonna 1991 kaksi muikkua (77 g), Suurilammesta 1991 yhdeksän sorvaa (258 g) ja vuonna 1993 neljä sorvaa (171 g), Isosta Hanhilammesta 1991 yksi lahna (232 g), Syväjärvestä 1993 yksi lahna (1661 g), Kalliojärvestä 1993 yksi kirjolohi (517 g) ja Haarajärvestä yhdeksän muikkua (850 g) (kuva 12).



■ ahven ■ kiiski ■ särki ■ hauki ■ slika

Kuva 12. Koekalastusosaalit tutkimusjärvistä vuosina 1986-1993.

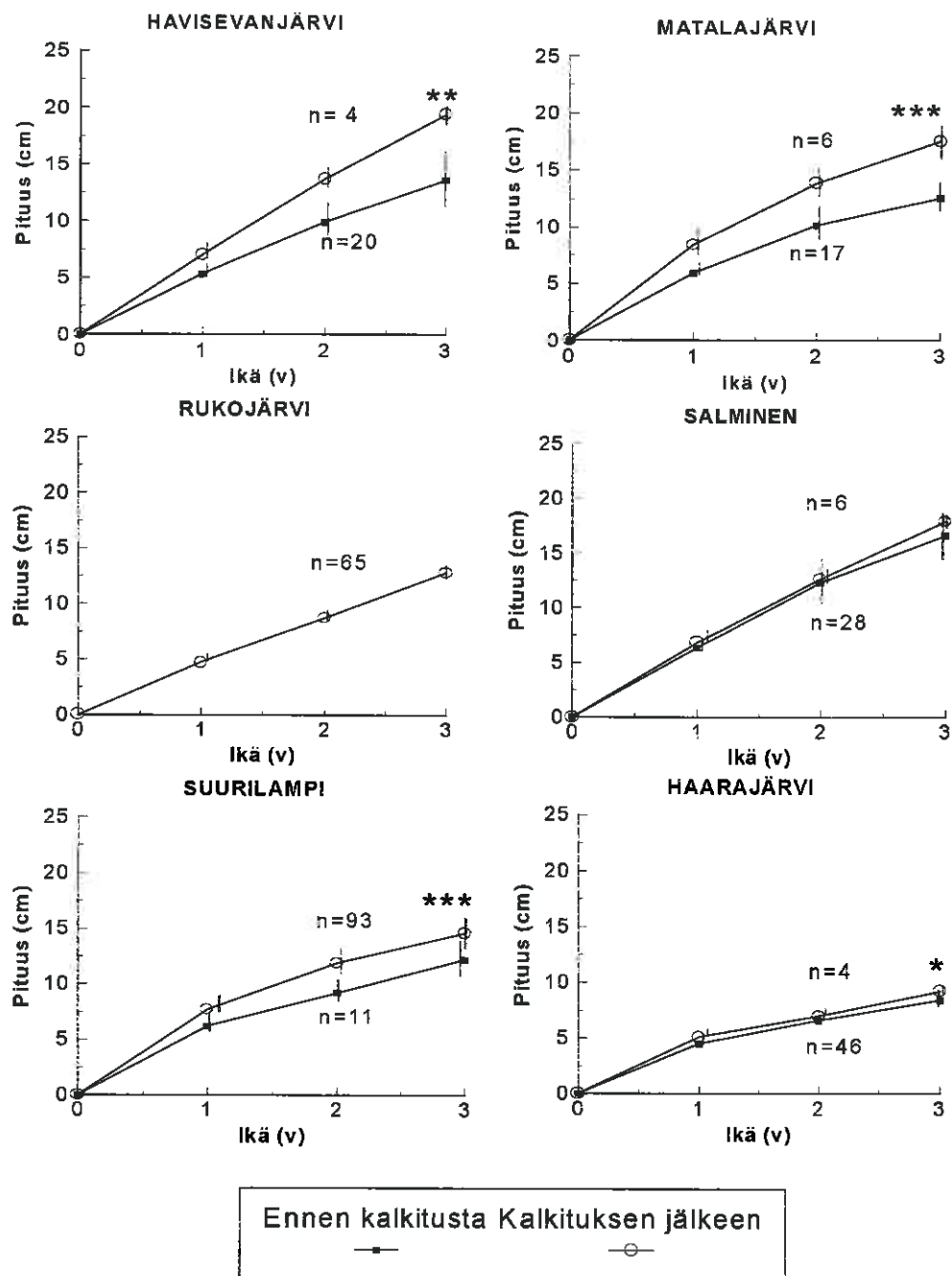
3.2 Nuoret ikäryhmät ilmaantuivat särkisaaliisiin

Ahven- ja särkisaaliiden pituusjakaumat on esitetty liitteissä 1—10. Ahvensaaliiden pituusjakaumissa ei yleensä ollut havaittavissa huomattavia eroja kalkitusta edeltäneiden ja kalkitusten jälkeisten koekalastuskertojen välillä. Ainoastaan Rukojärven saaliissa tapahtui selviä muutoksia kalkituksen jälkeen, mihin on todennäköisesti syynä pyyntipaikan vaihtuminen (liite 5). Vuosien 1987 ja 1989 pyyntipaikasta nuoria ahvenia ei saatu. Haarajärvestä ensimmäiset koekalastukset tehtiin vasta vajaat kolme vuotta kalkituksen jälkeen, joten siitä ei ole olemassa kalkitusta edeltänyttä tilannetta esittävää vertailuaineistoa.

Särkisaaliissa nuorten ikäluokkien ilmaantuminen saaliiseen näkyi selvästi. Havisevanjärven vuoden 1986 koekalastussaaliissa kaikki särjet olivat yli 17 cm:n pituisia (liite 1). Vuoden 1989 saaliissa huomattavan osan muodostivat 15 cm:n pituiset ja sitä pienemmät yksilöt. Vuosien 1991 ja 1993 koekalastuksissa ei alle 15 cm:n pituisia yksilöitä saatu, vaan saaliit koostuivat pelkästään suurista ja vanhoista kaloista. Rukojärvestä ei huonon verkonlaskupaikan takia saatu lainkaan särkiä vuoden 1987 koekalastuksissa ja vuoden 1989 saaliissakin särkiä oli vain kaksi kappaletta, pituudeltaan 12 ja 31 cm (liite 5). Vuoden 1991 saaliis koostui enimmäkseen 15 cm:n pituisista ja sitä pienemmistä yksilöistä. Vuonna 1993 ei alle 15 cm:n pituisia särkiä enää saatu. Salmisen särkisaalis koostui vuonna 1986 enimmäkseen suurista ja vanhoista yksilöistä (liite 6). Vuonna 1989 saaliiksi saatiin vain 12—13 cm:n pituisia yksilöitä. Vuoden 1991 saaliin särjet olivat kaikki 16—23 cm:n pituisia ja vuoden 1993 koekalastuksissa ei särkiä saatu lainkaan. Suurin muutos tapahtui Suurilammen särkisaaliiden pituusjakaumissa. Vuonna 1986 saatiin saaliiksi vain suuria ja vanhoja yksilöitä kun taas kaikkilla kalkituksen jälkeisillä koekalastuskerroilla saaliin pääosan ovat muodostaneet nuoret, alle 15 cm:n pituiset yksilöt (liite 7). Muissa järvissä selviä muutoksia ei ollut havaittavissa.

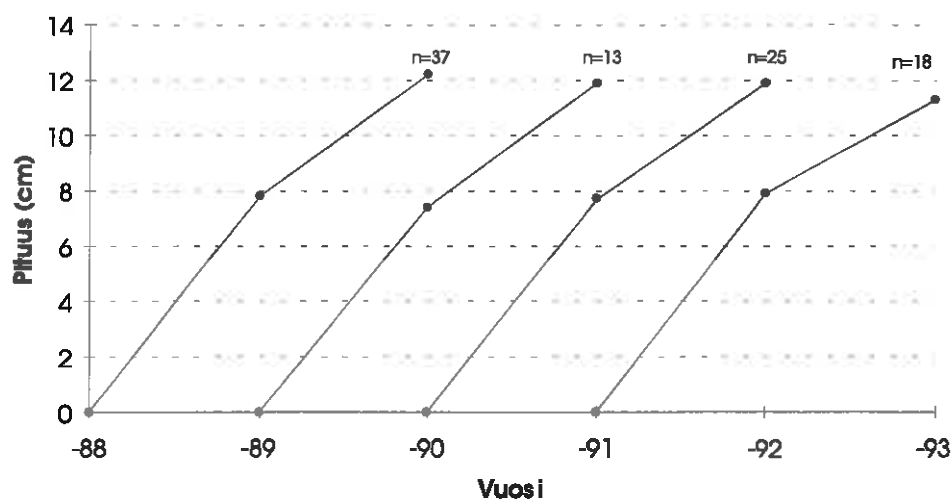
3.3 Särjen kasvu nopeutui kalkituksen jälkeen

Särjen kasvu oli kalkituksen jälkeen nopeampaa kuin ennen kalkitusta useimmissa niissä tutkimusjärvistä, joissa särkeä tavattiin (kuva 13 ja liite 11). Tilastollisesti tarkasteltuna erot kasvunopeudessa olivat suurimmat Matalajärvestä ja Suurilammesta.



Kuva 13. 1-3- vuotiaiden särkien takautuvasti lasketut keskipituudet tutkimusjärvissä. Tähdet (*) kuvaavat tilastollisesti merkitseviä eroja kasvunopeuksien välillä.

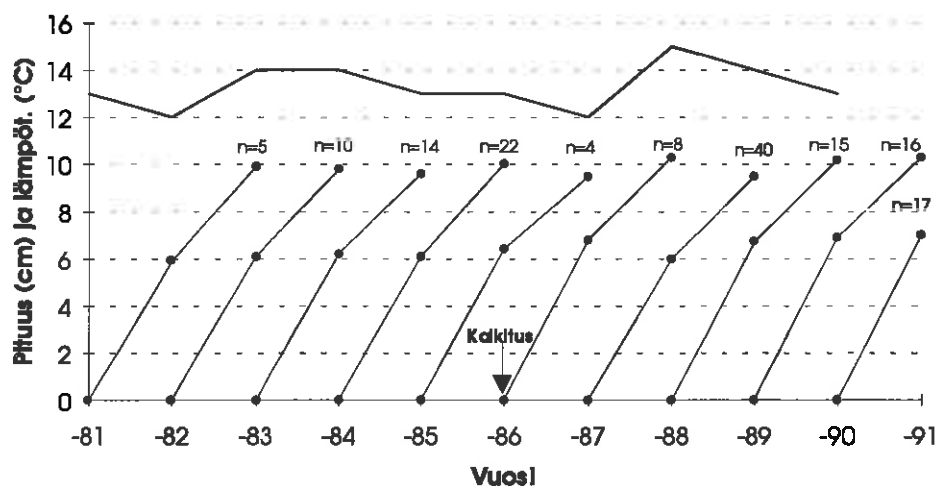
Suurilammen särjen vuosiluokkien välinen vertailu paljasti, että vuonna 1991 syntyneiden särkien kasvu oli toisena ikävuotena (kasvukausi 1992) hitaampaa kuin aiemmin kalkituksen jälkeen syntyneiden vuosiluokkien saman ikäisinä (Toistettujen mittausten varianssianalyysi ikä*vuosiluokka $p=0,0001$; Tukeyn testi 1 %:n ikäryhmäkohtaisella riskitasolla) (kuva 14).



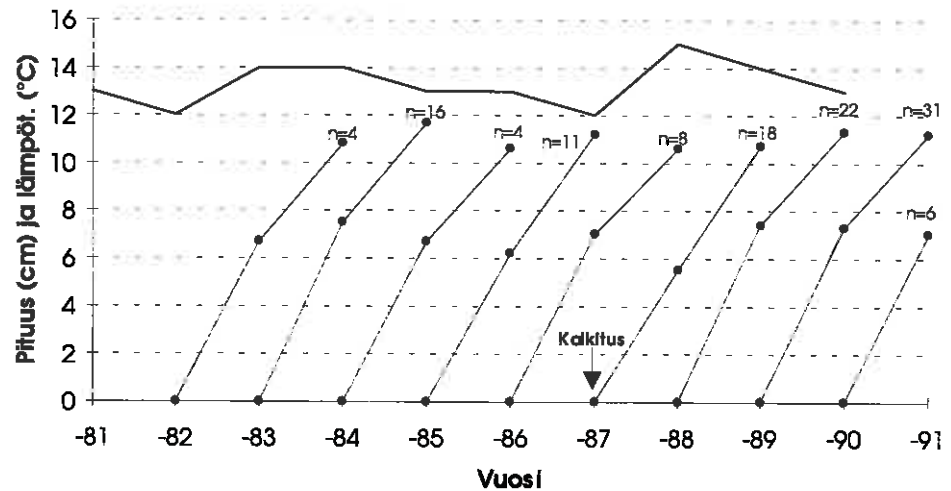
Kuva 14. Kalkituksen jälkeen syntyneiden särkien vuosiluokkien kasvu Suurilammessa.

3.4 Vaikutukset ahvenen kasvuun vähäisiä

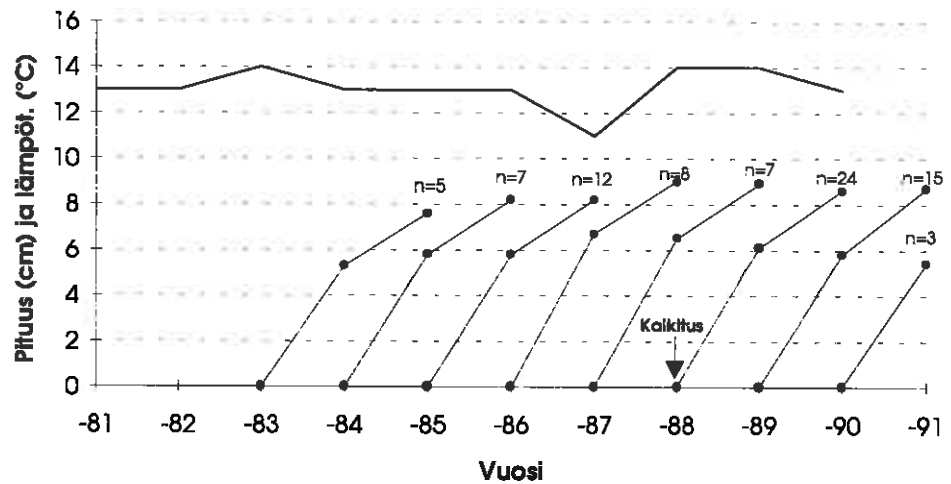
Faktorikokeen perusteella Salmisessa ja Syväjärvessä sekä lämpötila että kalkitus olivat vaikuttaneet ahvenen ensimmäisen kesän kasvuun (kuvat 15 ja 16). Haarajärvessä ja Haarajärven Valkjärvessä ei lämpötilalla eikä kalkituksella ollut faktorikokeen perusteella vaikutusta ahvenen ensimmäisen kesän kasvuun (kuvat 17 ja 18).



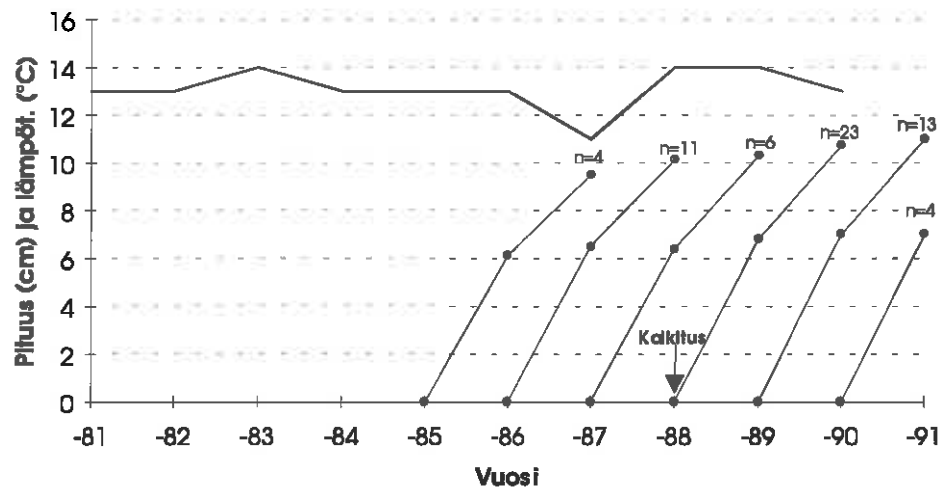
Kuva 15. Ahvenen vuosiluokkien kasvu Salmisessa kahtena ensimmäisenä elinvuotena. Faktorikokeen perusteella ensimmäisen kesän kasvuun vaikuttivat sekä lämpötila ($P < 0,001$) että kalkitus ($P < 0,01$).



Kuva 16. Ahvenen vuosiluokkien kasvu Syväjärvessä kahtena ensimmäisenä elinvuotena. Faktorikokeen perusteella ensimmäisen kesän kasvuun vaikuttivat sekä lämpötila ($P < 0,001$) että kalkitus ($P < 0,01$).

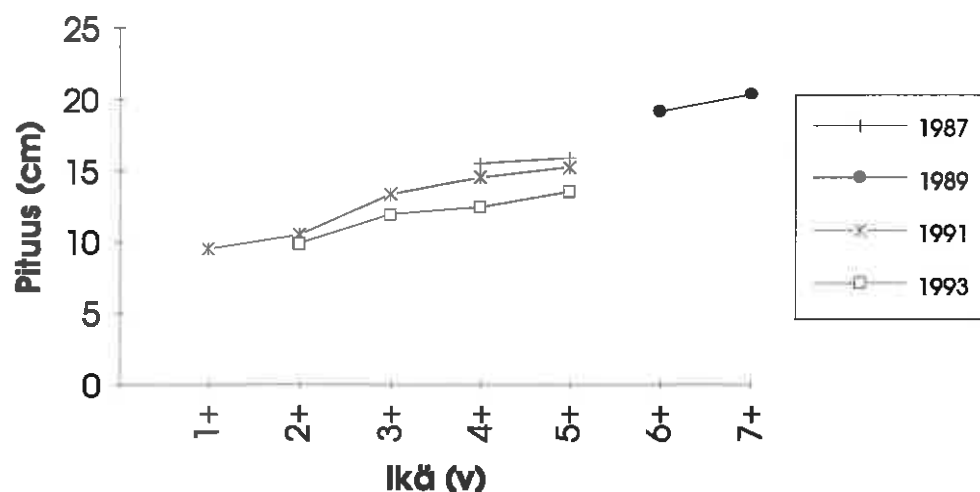


Kuva 17. Ahvenen vuosiluokkien kasvu Haarakärvessä kahtena ensimmäisenä elinvuotena. Faktorikokeen perusteella ei lämpötilalla eikä kalkituksella ollut vaikutusta ensimmäisen kesän kasvuun.

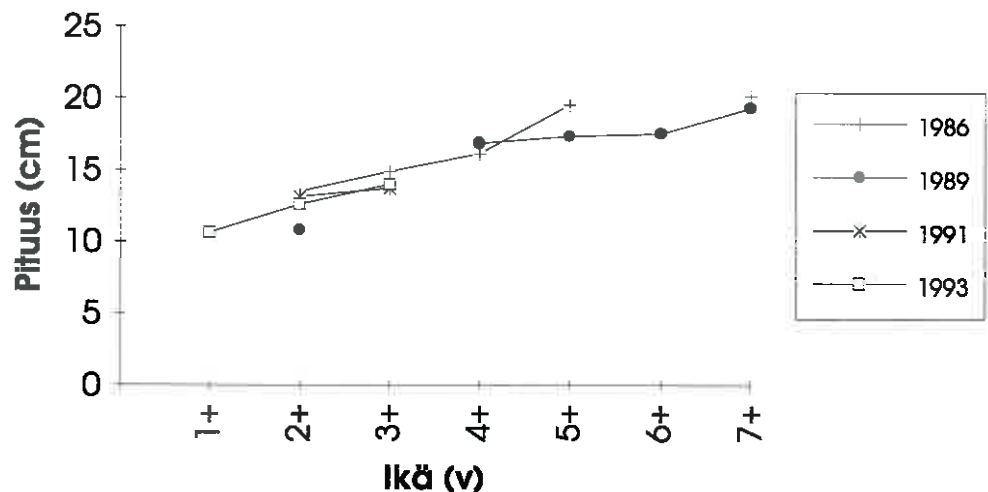


Kuva 18. Ahvenen vuosiluokkien kasvu Haarajärven Valkjärvessä kahtena ensimmäisenä elinvuotena. Faktorikokeen perusteella el lämpötilalla eikä kalkituksella ollut vaikutusta ensimmäisen kesän kasvuun.

Suurilammessa ja Rukojärvessä, joissa särkien runsastuminen näkyi selvimmmin, ahventen kasvua tutkittiin myös vertailemalla tietyn ikäisten ahventen pituuksia pyyntihetkellä eri koekalastusvuosina. Aineiston suppeuden takia sen käsittelyssä ei ole käytetty tilastollisia menetelmiä, mutta jo pelkkä graafinenkin tarkastelu näyttäisi antavan viitteitä siitä, että ahventen kasvu Rukojärvessä ja mahdollisesti myös Suurilammessa olisi kalkituksen jälkeen hidastunut (kuvat 19 ja 20). Tässä tarkasteltujen ahventen suuri koko 1+ -vuotiaana (n. 10 cm), johtuu siitä, että kalat on pyydetty toisen kasvukauden lopulla ja verkkoon ovat jääneet vain vuosiluokan nopeakasvuisimmat ja siten myös suurimmat yksilöt.



Kuva 19. Rukojärven ahventen keskipituudet eri ikäisinä, kalkitusvuonna 1987 ja sen jälkeen vuosina 1989, 1991 ja 1993 tehdyissä koekalastuksissa.



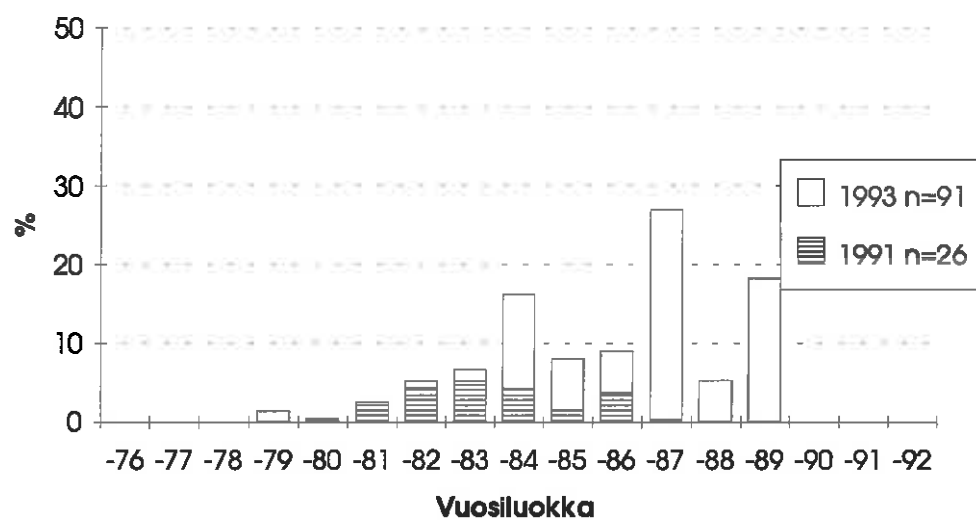
Kuva 20. Suurilammen ahventen keskipituudet eri ikäisinä ennen kalkitusta vuonna 1986 ja kalkituksen jälkeen vuosina 1989, 1991 ja 1993 tehdyissä koekalastuksissa.

3.4 Särjen lisääntyminen parani paikoin, ahvenella ei muutoksia

Pituusjakaumien perusteella ei ahvenen lisääntymisessä ollut havaittavissa mitään kalkitukseen liittyviä muutoksia. Särjen lisääntymisen onnistumista tarkasteltiin vuosiluokkien vahvuuksien perusteella niissä järvissä, joissa oli havaittu muutoksia pituusjakaumissa kalkituksen jälkeen sekä Haarajärvessä, jonka pituusjakaumista kalkitusta edeltäneeltä ajalta ei ole tietoa. Tarkastelussa ovat mukana myös ne särjet, joilta mitattiin pituus 1 cm:n tarkkuudella mutta ikää ei määritetty. Näiden yksilöiden vuosiluokka on arvioitu sen mukaan, mikä on ollut iältään tunnettujen yksilöiden osuus kussakin pituusluokassa. Selvimmin kalkitus on näyttänyt vaikuttaneen lisääntymisen onnistumiseen Rukojärvessä ja Suurilammessa, joiden saaliissa oli vallitsevana heti kalkituksen jälkeen syntynyt vuosiluokka. Melkein kaikki Rukojärvestä saaliiksi saadut särjet olivat syntyneet kalkitusvuonna 1987. Tämän jälkeen lisääntymistulos näyttää heikentyneen. Vuonna 1988 syntyneitä yksilöitä saatiin saaliiksi vain yksi kappale (kuva 21). Suurilammessa vahva vuosiluokka syntyi vuosi kalkituksen jälkeen ja lisääntyminen on onnistunut myös sen jälkeen (kuva 22). Havisevanjärvessä särjen lisääntymisessä ei vuosiluokkien vahvuuksia tarkastelemalla näyttäisi tapahtuneen suuria muutoksia kalkituslaitteen käyttöönoton jälkeen. Vuosiluokka -88 oli muita 80-luvun puolivälin jälkeen syntyneitä vuosiluokkia hieman voimakkaampi (kuva 23). Salmisessa särjen lisääntyminen on onnistunut ainakin vielä 1980-luvun alkupuolla. Vuosikymmenen puolivälissä syntyneitä yksilöitä ei tavattu, mikä voi johtua myös aineiston pienestä koosta. Lisääntyminen onnistui kalkituksen jälkeen ainakin vuosina 1987, 1988 ja 1989. Vuoden 1993 koekalastuksissa särkiä ei enää saatu, joten lisääntyminen on mahdollisesti epäonnistunut tai heikentynyt 90-luvun alussa (kuva 24). Syväjärvessä saatiin kaikkiaan saaliiksi vain kaksi särkeä (1991) ja molemmat olivat syntyneet vuonna -88, eli kalkituksen jälkeen. Haarajärvessä kalkituksen vaikutuksesta särjen lisääntymiseen ei ikäjakauman perusteella ole näyttöä. Lisääntyminen on onnistunut jo ennen kalkitusta ja myös sen jälkeen (kuva 25). Vuosiluokkien -90-92 puuttuminen saaliista johtuu ilmeisesti Haarajärven särkien hitaasta kasvunopeudesta (kuva 13), joten ne olivat liian pieniä jäädäkseen silmäharvuudeltaan 12 mm:n verkkoon vuoden 1993 koekalastuksissa.







Kuva 25. Haarajärven särjen vuosiluokkien prosentuaaliset osuudet kaikkien koekalastusvuosien kappalemääräisestä kokonaissaaliista. Järvi on kalkittu syksyllä -88.

4 TARKASTELU

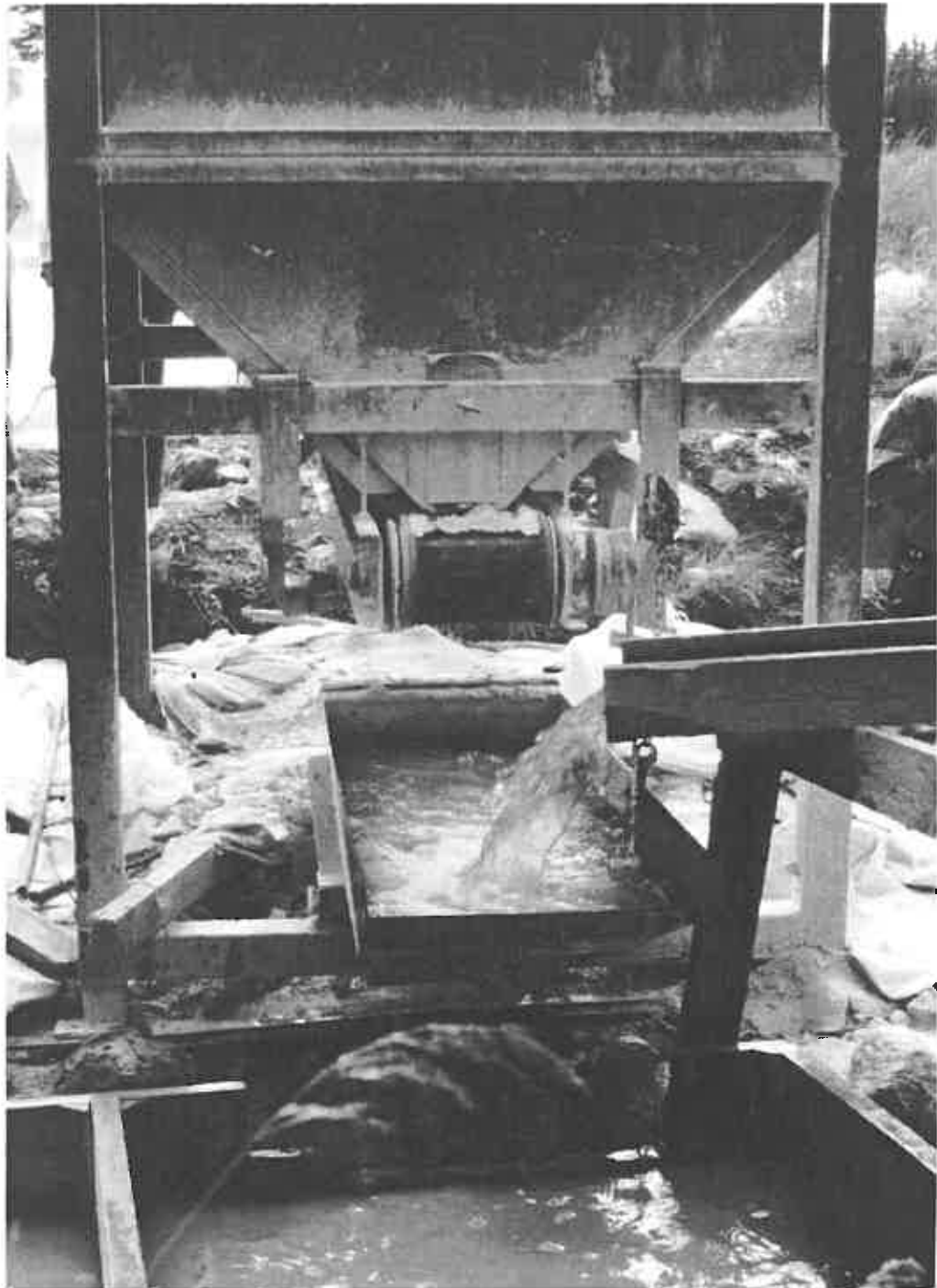
4.1 Kalkituksen vaikutuksissa huomattavia eroja järvien välillä

Kalkitus aiheutti suurimmassa osassa järviä selvän pH-arvojen kohoamisen, muutoksen voimakkuudessa ja sen kestossa oli kuitenkin huomattavia eroja eri järvien välillä. Ruotsalaisten ohjeiden mukaan kalkitusten tavoitteena on veden alkaliniteetin kohottaminen yli 0,1 mmol/l ja pH:n pysyvästi yli 6. Alkaliniteetin kohoamista yli 0,2—0,3 mmol/l ei pidetä suotavana (Wilander ym. 1995). Nybergin ja Thørnølfen (1988) mukaan kalkituksen kesto aika on yleensä 2—3 kertaa järven viipymäaika. Uudelleen-happamoitumisen katsotaan alkavan kun pH laskee alle 6:n. Mikäli näitä arvoja pidetään kriteereinä kalkituksen onnistumiselle voidaan kalkituksen katsoa onnistuneen vesikemiallisesti tutkituissa järvissä parhaiten Suurilammessa ja Haarajärven Valkjärvessä. Suurilammen osalta ei tosin ole tiedossa kalkituksen jälkeisen ajanjakson osalta sulamisvesien aikaisia arvoja, jotka yleensä ilmaisevat järven tilan huonoimmillaan ja antavat tietoa uudelleen-happamoitumisesta. Tavoitetaso saavutettiin myös Haarajärvessä. Haarajärven ja Haarajärven Valkjärven pH-arvot olivat jo ennen kalkitusta melko korkeita, eikä kalkituksen havaittu aiheuttaneen suuria muutoksia pH-arvoissa. Suurilammen ja Haarajärven Valkjärven alkaliniteetti-arvot olivat tutkimus-järvien korkeimmat ja Haarajärven Valkjärven huippuarvot ylittivät ruotsalaisten suosituksen. Tiedossa ei ole kuitenkaan pelkän korkean alkaliniteetin aiheuttamia biologisia haittavaikutuksia. Sen sijaan pH:n nousua yli 9:n pidetään haitallisena eliöstölle (Nyberg ym. 1986). Kalkkikiveä (CaCO_3) käytettäessä pH-arvo ei kuitenkaan kokemuksen mukaan nouse näin korkealle tasolle (Wilander ym. 1995).

Muissa järvissä pH:n ja alkaliniteetin nousu oli yleensä lyhytaikaista tai tavoitearvoja ei saavutettu ja uudelleen-happamoituminen alkoi melko nopeasti kalkituksen jälkeen. Silvon ja Wepplingin (1989) mukaan humuspitoisissa järvissä, joiden viipymä on lyhyt (alle 1 vuosi), kalkituksen neutralointivaikutus jää lyhytaikaiseksi. Humusyhdisteillä on taipumus saostua kalkkihiukkasen pinnalle, jolloin hiukkasten liukeneminen hidastuu tai estyy kokonaan (Sverdrup 1985). Ruko- ja Havisevanjärvessä, joissa kalkitustulos vedenlaadun osalta oli heikoin, oli myös lyhyimmät teoreettiset viipymät (11 ja 6 kk) ja korkea humuspitoisuus. Järvissä, joilla on lyhyt viipymäaika, uusintakalkitukset olisi tehtävä melko lyhyin väliajoin, mikäli haluttaisiin pysyvämpiä tuloksia ja käytettävä järvikalkituksen lisäksi valuma-alueen ja tarpeen mukaan myös järveen laskevien virtaavien vesien kalkitusta levitysmenetelminä (Nyberg & Thørnølf 1988). Myös kalkituksen toteutus (esim. annostelu) on osaltaan saattanut vaikuttaa lopputulokseen. Havisevanjärveä kalkittiin kesäisin siihen laskevaan puroon asennetulla jatkuvatoimisella mekaanisella kalkinannostuslaitteella, joka annostelee kalkkikivijauhetta suhteessa puroon virtaamaan. Veden laadun vaihtelut olivat Havisevanjärvessä kuitenkin huomattavia. Osittain tähän saattaisivat olla syynä ajoittaiset häiriöt laitteen toiminnassa, jotka heijastuvat hyvin nopeasti vedenlaatuun. Talvisin laite oli pois toiminnasta jäätymisen takia.

Useimmissa niistä järvistä, joiden kokonaisalumiinipitoisuuksista on tietoa sekä kalkitusta edeltävältä että sen jälkeiseltä ajalta, alumiinipitoisuudet alenivat odotetusti kalkituksen jälkeen. Poikkeus oli humuspitoinen Havisevanjärvi, jossa alumiini lienee sitoutunut orgaaniseen ainekseen (vrt. Wilander ym. 1995). Useimmissa järvissä

väriluku aleni lievästi. Kirkasvetisessä Suurilammessa se näytti hieman nousseen ja samoin kirkasvetisessä Syväjärvessä pysyneen ennallaan.



Havisevanjärvellä käytetty kalkituslaite annosteli kalkkia puron virtauman mukaan. Talvisin laite oli jäätymisen takia pois toiminnasta.

Syväjärven rannalla asuneen mökkiläisen mukaan pohjalla oli kuolleita ahvenia kalkituksen jälkeen keväällä 1987. Kyse on mahdollisesti ns. mixing zone -ilmiöstä, jossa pH:n noustessa alumiini polymerisoituu ja sakkautuu kalojen kiduksiin (Poléo ym. 1994). Rosselandin & Hindarin (1991) mukaan mixing zone -ilmiö on mahdollinen (a) kun kaksi erilaista vettä (hapan/kalkittu tai hapan/neutraali) sekoittuvat tai (b) kun happamaan veteen lisätään kalkkia tai muita neutralointikemikaaleja. Ongelmaa on tutkittu

mm. Norjan lohjoissa, missä alumiinin polymerisoituminen on tappanut lohenpoikasia happaman ja kalkitun virran sekoittumisvyöhykkeessä (Poløo ym. 1994). Alumiinin polymerisaatio tapahtuu korkeassa pH:ssa nopeammin kuin alhaisessa, joten jos kalkitus nostaa järven pH-arvoa vain vähän, tapahtuu polymerisaatio hitaasti. Tällöin kalat ovat pitkään altistuneena polymerisaatiolle ja on mahdollista, että kalakuolemia esiintyy (S. Peuranen, henk. koht. tiedonanto). Näin tapahtui mahdollisesti myös Syväjärvessä, jossa kalakuoleman ajankohta näyttäisi osuvan yhteen kalkin liukene-
misvaiheen ja veden kevätkierron kanssa. Mixing zone -ilmiö lienee ollut syynä kalojen joukkokuolemaan myös muovikalvolla kahtiajaetun Ison Valkjärven kalkitsemattomalla puolella, jonne pääsi vuotamaan vettä kalkitulta puolelta vuonna 1992. Kalakuolema tapahtui syksyllä täyskierron aikaan (Rask ym. 1995b).

Näytteenottoajankohdalla on suuri vaikutus tuloksiin. Minimit sekä pH- että alkaliniteettiarvoissa ovat yleensä keväisin sulamisvesien aikaan, kun taas kesällä kohonnut perustuotanto nostaa pH-arvoja ylöspäin. Runsaan valunnan aikaiset kestoltaan lyhyet (muutamasta päivästä pariin viikkoon) pH-minimit saattavat heikentää ratkaisevasti kalalajien lisääntymistulosta. Harvoin tapahtuvalla näytteenotolla nämä lyhytaikaiset mutta usein hyvin suuret muutokset jäävät huomaamatta. Tässä työssä tarkasteltujen järvien vedenlaatuaineistossa oli suuria vaihteluita näytteenottotiheyden sekä näytteenottoajankohdtien mukaan, mikä osaltaan vaikeuttaa kalkitusten vaikutusten arviointia ja vertailua. Veden laadun muutoksia ovat saattaneet aiheuttaa myös mahdolliset valuma-alueella tehdyt toimenpiteet, kuten hakkuut ja ojitukset, joita ei tässä tutkimuksessa ole pystytty kontrolloimaan.

4.2 Verkkojen valikoivuus vaikuttaa saaliisiin

Tässä työssä käytetty näytteenottomenetelmä eli koekalastus matalilla verkoilla sopii tilanteisiin, joissa on tarkoitus tutkia vain pohjan tuntumassa liikkuvia kaloja, koska verkot eivät matalia litoraalialueita lukuunottamatta kata koko vesipatsasta. Särjen ja ahvenen pyyntiin ne soveltuvat kuitenkin hyvin. Verkkosarjan käyttöön liittyy kuitenkin ongelmia, jotka johtuvat lähinnä kalojen lukumäärän suuresta hajonnasta eri näytteenottokertojen välillä, verkkojen valikoivuudesta ja verkkojen passiivisesta pyyntitavasta (Kurkilahti & Rask 1994).

Eri pyyntikertojen välistä lukumäärien hajontaa aiheuttaa kalojen parvikäyttäytyminen ja esim. säätilasta aiheutuvat erot kalojen liikkumisaktiivisuudessa. Hajontaa voidaan pyrkiä pienentämään lisäämällä pyyntikertoja tai pyydysmääriä. Verkkojen valikoivuus aiheutuu siitä, että tietty silmäkoko pyytää vain kapealla pituusalueella lajista riippuen, jolloin silmäkokojen välille voi jäädä katvealueita ja tällöin tietyn pituiset kalat saattavat jäädä pyytämättä. Tämän seurauksena mm. kannan pituusjakaumasta voidaan saada vääristynyt kuva. Yleisimmin käytetty verkkosarja on Vekary ry:n aikoinaan suosittama verkkosarja, joka käsittää silmäkoot 12, 15, 20, 25, 35, 45, 60, ja 75 mm. Tässä työssä käytettiin ns. HAPRON verkkosarjaa (12, 15, 20, 25, 30, 35, 45 ja 60 mm), jossa on Vekary ry:n sarjasta poistettu 75 mm:n verkko ja katvealueiden pienentämiseksi lisätty 30 mm:n verkko. Huolimatta vain yhdestä verkkosarjasta ja pyyntiöistä/koekalastuskerta, oletettiin, että pienissä järvissä pyyntipaikat ja -ajat vakioimalla saadaan luotettavan kasvunmääritysaineiston lisäksi riittävän tarkka kuva yleisimpien kalalajien runsaussuhteissa ja ikäjakaumissa mahdollisesti tapahtuneista selkeistä muutoksista. Happamoituminen (ja happamien vesien kalkitus) ovat aiheuttaneet niin dramaattisia muutoksia yleisten kalalajien populaatioissa, että ne on voitu havaita luotettavasti myös koeverkkopyynnillä (Lappalainen ym. 1988, Rask 1989).

4.3 Kalalajisto ennen ja jälkeen kalkituksen

Degerman ym. (1992) saivat kalkituksen jälkeen särkiä saaliiksi useammasta järvestä kuin ennen kalkitusta. Kalkituksen jälkeiseen lajilukumäärän kasvuun koekalastuksissa voi olla syynä migraatio alapuolisesta vesistöstä tai populaation koon ja samalla myös sen tiheyden kasvu, minkä seurauksena lajin on todennäköisempää joutua saaliiksi koekalastusten yhteydessä (Degerman ym. 1992). Selvästi kalkitukseen liittyviä uusia lajeja saaliissa voisivat olla Suurilammesta kalkituksen jälkeen saadut sorvat ja Rukojärvestä saadut särjet. Sorvat olivat syntyneet kalkituksen jälkeen ja lisäksi Suurilampi on laskuojaton suppalampi, joten luontaisen migraation mahdollisuuksia ei ole. On siis ilmeistä, että sorvakanta oli happamoitumisen myötä taantunut niin harvaksi, ettei niitä sen vuoksi saatu saaliiksi kalkitusta edeltäneessä koekalastuksessa. Kalkitus paransi Suurilammen vedenlaatua kuitenkin huomattavasti ja tämän seurauksena sorvien lisääntyminen onnistui ja kanta elpyi. Rukojärven saaliissa lähes kaikki särjet olivat syntyneet kalkituksen jälkeen. Siihen, ettei Rukojärvestä saatu särkiä vuoden 1987 koekalastuksissa, on harvan kannan lisäksi ollut syynä mitä ilmeisemmin verkkojen huono laskupaikka. Laji voi kalkituksen jälkeen kotiutua vesistöön uudelleen, mikäli sen läheisyydessä on vesistöjä joissa tämä laji on säilynyt (Bergquist 1991). Lajien mahdollisuus rekolonisaatioon riippuu paitsi sopivista rekolonisaatiolähteistä myös lajin migraatiokyvystä. Pelagiset lajit kuten esimerkiksi taimen, siika, kuore ja kuha ovat paremmin sopeutuneet uimaan virtaavissa vesissä kuin benthiseen elämään sopeutuneet ahven, särki, kiiski ja lahna (Pavlov 1989). Raitaniemen ja Raskin (1990) mukaan kalkitus lisäsi särkien kutuaikaista migraatiota Vesijärvestä ylös Havisevanjärveen. Degermanin ym. (1992) tutkimuksessa rekolonisaatiota olivat edesauttaneet myös urheilukalastajat, jotka olivat käyttäneet särkiä täkykaloina.

Tässä työssä alhaisin lajilukumäärä (lukuunottamatta istutusten varassa olevia lajeja) ennen kalkituksia tehdyissä koekalastuksissa oli Kalliojärvestä, josta saatiin vain ahventa. Tilanne ei kalkituksen jälkeenkään juuri muuttunut, vaan ahventen lisäksi saaliiksi saatiin vain muutama hauki. Haukien puuttuminen saaliista ennen kalkitusta ja ilmestyminen kalkituksen jälkeen tuskin kuitenkaan liittyy kalkitukseen, vaan kyse on lähinnä sattumasta. Kutuajan ulkopuolella hauki liikkuu vähän, jolloin sen pyydystettävyys verkoilla on melko huono (Yrjänä 1988). Kalliojärven lisäksi pienimmät lajimäärät olivat Syväjärvestä ja Isossa Hanhilammessa. Myös näissä järvissä veden pH-arvot olivat ennen kalkituksia alhaiset, mikä selittäisi ainakin särjen puuttumisen. Ennen happamoitumista särki kuului näiden järvien lajistoon (Raitaniemi ym. 1992), mutta hävisi näistä sen jälkeen ilmeisesti kokonaan lukuunottamatta Syväjärveä, josta vielä vuoden 1991 koekalastuksissa saatiin kaksi kalkituksen jälkeen syntynyttä särkeä.

Vaikka kalastustulokset eivät antaneet näyttöä haukikannoissa tapahtuneista muutoksista, Havisevanjärven pitkäaikaisten ranta-asukkaiden mukaan 1960-luvulla harvinaistunutta haukea alkoi uudelleen jäädä katiskoihin ja uistimiin 1990-luvun alussa. Ero 1970-luvun ja 1980-luvun saaliistasoon herätti huomiota eri puolilla järveä mökilläisissä, jotka eivät olleet kosketuksissa toisiinsa. Särkien lisääntyminen lienee parantanut hauenpoikasten eloonjäämistä ja kasvua (vrt. Raitaniemi 1995) ja isompientkin haukien ravintotilannetta.

4.4 Särki voi syrjäyttää ahvenen

Eräistä tutkimusjärvistä särki oli hävinnyt happamoitumisen seurauksena ja monissa jäljellä olevissakin särkikannoissa oli merkkejä lisääntymishäiriöistä. Tutkimusjärvissä havaitut kalkituksen jälkeiset muutokset särkipopulaatioissa liittyivät sekä särjen lisääntymistuloksen että kasvun paranemiseen. Suurilammessa ja Rukojärvestä muutokset

olivat niin suuria, että ne näkyivät selvästi myös kalalajien runsaussuhteissa. Suurilammen vedenlaadun voimakas ja pitkäaikainen paraneminen mahdollisti särjen nousun valtalajiksi ja ahvenkannan taantumisen. Särkikannan voimistuminen näkyi myös yksikkösaaliiden huomattavana lisääntymisenä. Rukojärvessä vahva vuosiluokka syntyi vain kalkitusvuonna, eikä lisääntyminen sen jälkeen ole juuri onnistunut. Vedenlaadusta Rukojärvessä heti kalkituksen jälkeen ei ole tietoa, mutta päätellen särjen lisääntymisen onnistumisesta on veden pH:n täytynyt nousta vähintään noin pH 6:een kesän ajaksi. Vuoden 1988 ja myöhempien vuosien vedenlaatu näyttäisi olevan syynä lisääntymishäiriöihin tämän jälkeen. Vuosiluokkien vahvuuksien perusteella Haarakärvessä veden pH on ollut jo ennen kalkitusta riittävän korkea särjen lisääntymiselle, eikä kalkituksella näyttänyt olevan minkäänlaista vaikutusta lisääntymistulokseen. Muissa järvissä on ollut pH-minimejä ja särjen menestys sattumanvaraisempaa tai sitten särki oli hävinnyt jo ennen kalkitusta.

Nybergin ym. (1986) mukaan kalkituksen jälkeen kalapopulaatioiden kehitystä säätelevät lähinnä biologiset vuorovaikutussuhteet ympäristömuuttujien sallimissa rajoissa. Svärdsonin (1976) mukaan särkipopulaation kokoa säätelevät lähinnä abioottiset tekijät, kuten pH, happipitoisuus, ravinnetaso ja lämpötila. Särki on vahva kilpailija ja kalkituksen jälkeen voidaan odottaa särkipopulaation kasvavan ja vaikuttavan myös muihin lajeihin kuten ahveneen (Nyberg ym. 1986). Eriksson ym. (1983) tutkivat Keski-Ruotsissa sijaitsevaa Mörttsjön-järveä, jossa särjen lisääntyminen ei ollut onnistunut vuoden 1969 jälkeen ja populaatio koostui muutamasta suuresta ja vanhasta yksilöstä. Järven yläpuolista vesistöä kalkittiin vuoden 1978 keväällä ja samana vuonna syntyi uusi särjen vuosiluokka. Kolme vuotta kalkituksen jälkeen verkkosaaliissa olivat enemmistönä kalkituksen jälkeen syntyneet vuosiluokat.

Särjen kasvun nopeutuminen kalkituksen jälkeen useimmissa järvissä voi johtua happamuuden aiheuttaman fysiologisen stressin vähentymisestä ja ravintotilanteen paranemisesta. Mm. Rodgers (1984) ja Vuorinen ym. (1990) ovat havainneet happamuuden ja korkean alumiinipitoisuuden aiheuttaman stressin hidastavan lohikalojen kasvua. Biologisen tuotannon lisääntymisen seurauksena planktonäyriäisten ja pohjaeläinten yksilö- ja lajimäärät kasvavat kalkituksen jälkeen (Eriksson ym. 1983, Raddum ym. 1984). Särjen kasvun hidastuminen Suurilammessa vuonna 1992 saattaa johtua lisääntyneestä lajin sisäisestä ravintokilpailusta. Useat dominoivat lajit ovat planktivorisia (Svärdson 1976) ja monet näistä lajeista (esim. särki) ovat herkkiä happamoitumiselle (Almer ym. 1978, Appelberg ym. 1989). Vesistön happamoitumisvaiheessa petokalojen ja kilpailevien lajien puuttuessa ahventen lukumäärä kasvaa ja ahvenesta tulee valtalaji (Nyberg ym. 1986). Veden fosforipitoisuus lisääntyy usein kalkitusten yhteydessä, mihin on syynä joko epäpuhtaudet kalkkikivessä tai fosforin vapautuminen sedimentistä lisääntyneen hajoituksen tuloksena (Raddum ym. 1986, Appelberg ym. 1990). Appelberg ym. (1990) havaitsivat biomassan lisääntyvän kaikilla trofiatasoilla kalkituksen jälkeen. Kilpailu särjen ja ahvenen välillä lisääntyy järven tuotantokyvyn kohotessa. Tällöin suuret eläinplanktonilajit käyvät harvinaisemmiksi, mikä antaa särjelle kilpailuedun (Stenson 1979, Persson 1987), jolloin särkikannat vahvistuvat ja ahvenkannat heikentyvät. Särki syö eläinplanktonia tehokkaammin kuin ahven. Etenkin poikasvaiheessa särki pystyy syömään pienikokoisempaa ravintoa kuin ahven ja lisäksi särki ruokailee myös yöllä hämärässä. Ahvenen poikaset eivät tähän pysty, sillä niiden verkkokalvo on sopeutunut särkeä huonommin hämärässä näkemiseen (Diehl 1988). Kilpailu eläinplanktonista särkien kanssa voimistaa nuorten ahventen siirtymistä litoraalin pohjaeläinravintoon. Tämä lisää lajin sisäistä kilpailua, sillä myös aikuiset ahvenet ovat pitkälti pohjaeläinravinnon varassa (Diehl 1988, Persson & Greenberg 1990).

4.5 Ahveneen vaikuttavat tuotannon kasvu ja lisääntyvä ravintokilpailu

Ahvenkannoissa ei Suurilammen kannan romahtamista lukuunottamatta havaittu suuria muutoksia. Ahvenen lisääntymisen on havaittu häiriintyvän pH:n laskiessa alle 5,0—5,5 (Milbrink & Johansson 1975, Runn ym. 1977, Lappalainen ym. 1988, Raitaniemi ym. 1988). Tutkimusjärvet eivät olleet ahvenen lisääntymisen kannalta haitallisen happamia ennen kalkitusta, eikä lisääntymishäiriöitä pituusjakaumien perusteella ollut esiintynyt ennen kalkitusta. Koska alhainen pH ei ollut lisääntymistä rajoittava tekijä ennen kalkitusta, ei myöskään kalkituksella ollut vaikutusta lisääntymistulokseen. Eriksson ja Tengelin (1987) ja Degerman ym. (1992) saivat suurentuneita ahvenen yksikkösaaliita kalkituista järvistä. Näissä järvissä pH oli ennen kalkitusta kuitenkin niin alhainen, että se haittasi lisääntymistä. Tähän viittaisi myös se, että yksikkösaaliit kasvoivat eniten järvissä, joiden ahvenkanta oli hyvin harva ja koostui erittäin vanhoista yksilöistä. Myös Degerman ym. (1992) havaitsivat, että ahventen keskipituus ei muuttunut kalkituksen jälkeen järvissä, joiden pH ei ollut laskenut alle 5,5 ennen kalkitusta.

Nyberg ym. (1986) tutkivat kalkituksen vaikutusta ahventen kasvuun järvissä, joissa happamoituminen ei ollut vaikuttanut lisääntymistulokseen. Tulosten mukaan kalkitus oli nopeuttanut kasvua kaikkina kasvukausina, erityisesti vanhempien yksilöiden kasvua. Ahvenella kasvun nopeutumiseen voisi vaikuttaa lähinnä pohjaeläin- tai eläinplanktonituotannon kasvu, mikä ilmenee ravintotilanteen paranemisena (Eriksson ym. 1983, Raddum ym. 1984, Appelberg ym. 1990). Sekä Alisenjärven (Rask ym. 1995a) että Iso Valkjärven (Rask ym. 1995b) kalkituskokeissa saatiin viitteitä eläinplanktonituotannon suurenemisesta kalkitusta seuranneella kasvukaudella. Ahvenen kasvu ei kuitenkaan selkeästi nopeutunut kummassakaan järvessä. Raitaniemi ym. (1992) havaitsivat Havisevanjärvestä, Kalliojärvestä sekä Suurilammesta kasvukauden keskilämpötilan ja kalkituksen vaikuttaneen ahvenen ensimmäisen kesän kasvuun, mutta lämpötilan vaikutuksen olleen suurempi kuin kalkituksen. Tässä työssä samalla menetelmällä Salmisesta ja Syväjärvestä saatujen tulosten mukaan lämpötilalla oli suurempi vaikutus ensimmäisen vuoden kasvuun kuin kalkituksella. Lähimpänä neutraalia ennen kalkitusta olleissa Haarajärven Valkjärvestä ja Haarajärvestä kummallakaan tekijällä ei ollut vaikutusta kasvuun.

Appelberg ym. (1990) vertailivat tietyn ikäisten ahventen keskipituuksia ennen kalkitusta ja kalkituksen jälkeisinä vuosina pyydettyjen kalojen välillä. Tulosten mukaan kalkituksen jälkeen ahventen keskipituuksien lyhenivät verrattuna saman ikäisiin yksilöihin ennen kalkitusta. Syynä tähän arvellaan olleen lisääntynyt ravintokilpailu, joko pienten ahventen ja muikun välillä tai ahvenen ja särjen välillä. Samansuuntaisia tuloksia saatiin myös Rukojärvestä ja Suurilammesta, joissa runsastuneen särkikannan seurauksena lisääntynyt lajienvälinen ravintokilpailu ja mahdollisesti myös vahvan ahvenen vuosiluokan syntymisen seurauksena voimistunut lajin sisäinen ravintokilpailu hidasti ahvenen kasvua. Ravintotuotannon kasvu voi siis parantaa ahvenen kasvua. Kilpailu särjen kanssa saattaa kuitenkin estää kasvun paranemisen ja aikaa myöten ahventiheyden suurenemisesta johtuva lajin sisäisen kilpailun voimistuminen voi rajoittaa ahvenen kasvua.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET

Useissa tutkimusjärvissä kalkitus toteutettiin joko liian pienellä kalkkimäärällä tai menetelmällä, jolla riittävän korkeata alkaliniteettia ei saavutettu. Riittävän suurta kalkkimäärää käytettäessä minimoidaan alumiinin myrkyvaikutukset ja kalkituksesta johtuvan kalakuoleman mahdollisuus. Kertakalkituksen vaikutus jää lyhytaikaiseksi etenkin, jos järven keskiviipymä on lyhyt. Jos uudelleenhappamoituminen halutaan ehkäistä, kalkituksia tulee tehdä pitkällä tähtäimellä: uusintakalkitukset on toistettava riittävän usein, jotta pH-arvo ei alenisi alle kuuden. Vesissä, joissa viipymä on lyhyt, pelkkä järviveteen tai jäälle tehtävä kalkitus ei riitä. Ruotsista saatujen kokemusten perusteella eri kalkitusmenetelmien yhdistelmällä saadaan yleensä paras vaikutus.

Kalkitut järvet olivat pieniä ja vähälajisia. Siksi onnistuneistakaan kalkituksista ei koitunut kalastajan näkökulmasta havaittavaa hyötyä, lukuun ottamatta joissakin järvissä mahdollisesti tapahtunutta haukikannan voimistumista. Pitkälle happamoituneissa järvissä, joista särki on hävinnyt ja joihin se ei pääse leviämään takaisin luontaisesti, kalkitus voi elvyttää säilyneitä ahven- ja haukikantoja. Happamoituneista metsäjärvistämme useimmat ovat kuitenkin vain lievästi happamoituneita, eikä ahvenen ja hauen lisääntyminen ole häiriintynyt. Mikäli tällaisessa järvessä on säilynyt särkikanta, kalkituksen todennäköisin ja näkyvin vaikutus on särkikannan elpyminen. Elpyvä särkikanta voi viedä elintilaa ahvenelta ja istutetuilta sioilta, mikä tuskin on toivottu vaikutus. Toisaalta myös haukikanta voi vuosien myötä voimistua, ja joissakin tapauksissa istutettujen kirjolohien, taimenien tai rapujen elinmahdollisuuksia voidaan parantaa kalkituksilla.

Neutralointitarvetta arvioitaessa on oltava selkeä käsitys siitä mihin kalkituksilla pyritään eli mitä haittoja toimenpiteellä pyritään ennaltaehkäisemään, poistamaan tai vähentämään ja mikä on näiden haitallisten vaikutusten laajuus ja merkitys. Pelkkä veden pH-arvon kohottaminen ei kuitenkaan ole riittävä peruste kalkitukselle, eikä myöskään luontaisen happamuuden neutralointia ole pidetty perusteltuna. On myös huomioitava, että vaikka kalkituksen seurauksena vesistön lajisto yleensä monipuolistuu, kalkitus ei kuitenkaan palauta vesistöä luonnontilaansa. Mikäli tavoitteena on turvata kalastusmahdollisuus, sopiva hoitotoimenpide voi olla myös happamuutta sietävien lajien, lähinnä siian istuttaminen. Kalkituksia ei siis ole syytä toteuttaa summittain, vaan kalkituspäätöksiä tehtäessä on oltava tietoa vesistön kalakantojen tilasta ja huomioitava vesistön arvo ja merkitys, jotta voidaan arvioida, kuinka suuria taloudellisia panostuksia kohteeseen on järkevä suunnata.

6 YHTEENVETO

Työssä tutkittiin kalkituksen vaikutusta kalakantoihin kymmenessä eteläsuomalaisessa pikkujärvessä, jotka ovat happamoituneet viime vuosikymmenien aikana happaman laskeuman seurauksena. Järvet kalkittiin kertaalleen vuosina 1986—87, lukuunottamatta Haarajärveä ja Haarajärven Valkjärveä jotka molemmat kalkittiin 1988. Matalajärvi kalkittiin kahteen kertaan; ensimmäisen kerran vuonna 1983 ja toisen kerran vuonna 1987. Havisevanjärveen laskevassa purossa oli jatkuvatoiminen kalkinannostelija, joka oli toiminnassa kesäisin vuosina 1986—1990.

Veden pH-arvot nousivat kaikissa tutkimusjärvissä heti kalkituksen jälkeen. Muutoksen voimakkuudessa ja kestossa oli kuitenkin huomattavia eroja. Vesikemiallisesti kalkitus onnistui parhaiten Suurilammessa ja Haarajärven Valkjärvessä. Sekä veden pH- että alkaliniteetti-arvot kohosivat huomattavasti, ja muutos on ollut kestoaltaan pitkäaikainen. Kummassakin järvessä hyvään tulokseen vaikutti hidas veden vaihtuvuus. Muissa järvissä muutokset olivat yleensä vähäisiä ja jäivät kestoaltaan lyhytaikaisiksi. Heikoimmin kalkitukset onnistuivat Ruko- ja Havisevanjärvessä, joissa on lyhyt viipymäaika ja korkea humuspitoisuus.

Ahven oli yleisin kalalaji tutkimusjärvissä. Myös särki on aikoinaan kuulunut kaikkien tutkimusjärvien lajistoon, mutta on myöhemmin hävinnyt osasta järviä happamoitumisen seurauksena. Monissa niistä järivistä, joissa särkeä vielä tavattiin, oli merkkejä lisääntymishäiriöistä ennen kalkituksia. Selviä kalkituksen jälkeisiä muutoksia kalakantojen rakenteessa havaittiin vain Rukojärvessä ja Suurilammessa, ja nämä muutokset liittyivät särjen lisääntymistuloksen paranemiseen ja kannan vahvistumiseen. Suurilammessa särkikanta vahvistui niin voimakkaasti, että siitä tuli parissa vuodessa valtalaji ja ahvenkanta taantui. Rukojärvessä lisääntyminen onnistui lähinnä vain kalkitusvuonna, eikä muutos ollut yhtä voimakas. Lähes kaikissa tapauksissa kalkituksen jälkeen syntyneet särjet kasvoivat nopeammin kuin ennen kalkitusta syntyneet ja eläneet, ilmeisesti vähentyneen stressin ja parantuneen ravintotilanteen seurauksena. Ahvenen lisääntymistulokseen ei kalkituksella näyttänyt olleen vaikutusta. Syynä tähän on se, ettei pH näissä järvissä ennen kalkituksia ollut niin alhainen, että ahvenen lisääntyminen olisi häiriintynyt. Kalkituksen vaikutuksesta ahvenen kasvuun ei saatu yksiselitteistä tulosta. Rukojärven ja Suurilammen osalta saatiin tosin viitteitä siitä, että näissä järvissä runsastuneen särkikannan seurauksena voimistunut lajien välinen ravintokilpailu ja Rukojärvessä myös lajin sisäinen ravintokilpailu olisi hidastanut ahventen kasvua.

Kalkituksista ei näissä tapauksissa koitunut kalastuksellista hyötyä, lukuun ottamatta joissakin järvissä mahdollisesti tapahtunutta haukikannan voimistumista. Järvemme ovat yleensä vain kohtalaisesti happamoituneita, jolloin esimerkiksi ahvenen lisääntyminen ei ole häiriintynyt. Jos tällaisessa järvessä on särkikanta, kalkituksen näkyvin vaikutus on useimmiten särkikannan elpyminen. Kalkituksia ei siis ole syytä toteuttaa summittain, vaan neutralointitarvetta arvoitaessa on huomioitava mm. järven kalakan-
tojen tila ja kalkituksesta kalastajille koituva hyöty.

KIITOKSET

Tutkimus aloitettiin vuonna 1987 osana maa- ja metsätalousministeriön sekä ympäristöministeriön rahoittaman HAPRO-projektin kalakantatutkimuksia ja se saatettiin valmiiksi osana Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen happamoitumistutkimuksia. Työtä ovat olleet tekemässä vuosien mittaan monet ihmiset, mm. Aimo Järvinen, Antti Lappalainen ja Kari Nyberg. Kiitokset kaikille!

KIRJALLISUUS

- ALMER, B., DICKSON, W., EKSTRÖM, C. & HÖRNSTRÖM, E. 1978. Sulfur pollution and the aquatic ecosystem. Teoksessa: J.O. Nriagu (toim.), Sulfur in the Environment. Part II. Ecological Impacts. New York. John Wiley & Sons. s. 271-311.
- APPELBERG, M. & ALDEN, U. 1992. Integrerad uppföljning av kalkningens effekter på sjöar och vattendrag - en treårsrapport. Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm 4. 60 s.
- APPELBERG, M., DEGERMAN, E. & NORRGREN, L. 1992. Effects of acidification and liming on fish in Sweden-a review. Finnish Fish. Res. 13. s. 77-91.
- APPELBERG, M., DEGERMAN, E. & NYBERG, P. 1989. Species composition and relative abundance of the fish fauna in acidified and limed lakes in Sweden. Teoksessa: J.W.S. Longhurst (toim.), Acid Deposition- Sources, Effects and Controls. British Library, Technical communications. s. 143-160.
- APPELBERG, M., EKSTRÖM, C. & HÖRNSTRÖM, E. 1990. Stora Härsjön - ett exempel på integrad uppföljning av kalkningens effekter. Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm 1. 20 s.
- BAGENAL, T. B. & TESCH, F. W. 1978. Age and growth. Teoksessa: Bagenal, T. B. (toim.), Methods for assessment of fish production in fresh waters. Blackwell, Oxford. s. 101-136.
- BERNES, C. 1991. Försurning och kalkning av svenska vatten. Solna. Swedish Environmental Protection Agency. Monitor 12. 144 s.
- BERGQUIST, B. C. 1991. Extinction and natural recolonisation of fish in acidified and limed lakes. Nordic J. Freshw. Res. 66. s. 50-62.
- BROWN, D.J.A. & SADLER, K. 1989. Fish survival in acid waters. Teoksessa: Morris, R., Taylor, E.W., Brown, D.J.A. & Brown, J.A. (toim.), Acid toxicity and aquatic animals. Society for Experimental Biology, Seminar Series 34. Cambridge University Press. s. 31-44.
- DEGERMAN, E., APPELBERG, M. & NYBERG, P. 1992. Effects of liming on the occurrence and abundance of fish populations in acidified Swedish lakes. Hydrobiologia 230. s. 201-212.
- DIEHL, S. 1988. Foraging efficiency of three freshwater fishes: Effects of structural complexity and light. Oikos 53. s. 207-214.
- ERIKSSON, F., HÖRNSTRÖM, E., MOSSBERG, P. & NYBERG, P. 1983. Ecological effects of lime treatment of acidified lakes and rivers in Sweden. Hydrobiologia 101. s. 145-164.
- FISKERISTYRELSEN 1982. Råd och riktlinjer för kalkning av sjöar och vattendrag. Medd. från Fiskeristyrelsen 1/1982.
- HASSELROT, B. & HULTBERG, H. 1984. Liming of acidified Swedish lakes and streams and its consequences for aquatic ecosystems. Fisheries 9 (1). s. 4-9.

- HENRIKSEN, A., LIEN, L., ROSSELAND, B.O., TRAAEN, T.S. & SEVALDRUD, I.S. 1989. Lake acidification in Norway: present and predicted status. *Ambio* 18. s. 314-321.
- HENRIKSON, L. & BRODIN, Y.-W. 1995. Liming of surface waters in Sweden - a synthesis. Teoksessa: Henrikson, L. & Brodin, Y.-W. (toim.), Liming of acidified surface waters. A Swedish synthesis. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. s. 1-44.
- HULTBERG, H. & ANDERSSON, I.B. 1982. Liming of acidified lakes: Induced long-term changes. *Water, Air, and Soil Poll.* 18. s. 311-331.
- IIVONEN, P. & KENTTÄMIES, K. (toim.) 1993. Vesistöjen koeneutralointi. Vesi- ja ympäristöhallinnon koeneutralointiohjelman raportti vuosilta 1991-1992. Helsinki. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 458. 80 s.
- IIVONEN, P. & MANNIO, J. 1995. Kalkituksen fysikaaliset ja kemialliset vaikutukset Alisessajärvessä. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja-sarja A 216. s. 17-36.
- JÄRVINEN, M., IIVONEN, P., KUOPPAMÄKI, K. & RASK, M. 1995. Kalkituksen vaikutus veden fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin Iso Valkjärvessä. Helsinki. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia 101. s.11-24.
- KALKITUSTYÖRYHMÄN MIETINTÖ. 1991. Pintavesien neutraloinnin suuntaviivat Suomessa. Helsinki. Ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto. Työryhmän mietintö 60. 94 s.
- KOKKO, H. 1980. Taannehtivat kasvunmääritysmenetelmät kaloilla. Hydrobiologian lisensiaattiseminaariesitelmä, tiivistelmä. Jyväskylän yliopisto. 4 s.
- KURKILAHTI, M. & RASK, M. 1994. Koeverkkokalastus - näytekaloja vai kalakanta- arvioita. *Suomen kalastuslehti* 101 (3). s. 18-20.
- LAPPALAINEN, A. 1992. Suomalaisten suhtautuminen vesistöjen happamoitumisen torjuntatoimenpiteisiin. Helsinki. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 54. s. 105-126.
- LAPPALAINEN, A., RASK, M. & VUORINEN, P. J. 1988. Acidification affects the perch, *Perca fluviatilis* populations in small lakes of southern Finland. *Environ. Biol. Fish.* 21 (3). s. 231-239.
- LAURILA, T. 1990. Wet deposition trends of major inorganic ions in Finland based on daily bulk deposition samples. *Water Air Soil Pollution* 52. s. 295-324.
- LE CREN, E. D. 1958. Observations on the growth of perch (*Perca fluviatilis* L.) over twenty two years with special reference to the effects of temperature and changes in population density. *J. Anim. Ecol.* 27. s. 287-334.
- LEINONEN, L. 1993 (toim.). Ilmanlaatumittauksia - Air quality measurements. Ilmatieteen laitos. 245 s.
- McCOMBIE, A. M. 1959. Some relationships between air temperatures and the surface water temperatures of the lakes. *Limnol. Oceanogr.* 4. s. 252-258.
- MILBRINK, G. & JOHANSSON, N. 1975. Some effects of acidification on roe of roach, *Rutilus rutilus* L., and perch, *Perca fluviatilis* L. - with special reference to the Åvaå lake system in eastern Sweden. *Rep. Inst. Freshw. Res. Drottningholm* 54. s. 52-61.
- NYBERG, P., APPELBERG, M. & DEGERMAN, E. 1986. Effects of liming on crayfish and fish in Sweden. *Water, Air, and Soil Poll.* 31. s. 669-687.

- NYBERG, P. & THØRNELØF, E. 1988. Operational liming of surface waters in Sweden. *Water, Air, and Soil Poll.* 41. s. 3-16.
- ORAVAINEN, R. 1983. Kangasalan kunnan alueella sijaitsevien järvien perustutkimus 1982-1983. Tampere. Kokemäenjoen vesiensuojeluyhdistys r.y. 34 s.
- ORAVAINEN, R. 1985. Tampereen kaupungin järvien happamoitumisselvitys 1984-1985. Tampere. Kokemäenjoen vesiensuojeluyhdistys r.y. 175. 63 s.
- PAVLOV, D. S. 1989. Structures assisting the migrations of non-salmonid fish: USSR. *FAO Fish Tech. Pap.* 308. 97 s.
- PERSSON, L. 1987. Effects of habitat and season on competitive interactions between roach (*Rutilus rutilus*) and perch (*Perca fluviatilis*). *Oecologia* 73. s. 170-177.
- PERSSON, L. & GREENBERG, L.A. 1990. Juvenile competitive bottlenecks: The perch (*Perca fluviatilis*)-roach (*Rutilus rutilus*) interaction. *Ecology* 71. s. 44-56.
- POLÈO, A. B. S., LYDERSEN, E., ROSSELAND, B. O., KROGLUND, F., SALBU, B., VOGT, R. D. & KVELLESTAD, A. 1994. Increased mortality of fish due to changing Al- chemistry of mixing zones between limed streams and acidic tributaries. *Water, Air, and Soil Poll.* 75. s. 339-351.
- RADDUM, G. G., HAGENLUND, G. & HALVORSEN, G. 1984. Effects of lime treatment on the benthos of Lake Søndre Boksjø. *Rep. Inst. Freshw. Res. Drottningholm* 61. s. 167-176.
- RADDUM, G. G., BRETTUM, P., MATZOW, D., NILSSEN, J. P. SKOV, A., SVEÄLV, T. & WRIGHT, R.F. 1986. Liming the Lake Hovvatn, Norway: A whole ecosystem study. *Water, Air, and Soil Poll.* 31. s. 721-763.
- RAITANIEMI, J. 1987. Ahvenen, *Perca fluviatilis* L., kasvusta ja kasvuun vaikuttavista tekijöistä Etelä-Suomen happamoituneissa pikkujärvissä. Pro gradu-tutkielma. Helsingin yliopisto, Eläintieteen laitos. 69 s.
- RAITANIEMI, J. 1995. The growth of young pike in small Finnish lakes with different acidity-related water properties and fish species composition. *Journal of Fish Biology* 47. s. 115-125.
- RAITANIEMI, J. & RASK, M. 1990. Preliminary observations on the effects of liming to the fish populations of small acidid lakes in southern Finland. *Aqua Fennica* 20 (1). s. 115-123.
- RAITANIEMI, J., RASK, M. & VUORINEN, P.J. 1988. The growth of perch, *Perca fluviatilis* L., in small Finnish lakes at different stages of acidification. *Ann. Zool. Fennici* 25. s. 73-76.
- RAITANIEMI, J., RASK, M., JÄRVINEN, A. & NYBERG, K. 1992. Kalakantojen kehitys Etelä-Suomen pienissä happamoituneissa järvissä kalkituksen jälkeisinä vuosina. Helsinki. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto. Monistetuja julkaisuja 54. s. 85-102.
- RASK, M. 1989. Perch, *Perca fluviatilis* L., in Small Lakes: Relations between Population Characteristics and Lake Acidity. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 74 (2). s. 169-178.
- RASK, M. 1992. Effects of acidification on fish populations in Finland. *Finnish Fish. Res.* 13. s. 107-117.
- RASK, M., IIVONEN, P., JÄRVENPÄÄ, T., MANNIO, J., NYBERG, K. & RAILO, E. 1995a. Alisenjärven hydrobiologiset tutkimukset. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja-sarja A 216. s. 37-59.

- RASK, M., JÄRVINEN, M., KUOPPAMÄKI, K., MAKKONEN, E., MÜNSTER, U. & PÖYSÄ, H. 1995b. Neutraloinnin vaikutuksia Iso Valkjärven ekosysteemin rakenteeseen ja toimintaan kolmen vuoden aikana. Helsinki. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia 101. s.25-51.
- RASK, M., MANNIO, J., FORSIUS, F., POSCH, M. & VUORINEN, P. J. 1995c. How many fish populations in Finland are affected by acid precipitation? Environ. Biol. Fish. 42. s. 51-63.
- RASK, M. & TUUNAINEN, P. 1990. Acid-induced changes in fish populations of small Finnish lakes. Teoksessa: Kauppi, P., Kenttämies, K. & Anttila, P. (toim.), Acidification in Finland. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. s. 911-927.
- RODGERS, D. W. 1984. Ambient pH and calcium concentration as modifiers of growth and and calcium dynamics of brook trout, *Salvelinus fontinalis*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 41. s. 1774-1780.
- ROILA, T. 1992. Pienvesien happamoitumisen seuranta vuosina 1979 - 1989. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A 86. 3-65
- ROSSELAND, B. O. & HINDAR, A. 1991. Mixing zones - a fishery management problem. Teoksessa: Olem, H., Schreiber, R. K., Brockse, R. W. & Porcella, D. B. (toim.), International lake and watershed liming practices. Washington D. C. The Terrene Institute. s. 161-172.
- RUNN, P., JOHANSSON, N. & MILBRINK, G. 1977. Some effects of low pH on the hatchability of eggs of perch, *Perca fluviatilis* L. Zoon 5. s. 115-125.
- SAS INSTITUTE INC. 1988. SAS/STAT User's guide. Release 6.03 Edition. Cary, NC. 1028 s.
- SILVO, K. & WEPPLING, K., 1989. Pienvesistöjen kalkituskokeet Kymen läänissä 1986-1987. Helsinki. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 151. 47 s.
- SCHOFIELD, C.L. 1976. Acid precipitation: effects on fish. Ambio 5. s. 228-230.
- SOMERS, K.M. & HARVEY, H.H. 1984. Alteration of fish communities in lakes stressed by acid deposition and heavy metals near Wawa, Ontario. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 43. s. 20-29.
- STENSON, J. A. E. 1979. Predatory prey relations between fish and invertebrate prey in some forest lakes. Rep. Inst. Freshw. Res. Drottningholm 58. s. 166-183.
- SVERDRUP, H. U. 1985. Calcite dissolution kinetics and lake neutralization. Doctoral dissertation. Lund. Inst. Technol., Dept. Chem. Eng. 169 s.
- SVÄRDSON, G. 1976. Interspecific population dominance in fish communities of Scandinavian lakes. Rep. Inst. Freshw. Res. Drottningholm 55. s. 144-168.
- TUUNAINEN, P., VUORINEN, P.J., RASK, M., JÄRVENPÄÄ, T., VUORINEN, M., NIEMELÄ, E., LAPPALAINEN, A., PEURANEN, S. & RAITANIEMI, J. 1991. Happaman laskeuman vaikutukset kaloihin ja rapuihin. Loppuraportti. Suomen kalatalous 57. 44 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: Kauppi, P., Kenttämies, K. & Anttila, P. (toim.), Acidification in Finland. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. s. 941-961.
- WILANDER, A., ANDERSSON, P., BORG, H. & BROBERG, O. 1995. The effects of liming on water chemistry. Teoksessa: Henrikson, L. & Brodin, Y.W. (toim.), Liming of Acidified Surface Waters - A Swedish Synthesis. s. 125-178.

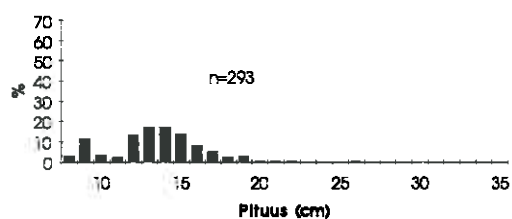
YRJÄNÄ, T. 1988. Eräiden hauen ja mateen kalastusmenetelmien käyttökelpoisuudesta neljällä kuhmolaisella järvellä. Suomen kalastuslehti 95 (4). s. 234-238.

WOOD, C.M. & McDONALD, D.G. 1987. The physiology of acid/aluminium stress in trout. Ann. Soc. Roy. Zool. Belg. 117. s. 399-410.

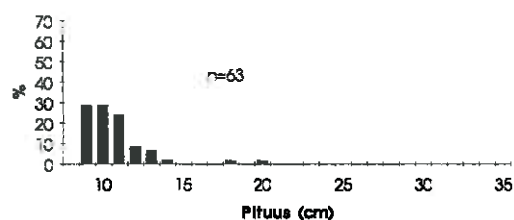
LIITE 1. Havisevanjärven ahven- ja särkisaaliiden pituusjakaumat. Vuoden 1986 jakaumiin on koottu kalat viiden koekalastuskerran saaliista. Kalkituslaite oli käytössä kesinä 1986-1990.

Ahven

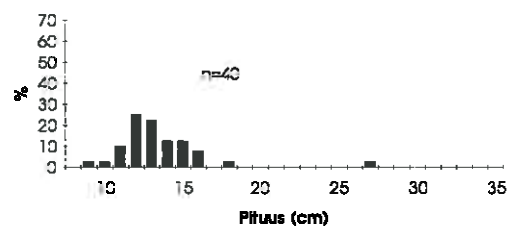
1986



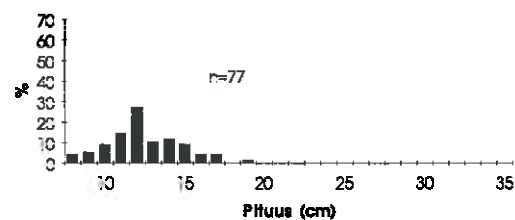
1989



1991

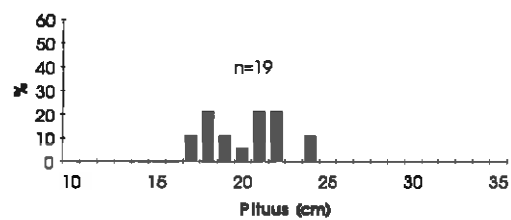


1993

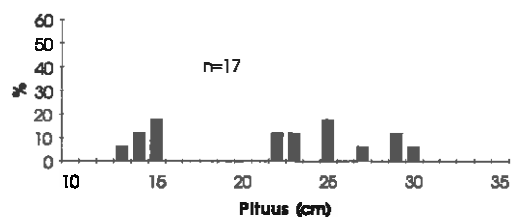


Särki

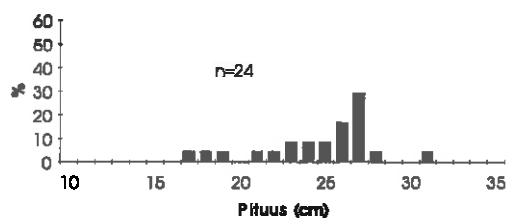
1986



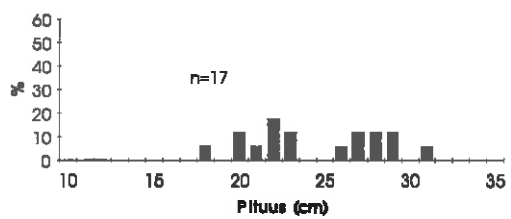
1989



1991



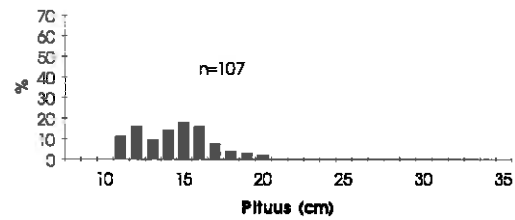
1993



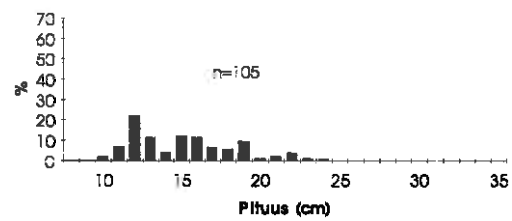
**LIITE 2. Kalliojärven ahvensaaliiden pituusjakaumat. Järvi kalkittiin
keväällä 1987.**

Ahven

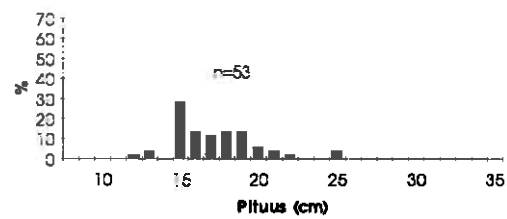
1987



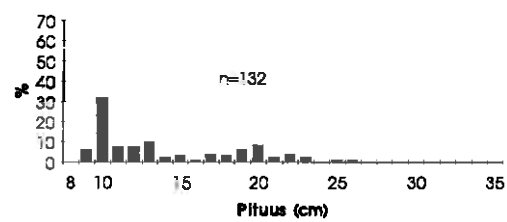
1989



1991

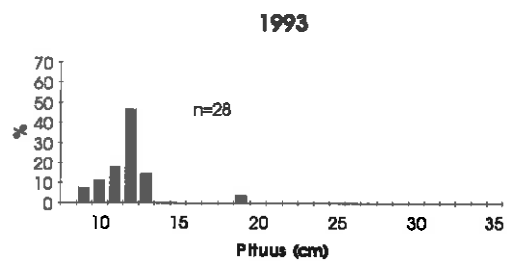
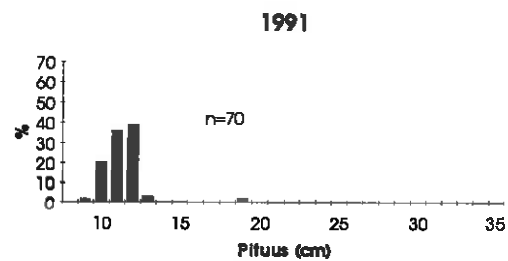
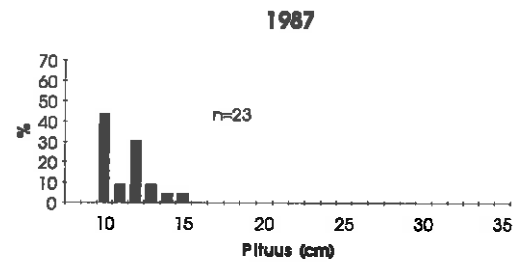


1993



LIITE 3. Ison Hanhilammen ahvensaaliiden pituusjakaumat. Vuonna 1989 saaliiksi saatiin yksi ahven, pituudeltaan 18 cm. Järvi kalkittiin kesäkuussa 1987.

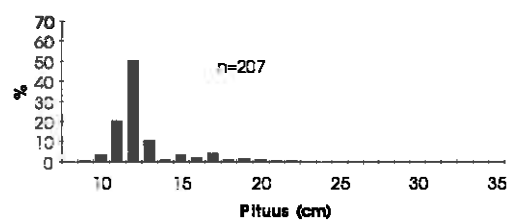
Ahven



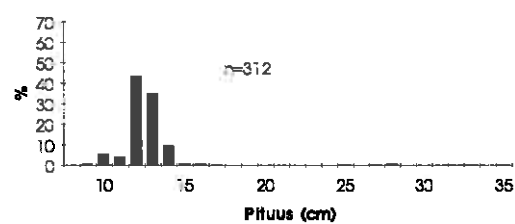
LIITE 4. Matalajärven ahven- ja särkisaaliiden pituusjakaumat. Järvi kalkittiin keväällä 1983 ja kesällä 1987.

Ahven

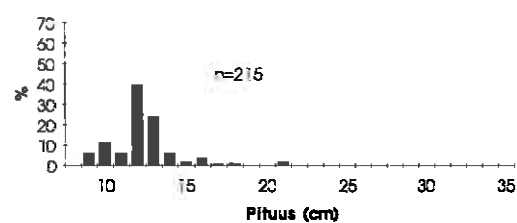
1987



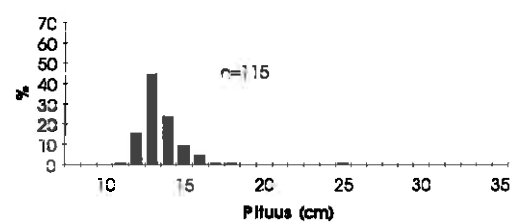
1989



1991

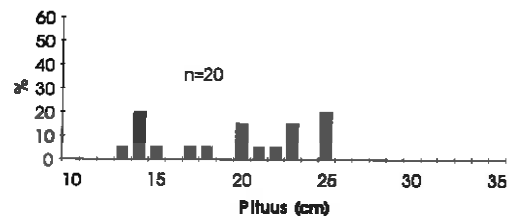


1993

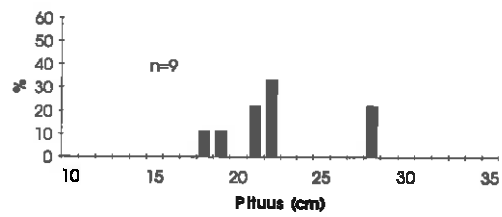


Särki

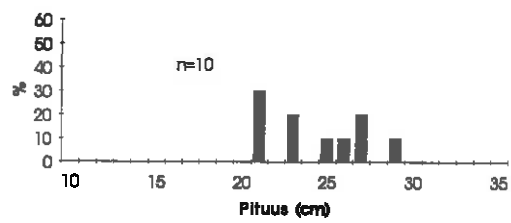
1987



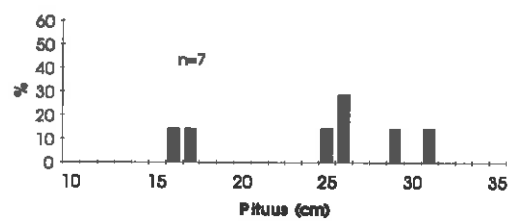
1989



1991



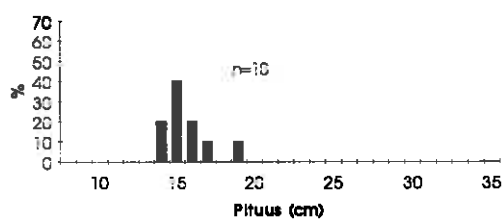
1993



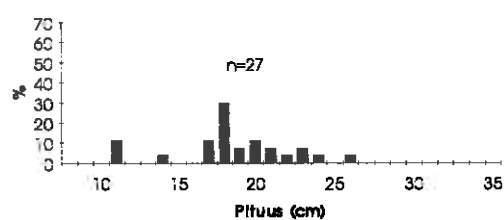
**LIITE 5. Rukojärven ahven-ja särkisaaliin pituusjakaumat. Järvi kalkittiin
keväällä 1987.**

Ahven

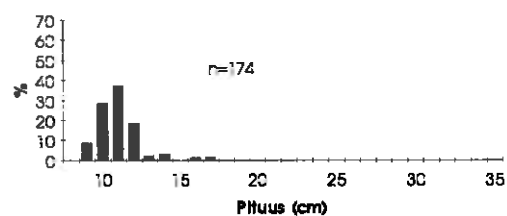
1987



1989



1991



1993

