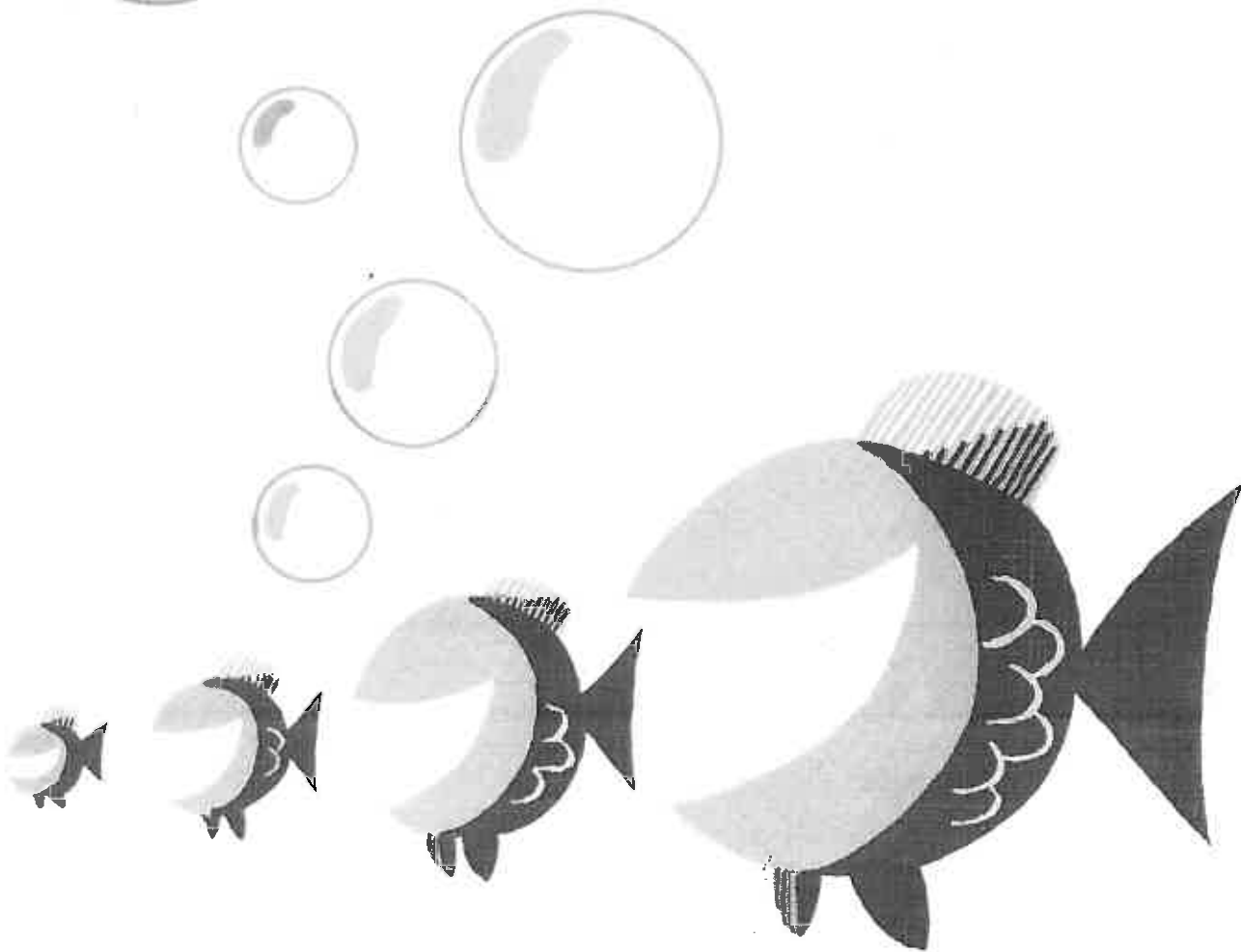


RIISTA- JA KALATALOUDEN TUTKIMUSLAITOS  
KALANTUTKIMUSOSASTO



# MONISTETTUJA JULKAISUJA

67  
1987





RIISTA- JA KALATALOUDEN TUTKIMUSLAITOS  
KALANTUTKIMUSOSASTO

# MONISTETTUJA JULKAISUJA

Toimittaja: Viljo Nylund. Toimitussihteerit: Marja-Liisa Koljonen, Petri Suuronen.

Julkaisun jakelusta päätetään kunkin numeron osalta erikseen.

Julkaisua koskevat tiedustelut osoitetaan Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen kalantutkimusosaston kirjastolle, PL 193, 00131 Helsinki 13.

Monistettuja julkaisuja on jatkoa sarjalle: "Maataloushallituksen kalataloudellinen tutkimustoimisto. Monistettuja julkaisuja". Kalantutkimusosaston muut julkaisusarjat ovat "Finnish Fisheries Research", "Suomen kalatalous", "Tiedonantoja" ja "Meddelanden".

Redaktör: Viljo Nylund. Redaktionssekreterare: Marja-Liisa Koljonen, Petri Suuronen.

Publikationens distribuering fastställes skilt för varje nummer.

Förfrågningar angående tidskriften riktas till bibliotekarien, Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet, fiskeriforskningsavdelningen, PB 193, 00131 Helsingfors 13.

Tidskriften är fortsättning på "Maataloushallituksen kalataloudellinen tutkimustoimisto. Monistettuja julkaisuja". Övriga publikationsserier från fiskeriforskningsavdelningen är "Finnish Fisheries Research", "Suomen kalatalous", "Tiedonantoja" och "Meddelanden".

RIISTA- JA KALATALOUDEN TUTKIMUSLAITOS, KALANTUTKIMUSOSASTO

MONISTETTUJA JULKAISUJA

No 67

1987

HAPPAMAN LASKEUMAN VAIKUTUKSET KALOIHIIN

RAPORTTI VUODELTA 1986

ENGLISH SUMMARY: EFFECTS OF ACIDIC DEPOSITION ON FISH,  
REPORT 1986

PEKKA TUUNAINEN, PEKKA J. VUORINEN, MARTTI RASK,  
TEUVO JÄRVENPÄÄ JA MARJA VUORINEN

HELSINKI 1987

ISBN 951-9092-96-X  
ISSN 0358-4623  
Helsinki 1987  
Yliopistopaino

HAPPAMAN LASKEUMAN VAIKUTUKSET KALOIHIIN  
Raportti vuodelta 1986

English summary: Effects of acidic deposition on fish,  
Report 1986

Pekka Tuunainen<sup>1</sup>, Pekka J. Vuorinen<sup>1</sup>, Martti Rask<sup>2</sup>,  
Teuvo Järvenpää<sup>1</sup> ja Marja Vuorinen<sup>1</sup>

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO.....	1
2.	AINEISTO JA MENETELMÄT	
2.1.	Tiedustelu.....	2
2.2.	Kevään vesinäytteet.....	3
2.3.	Koekalastukset.....	3
2.4.	Ahvenpopulaatiot happamoituneissa järvissä.....	6
2.5.	Rapututkimukset.....	9
2.6.	Happamuus- ja alumiinitestit poikasilla.....	10
2.7.	Happamuuden ja alumiinin pitkäaikaisvaikutus emosiikoihin.....	12
2.8.	Ahventen ja siikojen kutuvalmius.....	13
2.9.	Hedelmöitys- ja haudontakokeet.....	13
3.	TULOKSET	
3.1.	Tiedustelu.....	14
3.2.	Kevään vesinäytteet.....	16
3.3.	Koekalastukset.....	25
3.4.	Ahvenpopulaatiot happamoituneissa järvissä.....	29
3.5.	Rapututkimukset.....	32
3.6.	Happamuus- ja alumiinitestit poikasilla.....	36
3.7.	Happamuuden ja alumiinin pitkäaikaisvaikutus emosiikoihin.....	42
3.8.	Ahventen ja siikojen kutuvalmius.....	48
3.9.	Hedelmöitys- ja haudontakokeet.....	50
4.	TULOSTEN TARKASTELO	
4.1.	Tiedustelu.....	53
4.2.	Kevään vesinäytteet.....	53
4.3.	Koekalastukset.....	54
4.4.	Ahvenpopulaatiot happamoituneissa järvissä.....	55
4.5.	Rapututkimukset.....	56
4.6.	Happamuus- ja alumiinitestit poikasilla.....	58
4.7.	Happamuuden ja alumiinin pitkäaikaisvaikutus emosiikoihin.....	60
4.8.	Ahventen ja siikojen kutuvalmius.....	62
4.9.	Hedelmöitys- ja haudontakokeet.....	62
	TIIVISTELMÄ.....	65
	SUMMARY.....	66
	KIRJALLISUUS.....	67

1) Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto

2) Helsingin yliopisto, Lammin biologinen asema

## 1. JOHDANTO

Tutkimus "Happaman laskeuman vaikutukset kaloihin" on osa vuonna 1985 käynnistynyttä maa- ja metsätalousministeriön sekä ympäristöministeriön rahoittamaa happamoitumistutkimusta (HAPRO). Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, missä määrin happamoituminen on vaikuttanut kala- ja rapukantoihin, sekä tutkia kokeellisesti tärkeimpien kalalajien ja niiden eri kehitysvaiheiden herkkyyttä happamoitumiselle. Tutkimustuloksista saadaan tietoja happamoitumisen vaikutusmekanismeista Suomen oloissa ja niitä voidaan käyttää suunniteltaessa happamoituvien järvien kala- ja rapukantojen hoitotoimenpiteitä. Myöhemmin on tarkoitus arvioida myös happamoitumisesta johtuvia kalataloudellisia vaikutuksia.

Kalakantatutkimuksia jatkettiin täydentämällä kertynyttä koekalastusaineistoa (TUUNAINEN ym. 1986) 22 järvellä. Uusia tutkimuskohteita etsittiin eräille viranomaisille, yliopistoille ja yhdistyksille suunnatulla tiedustelulla. Vuoden 1985 ahvenen häviämistä koskevien havaintojen varmistamiseksi arvioitiin neljän happamoituneen pikkujärven ahvenkannan koko merkinnällä ja takaisinpyynnillä.

Rapututkimuksia laajennettiin alueellisesti koeravustamalla happamoituviksi epäiltyjä järviä läntisen Uudenmaan lisäksi Pirkanmaalla ja Luumäen - Ylämaan alueella Kaakkois-Suomessa. Happamoitumisesta mahdollisesti aiheutuvien rapujen lisääntymishäiriöiden selvittämiseksi osa järvistä koeravustettiin kertaalleen jo kesäkuun alussa ennen poikasten kuoriutumista.

Tutkimusjärvistä otettiin vesinäytteet keväällä juuri ennen jäiden sulamista ja koekalastusten yhteydessä. Näytteistä analysoitiin myös alumiinin kokonaispitoisuus ja fraktiot.

Vuonna 1985 tehty emosiika-altistus (TUUNAINEN ym. 1986) uusittiin - kylläkin vähän muutettuna. Kokeen perusteella saatiin tietoja alumiinin ja happamuuden vaikutuksesta kalojen kasvuun, lisääntymiseen, ionitasapainoon ja yleiseen stressaantumiseen. Selvitettiin kudun mahdollista viivästy- mistä myös happamoituneissa järvissä.

Poikasten happamuus-alumiinitestit aloitettiin jo edellisenä vuonna kesän vanhoilla siianpoikasilla. Nyt testattiin särjen, siian, hauen, kuhan ja ahvenen vastakuoriutuneita poikasia ja 9-viikkoisia särjen poikasia. Testeistä saatiin poikasten alumiinin LC50- ja happamuuden LL50-arvot ja lisäksi tietoja vaikutuksista käyttäytymiseen, kasvuun ja kehitykseen.

Testit happamuuden ja alumiinin vaikutuksista hedelmöitymiseen ja alkionkehitykseen aloitettiin.

Tutkimuksen työryhmässä toimivat: Pekka Tuunainen, Pekka Vuorinen, Martti Rask, Teuvo Järvenpää ja Marja Vuorinen. Tutkimuksen vastuullinen johtaja on Pekka Tuunainen. Käytännön hallinnosta, töiden koordinoinnista ja vesianalytiikasta sekä kokeellisista tutkimuksista, joissa tutkijana toimii myös Marja Vuorinen, vastaa Pekka Vuorinen. Kalakan-tatutkimuksista vastaa Martti Rask ja rapututkimuksista Teuvo Järvenpää.

## 2. AINEISTO JA MENETELMÄT

### 2.1. Tiedustelu

Happamoitumisen kalastovaikutuksista suoritettiin tiedustelu kalastus-, kalatalous- ja vesipiireille sekä vesiensuojeluyhdistyksille, yliopistoille ja Suomen luonnonsuojeluliiton paikallisyhdistyksille. Kysymykset koskivat veden laadun muutoksia ja sellaisia biologisia muutoksia (kalalajien koko- ja runsaussuhteiden muutokset, kalkkikuoristen pohjaeläinten ja vesikasvillisuuden väheneminen), joita happamoituvissa järvissä tiedetään tapahtuvan. Tarkoituksena oli hankkia tutkimukseen uusia koejärviä, mutta samalla myös saada käsitystä siitä, missä määrin happamoituminen on voinut vaikuttaa pienten järvien kalastoon eri osissa Suomea.

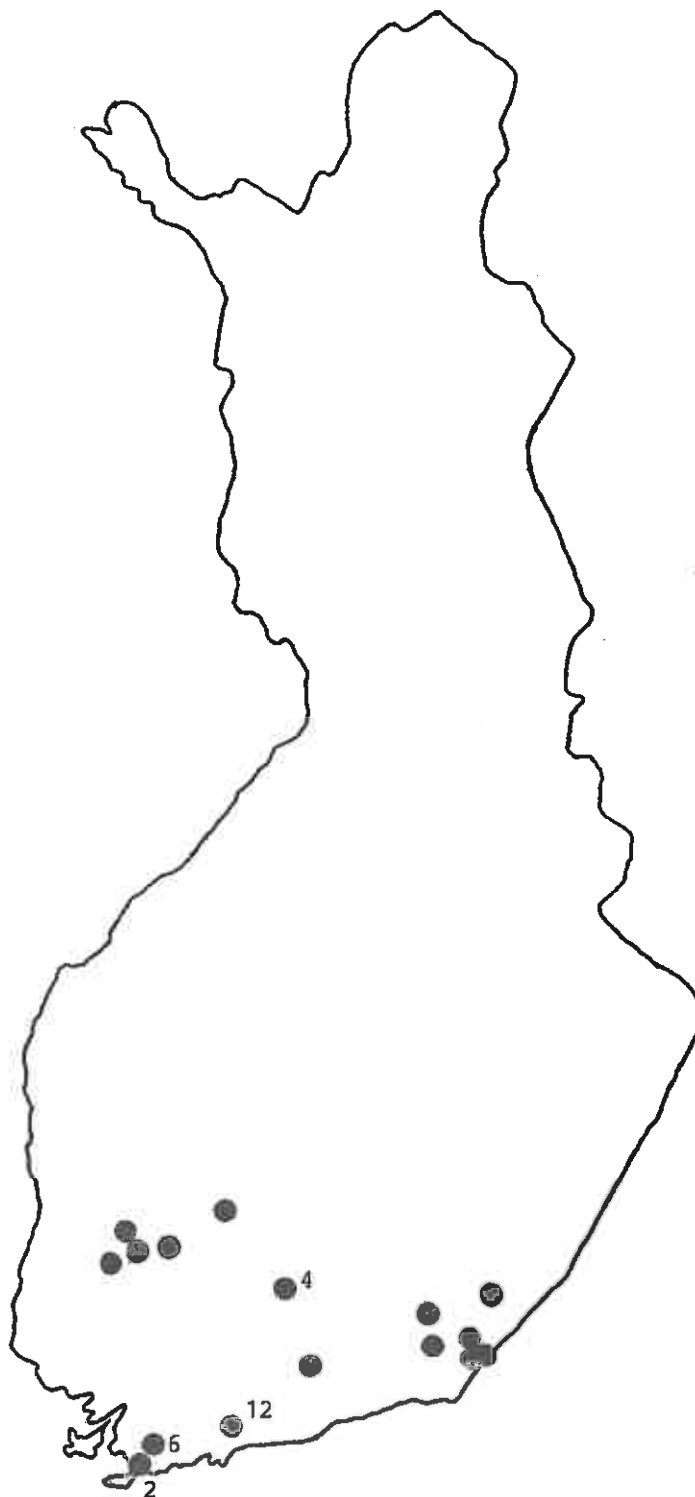
## 2.2. Kevään vesinäytteet

Sulamisvesien vaikutuksen selvittämiseksi järvien veden laatuun järvistä otettiin vesinäytteet ennen jäiden lähtöä huhtikuussa seuraavasti: 4 järveä Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen 1960-luvulla tekemän "Pienten vesien kalataloudellisen hyväksikäytön" -tutkimuksen järvistä, 2 järveä talvella tehdyn tiedustelun perusteella (ks. kohta 2.1.), 25 järveä vuonna 1985 koekalastetuista tai -ravustetuista järvistä, 4 järveä Evon alueelta Lammilta sekä yksi "uusi" järvi Espoosta; yhteensä 36 järveä (kuva 1). Vesinäytteet otettiin läheltä rantaa (litoraali) ja arviolta järven syvimmästä kohdasta Ruttner-noutimella pinnasta sekä 1 ja 3 metrin syvyydestä. Niistä analysoitiin pH, sähkönjohtavuus, alkaliteetti, asiditeetti, väri, kokonaiskovuus, kalsiumkovuus sekä rauta- ja alumiinipitoisuus (spektrofotometrinen menetelmä) RKTL:n kalantutkimusosaston laboratoriossa. Lisäksi Teknillisessä korkeakoulussa määritettiin (AAS) kaikista näytteistä alumiinin kokonaispitoisuus ( $Al_{tot}$ ) ja pintavesinäytteistä ja 1 metrin näytteistä fraktiot (labiili = monomeerinen alumiini,  $Al_{lab}$ , sekä kompleksoitunut orgaaninen ja polymeerinen alumiini,  $Al_{kop}$ ). Alumiinin kokonaispitoisuuden ja fraktioiden riippuvuutta pH:sta testattiin korrelaatioanalyysillä (\*\*\*) =  $p < 0,001$ , \*\* =  $p < 0,01$ , \* =  $p < 0,05$ , o =  $p < 0,1$  ja NS =  $P > 0,1$ ).

## 2.3. Koekalastukset

Vuonna 1986 tutkittiin 22 järven kalastoa. Niistä 10 kuuluu HAPRON muihin vesitutkimuksiin (mm. "Laskeumaperäisen happamoitumisen nykyinen laajuus ja biologiset vaikutukset vesistöissä" sekä "Järvien happamuuden kehitys") ja 8 on Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen koejärviä (mm. "Pienten vesien kalataloudellisen hyväksikäytön" -tutkimus 1960-luvulla). Järvien sijainti on esitetty kuvassa 2. Koekalastukset tehtiin ja saaliit käsiteltiin samoilla menetelmillä kuin edellisenäkin vuonna (TUUNAINEN ym. 1986). Osa järvistä (5) koekalastettiin viiteen kertaan mahdollisuuksien mukaan peräkkäisinä päivinä ja loput kertaalleen.





Kuva 1. Järvet, joista otettiin vesinäytteet huhtikuussa. Jos samalla alueella sijaitsee useampia näytejärviä, niiden lukumäärä on merkitty numerolla.



Kuva 2. Vuonna 1986 koekalastettujen ja -ravustettujen järvien sijainti.

Tilaisuuden tullen haastateltiin paikallisia kalastajia. Ikä ja takautuva kasvu määritettiin ahvenen operculumista Monastyrskyn menetelmällä (TESCH 1971) sekä särjen ja sii-kojen suomuista Fraserin ja Leen menetelmällä (TESCH 1971). Jokaisen järven pintavedestä otettiin koekalastusten yhteydessä vesinäytteet (taulukko 1). Koejärviä valittaessa pyrittiin kohteisiin, joissa veden happamuus on mahdollisesti vaikuttanut särkikantoihin. Tästä johtuen koejärvien keskimääräinen pH-arvo (6,0) oli selvästi vuoden 1985 koejärvien pH:ta (5,3) korkeampi.

#### 2.4. Ahvenpopulaatiot happamoituneissa järvissä

Vuoden 1985 koekalastukset antoivat viitteitä ahvenkantojen harventumisesta eräissä happamoituneissa järvissä (RASK ym. 1986, TUUNAINEN ym. 1986). Näiden havaintojen varmistamiseksi arvioitiin kuuden pienen (1 - 6 ha) järven ahvenkannan koko merkinnällä ja takaisinpyynnillä (ROBSON ja REGIER 1971) toukokuussa 1986. Espoossa ja Vihdissä sijaitsevat Hauklampi, Iso Majaslampi ja Pieni Lehmälampi on todettu viime aikoina happamoituneiksi (TOLONEN ja JAAKKOLA 1983, TOLONEN 1985, KÄMÄRI 1985). Myös Evolla sijaitseva Vähä Valkjärvi on Lammin biologisella asemalla tehtyjen mitausten mukaan happamoitunut viime aikoina. Samalla alueella olevat Iso Mustajärvi ja Ruuttanajärvi ovat lähes neutraaleja ja ne olivat mukana vertailujärvinä (taulukko 1).

Ahvenet pyydystettiin turkistarhaverkosta tehdyillä katiskoilla (4 - 12 katiskaa järveä kohti), joissa neliönmuotoisen silmän sivun pituus oli 1 cm. Kalat merkittiin leikkaamalla vasen rintaevä ja kalojen pituus mitattiin pituusjakaumia varten. Biomassat (kg/ha, ennen kutua) laskettiin populaatioarvioiden ja pituus-painosuhteen avulla saatujen painojen perusteella. Ahvenen fekunditeetti arvioitiin kolmesta järvestä. Nämä olivat Pieni Lehmälampi, Ruuttanajärvi ja Saarijärvi, joista viimeksi mainittu on muita isompi (90 ha) ja sijaitsee Espoon ja Vihdin rajalla. Fekunditeetti määritettiin munamääränä kalan pituutta kohti mädin kokonaispainon ja 200 mätimunnan otoksen painon suhteesta (BAGENAL 1978).

Taulukko 1. Koekalastettujen ja -ravustettujen järvien vesianalyysitulokset. Näytteet otettu kalastusten ja ravustusten yhteydessä.

JÄRVEN NIMI	KUNTA	KOORDINAATIT	PVM	pH	ALKALIT. mmol/l	JOHTOK mS/m	Ca-KOV. mmol/l	VARI mg Pt
Alinenjärvi	Nokia	2-682100-47120	25.07.86	5,9	0,02	4,2	0,08	40
Alinenjärvi	Nokia	2-682100-47120	06.08.86	5,3	0,02	4,4	0,08	35
Aurajärvi	Aetsä	2-680352-42589	07.08.86	5,3	0,02	3,7	0,04	40
Flacksjö	Pohja	2-666920-47230	06.06.86	6,4	0,04	3,4	0,07	15
Flacksjö	Pohja	2-666920-47230	12.09.86	6,6	0,05	3,3	0,07	15
Färsjö	Pohja	2-666850-47050	06.06.86	6,3	0,04	3,5	0,07	25
Färsjö	Pohja	2-666850-47050	12.09.86	6,5	0,05	3,6	0,08	20
Färträsk	Siuntio	2-667490-50910	19.09.86	6,2	0,04	4,1	0,10	20
Hauklampi	Espoo	2-668962-53385	25.09.86	4,8	0,00	3,3	0,04	15
Hautalampi	Suomenlempi	3-680219-53107	17.06.86	6,9	0,08	3,7	0,09	30
Havisevanjärvi	Kangasala	2-682761-50359	16.07.86	6,7	0,08	4,4	0,19	100
Hirvijärvi	Sippola	3-674714-51917	08.07.86	5,9		3,2	0,07	25
Honkajärvi	Kuru	2-687074-48300	24.06.86	5,6		3,7	0,08	30
Iso Lehmälampi	Vihti	2-669270-53330	25.09.86	4,6	0,00	2,9	0,04	35
Iso Majaslampi	Espoo	2-668990-53300	25.09.86	4,6	0,00	2,8	0,04	15
Iso Mustajärvi	Lammi	2-678950-55990	12.05.86	6,4	0,10	3,5	0,10	90
Iso Mustajärvi	Lammi	2-678950-55990	24.09.86	6,6	0,19	3,9	0,13	100
Iso Suksijärvi	Mouhijärvi	2-682576-43862	25.07.86	6,8	0,12	3,5	0,09	80
Iso Suksijärvi	Mouhijärvi	2-682576-43862	06.08.86	6,1	0,12	3,6	0,08	80
Isunoja	Ylämaa	3-674025-54914	31.07.86	6,5	0,06	3,6	0,09	30
Iso-Koukeri	Kuru	2-686599-48070	24.06.86	6,0	0,03	2,8	0,05	15
Iso-Melkutin	Tammela	2-673636-50404	22.07.86	7,6	0,37	5,3	0,15	10
Iso-Simi	Pohja	2-667346-47541	06.06.86	5,5	0,01	3,3	0,06	15
Kukkarojärvi	Ristiina	3-681659-53761	17.06.86	5,8	0,03	2,9	0,05	60
Meikoträsk	Kirkkonummi	2-667080-52040	19.09.86	6,2	0,03	3,6	0,08	20
Ottojärvi	Ylämaa	3-674080-54810	31.07.86	6,5	0,04	3,6	0,09	20
Pieni Lehmälampi	Vihti	2-669286-53292	25.09.86	4,7	0,00	2,8	0,03	15

jatkuu . . .

## Taulukko 1. jatkoa

JÄRVEN NIMI	KUNTA	KOORDINAATIT	PVM	pH	ALKALIIT. mmol/l	JOHTOK mS/m	Ca-KOV. mmol/l	VARI mg Pt
Pieni Lehmälampi	Vihti	2-669286-53292	16.10.86	4,6	0,00	2,9	0,04	35
Riihijärvi	Luumäki	3-675556-54800	08.07.86	5,7		2,6	0,05	10
Riihijärvi	Luumäki	3-675556-54800	31.07.86	6,0	0,02	3,6	0,06	10
Ruuttanajärvi	Lammi	2-679010-56480	12.05.86	5,9	0,06	4,0	0,11	100
Ruuttanajärvi	Lammi	2-679010-56480	24.09.86	5,7	0,07	3,9	0,10	125
Saarijärvi	Espoo/Vihti	2-669096-53351	16.10.86	6,0	0,03	4,4	0,07	10
Saari-Soljanen	Kuru	2-686624-47242	24.06.86	4,8		1,7	0,03	20
Sahajärvi	Pohja	2-666909-46900	06.06.86	5,7	0,01	2,7	0,05	10
Sahajärvi	Pohja	2-666909-46900	12.09.86	6,0	0,02	5,3	0,06	10
Sahajärvi	Pohja	2-666909-46900	15.10.86	5,8	0,02	2,6	0,06	15
Salmijärvi	Tammela	2-673772-50306	22.07.86	4,6	0,00	2,2	0,01	10
Salmiinen	Ylämaa	3-674493-55870	08.07.86	6,4		4,3	0,08	20
Slickolampi	Pohja	2-667150-47615	06.06.86	6,4	0,08	8,4	0,13	30
Sorvijärvi	Vammala	2-681410-44641	07.08.86	5,5	0,05	3,2	0,05	20
Suurilampi	Taipalsaari	3-678134-55908	08.07.86	5,3		2,0	0,03	5
Tammelän Kaitajärvi	Tammela	2-673622-50216	22.07.86	4,7	0,00	1,9	0,03	10
Vaakkoi	Vihti	2-669214-53338	16.10.86	5,2	0,00	3,0	0,05	20
Valkeajärvi	Kuru	2-686289-47635	24.06.86	6,3	0,03	3,0	0,04	20
Valkea Mustajärvi	Lammi	2-679050-56025	24.09.86	6,4	0,07	2,4	0,07	30
Vähä-Melkutin	Tammela	2-673595-50287	22.07.86	7,5	0,36	5,3	0,41	15
Vähä Valkjärvi	Lammi	2-678680-55900	12.05.86	4,5	0,00	2,2	0,02	20
Vähä Valkjärvi	Lammi	2-678680-55900	24.09.86	4,4	0,00	2,3	0,03	10

Mädin kuolleisuutta seurattiin kolmessa happamuudeltaan erilaisessa järvessä, jotka olivat Pieni Lehmälampi, Vähä Valkjärvi ja Valkea Mustajärvi. Viimeksi mainittu sijaitsee Evolla ja on lähes neutraali, 13 ha:n suuruinen järvi. Kustakin järvestä kerättiin kymmenen mätinauhaa ja näistä otetut noin 100 mätimunaa näytteet haudotettiin ko. järvissä osittain verkkoseinäisissä muovirasioissa (RASK 1983). Mäti oli kehittynyt 40 - 50 päiväastetta ennen haudotuksen alkua. Lisäksi havaintoja kudetusta mätimäärästä tehtiin sukeltamalla Hauklammessa ja Pienessä Lehmälammessa.

Ahvenen kasvuerojen merkitsevyyttä tutkituissa järvissä testattiin yksisuuntaisella varianssianalyysillä (ANOVA) ja fekunditeettierojen merkitsevyyttä kovarianssianalyysillä (ANCOVA).

## 2.5. Rapututkimukset

Happaman laskeuman vaikutuksia rapukantoihin tutkittiin kolmella alueella: läntisellä Uudellamaalla, Pirkanmaalla ja Luumäen - Ylämaan alueella Kaakkois-Suomessa. Yhteensä ravustettiin yksitoista järveä ja kaksi puroa. Ravustuskohteista kolme - Flacksjö, Fårsjö ja Sahajärvi (Sågsjö) - oli mukana jo vuoden 1985 koeravustusohjelmassa. Ravustuskohteiden sijainti ilmenee kuvasta 2.

Rapujen lisääntymisen onnistumista pyrittiin selvittämään pyytämällä neljässä, Pohjan kunnassa sijaitsevassa koejärvessä mätimunia kantavia naaraita kesäkuun alussa sekä sukeltamalla että merroilla. Sukeltamalla kerättiin näytteet myös nuorista ikäryhmistä, jotka eivät mene mer-toihin. Iltapäivällä tai illalla sukeltettiin rannan tuntumassa rannan rakenteesta riippuen 0 - 4 m:n syvyydessä. Pyyntiin osallistui kaksi sukeltajaa, jotka kävivät läpi kussakin järvessä 2 - 2,5 tunnin aikana 100 - 150 m ravustettavaa rantaa. Samanaikaisessa mertapyyntissä käytettiin 50 mertaa pyyntipaikkaa kohti. Mertapyynti ja saaliin käsittely on kuvattu tarkemmin vuoden 1985 raportissa (TUUNAINEN ym. 1986). Munia kantavien naaraiden munamäärä laskettiin tai arvioitiin munia irrottamatta.

Varsinaiset rapukannan koon ja rakenteen arvioimiseen tähtäävät koeravustukset tehtiin 21.7. - 19.9., eli aikana, jolloin lisääntymis- ja kuorenvaihtokierto haittaavat pyyntiä mahdollisimman vähän. Yhdellä järvellä suoritettiin merkintä-takaisinpyynti kahden viikon välein (ROBSON ja REGIER 1971, RICKER 1975). Pyyntneissä käytetyt mertamäärät ilmenevät taulukosta 11. Ryhmämerkkinä käytettiin äärimmäisen oikean uropodin leikkausta. Yhden järven (Flacksjö) koko saalis merkittiin yksilöllisesti vuonna 1987 tapahtuvaa kasvun ja kuorenvaihtofrekvenssin seuraamista varten. Merkkinä käytettiin selkäkilpeen poltettua pistekoodia.

## 2.6. Happamuus- ja alumiinitestit poikasilla

Vastakuoriutuneilla planktonsiian, hauen, ahvenen, kuhan ja särjen poikasilla (ruskuaispussipoikaset) tehtiin LC/LL-testejä touko- ja kesäkuussa, sekä noin 9 viikon ikäisillä särjen poikasilla (pituus  $26,9 \pm 3,0$  mm,  $n = 25$ ) elokuussa Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen Itä-Suomen keskuskalanviljelylaitoksella Enonkoskella. Kokeet tehtiin semistaattisina ja kuolleiden kalojen määrät kirjattiin 24 tunnin välein 9 - 11 vuorokauden ajan. Kaloja oli 10 jokaisessa testiliuoksessa, paitsi elokuun testissä isompia särjen poikasia oli 8 per pitoisuus. Testilämpötila oli sama kuin järviveden senhetkinen lämpötila. Testatut nominaaliset pH:t ja alumiinipitoisuudet on esitetty taulukossa 2. Testiliuokset tehtiin Pahkajärven veteen (pH 6,6 - 6,8;  $Al_{tot}$  64 ug/l,  $Al_{lab}$  17 ug/l; kontrolli), josta laitos saa osan vesityksestään. Lisäksi testiliuoksia tehtiin "synteettiseen veteen", joka valmistettiin liuottamalla proanalyysi -kemikaaleja tislattuun veteen. "Synteettisessä vedessä" särjen ja siian poikasia testattiin pH-arvoissa 4,5, 4,75, 5,0 ja 5,25 (kontrolli pH 7,2) alumiinipitoisuuksissa 0, 100, 200, 400, 600 ja 800 ug/l. Muiden kalalajien paitsi ahvenen LC/LL-testin yhteydessä tehtiin lisäksi koe, jossa kirjattiin poikasten elinaika Espoon Hauklammesta (pH 4,52;  $Al_{tot}$  977 ug/l,  $Al_{lab}$  614 ug/l ja pH 4,95;  $Al_{tot}$  384 ug/l,  $Al_{lab}$  264 ug/l), Pienestä Lehmälammesta (pH 5,42;  $Al_{tot}$  22 ug/l,  $Al_{lab}$  10 ug/l ja pH 4,76;  $Al_{tot}$  152 ug/l,  $Al_{lab}$  91 ug/l) ja Isosta Majaslamesta (pH 4,76;  $Al_{tot}$

Taulukko 2. Al-pitoisuudet ja pH:t, joissa LC50/LL50-testejä tehtiin eri kalalajien vastakuoriutuneilla poikasilla (a = ahven, k = kuha, sä = särki, h = hauki, si = siika) ja 9-viikkoisilla särjen poikasilla (S).

	ug Al/l								
	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00
0	aksähsi	aksähsis	aksähsis	aksähsis	aksähsis	aksähsis	aksähsis	ksähsis	säs
50	ksähsi	ksähsis	ksähsis	ksähsis	ksähsis	ksähsis	ksähsis	ksähsis	säs
100	aksähsi	aksähsis	aksähsis	aksähsis	aksähsis	aksähsis	aksähsis	ksähsis	säs
200	aksähsi	aksähsis	aksähsis	aksähsis	aksähsis	aksähsis	aksähsis	ksähsis	säs
300	ksähsi	ksähsi	ksähsi	ksähsi	ksähsi	ksähsi	ksähsi	ksähsi	sä
400	aksähsi	aksähsis	aksähsis	aksähsis	aksähsis	aksähsis	aksähsis	ksähsis	säs
500	si	si	si	si	si	si	si	si	
600	aksähsi	aksähsis	aksähsis	aksähsis	aksähsis	aksähsis	aksähsis	ksähsis	säs
700	si	si	si	si	si	si	si	si	
800	aksähsi	aksähsis	aksähsis	aksähsis	aksähsis	aksähsis	aksähsis	ksähsis	säs
1000	aksäh	aksähS	aksähS	aksähS	aksähS	aksähS	aksähS	ksähS	säs

137 ug/l, Al<sub>lab</sub> 71 ug/l ja pH 4,90; Al<sub>tot</sub> 234 ug/l, Al<sub>lab</sub> 138 ug/l) noudetussa vedessä.

Kunkin havaintovuorokauden LC50- ja LL50-arvot laskettiin alumiinin nominaalipitoisuuksista ja nominaalisista pH-arvoista tietokoneohjelmalla, joka käyttää probit-analyysiä tai epälineaarista interpolointia silloin, kun probit-analyysin edellytykset puuttuvat (FINNEY 1971, STEPHAN 1977). Siialla ja särjellä tehtiin rinnakkaistestit, joiden tulokset on esitetty keskiarvoina. Järvivesitesteissä kalojen keskimääräinen elinaika määritettiin graafisesti todennäköisyys-logaritmi-paperilla.

Testien aikana tarkkailtiin myös poikasten käyttäytymistä: kirjattiin uivien ja pohjalla makaavien (kyljellään tai mahallaan) lukumäärät. Testin lopussa henkiin jääneet hauen, siian ja särjen poikaset fiksoitiin ja niiden paino ja pituus mitattiin. Fiksoiduista hauen poikasista arvioitiin myös sakan määrää kiduksissa pisteytysmenetelmällä. Regressioanalyysillä testattiin happamuuden ja alumiinipitoisuuden vaikutusta poikasten keskipituuteen.



## 2.7. Happamuuden ja alumiinin pitkäaikaisvaikutus emosiikoihin

Vuoden 1985 emosiika-altistuksen alkioiden kuolleisuus- ja poikasten kuoriutumistulokset kirjattiin ja poikasia otettiin näytteeksi pituus- ja painomittauksia varten.

Uusi emosiika-altistus tehtiin Itä-Suomen keskuskalanviljelylaitoksella Paasivedestä kesäkuun alussa 1986 pyydetyillä siioilla. Kalojen painot ja pituudet on esitetty taulukossa 3. Altistus aloitettiin 8.7. ja lopetettiin 28.11.1986; altistus kesti siten 143 vuorokautta. Altistusr ryhmät olivat: "kontrolli" (pH 7,07), "pH 5,75" (pH 5,70) "pH 5,75 + Al" (pH 5,78 ja alumiinia lisätty 150 ug/l), "pH 4,75" (pH 4,76) ja "pH 4,75 + Al" (pH 4,76 ja alumiinia lisätty 150 ug/l). Suluissa ilmoitetut pH:t ovat päivittäisten minimi- ja maksimivetyionikonsentraatioiden keskiarvoja. Altaiden veden alumiinin kokonaispitoisuus ja fraktiot määritettiin muutaman kerran altistuksen aikana.

Kalat lypsettiin sitä mukaa kuin ne kypsyivät 28.10.-10.11. ja mäti hedelmöitettiin aina kolmen saman altaan koiraan maidilla; jokaisen naaraan mäti käsiteltiin erikseen. Hedelmöittämättömästä mädistä otettiin näytteet munien koon ja vesipitoisuuden määrittämiseksi. Mäti pantiin hautoutumaan pieniin lasisuppiloihin, kunkin naaraan mäti omaansa.

Noin kolme viikkoa viimeisestä lypsykerrasta, 26.-28.11. siioista otettiin näytteet. Verinäytteestä määritettiin glukoosi- ja maitohappopitoisuus sekä hematokriittiarvo (Hkr) ja hemoglobiinipitoisuus (Hb), joista

Taulukko 3. Emosiikojen paino, pituus ja kuntokerroin kokeen alussa (keskiarvo  $\pm$  SE).

	Kontrolli	pH 5,75	pH 4,75	pH 5,75 + Al	pH 4,75 + Al
Paino, g	112,5 $\pm$ 6,5	106,8 $\pm$ 7,1	110,2 $\pm$ 7,7	107,2 $\pm$ 7,0	108,0 $\pm$ 8,0
Pituus, cm	23,2 $\pm$ 0,3	23,6 $\pm$ 0,4	23,1 $\pm$ 0,3	23,5 $\pm$ 0,3	23,4 $\pm$ 0,3
Kuntokerr.	0,87 $\pm$ 0,03	0,78 $\pm$ 0,03	0,84 $\pm$ 0,03	0,79 $\pm$ 0,03	0,79 $\pm$ 0,03
n	40	40	40	40	40

laskettiin keskimääräinen punasolun hemoglobiinipitoisuus (MCHC). Plasma pakastettiin nestetyypeen, ja siitä analysoitiin  $\text{Ca}^{++}$ -,  $\text{Mg}^{++}$ -,  $\text{Na}^+$ -,  $\text{K}^+$ -,  $\text{Cl}^-$  ja proteiinipitoisuus. Kalojen paino ja pituus mitattiin. Kalojen maksa, lypsettyihin naaraisiin jäljelle jäänyt mäti sekä koiraiden testikset punnittiin. Jäännösmädin, maksan (LSI) ja testisten (GSI) suhteelliset painot laskettiin. Kaikkien kalojen gonadeista otettiin histologiset näytteet mahdollisia tarkistuksia varten ja osasta kaloja fiksoitiin kidusta. Kaloista otettiin myös suomenäyte iän ja takautuvan kasvun määrittämistä varten.

Ryhmien välisten erojen tilastollista merkitsevyyttä testattiin yksi- ja kaksisuuntaisella varianssianalyysillä (ANOVA) tai Kruskal-Wallis testillä.

## 2.8. Ahventen ja siikojen kutuvalmius

Kudun mahdollisen viivästymisen selvittämiseksi ahvenia ja siikoja pyydettiin verkoilla kutuaikana; ahvenia 6.5.-17.5. Pienestä Lehmälammesta (Vihti), Myllyjärvestä (Vihti) ja Saarijärvestä (Espoo) sekä siikoja 14. - 16.10. Sahajärvestä (Pohja), Saarijärvestä (Espoo), Vaakkoista (Vihti), Valkeasta Mustajärvestä (Lammi) ja Opiston Valkjärvestä (Lammi). Siikojen kalastusta varten valituista järvistä tiedettiin, että kaikkien järvien siiat olivat planktonsiikaa (Coregonus muksun). Kalojen paino ja pituus mitattiin. Niistä otettiin suomuja (siika) tai kiduskannen luu (ahven) iänmäärittämistä varten. Kalat avattiin, gonadien kehitysvaihe luokiteltiin ja sukukypsien kalojen gonadien paino punnittiin. Lisäksi ahvenen kutua havainnoitiin Espoon Hauklammessa sukeltamalla. Hauklammen ahvenia ei tapettu eikä gonadeja punnittu, koska järven ahvenkannan kokoa arvioitiin samanaikaisesti (vrt. kohta 2.4.).

## 2.9. Hedelmöitys- ja haudontakokeet

Happamuuden ja alumiinin vaikutusta hauen mädin hedelmöitymiseen ja varhaiskehitykseen tutkittiin kahdella

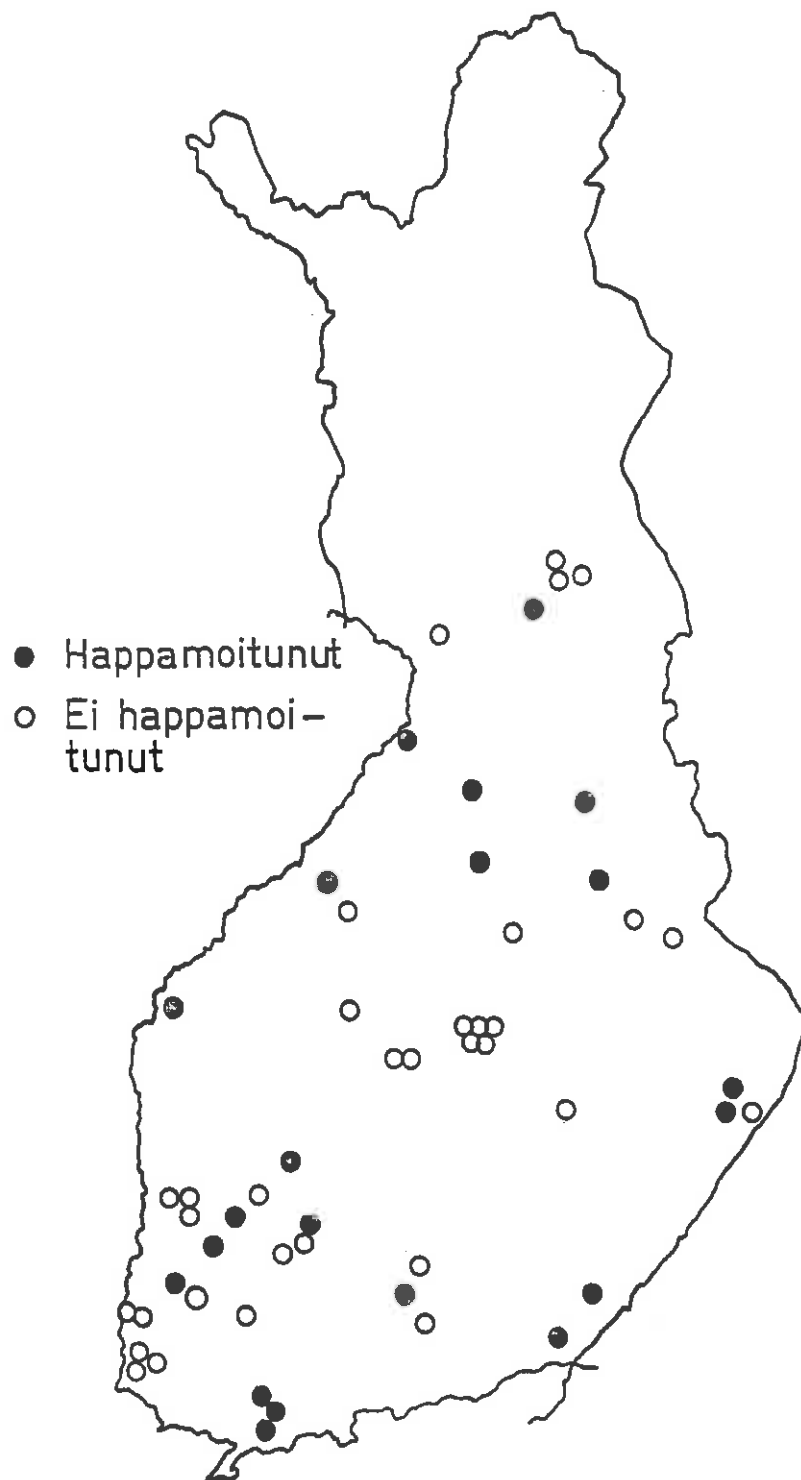
mätierällä. Hedelmöitykset tehtiin ja mäti haudottiin testiliuoksissa (pH:t 4,0, 4,5, 5,0, 5,5 ja 6,0, alumiinipitoisuudet 0, 100, 200, 400, 600 ja 800 sekä kontrolli) myöhäiseen gastrulavaiheeseen, jolloin mäti fiksoitiin kehittyvien osuuden tutkimiseksi. Kolmas mätierä hedelmöitettiin eri testiliuoksissa ja osa mädistä pantiin seuraavana päivänä hautoutumaan järviveteen. Jäljelle jääneestä mädistä otettiin osa näytteeksi gastrulavaiheessa. Mädin annettiin hautoutua poikasiksi testiliuoksissa ja kontrollivedessä. Kuoriutumistulokset kirjattiin. Kaksi mätierää hedelmöitettiin puhtaassa vedessä ja seuraavana päivänä mätiä siirrettiin hautoutumaan eri testiliuoksiin. Kuoriutumistulokset kirjattiin. Poikasten annettiin olla näissä liuoksissa, kunnes vertailuryhmän poikaset alkoivat uida, jolloin poikaset otettiin näytteeksi painon, pituuden ja ruskuaispussin koon mittaamiseksi. Ruskuaispussin kokoa arvioitiin pisteytysmenetelmällä. Happamuuden ja alumiinipitoisuuden vaikutusta hauen poikasten pituuteen, painoon ja ruskuaispussin kokoon testattiin regressioanalyysillä.

Happamuuden ja alumiinin vaikutuksista särjen mädin hedelmöitymiseen ja alkionkehitykseen tehtiin alustava koe. Mätiä hedelmöitettiin puhtaassa vedessä ja haudotettiin eri testiliuoksissa tai hedelmöitettiin testiliuoksissa ja haudotettiin puhtaassa vedessä. Kuoriutumista havainnointiin.

### 3. TULOKSET

#### 3.1. Tiedustelu

Tiedusteluun saatiin 84 vastausta. Näistä 54 koski jotakin tiettyä järveä tai jokea. Sellaisia järviä, joiden kalastoon happamoitumisen ilmoitettiin vaikuttaneen, oli 21. Ne sijaitsevat suurelta osin alueilla, joilla pienten järvien happamoitumista jo tiedetään tapahtuneen, mm. Kaakois-Suomessa, Länsi-Uudellamaalla ja Tampereen seudulla (kuva 3), mutta myös pohjoisempana, mm. Oulun seudulla ja



Kuva 3. Tiedustelussa ilmoitettujen jokien ja järvien sijainti.

Kainuussa. Muutamit vastauksissa ilmoitetut järvet (Jaakonjärvi Utajärvellä, Matalajärvi Kangasalla ja Valkealampi Tohmajärvellä) kuuluvat ennestään happamoitumistutkimuksen piiriin. Joissakin tapauksissa happamoitumisen syy on - ja se todettiin myös vastauksissa - muu kuin hapan laskeuma, esimerkiksi vesirakennustyöt Pohjanmaan alunamailla tai lisääntynyt humuskuormitus valuma-alueiden ojituksen seurauksena. Tiedustelun vastausten perusteella koekalastettiin kaksi järveä. Vuonna 1987 koekalastusohjelmaan otetaan useampia tiedustelussa ilmoitettuja järviä.

### 3.2. Kevään vesinäytteet

Järvien huhtikuisten vesinäytteiden pH, alkaliteetti, sähkönjohtavuus, väri ja kalsiumkovuus on esitetty taulukossa 4 ja alumiinipitoisuudet taulukossa 5. Kokonaisalumiinipitoisuus oli 21 - 810 ug/l ja monomeerisen alumiinin pitoisuus 8 - 229 ug/l. Monomeerisen alumiinin osuus kokonaisalumiinipitoisuudesta oli 27 - 70 %. Kuvaan 4 on merkitty pintavesinäytteiden alumiinin kokonaispitoisuus pH:n suhteen. Alumiinin kokonaispitoisuuden sekä eri fraktioiden ja pH:n korrelaatiot olivat tilastollisesti merkitseviä ( $p < 0,05$ ); parhaiten korreloi alumiinin kokonaispitoisuus pH:n kanssa. Viiden järven (Hirvijärvi, Långträsket, Maja-järvi, Pitkälampi ja Vuorilampi) alumiinipitoisuus oli suuri pH-arvoon nähden (taulukko 5). Näiden järvien veden väriluku oli suurempi kuin 40 mg Pt/l (taulukko 4). Lisäksi Sorvijärven alumiinipitoisuus oli poikkeavan suuri pH-arvoon nähden, vaikka sen veden väriluku oli vain 25 mg Pt/l. Kun nämä kuusi järveä, humusjärvet ja Sorvijärvi, jätetään tilastollisen tarkastelun ulkopuolelle, saadaan taulukossa 6 esitetyt korrelaatiot ( $p < 0,001$ ) ja parhaalle korrelaatiolle suoran yhtälö:  $Al_{tot} = 823,29 - 140,36pH$  ( $r^2 = 0,638^{***}$ ).

Taulukko 4. Huhtikuussa järivistä otettujen vesinäytteiden analyysitulokset.

JÄRVEN NIMI	KUNTA	KOORDINAATIT	FVM	pH	ALKALIT. mmol/l	JOHTOK. mS/m	Ca-KOV. mmol/l	VÄRI mg Pt/l	SYV. m
Aurajärvi	Äetsä	2-680352-42589	23.04.86	5,2	0,01	3,0	0,05	40	lit
Aurajärvi	Äetsä	2-680352-42589	23.04.86	5,2	0,01	2,7	0,04	35	0
Aurajärvi	Äetsä	2-680352-42589	23.04.86	5,3	0,01	2,9	0,05	40	1
Aurajärvi	Äetsä	2-680352-42589	23.04.86	5,4	0,02	2,9	0,05	40	3
Flacksjö	Pohja	2-666920-47230	20.04.86	6,1	0,04	3,7	0,07	15	lit
Flacksjö	Pohja	2-666920-47230	20.04.86	5,1	0,00	2,5	0,03	10	0
Flacksjö	Pohja	2-666920-47230	20.04.86	6,0	0,03	3,5	0,07	15	1
Flacksjö	Pohja	2-666920-47230	20.04.86	6,1	0,04	3,5	0,07	15	3
Fårsjö	Pohja	2-666850-47050	20.04.86	5,5	0,01	2,6	0,05	20	lit
Fårsjö	Pohja	2-666850-47050	20.04.86	5,7	0,02	3,4	0,08	20	0
Fårsjö	Pohja	2-666850-47050	20.04.86	6,1	0,04	3,8	0,07	25	1
Fårsjö	Pohja	2-666850-47050	20.04.86	6,0	0,03	3,4	0,08	25	3
Hauklampi	Espoo	2-668962-53385	09.04.86	4,4	0,00	3,9	0,04	20	lit
Hauklampi	Espoo	2-668962-53385	09.04.86	4,5	0,00	3,4	0,03	10	0
Hauklampi	Espoo	2-668962-53385	09.04.86	4,6	0,00	4,0	0,05	15	1
Hauklampi	Espoo	2-668962-53385	09.04.86	4,9	0,00	3,4	0,04	20	3
Hirvijärvi	Sippola	3-674714-51917	13.04.86	5,7	0,02	3,4	0,08	40	lit
Hirvijärvi	Sippola	3-674714-51917	13.04.86	5,7	0,03	3,4	0,08	40	0
Hirvijärvi	Sippola	3-674714-51917	13.04.86	5,7	0,03	3,4	0,03	40	1
Hirvijärvi	Sippola	3-674714-51917	13.04.86	5,7	0,03	3,4	0,08	50	3
Iso Lehmälampi	Vihti	2-669270-53330	09.04.86	4,5	0,00	3,7	0,03	40	lit
Iso Lehmälampi	Vihti	2-669270-53330	09.04.86	4,5	0,00	3,7	0,04	35	0
Iso Lehmälampi	Vihti	2-669270-53330	09.04.86	4,6	0,00	3,4	0,04	30	1
Iso Lehmälampi	Vihti	2-669270-53330	09.04.86	4,8	0,00	3,0	0,04	35	3
Iso Majaslampi	Espoo	2-668990-53300	10.04.86	4,4	0,00	4,0	0,03	20	lit
Iso Majaslampi	Espoo	2-668990-53300	10.04.86	4,4	0,00	4,0	0,04	20	0
Iso Majaslampi	Espoo	2-668990-53300	10.04.86	4,5	0,00	3,6	0,04	20	1
Iso Majaslampi	Espoo	2-668990-53300	10.04.86	5,2	0,01	3,0	0,04	40	3

jatkuu . . .

Taulukko 4. jatkoa

JÄRVEN NIMI	KUNTA	KOORDINAATIT	PVM	pH	ALKALIT. mmol/l	JOHTOK. mS/m	Ca-KOV. mmol/l	VÄRI mg Pt/l	SYV. m
Iso Suksijärvi	Mouhijärvi	2-682576-43862	23.04.86	5,8	0,07	3,4	0,07	70	lit
Iso Suksijärvi	Mouhijärvi	2-682576-43862	23.04.86	5,8	0,04	2,5	0,05	30	0
Iso Suksijärvi	Mouhijärvi	2-682576-43862	23.04.86	6,0	0,10	3,6	0,08	50	1
Iso Suksijärvi	Mouhijärvi	2-682576-43862	23.04.86	6,1	0,11	4,0	0,1	90	3
Isojärvi	Myrskylä	3-672703-43437	13.04.86	5,0	0,00	2,1	0,03	15	lit
Isojärvi	Myrskylä	3-672703-43437	13.04.86	5,5	0,01	3,7	0,06	25	0
Isojärvi	Myrskylä	3-672703-43437	13.04.86	5,6	0,02	3,7	0,06	25	1
Isojärvi	Myrskylä	3-672703-43437	13.04.86	5,5	0,02	3,4	0,06	25	3
Iso-Simi	Pohja	2-667346-47541	20.04.86	5,3	0,00	2,0	0,03	15	lit
Iso-Simi	Pohja	2-667346-47541	20.04.86	5,2	0,00	2,7	0,04	20	0
Iso-Simi	Pohja	2-667346-47541	20.04.86	5,4	0,00	3,4	0,06	15	1
Iso-Simi	Pohja	2-667346-47541	20.04.86	5,4	0,00	3,5	0,06	15	3
Kaitalampi	Espoo	2-668994-53674	10.04.86	4,9	0,00	3,2	0,03	25	lit
Kaitalampi	Espoo	2-668994-53674	10.04.86	5,2	0,00	5,0	0,06	35	0
Kaitalampi	Espoo	2-668994-53674	10.04.86	5,3	0,01	5,0	0,06	40	1
Kaitalampi	Espoo	2-668994-53674	10.04.86	5,5	0,02	5,0	0,06	35	3
Kattilajärvi	Espoo	2-668794-53424	09.04.86	5,4	0,05	4,5	0,08	20	lit
Kattilajärvi	Espoo	2-668794-53424	09.04.86	5,5	0,01	3,9	0,07	20	0
Kattilajärvi	Espoo	2-668794-53424	09.04.86	5,6	0,02	3,8	0,08	20	1
Kattilajärvi	Espoo	2-668794-53424	09.04.86	5,8	0,03	3,6	0,07	20	3
Långträsket	Tenhola	2-665389-46316	21.04.86	5,2	0,01		0,05		lit
Långträsket	Tenhola	2-665389-46316	21.04.86	4,7	0,00	3,9	0,07	70	0
Långträsket	Tenhola	2-665389-46316	21.04.86	5,2	0,02	4,6	0,05	60	1
Majajärvi	Lammi	2-679015-56140	16.04.86	5,8	0,07		0,12	180	lit
Majajärvi	Lammi	2-679015-56140	16.04.86	5,7	0,08		0,12	180	0
Majajärvi	Lammi	2-679015-56140	16.04.86	5,8	0,08		0,11	180	1
Majajärvi	Lammi	2-679015-56140	16.04.86	5,7	0,07		0,1	180	3

jatkuu . . .

## Taulukko 4. jatkoa

JÄRVEN NIMI	KUNTA	KOORDINAATIT	FVM	pH	ALKALIT. mmol/l	JOHTOK. mS/m	Ca-KOV. mmol/l	VÄRI mg Pt/l	SYV. m
Munajärvi	Tenhola	2-666970-46118	20.04.86	4,5	0,00	3,3	0,03	50	lit
Munajärvi	Tenhola	2-666970-46118	20.04.86	4,3	0,00	3,5	0,03	30	0
Munajärvi	Tenhola	2-666970-46118	20.04.86	4,4	0,00	3,8	0,04	50	1
Munajärvi	Tenhola	2-666970-46118	20.04.86	4,8	0,00	3,0	0,05	80	3
Opiston Valkjärvi	Lammi	16.04.86	16.04.86	5,0	0,00	1,9	0,03	50	lit
Opiston Valkjärvi	Lammi	16.04.86	16.04.86	5,0	0,00	1,9	0,04	50	0
Opiston Valkjärvi	Lammi	16.04.86	16.04.86	4,9	0,00	2,0	0,03	35	1
Opiston Valkjärvi	Lammi	16.04.86	16.04.86	5,1	0,00	1,8	0,04	40	3
Orajärvi	Espoo	2-668852-53265	09.04.86	4,5	0,00	3,1	0,03	10	lit
Orajärvi	Espoo	2-668852-53265	09.04.86	4,6	0,00	3,6	0,05	10	0
Orajärvi	Espoo	2-668852-53265	09.04.86	4,6	0,00	3,5	0,05	10	1
Orajärvi	Espoo	2-668852-53265	09.04.86	4,9	0,00	2,9	0,04	15	3
Pieni Lehmälampi	Vihti	2-669286-53292	09.04.86	4,5	0,00	3,9	0,03	20	lit
Pieni Lehmälampi	Vihti	2-669286-53292	09.04.86	4,5	0,00	3,8	0,01	20	0
Pieni Lehmälampi	Vihti	2-669286-53292	09.04.86	4,5	0,00	3,7	0,01	25	1
Pieni Lehmälampi	Vihti	2-669286-53292	09.04.86	4,8	0,00	3,1	0,03	20	3
Pieni Majaslampi	Espoo	2-669017-53284	10.04.86	4,7	0,00	1,8	0,01	15	lit
Pieni Majaslampi	Espoo	2-669017-53284	10.04.86	4,4	0,00	4,1	0,04	15	0
Pieni Majaslampi	Espoo	2-669017-53284	10.04.86	4,5	0,00	4,0	0,05	15	1
Pieni Majaslampi	Espoo	2-669017-53284	10.04.86	4,8	0,00	3,1	0,03	20	3
Pieni-Löytönen	Savitaipale	3-677630-51208	13.04.86	5,2	0,01	1,6	0,02	30	lit
Pieni-Löytönen	Savitaipale	3-677630-51208	13.04.86	5,1	0,00	1,6	0,02	15	0
Pieni-Löytönen	Savitaipale	3-677630-51208	13.04.86	5,0	0,00	1,5	0,03	15	1
Pieni-Löytönen	Savitaipale	3-677630-51208	13.04.86	5,1	0,00	1,4	0,03	15	3
Pitkäjärvi	Tenhola	2-666882-46148	20.04.86	4,8	0,00	3,0	0,04	15	lit
Pitkäjärvi	Tenhola	2-666882-46148	20.04.86	4,8	0,00	2,8	0,04	20	0
Pitkäjärvi	Tenhola	2-666882-46148	20.04.86	5,1	0,00	3,0	0,05	20	1
Pitkäjärvi	Tenhola	2-666882-46148	20.04.86	5,3	0,00	3,1	0,05	25	3

jatkuu . . .



## Taulukko 4. jatkoa

JÄRVEN NIMI	KUNTA	KOORDINAATIT	PVM	pH	ALKALIT. mmol/l	JOHTOK. mS/m	Ca-KOV. mmol/l	VARI mg Pt/l	SYV. m
Pitkälampi	Nokia	2-682397-47220	15.04.86	4,9	0,00	2,5	0,04	60	lit
Pitkälampi	Nokia	2-682397-47220	15.04.86	5,2	0,01	3,5	0,06	90	0
Pitkälampi	Nokia	2-682397-47220	15.04.86	5,4	0,04	3,4	0,05	90	1
Pitkälampi	Nokia	2-682397-47220	15.04.86	5,8	0,10	3,5	0,07	125	3
Riihijärvi	Luumäki	3-675556-54800	13.04.86	5,1	0,00	3,2	0,06	10	lit
Riihijärvi	Luumäki	3-675556-54800	13.04.86	5,3	0,00	2,9	0,06	15	0
Riihijärvi	Luumäki	3-675556-54800	13.04.86	5,6	0,01	2,9	0,06	15	1
Riihijärvi	Luumäki	3-675556-54800	13.04.86	5,6	0,01	3,0	0,06	10	3
Saaren Musta	Vihti	2-669256-53378	09.04.86	4,6	0,00	3,2	0,03	40	0
Saaren Musta	Vihti	2-669256-53378	09.04.86	4,7	0,00	3,5	0,04	70	1
Saaren Musta	Vihti	2-669256-53378	09.04.86	4,8	0,00	3,3	0,04	60	3
Saarijärvi	Espoo/Vihti	2-669096-53351	10.04.86	5,9	0,07	4,8	0,09	15	lit
Saarijärvi	Espoo/Vihti	2-669096-53351	10.04.86	5,2	0,00	4,7	0,07	15	0
Saarijärvi	Espoo/Vihti	2-669096-53351	10.04.86	5,3	0,01	4,8	0,07	20	1
Saarijärvi	Espoo/Vihti	2-669096-53351	10.04.86	5,7	0,02	4,6	0,07	15	3
Sahajärvi	Pohja	2-666909-46900	20.04.86	4,7	0,00	2,4	0,03	10	lit
Sahajärvi	Pohja	2-666909-46900	20.04.86	5,2	0,00	2,7	0,04	15	0
Sahajärvi	Pohja	2-666909-46900	20.04.86	5,4	0,01	2,9	0,06	15	1
Sahajärvi	Pohja	2-666909-46900	20.04.86	5,5	0,02	3,0	0,05	20	3
Sarkkinen	Vihti	2-669083-53257	10.04.86	4,7	0,00	2,1	0,03	30	lit
Sarkkinen	Vihti	2-669083-53257	10.04.86	4,6	0,00	4,0	0,04	70	0
Sarkkinen	Vihti	2-669083-53257	10.04.86	4,7	0,00	3,9	0,05	70	1
Sarkkinen	Vihti	2-669083-53257	10.04.86	4,9	0,00	3,5	0,05	70	3
Siikajärvi	Orivesi	2-685584-51112	15.04.86	4,7	0,00	2,8	0,04	20	0
Siikajärvi	Orivesi	2-685584-51112	15.04.86	5,0	0,00	2,6	0,04	15	1
Siikajärvi	Orivesi	2-685584-51112	15.04.86	5,2	0,00	2,4	0,04	20	3
Sorvijärvi	Vammala	2-681410-44641	23.04.86	4,6	0,00	4,0	0,07	50	lit
Sorvijärvi	Vammala	2-681410-44641	23.04.86	5,6	0,04	2,9	0,05	25	0

jatkuu . . .

## Taulukko 4. jatkoa

JÄRVEN NIMI	KUNTA	KOORDINAATIIT	FVM	PH	ALKALIT. mmol/l	JOHTOK. mS/m	Ca-KOV. mmol/l	VARI mg Pt/l	SYV. m
Sorvijärvi	Vammala	2-681410-44641	23.04.86	5,8	0,07	3,4	0,06	25	1
Sorvijärvi	Vammala	2-681410-44641	23.04.86	5,9	0,09	3,4	0,06	20	3
Suurilampi	Taipalsaari	3-678134-55908	13.04.86	5,1	0,00	2,5	0,05	10	0
Suurilampi	Taipalsaari	3-678134-55908	13.04.86	5,2	0,00	2,4	0,04	10	1
Suurilampi	Taipalsaari	3-678134-55908	13.04.86	5,4	0,01	2,2	0,05	10	3
Vaakkoi	Vihti	2-669214-53338	09.04.86	4,9	0,00	1,3	0,01	15	lit
Vaakkoi	Vihti	2-669214-53338	09.04.86	4,6	0,00	4,0	0,05	30	0
Vaakkoi	Vihti	2-669214-53338	09.04.86	4,7	0,00	4,0	0,06	30	1
Vaakkoi	Vihti	2-669214-53338	09.04.86	5,1	0,00	3,3	0,05	15	3
Valkea Mustajärvi	Lammi	2-679050-56025	16.04.86	6,0	0,04	2,4	0,11	25	lit
Valkea Mustajärvi	Lammi	2-679050-56025	16.04.86	6,0	0,03	2,1	0,07	20	0
Valkea Mustajärvi	Lammi	2-679050-56025	16.04.86	6,2	0,05	2,7	0,06	20	1
Valkea Mustajärvi	Lammi	2-679050-56025	16.04.86	6,3	0,08	2,8	0,07	20	3
Valkea-Kotinen	Lammi	16.04.86	16.04.86	5,2	0,01	4,0	0,08	90	lit
Valkea-Kotinen	Lammi	16.04.86	16.04.86	5,2	0,01	4,0	0,08	90	0
Valkea-Kotinen	Lammi	16.04.86	16.04.86	5,2	0,01	3,9	0,08	90	1
Valkea-Kotinen	Lammi	16.04.86	16.04.86	5,5	0,04	4,0	0,08	90	3
Valkjärvi	Ylämaa	3-673739-56160	13.04.86	4,8	0,00	2,3	0,03	15	lit
Valkjärvi	Ylämaa	3-673739-56160	13.04.86	5,1	0,00	2,8	0,05	10	0
Valkjärvi	Ylämaa	3-673739-56160	13.04.86	5,2	0,00	3,0	0,05	15	1
Valkjärvi	Ylämaa	3-673739-56160	13.04.86	5,3	0,00	2,9	0,06	15	3
Vitsjön (Spjutsböle)	Tenhola	2-665032-46196	21.04.86	5,5	0,02	3,9	0,06	15	lit
Vitsjön (Spjutsböle)	Tenhola	2-665032-46196	21.04.86	5,5	0,01	2,6	0,04	10	0
Vitsjön (Spjutsböle)	Tenhola	2-665032-46196	21.04.86	5,8	0,03	3,9	0,05	15	1
Vitsjön (Spjutsböle)	Tenhola	2-665032-46196	21.04.86	5,9	0,03	4,2	0,06	15	3
Vuorilampi	Ylämaa	3-673604-55029	13.04.86	4,8	0,00	4,7	0,05	15	lit
Vuorilampi	Ylämaa	3-673604-55029	13.04.86	5,2	0,02	4,1	0,07	50	0
Vuorilampi	Ylämaa	3-673604-55029	13.04.86	5,3	0,02	4,0	0,06	50	1

Taulukko 5. Kokonaisalumiinipitoisuus ( $Al_{tot}$ ), monomeerisen alumiinin pitoisuus ( $Al_{lab}$ ) sekä orgaanisesti sitoutuneen ja polymeerisen alumiinin pitoisuus ( $Al_{kop}$ ) huhtikuussa järvistä otetuissa näytteissä.

JÄRVEN NIMI	KUNTA	pH	SYV. (m)	Al TOT. (ug/l)	Al LAB. (ug/l)	Al KOP. (ug/l)
Aurajärvi	Äetsä	5,2	lit	137		
Aurajärvi	Äetsä	5,2	0	119	59	100
Aurajärvi	Äetsä	5,3	1	143	71	124
Aurajärvi	Äetsä	5,4	3	127		
Flacksjö	Pohja	6,1	lit	25		
Flacksjö	Pohja	5,1	0	30	8	22
Flacksjö	Pohja	6,0	1	23	10	23
Flacksjö	Pohja	6,1	3	25		
Färsjö	Pohja	5,5	lit	48		
Färsjö	Pohja	5,7	0	37	15	33
Färsjö	Pohja	6,1	1	54	35	53
Färsjö	Pohja	6,0	3	50		
Hauklampi	Espoo	4,4	lit	280		
Hauklampi	Espoo	4,5	0	275	138	240
Hauklampi	Espoo	4,6	1	404	229	387
Hauklampi	Espoo	4,9	3	379		
Hirvijärvi	Sippola	5,7	lit	201		
Hirvijärvi	Sippola	5,7	0	197	105	184
Hirvijärvi	Sippola	5,7	1	204	102	190
Hirvijärvi	Sippola	5,7	3	201		
Iso Lehmälampi	Vihti	4,5	lit	177		
Iso Lehmälampi	Vihti	4,5	0	174	76	170
Iso Lehmälampi	Vihti	4,6	1	182	76	169
Iso Lehmälampi	Vihti	4,8	3	182		
Iso Majaslampi	Espoo	4,4	lit	210		
Iso Majaslampi	Espoo	4,4	0	271	128	229
Iso Majaslampi	Espoo	4,5	1	247	149	245
Iso Majaslampi	Espoo	5,2	3	216		
Iso Suksijärvi	Mouhijärvi	5,8	lit	78		
Iso Suksijärvi	Mouhijärvi	5,8	0	55	25	56
Iso Suksijärvi	Mouhijärvi	6,0	1	87	40	85
Iso Suksijärvi	Mouhijärvi	6,1	3	92		
Isojärvi	Myrskylä	5,0	lit	51		
Isojärvi	Myrskylä	5,5	0	129	49	95
Isojärvi	Myrskylä	5,6	1	111	50	97
Isojärvi	Myrskylä	5,5	3	95		
Iso-Simi	Pohja	5,3	lit	64		
Iso-Simi	Pohja	5,2	0	52	33	52
Iso-Simi	Pohja	5,4	1	73	53	72
Iso-Simi	Pohja	5,4	3	69		
Kaitalampi	Espoo	4,9	lit	116		
Kaitalampi	Espoo	5,2	0	110	52	120
Kaitalampi	Espoo	5,3	1	109	49	98
Kaitalampi	Espoo	5,5	3	121		
Kattilajärvi	Espoo	5,4	lit	106		
Kattilajärvi	Espoo	5,5	0	84	28	102
Kattilajärvi	Espoo	5,6	1	77	27	68
Kattilajärvi	Espoo	5,8	3	89		
Längträsket	Tenhola	5,2	lit	103		
Längträsket	Tenhola	4,7	0	324	228	340
Längträsket	Tenhola	5,2	1	333	221	335

jatkuu . . .

Taulukko 5. jatkoa

JÄRVEN NIMI	KUNTA	pH	SYV. (m)	Al TOT. (ug/l)	Al LAB. (ug/l)	Al KOP. (ug/l)
Majajärvi	Lammi	5,8	lit	230		
Majajärvi	Lammi	5,7	0	337	155	341
Majajärvi	Lammi	5,8	1	295	150	311
Majajärvi	Lammi	5,7	3	327		
Munajärvi	Tenhola	4,5	lit	224		
Munajärvi	Tenhola	4,3	0	203	128	179
Munajärvi	Tenhola	4,4	1	319	222	285
Munajärvi	Tenhola	4,8	3	295		
Opiston Valkjärvi	Lammi	5,0	lit	42		
Opiston Valkjärvi	Lammi	5,0	0	47	23	45
Opiston Valkjärvi	Lammi	4,9	1	51	24	47
Opiston Valkjärvi	Lammi	5,1	3	41		
Orajärvi	Espoo	4,5	lit	128		
Orajärvi	Espoo	4,6	0	194	84	194
Orajärvi	Espoo	4,6	1	202	93	208
Orajärvi	Espoo	4,9	3	188		
Pieni Lehmälampi	Vihti	4,5	lit	158		
Pieni Lehmälampi	Vihti	4,5	0	204	74	179
Pieni Lehmälampi	Vihti	4,5	1	214	94	178
Pieni Lehmälampi	Vihti	4,8	3	181		
Pieni Majaslampi	Espoo	4,7	lit	89		
Pieni Majaslampi	Espoo	4,4	0	275	131	262
Pieni Majaslampi	Espoo	4,5	1	283	148	275
Pieni Majaslampi	Espoo	4,8	3	251		
Pieni-Löytönen	Savitaipale	5,2	lit	26		
Pieni-Löytönen	Savitaipale	5,1	0	30	16	28
Pieni-Löytönen	Savitaipale	5,0	1	36	16	25
Pieni-Löytönen	Savitaipale	5,1	3	21		
Pitkäjärvi	Tenhola	4,8	lit	72		
Pitkäjärvi	Tenhola	4,8	0	139	65	114
Pitkäjärvi	Tenhola	5,1	1	128	65	107
Pitkäjärvi	Tenhola	5,3	3	114		
Pitkälampi	Nokia	4,9	lit	153		
Pitkälampi	Nokia	5,2	0	204	105	203
Pitkälampi	Nokia	5,4	1	225	115	206
Pitkälampi	Nokia	5,8	3	220		
Riihijärvi	Luumäki	5,1	lit	91		
Riihijärvi	Luumäki	5,3	0	78	36	61
Riihijärvi	Luumäki	5,6	1	75	32	68
Riihijärvi	Luumäki	5,6	3	72		
Saaren Musta	Vihti	4,6	lit	175		
Saaren Musta	Vihti		0	184	91	177
Saaren Musta	Vihti	4,7	1	221	106	191
Saaren Musta	Vihti	4,8	3	222		
Saarijärvi	Espoo/Vihti	5,9	lit	59		
Saarijärvi	Espoo/Vihti	5,2	0	61	28	64
Saarijärvi	Espoo/Vihti	5,3	1	64	26	66
Saarijärvi	Espoo/Vihti	5,7	3	79		
Sahajärvi	Pohja	4,7	lit	34		
Sahajärvi	Pohja	5,2	0	43	22	39
Sahajärvi	Pohja	5,4	1	49	30	48
Sahajärvi	Pohja	5,5	3	51		
Sarkkinen	Vihti	4,7	lit	82		
Sarkkinen	Vihti	4,6	0	189	108	200
Sarkkinen	Vihti	4,7	1	202	112	218
Sarkkinen	Vihti	4,9	3	202		

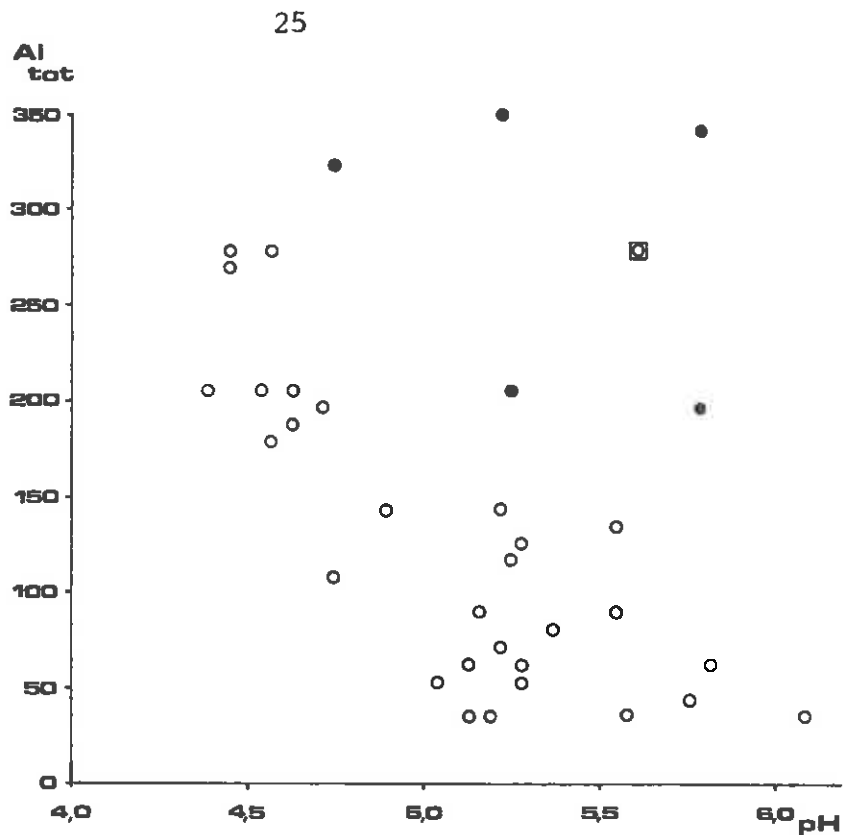
jatkuu . . .

Taulukko 5. jatkoa

JÄRVEN NIMI	KUNTA	pH	SYV. (m)	Al TOT. (ug/l)	Al LAB. (ug/l)	Al KOP. (ug/l)
Siikajärvi	Orivesi	4,7	0	97	37	79
Siikajärvi	Orivesi	5,0	1	134	40	91
Siikajärvi	Orivesi	5,1	3	84		
Sorvijärvi	Vammala	4,6	lit	556		
Sorvijärvi	Vammala	5,6	0	278	142	226
Sorvijärvi	Vammala	5,8	1	233	104	193
Sorvijärvi	Vammala	5,9	3	191		
Suurlampi	Taipalsaari	5,1	0	52	17	38
Suurlampi	Taipalsaari	5,2	1	42	11	28
Suurlampi	Taipalsaari	5,4	3	29		
Vaakkoi	Vihti	4,9	lit	67		
Vaakkoi	Vihti	4,6	0	201	87	165
Vaakkoi	Vihti	4,7	1	229	101	179
Vaakkoi	Vihti	5,1	3	131		
Valkea Kotinen	Lammi	5,2	lit	207		
Valkea Kotinen	Lammi	5,2	0	134	66	155
Valkea Kotinen	Lammi	5,2	1	137	59	124
Valkea Kotinen	Lammi	5,5	3	122		
Valkea Musta	Lammi	6,0	lit	24		
Valkea Musta	Lammi	6,0	0	31	12	22
Valkea Musta	Lammi	6,2	1	26	10	21
Valkea Musta	Lammi	6,3	3	22		
Valkjärvi	Ylämaa	4,8	lit	65		
Valkjärvi	Ylämaa	5,1	0	83	30	85
Valkjärvi	Ylämaa	5,2	1	79	28	67
Valkjärvi	Ylämaa	5,3	3	64		
Vitsjön (Sputsböle)	Tenhola	5,5	lit	71		
Vitsjön (Sputsböle)	Tenhola	5,5	0	27	12	28
Vitsjön (Sputsböle)	Tenhola	5,8	1	44	22	39
Vitsjön (Sputsböle)	Tenhola	5,9	3	43		
Vuorilampi	Ylämaa	4,8	lit	810		
Vuorilampi	Ylämaa	5,2	0	352	190	331
Vuorilampi	Ylämaa	5,3	1	348	203	335

Taulukko 6. Huhtikuussa järvistä otettujen vesinäytteiden kokonaisalumiinipitoisuuden sekä alumiinin fraktioiden ja pH:n väliset korrelaatiokertoimet. (Ks. selitykset taulukon 5 tekstistä.)

	pH	Al <sub>tot</sub>	Al <sub>lab</sub>
Al <sub>tot</sub>	-,799***		
Al <sub>lab</sub>	-,797***	,971***	
Al <sub>kop</sub>	-,781***	,981***	,960***



Kuva 4. Huhtikuussa järvistä otettujen pintavesinäytteiden kokonaisalumiinipitoisuus pH:n funktiona. Mustat pisteet kuvaavat humusjärviä (väri > 40 mg Pt/l) ja neliöity ympyrä Sorvijärven poikkeavaa alumiinipitoisuutta.

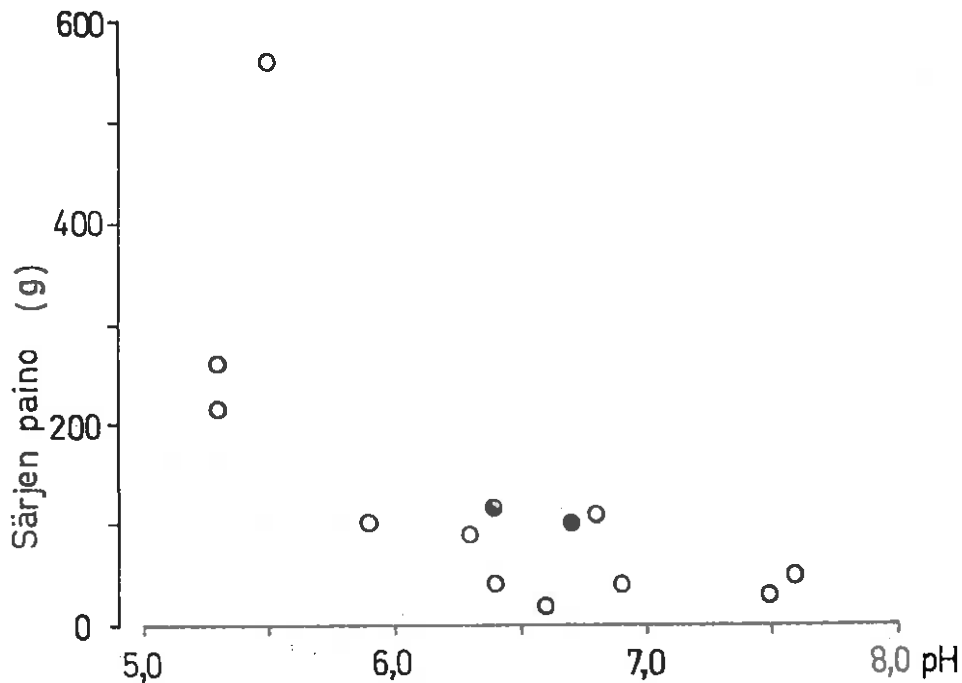
### 3.3. Koekalastukset

Koekalastuksissa saatiin 22 järvestä (kuva 2) yhteensä 8 kalalajia. Ahven kuului jokaisen, kiiski 14:n, särki 13:n ja hauki 11:n järven kalastoon. Taulukossa 7 on esitetty saaliiden yksilömäärät ja painot kalalajeittain. Järvistä saatujen kalalajien lukumäärän ja veden pH:n välillä oli selvä riippuvuus ( $r = 0,615^{**}$ ) siten, että järvistä, joiden pH oli alle 5,0, saatiin keskimäärin 1,3 lajia (ahven, kiiski), järvistä, joiden pH oli 5,0 - 6,0, saatiin 2,8 lajia ja järvistä, joiden pH oli yli 6,0, saatiin keskimäärin 3,9 lajia. Sen sijaan koekalastussaaliiden yksilöluku ja yhteispaino eivät korreloineet veden pH:n tai alkaliteetin kanssa.

Koekalastetuissa järvissä ei edellisvuodesta poiketen ollut yhtään sellaista hyvin hapanta järveä (pH < 5), jossa saalis olisi koostunut muutamasta isosta ja nopeakasvuisesta

Taulukko 7. Koekalastettujen järvien saaliit kalalajeittain. Viiden koekalastuskerran järivistä (tyhjää päivämäärän kohdalla, kalastettu 3.6. - 15.8.1986) on ilmoitettu keskimääräinen saalis verkkosarjaa kohti (+ = lajia on saatu satunnaisesti).

JÄRVEN NIMI	PVM	AHVEN kg/kpl.	KIISKI kg/kpl	HAUKI kg/kpl	SÄRKI kg/kpl	RUUTANA kg/kpl	MADE kg/kpl	SIIKA kg/kpl	MUIKKU kg/kpl
Alinenjärvi	05.08.86	2.263/81	.953/61	.167/2	11.980/46	.326/1		.646/3	
Aurajärvi	07.08.86	3.117/85	.138/12						
Flacksjö	04.06.86	1.748/80	.124/15	1.494/3	7.257/175				
Färsjö		2.017/64	.412/43		5.133/58				
Hautalampi	18.06.86	2.685/159	.216/13	1.574/1	12.990/400				
Havisevanjärvi		1.952/59	.543/38	.262/1	.403/4				
Hirvijärvi		1.983/110		+	5.982/59			1.007/5	
Honkajärvi	25.06.86	2.978/133	.044/3	.806/3					
Iso Mustajärvi	13.06.86	1.918/166			10.590/506			3.976/27	
Iso Suksijärvi	06.08.86	6.266/114	.476/15		12.482/161				
Iso-Koukeri	26.06.86	5.123/214	1.236/70						
Iso-Melkutin		1.646/73	.080/7		3.502/73			.771/4	
Kukkarojärvi	19.06.86	8.740/449		2.108/1					
Riihijärvi	09.07.86	4.638/207		.462/3					
Saari-Soljanen	27.06.86	8.904/592	1.246/15						
Salmijärvi	25.07.86	12.346/402							
Salminen	10.07.86	2.282/106	.163/19		3.628/32			3.100/6	
Sorvijärvi	08.08.86	5.142/254			2.241/4				
Suurilampi	11.07.86	3.473/78			1.281/6				
Tammelan Kaitajärvi	22.07.86	4.945/196							
Valkeajärvi		1.079/74	.366/41	+	5.520/173		+		.325/10
Vähä-Melkutin	23.07.86	.213/6	.121/14	.181/1					

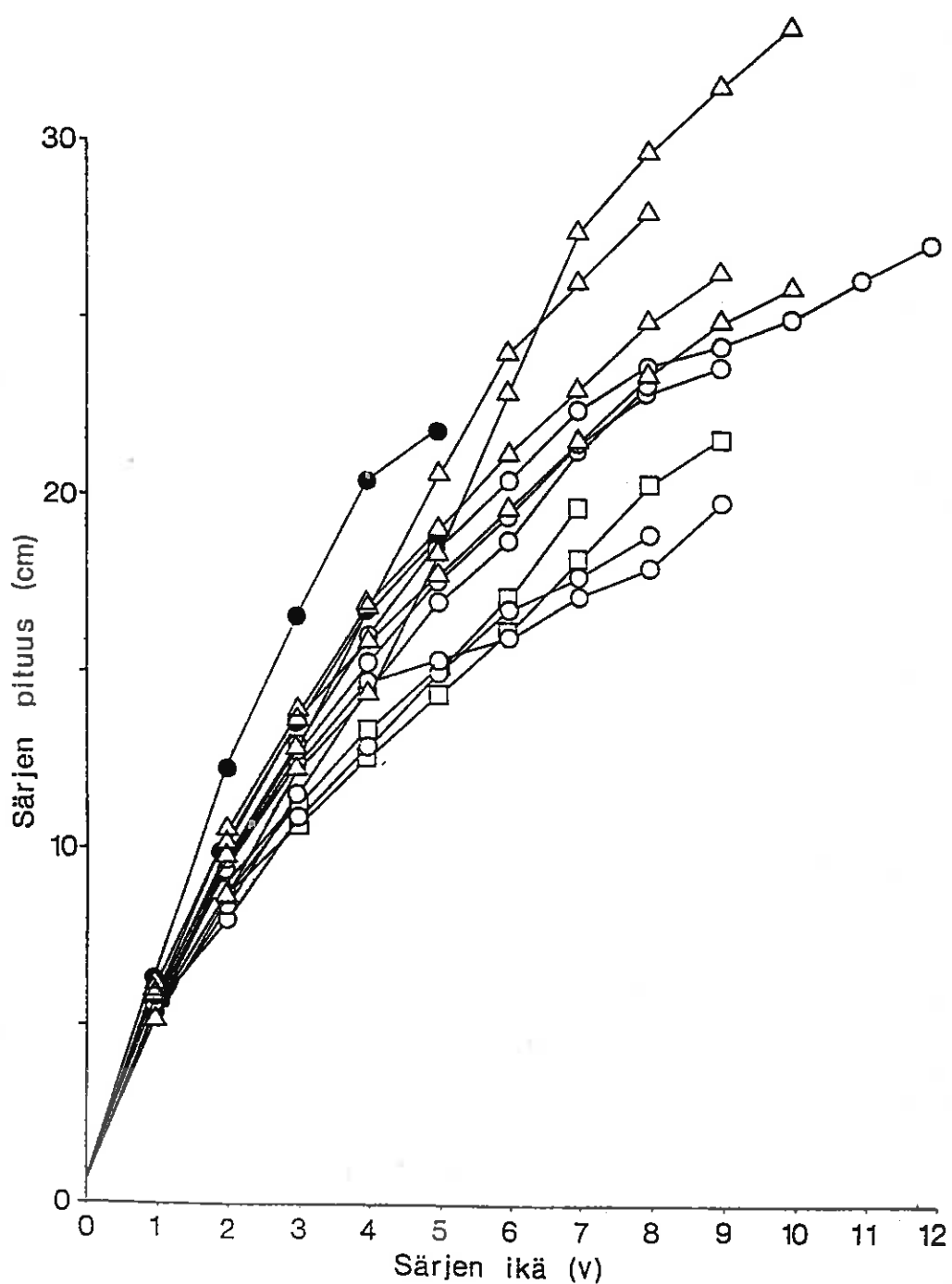


Kuva 5. Särjen keskipaino koekalastussaaliissa happamuudeltaan erilaisissa järvissä. Mustat ympyrät tarkoittavat vuonna 1986 kalkittuja järviä (Havisevanjärvi, Kangasala ja Salminen, Ylämaa).

ahvenesta. Tammelan Kaitajärven (pH 4,7) ja Salmijärven (pH 4,6) sekä Kurun Saari-Soljasen (pH 4,8) ahvensaaliit olivat 200 - 600 yksilöä verkkosarjaa kohti. Ahvenen keskimääräinen kasvunopeus näissä järvissä oli samanlainen kuin vähemmän happamissa järvissä; esimerkiksi nelivuotiaiden kalojen keskipituus oli 13,9 cm, kun se vähemmän happamissa järvissä oli 13,6 cm.

Särjen osuus koekalastussaaliissa vaihteli selvästi veden happamuuden mukaan. Järvistä, joiden pH on alle 5,0, ei saatu lainkaan särkiä. Järvistä, joiden pH on 5,0 - 5,9, saatujen särkien lukumäärä oli keskimäärin 30 verkkosarjaa kohti. Vastaava luku pH-alueella 6,0 - 7,0 oli 235 ja pH-alueella > 7,0 se oli 123 särkeä verkkosarjaa kohti. Särkien keskipaino oli suurin happamissa järvissä: 284 g järvissä, joiden pH oli 5,0 - 5,9, 60 g pH-alueella 6,0 - 7,0 ja 40 g järvissä, joiden veden pH oli > 7,0 (kuva 5). Erot särjen kasvunopeudessa (kuva 6) happamuudeltaan erilaisissa järvissä olivat samansuuntaiset: kasvu oli nopeinta järvissä, joiden pH oli sekä kevätkäynnin aikaan että koekalastuksen yhteydessä 5,0 - 5,9. Järvissä, joiden pH oli > 6,0, veden





Kuva 6. Särjen takautuvasti lasketut kasvunopeudet happamuudeltaan erilaisissa järvissä. Kolmiot = pH 5,0 - 5,9, ympyrät = pH 6,0 - 7,0 ja neliöt pH > 7,0. Kalkittujen järvien, jotka ennen kalkitusta kuuluivat pH-luokkaan 5,0 - 5,9, särjen kasvu on merkitty mustilla ympyröillä.

happamuudella ja särjen kasvunopeudella ei havaittu selvää yhteyttä.

### 3.4. Ahvenpopulaatiot happamoituneissa järvissä

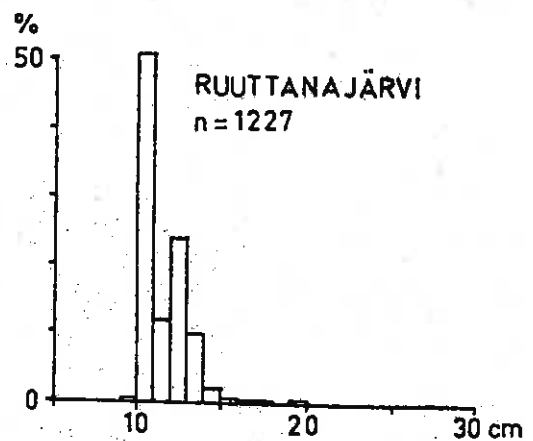
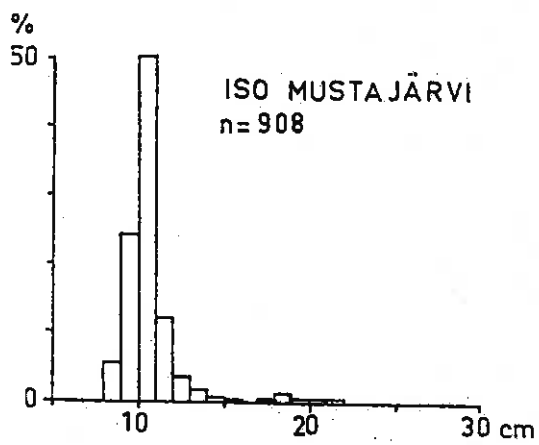
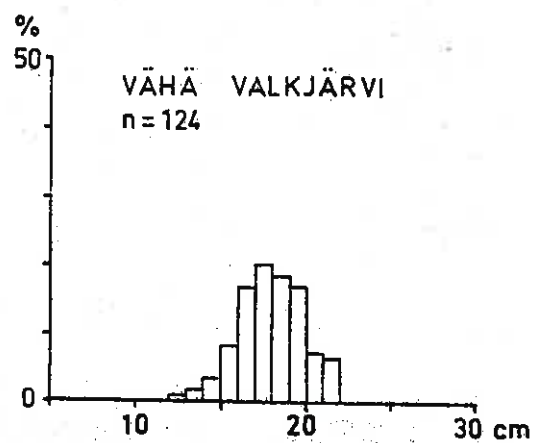
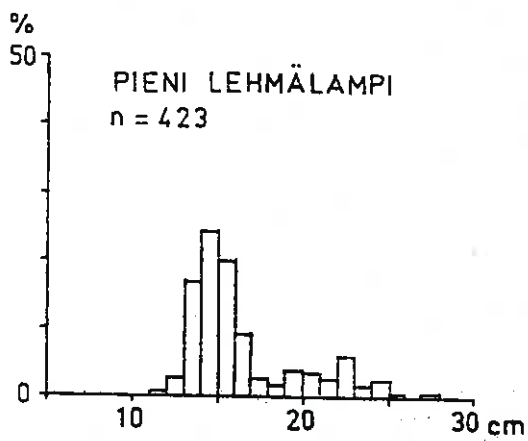
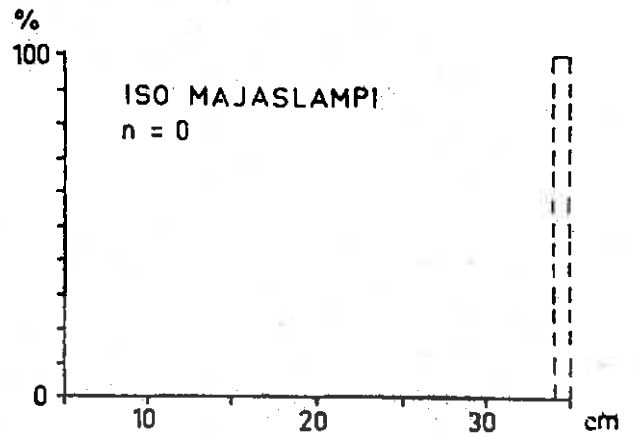
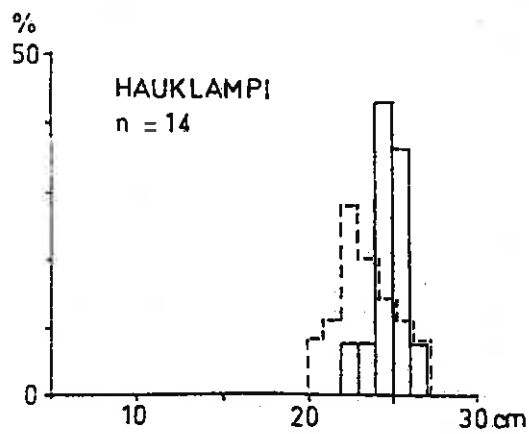
Merkinnän ja takaisinpyynnin tulokset osoittavat, että kahdessa tutkituista järvistä ahvenkanta oli hyvin niukka. Toisesta (Iso Majaslampi) ei saatu 47 katiskayön pyyntiponnistuksella ainuttakaan kalaa ja toisestakin (Hauklampi) 132 katiskayönä saatiin vain 14 ahventa ja tiheysarvioksi tuli 6 kalaa hehtaarille (taulukko 8). Kahden muun happamoituneen järven (Pieni Lehmälampi ja Vähä Valkjärvi) ahvenkannan tiheys oli 150 - 250 yksilöä hehtaarille, mikä oli noin kymmenesosa vertailujärvien (Iso Mustajärvi ja Ruuttanajärvi) tiheydestä (taulukko 8).

Ahvenen pituusjakaumat tutkituissa järvissä poikkesivat selvästi toisistaan siten, että niukoissa populaatioissa oli vain isoja ja vanhoja yksilöitä, mutta vertailujärvissä pienet ja nuoret kalat olivat vallitsevina (kuva 7). Happamoituneiden järvien ahvenet olivat kasvaneet erittäin merkittävästi nopeammin kuin ahvenet vertailujärvissä (ANOVA,  $p < 0,001$ ).

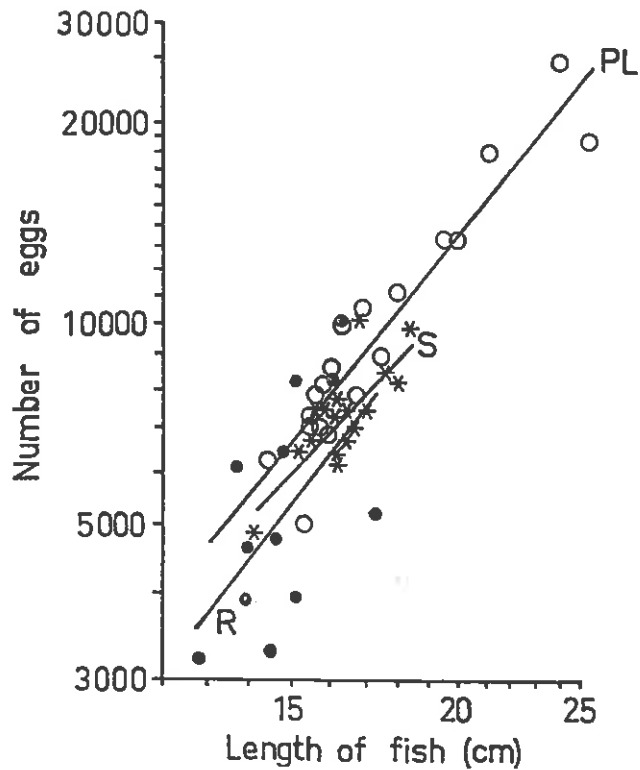
Suurin fekunditeetti todettiin happamoituneen Pienen Lehmälammen (kuva 8) ja pienin Ruuttanajärven ahvenilla. Ero kolmen tutkitun järven välillä oli merkitsevä (ANCOVA,  $p < 0,05$ ).

Taulukko 8. Ahvenpopulaatioiden koko, tiheys ja biomassa kuudessa tutkitussa järvessä.

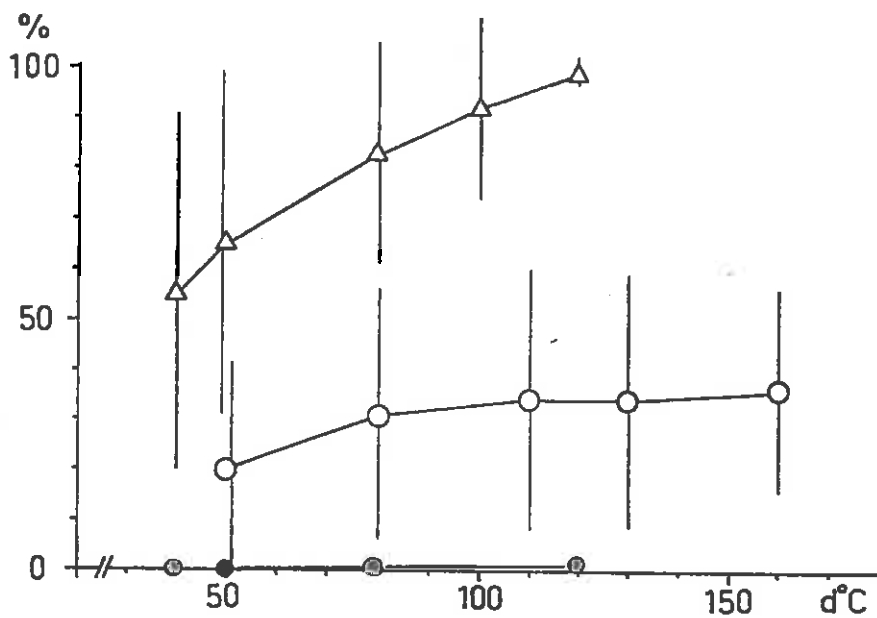
	Hauklampi	Iso Majaslampi	Pieni Lehmälampi	Vähä Valkjärvi	Iso Mustajärvi	Ruuttanajärvi
Populaatio (N ± SE)	15 ± 3	0	495 ± 15	341 ± 70	3866 ± 352	3694 ± 182
Tiheys (yks/ha)	6 ± 1	0	261 ± 8	148 ± 30	1432 ± 130	3358 ± 166
Biomassa (kg/ha)	1,0	0	13,5	10,5	19,5	51,7
Katiskaotit (n)	132	47	96	60	24	10
Yksilöä/katiskayö	0,1	0	4,4	2,1	37,8	122,7



Kuva 7. Ahvenen pituusjakauma järvissä, joiden ahvenpopulaatioiden koko arvioitiin keväällä 1986. Vuoden 1985 koekalastuksen mukainen pituusjakauma Hauklammessa ja Isossa Majaslammessa on merkitty katkoviivalla.



Kuva 8. Ahvenen fekunditeetti kolmessa järvessä: happamoitunut Pieni Lehmälampi (PL, avoimet ympyrät) ja happamoitumattomat Saarijärvi (S, tähdet) sekä Ruuttanjärvi (R, mustat ympyrät).



Kuva 9. Ahvenen mädin kuolleisuus (keskiarvo  $\pm$  SD) happamoituneissa Vähä Valkjärvessä (kolmiot) ja Pienessä Lehmälammessa (avoimet ympyrät) sekä lähes neutraalissa Valkeassa Mustajärvessä (mustat ympyrät).

Mädin kuolleisuus oli suurin Vähä Valkjärvestä, jossa kaikki haudotettu mäti kuoli. Pienessä Lehmälammessa keskimäärin 36 % mätimunista kuoli ennen kuoriutumista, mutta vertailujärvenä olleen Valkean Mustajärven ahvenen mädin kuolleisuus oli alle 1 % (kuva 9).

### 3.5. Rapututkimukset

Kesäkuun alun koeravustuksissa saatiin sukeltamalla ja merroilla yhdestä koejärvestä kolme, kolmesta muusta jokaisesta yksi mätimunia kantava naaras. Naaraista ja niiden mädistä tehdyt havainnot on esitetty taulukossa 9. Sahajärvestä saatua naarasta lukuun ottamatta mäti oli tervettä ja sitä oli runsaasti. Pyynnin aikaiset vedenlaatutiedot ilmenevät taulukosta 1. Sen mukaan Flacksjön pH oli 6,4, Fårsjön 6,3, Sahajärven 5,7 ja Iso-Simin 5,5. Iso-Simissä on vain

Taulukko 9. Kesäkuun 1986 koeravustuksissa saadut mätimunia kantavat naarat ja havainnot niiden mädistä. Sk.pit. = selkäkilven pituus (n. 1/2 ravun kokonaispituudesta).

Järvi	pvm	Pyyntitapa	Sk.pit. mm	Mädin määrä <sup>1)</sup>	Mätimunien lukumäärä kpl	Mädin kunto
Flacksjö	3.6.	sukellus	41,0	1/1	n. 100	hyvä
"	"	"	36,2	3/4	44	"
"	4.6.	merrat	38,6	1/1	n. 100	"
Fårsjö	3.6.	"	48,0	1/1	n. 160	"
Iso-Simi	5.6.	sukellus	56,0 <sup>2)</sup>	1/1	n. 50	"
Sahajärvi Sågsjö	4.6.	"	50,0	1/10	12	huono <sup>3)</sup>

1) arvioitu osuutena täydestä mätimäärästä

2) täplärapu

3) 5 elävää, 7 kuollutta mätimunaa, runsaasti tyhjiä kuoria

täplärapua. Sahajärvi oli näistä järvistä happamin, jossa on kotimaisen ravun kanta.

Sukelluspyynnissä saatiin saaliiksi myös nuoria rapuja, mistä johtuen sukeltamalla pyydettyjen rapujen keskikoko oli pienempi kuin mertasaaliissa (taulukko 10). Sekä Fårsjön että Flacksjön sukellussaaliissa oli yksi edellisen kesän poikanen ja Sahajärven saaliissa yksi kaksivuotias ravunpoikanen. Iso-Simin 9 täplärapun saaliista 7 oli edellisen kesän poikasia.

Myöhemmin kesällä rapuja pyydettiin vain merroilla. Nokian Alisenjärven rapukannan tiheyttä arvioitiin merkintä-takaisinpyyntimenetelmällä. Merkintäpyynnin saaliissa 21.-23.7. oli kahdeksan naarasta (40 % kaikista saaliin naarasta), joilla oli mädin jäänteitä pyrstön alla. Neljällä naaraalla oli jäänteiden joukossa myös kuolleita mätimunia.

Alisenjärven veden pH oli eri ravustuskerroilla 5,3 ja 5,9 (taulukko 1). Merkintä-takaisinpyynti tehtiin vain noin 500 ~~750~~ metrin pituisella rantaosuudella. Mertaan menevien rapujen (pituus > 7 cm) kokonaismäärä oli tällä alueella 95 % todennäköisyydellä  $110 \pm 59$  eli 0,1 - ~~0,4~~ <sup>0,3</sup> rapua rantametrille. Samalla rantaosuudella saalis mertayötä kohti oli eri ravustuskerroilla ~~0,28~~ <sup>0,31</sup> ja ~~0,29~~ <sup>0,3</sup> rapua. Järven koko ravustetulla alueella saaliit mertayötä kohti olivat 0,22 ja 0,25 rapua (taulukko 11). Muista koeravustetuista järvistä saalista saatiin 0,05 - 1,28 rapua ja puroista 1,72 - 1,80 rapua mertayötä kohti. Taulukosta 11 ilmenee myös saalisrapujen keskikoko, saaliin sukupuolijakauma, naaraiden lisääntymisvalmius, pehmeäkuoristen sekä saksijä kuorivaurioisten yksilöiden osuus saaliista. Rapujen keskikoko oli suurin järvissä, joista kesälläkin määritettiin alle 6:n pH-arvoja ja pienin puroissa sekä järvissä, joiden pH kesällä oli lähellä neutraalia (taulukot 1 ja 11, kuva 10).

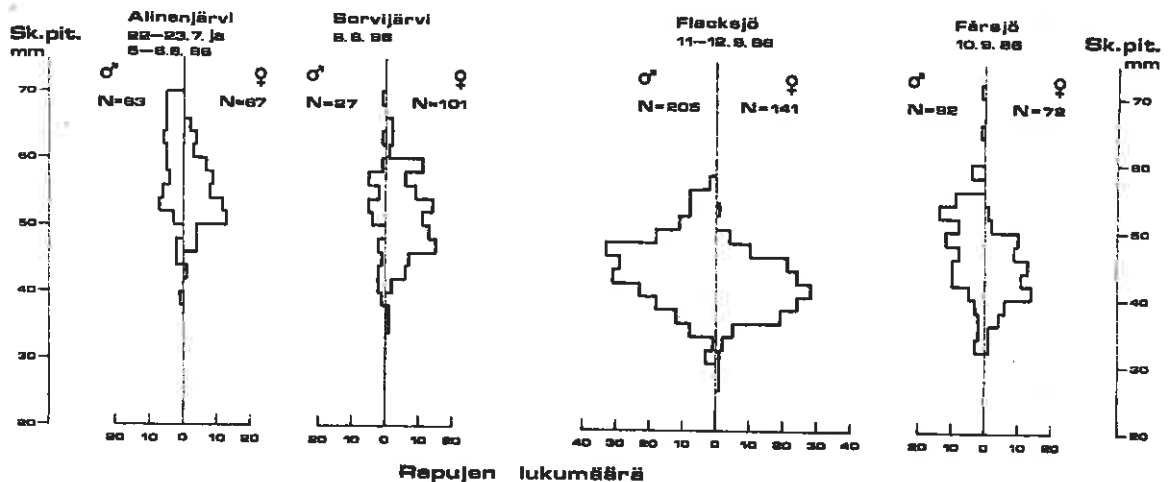
Taulukko 10. Kesäkuun 1986 koeravustussaaliit ja niistä tehty havainnot neljässä koejärvessä. Sk.pit. = selkäkilven pituus (n. 1/2 ravun kokonaispituudesta) ja juv. = kesänvanha poikanen, jonka sukupuolta ei voitu määrittää.

Järvi/ kunta	pvm.	Pyynti tapa	alue rantam.	yht kpl	kpl/ merta/ yö	Saalis				muniakan- tavia naa- raita kpl	saksi- ja kuorivauri- oisia %	huom.
						♂ %	♀ %	sk.pit. ♂	mm $\bar{X}$ +SE ♀			
Flacksjö	3.6.	sukellus	120	21		47,8	47,8	34,2+1,5	32,2+1,2	2	4,8	1 juv.
Pohja												
	3.-4.6.	merrat (50 kpl)	250	39	0,78	74,4	25,6	42,1+1,3	36,7+1,5	1	20,5	
Fårsjö	2.6.	sukellus	100	22		54,5	40,9	30,8+2,5	27,8+3,1	-	9,1	1 juv.
Pohja												
	2.-3.6.	merrat (50 kpl)	250	17	0,34	94,1	5,9	49,9+1,5	48,0	1	17,6	
Iso Simi	5.6.	sukellus	150	9		33,6	66,6	29,0+11,8	23,2+6,0	1	22,2	täpläraouja
Pohja												
	5.-6.6.	merrat (50 kpl)	250	0								
Sågsjö	4.6.	sukellus	100	5		60,0	40,0	41,0+8,6	45,0+3,5	1	40,0	
Pohja												
	4.-5.6.	merrat (50 kpl)	250	1	0,02	(100)	62,0				(100)	

Taulukko 11. Koeravustusaaaliit ja niistä tehdyt havainnot 11 koejärvessä ja kahdessa purossa 1986. Sk.pit. = selkälilven pituus (n. 1/2 ravun kokonaisnaispituudesta).

Järvi	Kunta	pvm	Pyynti			Saalis					pehmeäkuorisia %	seksi- ja kuorivaurioisia %	
			mertoja kpl	rantaa m	yht. kpl	kpl/merta/yö	♂ %	♀ %	sk.pit. mm	$\bar{x} \pm SE$			lisääntymisvalmius %
Flacksjö	Pohja	10.-12.9.	324	1620	346	1,07	59,2	40,8	44,9±0,4	41,6±,3	76,6	0,3	19,7
Fårsjö	Pohja	9.-10-9.	174	870	164	0,94	56,1	43,9	46,7±0,7	44,2±0,5	87,5	1,8	22,0
Iso-Simi	Pohja	11.-12.8.	177	885	40	0,23	55,0	45,0	37,7±2,0	41,3±2,9	27,8	0	20,0
Sahajärvi (Sägsjö)	Pohja	29.-30.8.	55	275	8	0,15	37,5	62,5	35,5±1,9	39,2±1,5	0	0	12,5
Färträsk	Siuntio	8.-9.9.	174	870	9	0,05	33,3	66,7	65,3±3,0	51,0±1,3	100	0	11,1
Meikoträsk	Kirkkonummi	17.-18.9.	150	750	37	0,25	67,6	32,4	50,0±1,1	47,1±1,2	91,7	0	16,2
Alinenjärvi	Nokia	18.-19.9.	150	750	20	0,13	45,0	55,0	44,9±1,5	45,3±0,8	100	0	30
Alisen puro	Nokia	21.-23.7.	300	1500	65	0,22	69,2	30,8	60,7±0,9	55,0±0,7		10,8	9,2
Iso Suksijärvi	Mouhijärvi	4.-6.8.	300	1500	74	0,25	33,8	66,2	60,9±1,5	55,6±0,6	38,8	35,1	17,6
Sorvijärvi	Vammala	4.-5.8.	11	50	20	1,8	35,0	65,0	48,9±1,8	47,5±0,7	84,6	15,0	10,0
Iso Riijärvi (Riijärvi)	Luumäki	23.-25.7.	300	1500	28	0,09	82,1	17,9	54,1±1,1	48,2±1,1		3,6	10,7
Isunoja	Ylämaa	7.-8.8.	100	500	128	1,28	21,1	78,9	52,8±0,6	51,8±0,6	39,6	22,6	16,4
Ottojärvi	Ylämaa	28.-29.7.	150	750	9	0,06	77,8	22,2	68,0±2,2	59,0±0,7		11,1	88,9
		30.-31.7.	25	100	44	1,72	43,2	56,8	46,5±0,7	42,8±0,9	68,0	4,5	31,8
		29.-30.7.	150	750	39	0,26	38,5	61,5	46,2±2,9	43,4±1,6	70,0	0	15,4

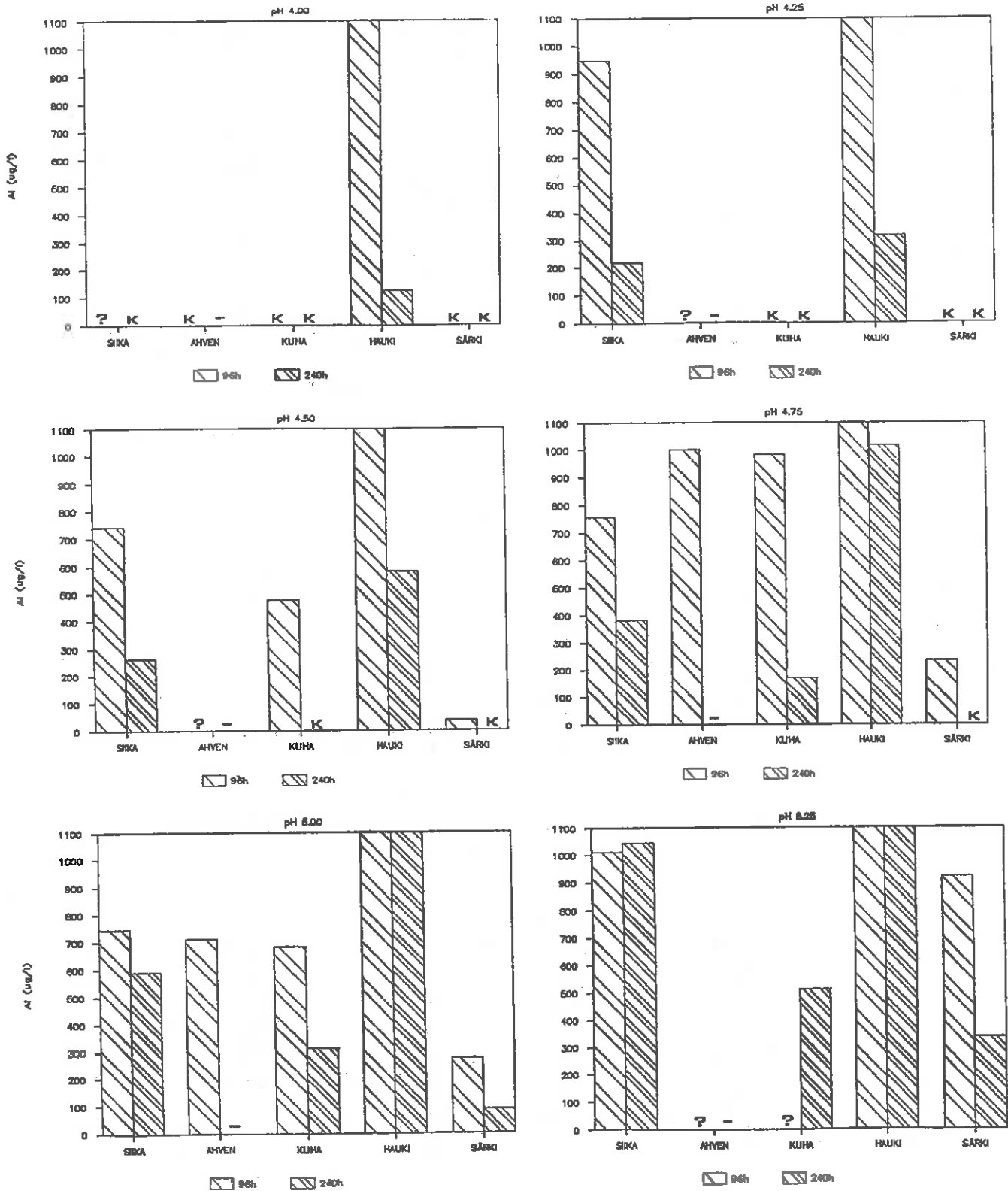




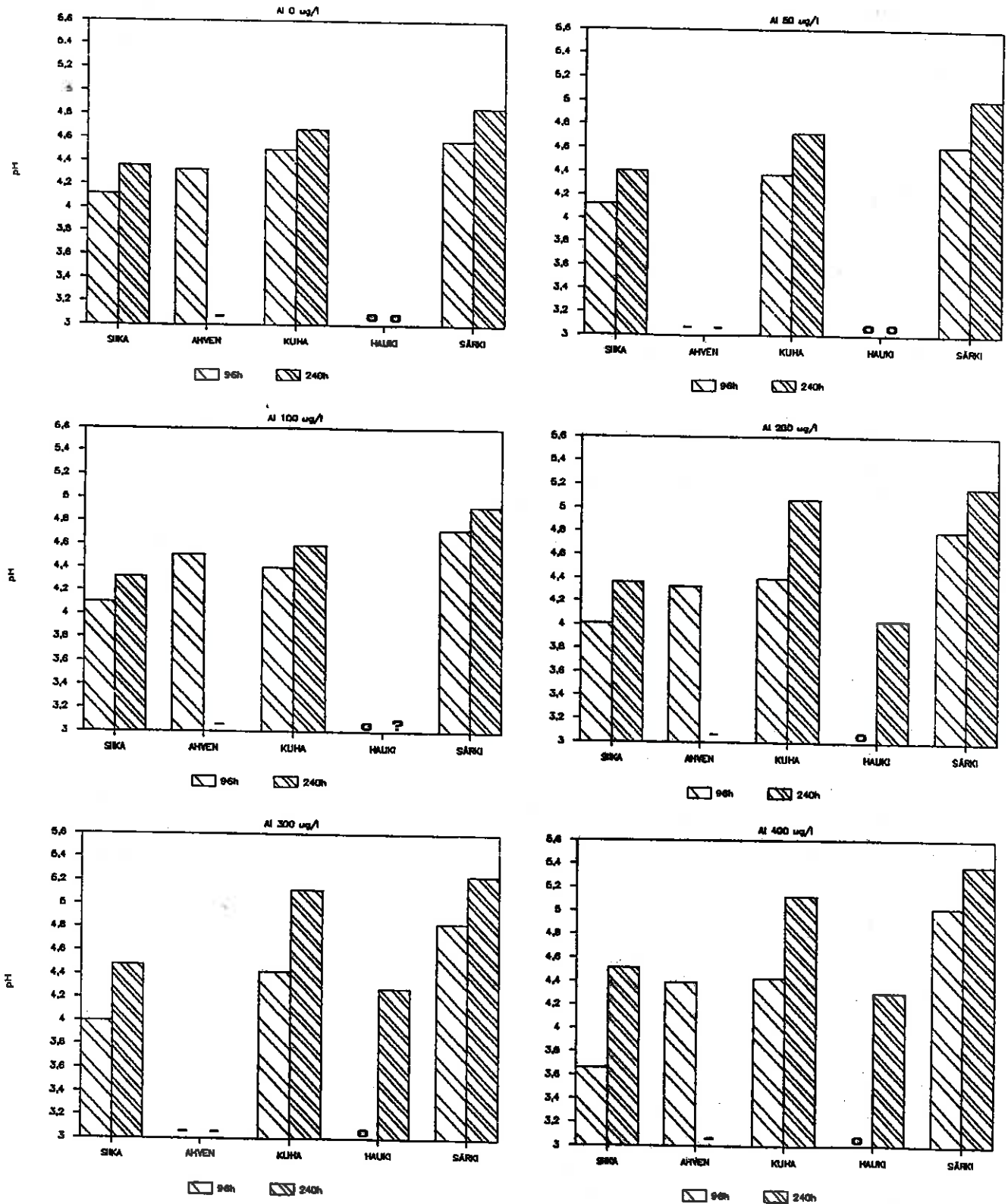
Kuva 10. Rapusaaliin kokojakauma kahdessa koejärvessä, joiden pH oli koeravustusten aikana alle 6 (Alinenjärvi ja Sorvijärvi) ja kahdessa koejärvessä, joiden pH ravustettaessa oli yli 6 (Flacksjö ja Fårsjö). Sk.pit. = selkäkilven pituus (n. 1/2 ravun kokonaispituudesta) ja N = rapujen kokonaislukumäärä.

### 3.6. Happamuus- ja alumiinitestit poikasilla

Ahvenen, kuhan, särjen, hauen ja planktonsiian ruskuaispussipoikasten alumiinin 96 ja 240 tunnin LC50-arvot eri pH-arvoissa on esitetty kuvassa 11 sekä vastaavat pH:n LL50-arvot eri alumiinipitoisuuksissa kuvassa 12. Poikasten kuolleisuus Espoon järvien vedessä on esitetty taulukossa 12. Alumiinin LC50-arvot olivat suurimmat hauen poikasille, toiseksi suurimmat siian poikasille ja pienimmät särjen poikasille eli särki oli herkin, hauki kestävin ja siika toiseksi kestävin. Särki oli herkin myös happamuudelle ja hauki oli kestävin (kuva 12, 0 ug Al/l): missään testatuista happamuuden ja alumiinin testikombinaatioista yhtään hauen poikasta ei kuollut ensimmäisen neljän vuorokauden aikana. Pelkälle happamuudelle herkkyysjärjestys oli: särki > kuha > ahven > siika > hauki. Kaikki särjen ja kuhan ruskuaispussipoikaset kuolivat pH:ssa 4,0, 4,25 ja 4,5 testin loppuun mennessä, vaikkei alumiinia lisättykään, mutta varsinkin pH:ssa 4,5 alumiini selvästi nopeutti poikasten

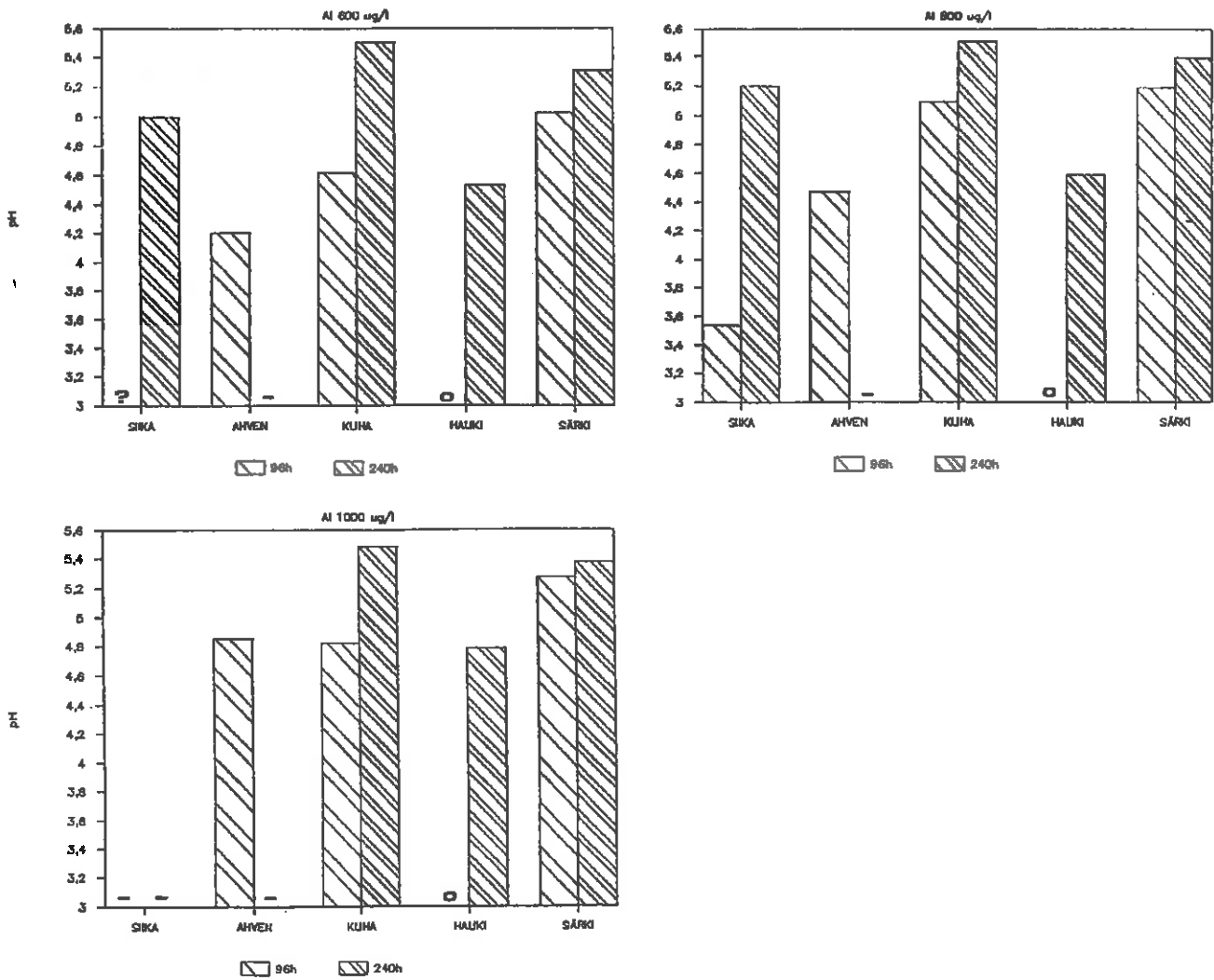


Kuva 11. Poikasten alumiinin 96 ja 240 tunnin LC50-arvot pH:ssa 4,00 - 5,25. Selitykset: - = testiä ei tehty, ? = tulosta ei ollut mahdollista laskea, K = kaikki kuolleet; pylvään ulottuminen asteikon yläreunaan tarkoittaa kaikkien poikasten pysymistä hengissä.



jatkuu...

Kuva 12. Poikasten 96 ja 240 tunnin pH:n LL50-arvot alumiinipitoisuuksissa 0 - 1000 ug/l. Selitykset: - = testiä ei tehty, ? = tulosta ei ollut mahdollista laskea, 0 = ei yhtään kuolleita.



Kuva 12. jatkoa

Taulukko 12. Vastakuoriutuneiden poikasten ja 9-viikkoisten särjen poikasten (särki II) keskimääräiset elinajat tunteina kolmen Espoon järven vedessä.

	Kuha	Särki	Hauki	Siika	Särki II
Hauklampi	60	< 24	151	87	< 24
Iso Majaslampi	108	70	> 240	> 288	53
Pieni Lehmälampi	-	160	-	> 240	> 216

kuolemista. Samaten kuolivat ahvenen poikaset pH:ssa 4,0 ja 4,25 ja siian poikaset pH:ssa 4,0, mutta hauen poikasia oli elossa jopa pH:ssa 4,0 pienimmissä alumiinipitoisuuksissa. Poikkeuksellisesti siian poikaset elivät pH:ssa 4,0 sitä kauemmin mitä suurempi oli alumiinipitoisuus. Särjen ja kuhan poikasten kuolleisuus pH:ssa 4,75, 5,0 ja 5,25, ahvenen ja siian poikasten kuolleisuus pH:ssa 4,5, 4,75 ja 5,0 sekä hauen poikasten kuolleisuus pH:ssa 4,0 - 4,75 oli erittäin riippuvainen alumiinipitoisuudesta; mitä suurempi alumiinipitoisuus sitä suurempi oli kuolleisuus. Alumiini oli sitä myrkyllisempää mitä pienempi pH oli.

Poikaset saattoivat jo paljon ennen kuolemista olla passiivisia; ne makasivat pohjalla kyljellään tai mahallaan eivätkä jaksaneet kauan uida häirinnän jälkeen. Yleensä poikaset olivat sitä passiivisempia mitä suurempi alumiinipitoisuus oli. pH:ssa 5,5 ja sitä suuremmissa pH-arvoissa alumiinin aiheuttama passiivisuusvaikutus näkyi enää särjissä. Alumiinin hauen poikasia passivoiva vaikutus oli selvimmin todettavissa pH-arvoissa 4,75, 5,0 ja 5,25 suurimmassa alumiinipitoisuuksissa, joissa kuolleisuus oli kuitenkin hyvin vähäistä. Hauen poikasten kiduksissa oli kellertävää sakkaa pH-arvoissa 4,25 - 5,00 alumiinipitoisuuksissa  $\geq 300$  ug/l. Runsaasti sakkaa oli myös Ison Majaslammen ja kaikkein eniten Hauklammen vedelle altistettujen hauen poikasten kiduksissa.

Happamuus-alumiini-testissä henkiin jääneiden hauen poikasten keskipituus oli pH-arvoissa 4,25 - 5,25 sitä pienempi mitä suurempi alumiinipitoisuus oli (taulukko 13); vaikutus oli selvin pH:ssa 4,75. Samoin poikasten keskipituus oli sitä pienempi mitä pienempi pH oli alumiinipitoisuuksissa 200 - 800 ug Al/l (taulukko 14). Happamuus ja alumiini vaikuttivat myös särjen ja siian poikasten kasvuun. Alumiini aiheutti särjen poikasten pituuskasvun heikkenemisen vielä pH:ssa 5,75 ja happamuus vaikutti samoin kaikissa alumiinipitoisuuksissa.

Taulukossa 15 on esitetty 9-viikkoisten särjen poikasten 96 ja 216 tunnin alumiinin LC50-arvot eri happamuuksissa ja happamuuden LL50-arvot eri alumiinipitoisuuksissa. pH:ssa 4,25 kaikki poikaset kuolivat jo muutaman päivän kuluessa. pH:ssa 4,5 - 5,0 alumiini oli sitä myrkyllisempää mitä

Taulukko 13. Hauen poikasten pituuden (L) riippuvuus alumiinipitoisuudesta (Al) eri pH-arvoissa.

pH	Suoran yhtälö	r <sup>2</sup>	p
4,0	$L = 13,802 - 0,0015 \text{ Al}$	0,310	NS
4,25	$L = 14,136 - 0,0025 \text{ Al}$	0,883	**
4,50	$L = 14,039 - 0,0011 \text{ Al}$	0,808	**
4,75	$L = 14,214 - 0,0012 \text{ Al}$	0,927	***
5,00	$L = 14,069 - 0,0006 \text{ Al}$	0,710	**
5,25	$L = 14,130 - 0,0003 \text{ Al}$	0,477	*
5,50	$L = 14,130 - 0,0002 \text{ Al}$	0,359	o
5,75	$L = 14,150 - 0,0002 \text{ Al}$	0,320	NS

Taulukko 14. Hauen poikasten pituuden (L) riippuvuus testiliuoksen veden happamuudesta (pH) eri alumiinipitoisuuksissa.

Al ug/l	Suoran yhtälö	r <sup>2</sup>	p
0	$L = 13,153 + 0,172 \text{ pH}$	0,328	NS
50	$L = 13,609 + 0,095 \text{ pH}$	0,176	NS
100	$L = 12,687 + 0,259 \text{ pH}$	0,483	o
200	$L = 12,526 + 0,292 \text{ pH}$	0,728	**
300	$L = 11,821 + 0,429 \text{ pH}$	0,860	**
400	$L = 10,909 + 0,569 \text{ pH}$	0,646	*
600	$L = 10,020 + 0,729 \text{ pH}$	0,870	**
800	$L = 10,592 + 0,584 \text{ pH}$	0,880	*
1000	$L = 8,368 + 1,000 \text{ pH}$	0,771	o

Taulukko 15. A. Alumiinin 96 ja 216 tunnin LC50-arvot eri pH-arvoissa ja B. pH:n vastaavat LL50-arvot eri alumiinipitoisuuksissa 9-viikkoisille särjen poikasille.

A			B		
pH	96 h LC50 ug Al/l	216 h LC50 ug Al/l	ug Al/l	96 h LL50 pH	216 h LL50 pH
4,25	-	-	0	4,37	4,37
4,50	65	60	50	4,43	4,46
4,75	251	164	100	4,67	4,88
5,00	293	267	200	4,91	4,91
5,25	>1000	>1000	400	4,90	5,06
5,50	>1000	>1000	600	5,35	5,45
5,75	>1000	>1000	800	5,21	5,27
6,00	>1000	>1000	1000	5,21	5,24

pienempi pH oli; eli happamuus lisäsi alumiinin myrkyllisyyttä. pH:ssa 5,25 ja sitä suuremmissa pH-arvoissa alumiini ei ollut enää tappavan myrkyllistä. Alumiini lisäsi särjen poikasten herkkyyttä happamuudelle, sillä pH:n LL50-arvo suureni alumiinipitoisuuden suuretessa 600 ug/l asti.

"Synteettiseen veteen" tehdyissä testiliuoksissa särjen ruskuaispussipoikaset kuolivat kaikissa testatuissa pH-arvoissa (4,5 - 5,0) neljän ja 9-viikkoiset pH:ssa 5,25 viiden vuorokauden kuluessa. Siian ruskuaispussipoikasten 96 tunnin LC50-arvo oli 620 ug Al/l pH:ssa 4,5 ja 240 tunnin LC50-arvo 366 ug Al/l.

### 3.7. Happamuuden ja alumiinin pitkäaikaisvaikutus emosiikoihin

Vuoden 1985 emosiika-altistuksen eri ryhmien poikasten kuoriutumistuloksissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja, vaikkakin ryhmän "pH 6" kuoriutumistulos oli paras (taulukko 16). Kuoriutuneiden poikasten painoissa ja

Taulukko 16. Vuoden 1985 emosiika-altistuksen poikasten kuoriutumisprosentit, päiväasteet kuoriutuessa sekä pituudet ja painot (keskiarvo  $\pm$  SE).

	pH 6	pH 5	pH 6 + Al	pH 5 + Al	p
Kuor.-%	95,9 $\pm$ 1,9	81,0 $\pm$ 6,0	83,2 $\pm$ 4,5	78,8 $\pm$ 6,9	NS
Päiväasteet	218,4 $\pm$ 3,1	209,5 $\pm$ 3,0	195,1 $\pm$ 4,2	202,1 $\pm$ 4,6	*
Pituus, mm	11,5 $\pm$ 0,8	11,5 $\pm$ 0,3	12,5 $\pm$ 0,4	11,5 $\pm$ 0,3	NS
Paino, mg	7,0 $\pm$ 2,1	6,8 $\pm$ 0,5	8,9 $\pm$ 0,7	7,0 $\pm$ 0,5	NS
n	3	6	4	7	

pituuksissa ei myöskään ollut merkitseviä eroja (taulukko 16). Ryhmän "pH 6 + Al" poikasten kuoriutumiseen vaadittu päiväasteiden määrä oli pienin ( $p < 0,05$ , taulukko 16).

Vuoden 1986 emosiika-altistuksessa kuolleisuus oli hyvin vähäinen: ryhmästä "pH 5,75 + Al" kuoli yksi kala kokeen alkupuolella sekä ryhmästä "pH 4,75" kaksi naarasta ja ryhmästä "pH 4,75 + Al" yksi naaras lypsykertojen välillä. Emosiikojen painoissa ja pituuksissa ei ollut eroja altistuksen päättyessä, mutta naaraiden kuntokerroin oli vertailuryhmässä merkitsevästi suurempi kuin altistusryhmissä (taulukko 17). Suomuista laskettu altistuksen aikainen lisäkasvu oli ryhmissä "pH 4,75", "pH 5,75" ja "pH 4,75 + Al" pienempi kuin vertailuryhmässä, kun naaraiden ja koiraiden tiedot yhdistettiin (taulukko 18). Alumiini ei yksin vaikuttanut kasvuun, mutta pH vaikutti ( $F_{1,60} = 5,025^*$ , kaksisuunt. ANOVA) ja vaikutus oli voimakkain molemmilla tekijöillä yhdessä ( $F_{1,60} = 36,451^{**}$ , kaksisuunt. ANOVA).

Mädin kypsyminen viivästyi ryhmissä "pH 5,75" ja "pH 5,75 + Al" ja ensimmäisenä kaikki kalat olivat kypsiä vertailuryhmässä (kuva 13). Naaraiden mätimäärissä (mädin osuus ruumiinpainosta) ei ollut merkitseviä eroja altistusryhmien välillä (taulukko 17). Myöskään mätimunien koossa tai vesipitoisuudessa ei ollut merkitseviä eroja eri ryhmien

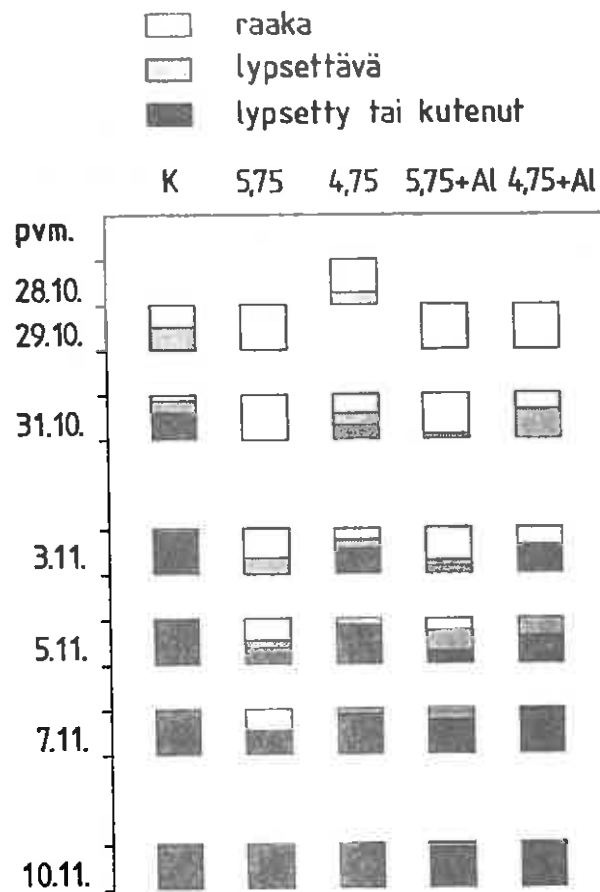


Taulukko 17. Emosiikojen pituus, paino, kuntokerroin ja maksan suhteellinen paino (LSI, %) sekä naaraiden mädin osuus ruumiin painosta ja sisälle jääneen mädin osuus altistuksen lopussa (keskiarvo  $\pm$  SE).

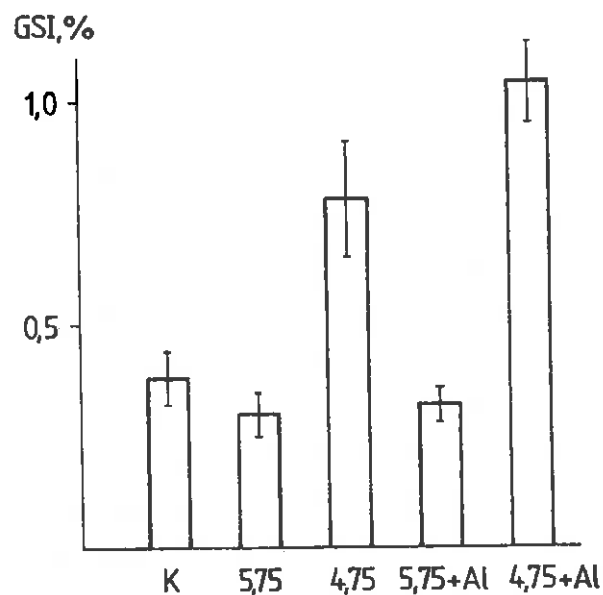
	Kontrolli	pH 5,75	pH 4,75	pH 5,75 + Al	pH 4,75 + Al	p
<b>NAARAAT</b>						
Pituus, cm	28,7 $\pm$ 0,5 13	29,7 $\pm$ 1,0 7	27,8 $\pm$ 0,7 12	29,0 $\pm$ 0,5 11	27,4 $\pm$ 0,7 4	NS
Paino, g	218 $\pm$ 15 13	225 $\pm$ 24 7	181 $\pm$ 16 12	206 $\pm$ 11 11	164 $\pm$ 15 4	NS
Kuntokerr.	0,90 $\pm$ 0,03 13	0,84 $\pm$ 0,02 7	0,81 $\pm$ 0,02 12	0,83 $\pm$ 0,01 11	0,79 $\pm$ 0,02 4	*
LSI	1,51 $\pm$ 0,08 13	1,37 $\pm$ 0,07 7	1,40 $\pm$ 0,07 12	1,31 $\pm$ 0,06 11	1,29 $\pm$ 0,11 4	NS
Mädin osuus (%)	11,0 $\pm$ 2,2 6	9,3 $\pm$ 4,2 3	7,9 $\pm$ 3,0 6	10,5 $\pm$ 1,5 8	8,3 $\pm$ 4,7 3	NS
Naaraaseen jääneen mädin osuus (%)	0,27 $\pm$ 0,17 13	0,12 $\pm$ 0,06 7	0,53 $\pm$ 0,40 12	0,98 $\pm$ 0,44 11	0,08 $\pm$ 0,05 4	NS
<b>KOIRAAT</b>						
Pituus, cm	27,2 $\pm$ 0,4 15	27,4 $\pm$ 0,4 15	27,8 $\pm$ 0,3 13	27,9 $\pm$ 0,7 6	28,0 $\pm$ 0,5 17	NS
Paino, g	183 $\pm$ 8 15	180 $\pm$ 9 15	181 $\pm$ 8 13	200 $\pm$ 14 6	196 $\pm$ 14 17	NS
Kuntokerr.	0,90 $\pm$ 0,02 15	0,87 $\pm$ 0,01 15	0,84 $\pm$ 0,02 13	0,92 $\pm$ 0,03 6	0,87 $\pm$ 0,02 17	o
LSI	1,25 $\pm$ 0,07 15	1,16 $\pm$ 0,07 15	1,14 $\pm$ 0,06 13	1,26 $\pm$ 0,07 6	1,26 $\pm$ 0,05 17	NS

Taulukko 18. Emosiikojen lisäkasvu altistuksen aikana suomuista takautuvasti lasketun kasvun perusteella (keskiarvo  $\pm$  SE).

	Kontrolli	pH 5,75	pH 4,75	pH 5,75 + Al	pH 4,75 + Al
Kasvu, cm	7,1 $\pm$ 0,4	6,4 $\pm$ 0,4	6,8 $\pm$ 0,4	7,9 $\pm$ 0,5	5,3 $\pm$ 0,3
n	27	23	24	16	21



Kuva 13. Siikanaaraiden mädin kypsyminen happamuus- ja alumiinialtistuksessa (K = vertailuryhmä).



Kuva 14. Siikakoiraiden testisten suhteellinen paino (GSI) happamuus- ja alumiinialtistuksessa kolme viikkoa lypsytyn jälkeen (keskiarvo  $\pm$  SE, K = vertailuryhmä).

Taulukko 19. Emosiikojen mätimunien tuore- ja kuivapaino sekä vesipitoisuus (keskiarvo  $\pm$  SE).

	Kontrolli	pH 5,75	pH 4,75	pH 5,75 + Al	pH 4,75 + Al
Märkápaino, mg	6,47 $\pm$ 0,48	5,67 $\pm$ 0,73	6,10 $\pm$ 0,39	6,87 $\pm$ 0,33	5,32 $\pm$ 0,19
Kuivapaino, mg	1,98 $\pm$ 0,14	1,56 $\pm$ 0,13	1,68 $\pm$ 0,05	2,17 $\pm$ 0,10	1,61 $\pm$ 0,06
Vesipitoisuus, %	69,32 $\pm$ 0,38	72,05 $\pm$ 1,41	72,13 $\pm$ 1,17	68,04 $\pm$ 1,89	69,72 $\pm$ 0,24
n	8	3	6	9	5

välillä (taulukko 19). Koiraiden testikset (GSI) olivat kolme viikkoa kudun jälkeen suurimmat, eli vähiten regressoituneet, ryhmissä "pH 4,75" ja "pH 4,75 + Al" ( $p < 0,001$ , kuva 14).

Koiraiden hematokriittiarvo ja hemoglobiinipitoisuus olivat suurimmat molemmissa pH:n 4,75 ryhmissä ja MCHC vastaavasti pienin (taulukko 20). Naaraiden vastaavissa arvoissa ei ollut merkitseviä eroja ryhmien välillä. Sekä koiraiden että naaraiden veren glukoosipitoisuus oli molemmissa pH:n 4,75 ryhmissä huomattavasti suurempi kuin muissa ryhmissä (taulukko 20). Sekä koiraiden että naaraiden plasman  $\text{Na}^+$ - ja  $\text{Cl}^-$ -pitoisuuksissa oli erittäin merkitsevät erot ryhmien välillä (taulukko 21). Pitoisuudet olivat pienimmät pH:n 4,75 ryhmissä; koirailta arvot olivat kummassakin ryhmässä suunnilleen samat, mutta naarailta ryhmän "pH 4,75 + Al" arvot olivat pienimmät. Myös plasman  $\text{K}^+$ -pitoisuudessa oli merkitsevät erot ryhmien välillä kummallakin sukupuolella. Naaraiden plasman kalsiumpitoisuus oli pienin ryhmissä "pH 4,75", "pH 5,75 + Al" ja "pH 4,75 + Al", mutta erot eivät olleet merkitsevät. Koiraiden plasman proteiinipitoisuus oli suurin ryhmissä "pH 4,75" ja "pH 4,75 + Al" (taulukko 21).

Taulukko 20. Emosiikojen veren hematokriittiarvo (Hkr) sekä hemoglobiini- (Hb), keskimääräinen punasolun hemoglobiini- (MCHC), glukoosi- ja laktaattipitoisuus (keskiarvo  $\pm$  SE) altistuksen päättyessä. Keskiarvon alla oleva luku ilmoittaa näytekalojen lukumäärän.

	Kontrolli	pH 5,75	pH 4,75	pH 5,75 + A1	pH 4,75 + A1	p
<b>NAARAAT</b>						
Hkr	0,32 $\pm$ 0,006 13	0,33 $\pm$ 0,012 7	0,32 $\pm$ 0,011 12	0,34 $\pm$ 0,008 11	0,35 $\pm$ 0,014 4	NS
Hb (g/l)	84,1 $\pm$ 1,7 13	85,8 $\pm$ 2,7 7	82,2 $\pm$ 2,8 12	88,1 $\pm$ 1,9 11	88,2 $\pm$ 2,6 4	NS
MCHC (g/l)	260 $\pm$ 2 13	264 $\pm$ 5 7	255 $\pm$ 4 12	261 $\pm$ 4 11	256 $\pm$ 6 4	NS
Gluk. (g/l)	0,68 $\pm$ 0,03 12	0,60 $\pm$ 0,03 7	1,79 $\pm$ 0,20 12	0,79 $\pm$ 0,07 11	2,62 $\pm$ 0,28 4	***
Lakt. (g/l)	0,159 $\pm$ 0,003 12	0,151 $\pm$ 0,004 7	0,157 $\pm$ 0,003 12	0,159 $\pm$ 0,005 11	0,159 $\pm$ 0,005 4	NS
<b>KOIRAAT</b>						
Hkr	0,35 $\pm$ 0,006 15	0,34 $\pm$ 0,009 15	0,41 $\pm$ 0,009 13	0,37 $\pm$ 0,022 6	0,40 $\pm$ 0,008 17	***
Hb (g/l)	93,4 $\pm$ 1,8 15	87,0 $\pm$ 2,2 15	102,2 $\pm$ 2,5 13	95,7 $\pm$ 6,5 6	98,4 $\pm$ 1,7 17	***
MCHC (g/l)	264 $\pm$ 5 15	258 $\pm$ 3 15	247 $\pm$ 6 13	259 $\pm$ 5 6	247 $\pm$ 3 17	*
Gluk. (g/l)	0,60 $\pm$ 0,02 15	0,60 $\pm$ 0,03 15	1,55 $\pm$ 0,21 13	0,57 $\pm$ 0,04 6	1,70 $\pm$ 0,19 17	***
Lakt. (g/l)	0,177 $\pm$ 0,010 15	0,173 $\pm$ 0,009 15	0,166 $\pm$ 0,006 13	0,151 $\pm$ 0,006 6	0,172 $\pm$ 0,007 17	NS

Taulukko 21. Emosiikojen plasman ionipitoisuudet sekä proteiinipitoisuus (keskiarvo  $\pm$  SE) altistuksen päättyessä. Keskiarvon alla oleva luku ilmoittaa näytekalojen lukumäärän.

	Kontrolli	pH 5,75	pH 4,75	pH 5,75 + Al	pH 4,75 + Al	p
<b>NAARAAT</b>						
Ca <sup>++</sup> mmol/l	3,93 $\pm$ 0,27 13	3,94 $\pm$ 0,28 7	3,44 $\pm$ 0,40 12	3,11 $\pm$ 0,20 11	3,17 $\pm$ 0,57 4	NS
Mg <sup>++</sup> mmol/l	0,88 $\pm$ 0,02 13	1,10 $\pm$ 0,13 7	0,96 $\pm$ 0,05 12	0,90 $\pm$ 0,04 11	0,91 $\pm$ 0,06 4	NS
Na <sup>+</sup> mmol/l	148 $\pm$ 1 13	149 $\pm$ 2 7	127 $\pm$ 3 10	148 $\pm$ 2 10	110 $\pm$ 4 2	***
K <sup>+</sup> mmol/l	2,0 $\pm$ 0,04 13	2,0 $\pm$ 0,07 7	2,1 $\pm$ 0,05 10	2,3 $\pm$ 0,07 10	2,1 $\pm$ 0,15 2	***
Cl <sup>-</sup> mmol/l	129 $\pm$ 3 13	126 $\pm$ 5 7	113 $\pm$ 3 12	128 $\pm$ 3 11	98 $\pm$ 4 4	***
Prot. (g/l)	62,0 $\pm$ 2,2 13	59,5 $\pm$ 1,7 7	64,4 $\pm$ 2,6 12	56,9 $\pm$ 1,7 11	59,1 $\pm$ 1,1 4	NS
<b>KOIRAAT</b>						
Ca <sup>++</sup> mmol/l	2,31 $\pm$ 0,05 15	2,40 $\pm$ 0,07 15	2,35 $\pm$ 0,03 13	2,46 $\pm$ 0,10 6	2,39 $\pm$ 0,04 16	NS
Mg <sup>++</sup> mmol/l	0,78 $\pm$ 0,02 15	0,80 $\pm$ 0,03 15	0,79 $\pm$ 0,03 13	0,83 $\pm$ 0,02 6	0,79 $\pm$ 0,04 16	NS
Na <sup>+</sup> mmol/l	151 $\pm$ 1 14	152 $\pm$ 1 15	123 $\pm$ 3 7	148 $\pm$ 1 5	122 $\pm$ 4 10	***
K <sup>+</sup> mmol/l	2,0 $\pm$ 0,04 14	2,1 $\pm$ 0,05 15	1,9 $\pm$ 0,08 7	2,1 $\pm$ 0,06 5	2,3 $\pm$ 0,11 10	**
Cl <sup>-</sup> mmol/l	137 $\pm$ 2 15	137 $\pm$ 1 15	109 $\pm$ 5 13	129 $\pm$ 2 6	110 $\pm$ 4 16	***
Prot. (g/l)	49,3 $\pm$ 1,1 15	48,8 $\pm$ 1,3 15	59,6 $\pm$ 1,1 13	48,6 $\pm$ 2,5 6	59,6 $\pm$ 1,0 16	***

### 3.8. Ahventen ja siikojen kutuvalmius

Espeen Hauklammessa ahvenen kutu viivästyti selvästi. Järven rantavyöhyke sukeltettiin 16.6., jolloin mätinauhoja ei löytynyt. Seuraavan kerran mätinauhoja etsittiin sukeltamalla 1.7., jolloin eri puolilta järveä löytyi yhteensä neljä mätinauhaa ahvenelle tyypillisiltä kutupaikoilta. Mäti oli kuitenkin kuollutta. Veden lämpötila oli yli 20 °C, kun mätinauhat löytyivät. Sukelluskierroksilla järvestä löytyi yhteensä neljä kuollutta ahventa. Hauklammen ahvenkannasta on kerrottu tarkemmin kohdassa 3.4.

Muiden järvien koekalastusten tulokset on esitetty taulukoissa 22 ja 23. Niiden saaliit olivat liian pieniä tilastolliseen käsittelyyn ja kudun viivästymisen arviointiin.

Taulukko 22. Sukukypsien (S) ja juveniilien (J) ahvenkoi-raiden ja -naaraiden keskimääräinen (keskiarvo  $\pm$  SE) paino, pituus, gonadin suhteellinen paino (GSI, %) sekä saaliskalojen lukumäärä (n).

Järvi, kunta ja päiväys	Sukupuoli ja -kypsyyys	Paino (g)	Pituus (cm)	GSI	n
Pieni Lehmälampi	S naaraat	85,5 $\pm$ 15,5	20,3 $\pm$ 0,8	17,3 $\pm$ 1,1	2
Vihti	S koiraat	64,0 $\pm$ 17,8	17,9 $\pm$ 1,5	5,1 $\pm$ 0,3	6
6.5.1986	J naaraat	30,5 $\pm$ 0,5	15,0 $\pm$ 0,2	0,325 $\pm$ 0,005	2
Pieni Lehmälampi	S naaraat	36,0 $\pm$ 20	15,6 $\pm$ 0,2	15,0 $\pm$ 0,3	2
Vihti	S koiraat	59,0 $\pm$ 29,0	17,4 $\pm$ 2,7	6,4 $\pm$ 0,8	2
7.5.1986	J naaraat	26	14,0	0,38	1
Pieni Lehmälampi	S naaraat	60,4 $\pm$ 14,5	17,6 $\pm$ 1,1	16,4 $\pm$ 0,7	7
Vihti	S koiraat	53,0 $\pm$ 21,0	17,2 $\pm$ 2,3	6,3 $\pm$ 0,3	2
8.5.1986	J naaraat	33	15,1	0,30	1
Pieni Lehmälampi	S naaraat	63,6 $\pm$ 15,9	17,6 $\pm$ 1,2	15,3 $\pm$ 0,9	8
Vihti	S koiraat	38,9 $\pm$ 4,1	15,8 $\pm$ 0,4	4,8 $\pm$ 0,1	10
9.5.1986	J naaraat	31,0 $\pm$ 8,0	15,1 $\pm$ 1,2	0,35 $\pm$ 0,09	2
	J koiraat	22	13,8	-	1
Saarijärvi	S naaraat	43,0 $\pm$ 1,8	16,4 $\pm$ 0,2	16,4 $\pm$ 0,3	18
Espoo/Vihti	S koiraat	35,3 $\pm$ 2,1	15,4 $\pm$ 0,4	5,1 $\pm$ 1,4	4
17.5.1986	J naaraat	49	16,7	0,20	1
Myllyjärvi	S naaraat	35,0 $\pm$ 1,7	13,6 $\pm$ 0,4	13,6 $\pm$ 1,1	6
Vihti					
17.5.1986					

Taulukko 23. Sukukypsien (S) ja juveniilien (J) siikakoiraiden ja -naaraiden keskimääräinen (keskiarvo  $\pm$  SE) paino, pituus, gonadien (GSI, %) ja maksan (LSI, %) suhteellinen paino sekä saaliskalojen lukumäärä (n).

Järvi, kunta ja päiväys	Sukupuoli ja -kypsyys	Paino (g)	Pituus (cm)	GSI	LSI	n
Sahajärvi	S naaraat	665,6 $\pm$ 48,1	41,1 $\pm$ 0,8	11,22 $\pm$ 0,68	1,4 $\pm$ 0,1	10
Pohja	S koiraat	614,2 $\pm$ 103,6	40,0 $\pm$ 2,1	1,66 $\pm$ 0,20	0,8 $\pm$ 0,0	5
15.10.1986	J naaraat	503,0 $\pm$ 51,4	38,9 $\pm$ 1,2		0,7 $\pm$ 0,0	5
	J koiraat	466,0 $\pm$ 14,4	37,6 $\pm$ 0,4		0,7 $\pm$ 0,0	9
Saarijärvi	S koiraat	344,5 $\pm$ 0,5	34,3 $\pm$ 0,6	1,25 $\pm$ 0,25	0,6 $\pm$ 0,0	2
Espoo/Vihti	J naaraat	349,0 $\pm$ 41,0	34,6 $\pm$ 0,5		0,6 $\pm$ 0,0	2
15.10.1986	J koiraat	203,0 $\pm$ 64,0	28,5 $\pm$ 2,9		0,6 $\pm$ 0,0	3
Vaakkoi	S koiraat	234	28,9	1,07	0,7	1
Vihti	J naaraat	208,1 $\pm$ 18,6	29,3 $\pm$ 0,9		0,7 $\pm$ 0,0	7
16.10.1986	J koiraat	271,2 $\pm$ 20,6	31,4 $\pm$ 0,8		0,7 $\pm$ 0,0	9
Iso Lehmälampi	S naaraat	573	35,8	11,20	1,0	1
Vihti						
16.10.1986						
Valkea Mustajärvi	S naaraat	335,0 $\pm$ 48,0	33,7 $\pm$ 0,8	9,60 $\pm$ 0,10	1,2 $\pm$ 0,0	2
Lammi	S koiraat	285,0 $\pm$ 5,0	33,5 $\pm$ 0,3	1,45 $\pm$ 0,05	0,7	2
14.10.1986	J naaraat	259,3 $\pm$ 16,4	32,9 $\pm$ 1,3		0,5 $\pm$ 0,2	3
	J koiraat	261,0 $\pm$ 1,0	32,6 $\pm$ 0,6		0,6 $\pm$ 0,0	2
Opiston Valkjärvi	S naaraat	636,0 $\pm$ 72,5	42,0 $\pm$ 1,5	10,07 $\pm$ 0,73	1,3 $\pm$ 0,2	3
Lammi	S koiraat	499,0 $\pm$ 103,7	38,4 $\pm$ 2,4	1,13 $\pm$ 0,12	0,5 $\pm$ 0,0	3
14.10.1986	J naaraat	432,0 $\pm$ 28,0	35,4 $\pm$ 3,2		0,5 $\pm$ 0,1	2
	J koiraat	500,5 $\pm$ 71,7	38,2 $\pm$ 1,9		0,5 $\pm$ 0,0	4

### 3.9. Hedelmöitys- ja haudontakokeet

Hauen mäti hedelmöityi pienimmässäkin testatussa pH:ssa (pH 4,0) ja suurimmassakin alumiinipitoisuudessa (800 ug/l). Aineiston pienuuden vuoksi hedelmöitymisen kvantitatiivista onnistumista eri pH-arvoissa ja alumiinipitoisuuksissa ei voi päätellä. Poikasten kuoriutuminen viivästyi ja suureksi osaksi estyi pH:ssa 4,0 ja sen vuoksi tässä pH:ssa kuoriutui selvästi vähiten poikasia. Jonkin verran kuoriutuminen viivästyi myös pH:ssa 4,5; enemmän se viivästyi suuremmissa alumiinipitoisuuksissa. Kuoriutuminen estyi jonkin verran

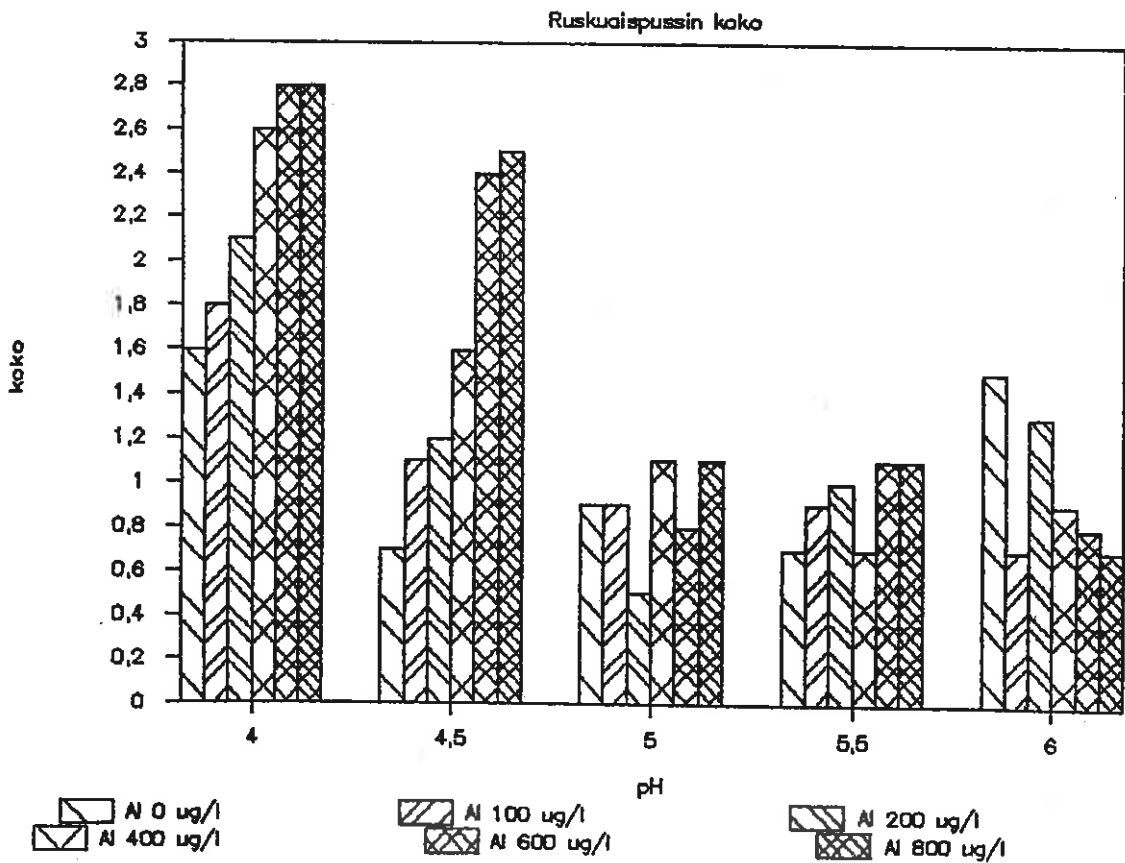
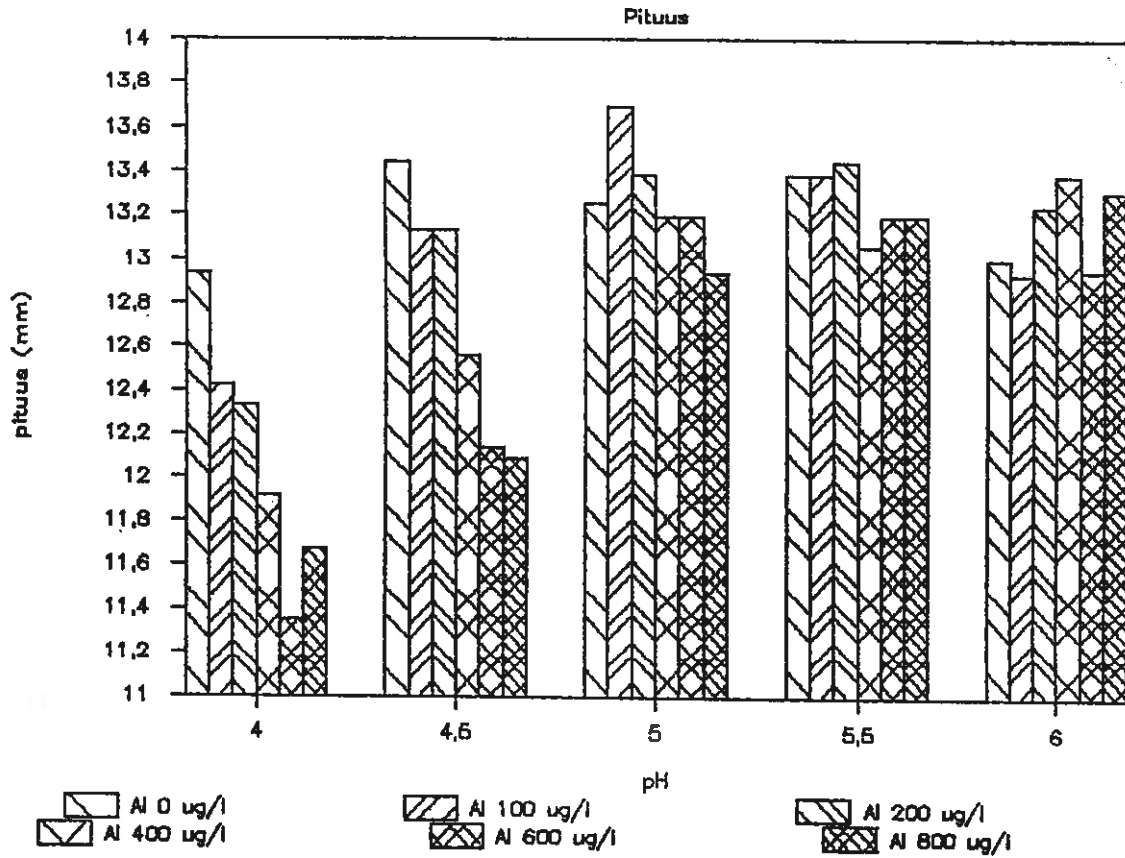
Taulukko 24. Eri testiliuoksissa haudottujen ja kuoriutuneiden hauen poikasten pituuden (L), märkäpainon (W) ja ruskuaisen koon (V) riippuvuus testiliuoksen veden happamuudesta (pH) ja alumiinin kokonaispitoisuudesta (Al).

Suoran yhtälö	r <sup>2</sup>	t <sub>pH</sub>	t <sub>Al</sub>
L = 10,609 + 0,518 pH - 0,00083 Al	0,576	5,104***	-3,253**
W = 883,38 + 85,17 pH - 0,15 Al	0,515	4,374***	-3,084**
V = 4,323 - 0,653 pH + 0,00078 Al	0,569	-5,390***	2,564*

myös silloin, kun hedelmöitys oli tehty pH:ssa 4,0 ja mäti haudottu puhtaassa vedessä. Puhtaassa vedessä hedelmöitystä ja eri testiliuoksissa haudotusta mädistä kuoriutuneiden poikasten pituuskasvu, märkäpainon kehitys ja ruskuaisen absorptio hidastuivat sekä happamuuden että alumiinin vaikutuksesta (taulukko 24). Kuvassa 15 on esitetty hauen poikasten pituus ja ruskuaispussin koko eri pH-arvoissa ja alumiinipitoisuuksissa; alumiini vaikutti selvästi pH-arvoissa 4,0 ja 4,5.

Kun särjen mätiä hedelmöitettiin ja haudotettiin eri testiliuoksissa, pH:ssa 4,0 ja 4,5 ei kuoriutunut poikasia. pH:ssa 5,0 poikasia kuoriutui, mutta suuremmissa alumiinipitoisuuksissa vähemmän. Samat tulokset saatiin, jos mäti hedelmöitettiin puhtaassa vedessä ja haudotettiin seuraavasta päivästä alkaen testiliuoksissa. Jos mäti hedelmöitettiin testiliuoksissa ja siirrettiin seuraavana päivänä puhtaaseen veteen, myös pH:ssa 4,5 kuoriutui poikasia.





Kuva 15. Eri testiliuoksissa kuoriutuneiden hauen poikasten pituus ja ruskuaispussin koko (0 = ei ruskuaisista - 3 = runsaasti ruskuaisista) silloin, kun kontrolliryhmän poikaset alkoivat uida.

## 4. TULOSTEN TARKASTELU

### 4.1. Tiedustelu

Tiedusteluun tulleissa vastauksissa herätti huomiota se, että Järvi-Suomen alueelta ei mainittu yhtään järveä tai jokea, missä happamoituminen olisi vaikuttanut kalastoon. Syynä tähän saattaa olla se, että alueella ei ole lainkaan happamoituneita järviä. Todennäköisempi syy on kuitenkin se, että runsasjärvisellä alueella ihmisten mielenkiinto ja toiminta kohdistuu isoihin järviin ja pienimmät järvet, jotka ovat herkimpiä happamoitumaan, jäävät vähemmälle huomiolle. Vastaavasti niukkajärvisellä rannikkoalueella, maan tiheään asutussa eteläosassa, pienetkin järvet ovat tärkeitä.

### 4.2. Kevään vesinäytteet

Kirkkaiden järvien veden alumiinipitoisuuden suureneminen happamuuden lisääntyessä näkyi jo tässä, suhteellisen pienessä, 30 järven aineistossa, jossa veden pH oli 4,32-6,09. Saman ilmiön Ruotsin järvissä kuvasi DICKSON (1975). Humuspitoisten, luonnostaan happamien järvien veden alumiinipitoisuus voi olla huomattavan suuri pH-arvoon nähden, kuten oli niissä tämän tutkimuksen viidessä järvestä, joiden veden väriluku oli suurempi kuin 40 mg Pt/l. Orgaanisiin yhdisteisiin kelatoitunut alumiini ei kuitenkaan ole kaloille myrkyllistä; epäorgaaninen alumiini on myrkyllisintä (BAKER ja SCHOFIELD 1980). Kun veden pH on alle 5, monomeerisesta alumiinista 40 - 70 % on vapaana ionina ja hydroksidikomplekseina (LEE 1985). Tämän tutkimuksen pintavesinäytteen ja 1 metrin näytteen kokonaisalumiinista (23 - 404 ug/l) 27 - 70 % oli monomeerista. BAKERin ja SCHOFIELDin (1982) mukaan alumiinihydroksidi on kaloille myrkyllisin alumiinin muoto. Joistakin huhtikuussa tutkituista järvistä mitattiin myöhemmin keväällä suurempiakin alumiinipitoisuuksia; esimerkiksi Hauklammesta 977 ug/l.

### 4.3. Koekalastukset

Tiheät ja kitukasvuiset ahvenkannat hyvin happamissa järvissä (pH < 5,0) Tammelassa ja Kurussa eroavat Espoon ja Vihdin happamoituneiden järvien ahvenkannoista, jotka olivat harvoja mutta nopeakasvuisia (RASK ym. 1986, TUUNAINEN ym. 1986, RAITANIEMI 1987). Tammelan Salmijärvi on paleolimnologisen tutkimuksen mukaan happamoitunut viime aikoina (M. Liukkonen, suullinen tieto). Näin ollen ainakaan Salmijärvessä ahven ei ole voinut sopeutua pitkän ajan kuluessa happamiin olosuhteisiin. Todennäköisin syy erilaisiin ahvenkantoihin näissä happamoitumisen suhteen samanlaisissa järvissä on veden erilainen alumiinipitoisuus (vrt. BAKER ja SCHOFIELD 1980, GRAHN 1980). Espoon ja Vihdin järvissä alumiinin kokonaispitoisuudet 200 - 400 ug/l ovat tavallisia, kun taas Tammelan Kaitajärven ja Salmijärven sekä Kurun Saari-Soljasen alumiinipitoisuus oli 0 ug/l.

Koekalastussaaliin särkien keskipainon perusteella pH 5,5 on raja, jonka alapuolella happamuus on selvästi vaikuttanut särkikantoja heikentävästi. Suuren keskipainon lisäksi nopea kasvu ja särkien pieni lukumäärä viittaavat samaan suuntaan. Myös ruotsalaisten tutkimusten mukaan (ALMER 1972, MILBRINK ja JOHANSSON 1975, JOHANSSON ja NYBERG 1980) pH 5,5:n alapuolella särjen lisääntyminen loppuu ja populaatioiden rakenne muuttuu yllä kuvatun kaltaiseksi. Särjen nopeampi kasvu järvissä, joiden pH on noin 6,0, verrattuna neutraalimpiin järviin, viittaa alkavaan happamuuden vaikutukseen jo tässä happamuudessa.

Paikallisten asukkaiden mukaan särki on vähentynyt eräistä järvistä (esimerkiksi Fårsjö ja Flacksjö Pohjan kunnassa), joissa kesäaikainen pH on lähellä neutraalia. Tällöin kysymys saattaa olla keväisen pH-minimin vaikutuksesta. Särki on hävinnyt paikallisten asukkaiden mukaan kokonaan useista järvistä eri puolilla Etelä-Suomea. Eräistä Espoon ja Vihdin voimakkaasti happamoituneista järvistä se hävisi jo noin 30 vuotta sitten, mikä vastaa havaintoja Etelä-Ruotsin happamoituneissa järvissä (HULTBERG 1985). Tuore esimerkki on Äetsän Aurajärvi, josta paikalliset kalamiehet kertoivat saaneensa isoja särkiä vielä vuonna 1986, mutta

josta koekalastuksessa ei tullut yhtään särkeä. Järven pH oli keväällä sulamisaikaan 5,2 ja koekalastuksen yhteydessä heinäkuussa 5,3; järvi on siis todennäköisesti liian hapan särjen lisääntymiselle.

#### 4.4. Ahvenpopulaatiot happamoituneissa järvissä

Ahvenpopulaatiot tutkituissa neljässä happamoituneessa järvessä olivat selvästi harvemmat kuin vähemmän happamissa ahvenvaltaisissa pikkujärvissä, joissa populaatiotiheys on tavallisesti 500 - 3000 yksilöä hehtaarilla (ALM 1946, SUMARI 1971, NYBERG 1976, RASK ja ARVOLA 1985). Ison Majaslammen ahvenkanta on todennäköisesti hävinnyt ja Hauklammestakin ahven on loppumassa.

Hauklammen ahvenen pituusjakauma (kaikki kalat > 20 cm) on tyypillinen happamoituneelle järvelle, jossa kalan lisääntyminen on käynyt mahdottomaksi (vrt. ROSSELAND ym. 1980, SCHINDLER ym. 1985).

Suurin fekunditeetti happamimman järven ahvenissa osoittaa, että fekunditeetin väheneminen ei selitä kalakantojen taantumista happamoituvissa vesissä ja että luonnon olosuhteissa kalojen munamäärää säätelevät muutkin tekijät kuin veden happamuus, jonka on todettu laboratorikokeissa vähentävän fekunditeettia (CRAIG ja BAKSI 1977, LEE ja GERKING 1981). Tällaisia tekijöitä voivat olla esimerkiksi kalakanan tiheys ja ruuan saatavuus (BAGENAL 1978).

Mädin kuolleisuus happamissa järvissä suoritetuissa haudoituksissa oli poikkeuksellisen suuri verrattuna neutraalimpiin vesiin (NYBERG 1976, GUMA'A 1978). Koska mätimunien hedelmöitymisprosenttia ei voitu varmistaa, saattoi osa kuolleisuutta (kuolleisuusprosentti kokeen alkaessa) johtua siitä, etteivät kaikki mätimunat olleet hedelmöityneet. Vähä Valkjärvessä haudotettujen mätimunien 100 %:n kuolleisuus ja Hauklammesta sukeltamalla löydetyt neljä täysin kuollutta mätinauhaa viittaavat ahvenen lisääntymisen täydelliseen epäonnistumiseen keväällä 1986.

#### 4.5. Rapututkimukset

Mätimunia kantavat naaraat ovat muita rapuja inaktiivisempia ja ovat siitä syystä rapusaaliissa aina aliedustettuina. Jos kanta on harva, on riittävän suuren näytteen saaminen vaikeaa. Alkukesän koeravustuksissa saatiin sekä sukeltamalla että merroilla vain muutama mätimunia kantava naaras, mikä vaikeuttaa johtopäätösten tekoa. Olettamusta, että koeravustetuista järvistä happamimpiin kuuluvasta Sahajärvestä saadun ainoan naaraan mädin huono kunto olisi merkki todellisesta lisääntymishäiriöstä, tukee järvestä saatujen rapujen suuri keskikoko.

Sahajärven pH laskee keväällä alle 5,5 ja on kesälläkin ajoittain alle 6. Akvaariokokeissa on osoitettu ravun alkiökehityksen häiriytyvän ja johtavan suureen muna- ja poikaskuolleisuuteen pH:n laskiessa alle 5,5 (APPELBERG 1984a). SVÄRDSONin (1974) laajassa ruotsalaisessa järviaineistossa rapu puuttui kokonaan järvistä, joiden pH oli alle 5,5.

Iso-Simi on happamuudeltaan Sahajärven luokkaa pH:n laskiessa ajoittain alle 5,5. Iso-Simistä saadun täplärapunaaraan runsas, hyväkuntoinen mäti sekä nuorten ikäryhmien huomattava osuus koeravustussaaliissa osoittanevat täplärapun munien ja poikasvaiheiden kestävän happamoitumista kotimaista rapua paremmin.

Kuolleiden mätimunien löytyminen usean naaraan pyrstön alta sekä pienimpien kokoluokkien puuttuminen Nokian Alisjärven saaliista lienevät merkkejä ravun lisääntymishäiriöistä myös tässä järvessä, jonka pH laskee ajoittain kesäälläkin alle 5,5. Se, että Alisestajärvestä laskevasta purosta saatujen rapujen keskikoko oli huomattavasti järvestä saatujen rapujen keskikokoa pienempi, osoittanee lisääntymisen purossa onnistuneen paremmin kuin järvessä. Myös Ruotsista on havaintoja rapukannan säilymisestä happamissa virtaavissa vesissä, vaikka ravut reitin järvistä ovat hävinneet (FÜRST 1978). Syynä saattaa olla virtaavan veden suurempi happipitoisuus mahdollisen pH-minimin aikaan kevättalvella. Akvaariokokeissa on osoitettu rapujen kestävän lyhytaikaista happamuusaltistusta hyvin, jos vesi on hapekasta. Vähähappisessa ympäristössä happamuusaltistus johtaa rapujen hemolympfan pH:n ja ionitasapainon säätelyn häiriöihin

(JÄRVENPÄÄ ym. 1983, NIKINMAA ym. 1983). Myös ravun munien hapenkulutuksen on todettu lisääntyvän happamassa ympäristössä (APPELBERG 1983).

Rapujen suuri keskikoko ja pienten rapujen vähäinen osuus saaliissa viittaavat lisääntymishäiriöihin myös Sorvijärvessä ja Riihijärvessä, joiden kummankin pH on alle 6 ja ajoittain alle 5,5. Ison Suksijärven rapukannan pienuutta ja rakenteellista vääristymää on vaikeampi selittää. Järvi ei ole pitkälle happamoitunut. Sen alkaliteetti on huomattavan suuri ja pH alimmillaankin vain hieman alle 6. Järvessä on runsaasti särkeä. Happamoitumisen aiheuttamat muutokset näyttävät yleensä ilmenevän samanaikaisesti ja samanlaisina särki- ja rapukannoissa (vrt. kohdat 3.3 ja 4.3.). Se, että Sorvijärven rapukanta on vielä melko runsas, vaikka särjet ovat lähes kokonaan hävinneet, saattaa johtua järven suuresta alumiinipitoisuudesta, jolle useat kalalajit ovat rapua herkempiä (APPELBERG 1984b).

Saalisrapujen lukumäärä mertayötä kohti antaa vain suhteellisen käsityksen pyyntialueen raputiheydestä. Eri järvistä saadut tulokset ovat kuitenkin keskenään vertailukelpoisia, jos pyynti tapahtuu samalla tavalla ja kasvukauden samassa vaiheessa. Tämän tutkimuksen kaikissa koeravustetuissa järvissä saaliit pyyntiponnistusta kohti olivat pieniä. Vaikka pyynti keskitettiin järvien parhaille rannoille, oli saalis parhaimmillaankin vain hieman yli 1 rapu mertaa kohti yössä, lukuun ottamatta aineiston kahta puroa, joissa saalis oli 1,7 - 1,8 rapua mertayötä kohti. Vihdissä sijaitsevassa tehokkaasti ravustetussa järvessä, jonka pH on lähellä neutraalia, heinä-elokuiset koeravustussaaliit olivat 3,0 - 3,5 rapua mertayötä kohti (Järvenpää, julkaisematon aineisto). Ruotsalaisen luokituksen mukaan rapuvettä voidaan pitää hyvänä, jos saalis ylittää 5 rapua mertayötä kohti (FJÄLLING ja FÜRST 1985).

Edelleen jäi selvittämättä, mikä on rapukantojen heikentymisen välitön syy aineiston muutamissa happamoitumishan alaisissa järvissä, joiden pH kesällä on lähellä neutraalia ja joiden rapukantojen rakenteessa ei ole havaittavissa selviä vääristymiä (esim. Flacksjö ja Fårsjö, TUUNAINEN ym. 1986).

#### 4.6. Happamuus- ja alumiinitestit poikasilla

Yleensä happamuus oli sitä tappavampaa mitä enemmän alumiinia testivedessä oli. Kuitenkin pH:ssa 4,0 alumiini hidasti happamuuden aiheuttamaa siian poikasten kuolemista. Alumiini oli kaikille kalalajeille sitä myrkyllisempää mitä pienempi pH oli. BAKERin ja SCHOFIELDin (1982) mukaan alumiini olisi myrkyllisintä pH:ssa 5,2 - 5,4 ylikyllästyissä liuoksissa. Ilmeisesti alumiinisakka on aiheuttanut tuossa tutkimuksessa myrkyllisyyden; tässä tutkimuksessa ei vastaavaa myrkyllisyyden kasvua ollut.

Särki on testatuista vastakuoriutuneista poikasista herkin ja kuha toiseksi herkin happamuudelle ja alumiinille. Särjen ja kuhan poikasille yli pH 5:denkin arvot voivat olla akuutisti tappavia. Särjen 10 päivän pH:n LL50-arvo ylitti pH:n 5 jo nominaalisessa pitoisuudessa 50 ug Al/l. Puolet särjistä 10 päivässä tappava pH oli korkeimmillaan 5,4. Vielä pH 5,25, jossa alumiinin tappava myrkyvaikutus oli selvä, vaikutti ilman alumiinilisäystäkin särjen pituuteen, ja alumiini aiheutti passiivisuutta ja kasvun heikkenemistä jopa pH:ssa 5,75. Särkiäلتistusten tulokset sopivat hyvin yhteen koekalastuksissa tehtyjen havaintojen kanssa (kohta 3.3. ja TUUNAINEN ym. 1986). Särkikantojen taantumisen syy happamoituneissa järvissä voi olla vastakuoriutuneiden poikasten tuhoutuminen.

Ahvenen vastakuoriutuneet poikaset ovat tämän tutkimuksen perusteella herkempiä happamuudelle ja alumiinille kuin hauen poikaset. Pienissä happamissa järvissä esiintyy kuitenkin useammin ahventa kuin haukea (TUUNAINEN ym. 1986). Tämän tutkimuksen ahvenen poikaset olivat neutraalin Ylä-Enonveden ahventen jälkeläisiä ja kantojen välillä voi olla eroja happamuuden siedossa (RASK ja VIRTANEN 1986, ROSSELAND ja SKOGHEIM 1987).

Planktonsiian poikasille, jotka olivat kestävämpiä kuin ahvenet, mutta herkempiä kuin hauet, puolet 10 päivässä kaloista tappava pH oli alumiinipitoisuudesta riippuen 4,3 - 5,2. Koska siika on suhteellisen kestävä, saataisi se hyvin sopia happamien ja happamoituvien järvien

hoitokalaksi, ainakin jos järvien alumiinipitoisuus ei ole kovin suuri.

Vaikka hauen vastakuoriutuneet poikaset olivatkin kestäviä, vielä pH:ssa 5,25 alumiini vaikutti niiden pituuskasvuun ja aktiivisuuteen. Myös CLEVELANDin ym. (1986) tutkimuksessa alumiini vaikutti puronieriän poikasiin synergistisesti happamuuden kanssa. pH 4,5 sinänsä tai alumiinin (300 ug/l) kanssa ja pH 5,5 alumiinin kanssa vaikutti vastakuoriutuneiden puronieriän poikasten käyttäytymiseen ja aktiivisuuteen; poikaset liikkuivat vähemmän ja niiden käyttäytymisen normaali kehitys estyi, ne mm. ottivat ravintoa vain satunnaisesti. Passiiviset, hidasliikkeiset poikaset todennäköisesti ennen pitkää menehtyvät.

Alumiinin tappava myrkyllisyys ilmenee ehkä hitaammin ruskuaispussipoikasissa kuin vanhemmissa poikasissa. Vastakuoriutuneet poikaset ovat kuitenkin ilmeisesti herkempiä, kunhan altistusaika vain on riittävän pitkä. Yksikesäisille siian poikasille alumiinin 4 vuorokauden LC50-arvo oli pH:ssa 4,5 pienempi (420 ug/l, vrt. TUUNAINEN ym. 1986) kuin vastakuoriutuneille poikasille (noin 740 ug/l), mutta 10 vuorokauden LC50-arvo oli yksikesäisille suurempi (400 ug/l) kuin vastakuoriutuneille (noin 250 ug/l). pH:ssa 5,0 alumiinin LC50-arvot olivat jokseenkin samat. Samoin 9-viikkoiset särjen poikaset olivat kestävämpiä kuin vastakuoriutuneet: pH:ssa 4,5 alumiinin LC50-arvo oli neljän vuorokauden kuluttua 65 ug/l ja vastakuoriutuneille 0-40 ug/l ja yhdeksän vuorokauden kuluttua 9-viikkoisille 60 ug/l; vastakuoriutuneet olivat tässä pH:ssa kaikki jo kuolleet. pH:ssa 5,0 LC50-arvot olivat neljän vuorokauden kuluttua jokseenkin samat, mutta yhdeksän vuorokauden kuluttua LC50-arvo oli 9-viikkoisille suurempi (267 ug/l) kuin vastakuoriutuneille (115 ug/l) särjen poikasille. Lisäksi särjen syömään oppineet poikaset (pituus noin 1 cm) olivat kestävämpiä kuin vastakuoriutuneet: niiden alumiinin 4 vuorokauden LC50-arvo oli < 100 ug/l pH:ssa 4,5 ja 660 ug/l pH:ssa 5,0 (TUUNAINEN ym. 1986). Tosin syömään oppineiden testivesi oli humuksisempaa (90 mg Pt/l); humus vähentää alumiinin myrkyllisyyttä (BAKER ja SCHOFIELD 1980). Myös puronieriän vanhemmat (36 d) poikaset sietivät alumiinia ja happamuutta paremmin kuin nuoremmat (15 d) poikaset



(CLEVELAND ym. 1986). RASKIN (1984) tutkimuksen mukaan vastakuoriutuneet ahvenen poikaset olivat herkempiä happamuudelle kuin kesänvanhat poikaset tai aikuiset.

Särjen poikaset kuolivat pH:ssa 4,5 - 5,0 "synteettiseen veteen" tehdyissä liuoksissa nopeammin kuin Pahkajärven veteen tehdyissä. Siian poikaset kuolivat pH:ssa 5,25 jokseenkin yhtä nopeasti molemmissa.

#### 4.7. Happamuuden ja alumiinin pitkäaikaisvaikutus emosiikoihin

Vaikka happamuus ja alumiini viivästyttivät vuonna 1985 tehdyssä altistuksessa emosiikojen sukusolujen kypsymistä, mädistä kuoriutui normaaleja poikasia. Ryhmässä "pH 5 + Al" tosin kuoriutui vähiten poikasia ja paras kuoriutumistulos oli korkeimmassa pH:ssa (pH 6 ilman alumiinia).

Vuoden 1985 altistuksessa mädin kypsyminen viivästyi eniten ryhmissä, joita happamuuden lisäksi altistettiin alumiinille (pH 6 + Al ja pH 5 + Al). Nyt viivästyminen oli selvintä pH:ssa 5,75 ilman alumiinia tai alumiinin kanssa. Puronieriän ovulaatio viivästyi merkitsevästi pH:ssa 4,48 ja 5,16 (TAM ja PAYSON 1986). Kudun viivästyminen peräti kuukaudella havaittiin Espoon Hauklammen ahvenilla (ks. kohta 4.8). Hauklammen kevät-pH on noin 4,5 ja alumiinipitoisuuksiksi on mitattu 275 - 977 ug/l, joten pH:n ja alumiinin suhteen olot ovat järvessä ankarammat kuin emosiika-altistuksessa. Kuten myös vuoden 1985 altistuksessa, siika-koiraiden testikset olivat kolme viikkoa lypsyt jälkeen suurimmat, lähes kutukunnossa, happamimmassa vedessä, johon oli lisätty alumiinia.

Luonnossa kalojen kasvun on havaittu nopeutuneen happamoituneissa järvissä kantojen harvenemisen vuoksi (TUUNAINEN ym. 1986), mutta laboratoriokokeissa kasvun on todettu hidastuneen happamuuden vaikutuksesta (LEIVESTAD ym. 1976, SIDDENS ym. 1986, TAM ja PAYSON 1986). Puronieriöiden kasvu oli vuoden altistuksessa pH:ssa 4,6 vain puolet siitä, mitä se oli pH:ssa 6, vaikka ruokaa annettiin yltäkylän (LEIVESTAD ym. 1976). Puronieriöiden kasvuun vaikutti pääasiassa veden happamuus ja alumiinin vaikutus oli vähäinen

(SIDDENS ym. 1986). Veden happamuus hidasti emosiikojenkin kasvua, ja alumiini voimisti tätä vaikutusta. Puronieriöiden kasvu oli heikompaa pH:ssa 4,4 kuin pH:ssa 4,9 (SIDDENS ym. 1986), mutta emosiika-altistuksessa pH:n 4,75 ja 5,75 välillä ei ollut eroa. Siikojen kasvu oli huonointa ryhmässä "pH 4,75 + Al", kun taas puronieriät kasvoivat huonommin pH:ssa 4,9 + Al kuin pH:ssa 4,4 + Al (SIDDENS ym. 1986). Eräässä altistuksessa puronieriän kasvu oli huonoin pH:ssa 4,48 ja 5,16; näissä ryhmissä koiraiden ja naaraiden paino oli vain 71 - 77 % vertailuryhmän vastaavista painoista, mutta pH 5,56 ei enää vaikuttanut kasvuun (TAM ja PAYSON 1986). Emosiikojen kasvu hidastui jopa pH:ssa 5,75. MENENDEZIN (1976) mukaan puronieriän kasvu oli kolmen ensimmäisen altistuskuukauden aikana hitaampaa pH:ssa 4,5 ja 5,0 kuin vertailuryhmässä, mutta kahden seuraavan kuukauden aikana eroa ei enää ollut. Altistetut siiat olivat kuntoker-toimien perusteella myös laihempia kuin vertailuryhmän siiat.

Verisuureissa todettiin samanlaiset vaikutukset kuin vuoden 1985 altistuksessa: naaraiden veren glukoosipitoisuus oli suurin kummassakin pH:n 4,75 ryhmässä ja muissa verisuureissa ei ollut merkitseviä eroja ryhmien välillä, koiraiden veren hematokriittiarvo sekä hemoglobiini- ja glukosipitoisuus olivat suurimmat ja MCHC pienin kummassakin pH:n 4,75 ryhmässä. Nämä erot verisuureissa viittaavat altistettujen siikojen stressaantumiseen (WEDEMEYER JA MCLEAY 1981). Myös plasmasuureissa todetut vaikutukset olivat samansuuntaisia kuin vuoden 1985 altistuksessa: sekä naaraiden että koiraiden plasman  $\text{Na}^+$ - ja  $\text{Cl}^-$ -pitoisuus olivat pienimmät molemmissa pH:n 4,75 ryhmissä. Plasman  $\text{Na}^+$ - ja  $\text{Cl}^-$ -pitoisuuden pieneneminen happamuuden ja alumiinin vaikutuksesta on todettu myös NEVILLEN (1985) ja WITTERSIN (1986) tutkimuksissa. Naaraiden plasman  $\text{Ca}^{++}$ -pitoisuuksissa oli samanlainen suuntaus kuin edellisellä vuonna eli pitoisuudet olivat pienentyneet happamuuden ja alumiinin vaikutuksesta. Seerumin pienen kalsiumpitoisuuden on havaittu olevan yhteydessä kalojen kutemattomuuteen happamoituneissa järvissä (BEAMISH ym. 1975, BEAMISH 1976). Koiraiden plasman proteiinipitoisuus oli nyt suurentunut molemmissa pH:n 4,75 ryhmissä; edellisellä vuonna ei

eroa ollut eikä naarailla nytkään. Kirjoloihen plasman proteiinipitoisuus oli kolmen viikon altistuksen jälkeen pH:ssa 4,76 suurempi kuin vertailuryhmässä (BROWN ym. 1986).

#### 4.8. Ahventen ja siikojen kutuvalmius

Espoon Hauklammen ahventen kutu viivästyi selvästi. Mätinauhoja löydettiin vasta 1.7., kun edellisen kerran (16.6.) etsinnässä niitä ei vielä löytynyt. Saman alueen vähemmän happamissa järvissä ahvenet alkoivat kutea jo toukokuun kolmannella viikolla, joten Hauklammessa kutu viivästyi kuukaudella. Tällöin veden lämpötila oli jo epänormaalin korkea (yli 20 °C) ahvenen kudulle; normaalisti ahven kutee 4 - 14 °C:n lämpötilassa (THORPE 1977). Mädin kuoleminen on saattanut johtua korkeasta lämpötilasta. Vuonna 1985 saatiin koekalastuksissa Munajärvestä (Tenhola, pH 4,7) ahvenkoiraita, joiden testikset olivat täynnä maitia epätavallisen myöhään (14.6.). Silloin veden lämpötila oli 21 °C. BEAMISHin ym. 1975 ja BEAMISHin 1976 mukaan monien kalalajien naaraat eivät olleet laskeneet mätiään happamissa järvissä normaalina kutuaikana; mm. hauet eivät olleet kuteneet järvissä, joiden veden pH oli alle 5. Emosiikojen sukusolujen kypsyminen viivästyi happamuudelle ja alumiinille altistettaessa (kohta 3.7. ja TUUNAINEN ym. 1986). Hauklammen veden pH on < 5, ja siinä on runsaasti alumiinia. Hauklammen ahventen kutukäyttäytyminen ei ilmeisesti ollut häiriintynyt, koska mätinauhat löytyivät ahvenelle tyypillisiltä kutupaikoilta. Kudun viivästymisen saattaa osaksi selittää nuorten ikäryhmien puuttuminen Hauklammesta.

#### 4.9. Hedelmöitys- ja haudontakokeet

Hedelmöityminen ei ole näiden alustavien kokeiden perusteella kovin herkkä happamuudelle eikä alumiinille. Sekä hauella että särjellä herkempiä vaikuttaisivat olevan vasta-kuoriutunut poikanen tai jopa alkiovaihe. DUPLINSKYn (1982) mukaan hauen siittiöiden liikkuminen väheni pH:ta rikkipolla alennettaessa, ja jos pH oli alle 5,4, siittiöt eivät

liikkuneet lainkaan. Tuon tutkimuksen tulokset ovat ristiriidassa URHOn ym. (1984) tulosten kanssa. Niiden mukaan hauen siittiöiden liikkumisaika alkoi jyrkästi lyhen-tyä pH:n laskiessa alle 4,7 Kyrönjoen vedessä ja siittiöt liikkuivat lyhyen ajan vielä pH:ssa 4,5. LINDROTHin (1946) mukaan siittiöiden liikkumisaika vaikuttaa niiden hedelmöit-tämiskykyyn. Lohen mädin hedelmöitymistulos huononi, kun pH laskettiin rikkihapon avulla alle 5:n; pH:ssa 4 ei munia enää hedelmöitynyt ja pH:ssa 4,5 hedelmöityminen onnistui puolta heikommin kuin vertailuryhmässä (DAYE ja GLEBE 1984). Lohen siittiöiden liikkumisaika lyheni pH:n laskiessa alle 4,5 ja pH:ssa 4,0 ne eivät enää liikkuneet; tosin siittiöi-den liikkumista alettiin havainnoida vasta 20 sekunnin kuluttua veden lisäämisestä maitiin (DAYE ja GLEBE 1984). Tässä tutkimuksessa hauen mäti hedelmöityi vielä pH:ssa 4,0.

Munan kuori ja perivitelliineste suojaavat alkiota vedessä olevilta haitallisilta aineilta (DAYE ja GARSIDE 1977). Hauen alkiovaihe kesti happamuutta paremmin kuin ruskuaispussipoikanen, samoin ahvenen (RASK 1984) ja puro-nieriän (CLEVELAND ym. 1986) alkiovaihe.

Kuten hauella myös lohella sekä meri- ja järvitaimenella kuoriutumistulos oli huono vasta pH:ssa 4,0; pH:ssa 4,5 se oli yhtä hyvä kuin suuremmissakin pH-arvoissa (CARRICK 1979). Hauen huono kuoriutumistulos pH:ssa 4,0 johtui ilmei-sesti kuoriutumisen estymisestä; poikanen ei päässyt munan-kuoren läpi ja kuoli sen vuoksi. Alumiini pH:ssa 4,5 esti kuoriutumista; kuoriutuminen viivästyi alumiinin vaikutuk-sesta, mutta kuoriutumistulos sinänsä ei huonontunut. Kuoriutumisen viivästymisen ja estymisen on päätelty johtu-van kuoriutumisesityymin toiminnan estymisestä (RUNN ym. 1977). Mielenkiintoista oli, että hauen kuoriutuminen estyi jonkin verran silloinkin, kun munat olivat aivan alkionkehi-tyksen alussa pH:ssa 4,0, mutta koko muun ajan kontrollive-dessä.

Silloin, kun hauen poikaset vertailuryhmässä alkoivat uida, olivat poikaset pH:n 4,5 suurimmissa alumiinipitoi-suuksissa ja pH:ssa 4,0 lyhyempiä ja niillä oli enemmän ruskuaista. Tämä johtui ehkä osaksi siitä, että nuo poika-set kuoriutuivat myöhemmin, mutta erot ovat voineet osaksi kehittyä myös ruskuaispussivaiheen aikana. Alumiini sekä

pH:ssa 4,0 että 4,5 aiheutti ruskuaisen absorption hidastumisen, mistä seurauksena oli heikko kasvu. Puronieriän ruskuaisen absorption hidastumista happamuuden vaikutuksesta on havainnut MENENDEZ (1976). Sellujätevedelle altistetuissa taimenen poikasissa ruskuaisen absorption hidastuminen, poikasten hidas kasvu ja kehityksen viivästyminen johtivat suureen kuolleisuuteen (VUORINEN ja VUORINEN 1987). CLEVELAND ym. (1986) ovat todenneet puronieriän ruskuaispussipoikasten kasvun hidastumisen happamuuden ja alumiinin vaikutuksesta. Alunamaiden happamoittamassa järvessä happamimmilla alueilla (pH < 4,4) sumpuissa kuoriutuneet hauen poikaset olivat lyhyempiä kuin yli pH:n 5,5 alueilla kuoriutuneet, jotka olivat myös kehittyneimpiä. Alueilla, joissa pH oli 4,5 - 4,7 poikaset olivat apaattisia ja kehittymättömiä (SIPPONEN 1978).

## TIIVISTELMÄ

Tutkimus "Happaman laskeuman vaikutukset kaloihin" on osa vuonna 1985 käynnistynyttä maa- ja metsätalousministeriön sekä ympäristöministeriön rahoittamaa happamoitumistutkimusta (HAPRO). Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, missä määrin happamoituminen on vaikuttanut kala- ja rapukantoihin, ja kokeellisten tutkimusten avulla hankkia tietoja happamoituneiden vesien kala- ja rapukantojen hoidon perusteeksi, sekä arvioida happamoitumisesta johtuvia kalataloudellisia vaikutuksia.

Happamoitumisen kalastovaikutuksista tehtiin tiedustelu uusien koejärvien hankkimiseksi tutkimukseen ja käsityksen saamiseksi happamoitumisen vaikutuksista eri osissa Suomea. Tiedusteluun saaduissa 84 vastauksessa happamoitumisen epäiltiin vaikuttaneen 21 järven kalastoon. Sulamisvesien vaikutuksen selvittämiseksi 36 järvestä otettiin huhtikuussa vesinäytteet, joista analysoitiin mm. pH, alkaliteetti ja alumiinin kokonaispitoisuus sekä sen fraktiot. Koekalastusaineistoa täydennettiin koekalastamalla 22 järveä ja -ravustamalla 11 järveä ja 2 puroa. Neljän järven ahvenkanta arvioitiin merkinnällä ja takaisinpyynnillä. Pitkäaikaisen happamuudelle ja alumiinille altistamisen vaikutuksia emoosiikoihin tutkittiin, ja ahvenen ja siian kudun viivästymistä selvitettiin happamoituneissa järvissä. Happamuuden ja alumiinin vaikutuksia tutkittiin ahvenen, kuhan, särjen, hauen ja siian vastakuoriutuneisiin sekä särjen 9-viikkosiin poikasiin, ja tehtiin hedelmöityskokeita hauen ja särjen mädillä.

Huhtikuun vesinäytteiden tulosten perusteella kirkkaiden järvien veden alumiinipitoisuus on sitä suurempi mitä happamampaa vesi on. Alumiinin kokonaispitoisuus oli 21-810 ug/l (27 - 70 % monomeerista alumiinia). Koekalastuksissa ei löytynyt yhtään kalattomaksi happamoitunutta järveä, mutta kanta-arvioiden yhteydessä Espoon Isosta Majaslammesta (pH 4,6 - 5,2, 210 - 271 ug Al/l) ei saatu yhtään kalaa. Särkien osuus koekalastussaaliissa vaihteli järvien veden happamuuden mukaan: järvistä, joiden pH oli 6,0 - 7,0, saatiin seitsemän kertaa enemmän särkiä kuin järvistä, joiden pH oli 5,0 - 5,9, ja järvistä, joiden pH oli < 5, ei saatu lainkaan särkiä. Rapujen kokojakaumien perusteella ja mätimunien kantavia naaraita tutkimalla todettiin rapujen lisääntymisen häiriytyneen useassa järvessä, joiden pH oli 5,5 - 6,0 ja ajoittain < 5,5. Altistus happamuudelle ja alumiinille hidasti emoosiikojen kasvua ja sukusolujen kypsymistä sekä häiritsti ionitasapainon säätelyä ja aiheutti stressaantumista. Espoon Hauklammessa (pH 4,4 - 4,9, 275 - 977 ug Al/l) ahventen kutu myöhästyi kuukaudella ja kudettu mäti kuoli. Vastakuoriutuneiden poikasten herkkyyjärjestys happamuudelle oli: särki > kuha > ahven > siika > hauki. Alumiini lisäsi happamuuden haitallista vaikutusta ja oli sitä myrkyllisempää mitä pienempi pH oli. Alumiini aiheutti poikasten passiivisuutta ja pituuskasvun hidastumista - vielä pH:ssa 5,75 särjen ja pH:ssa 5,25 hauen poikasilla. Hauen mäti hedelmöityi pienimmässäkin testatuista pH-arvoista (pH 4,0), mutta poikasten kuoriutuminen viivästyi ja suurimmaksi osaksi estyi. pH:ssa 4,0 ja pH:n 4,5 suurimmissa alumiinipitoisuuksissa poikasten ruskuaisen absorptio hidastui.

## SUMMARY

The study, entitled "Effects of Acidic Deposition on Fish", is part of the Finnish research project on acidification (HAPRO), initiated in 1985 by the Ministry of the Environment and the Ministry of Agriculture and Forestry. The aims of this study are to evaluate the degree to which acidification has affected fish and crayfish stocks in Finland. Experimental work was carried out to obtain information for the management of fish and crayfish in waters subjected to acidification, and to assess the consequences of acidification for the fisheries.

An inquiry regarding the effects of acidification on fish was made to identify suitable new study lakes. Of the 84 answers, 21 suggested that the fish fauna was affected by acidification. To assess the effects of meltwater on the water quality in lakes, samples were taken from 36 lakes in April for measurements of pH, alkalinity, total aluminium and the forms in which it occurred. During the summer, the test fishing programme was supplemented by gill-netting of 22 new lakes for fish stock data and 11 lakes and 2 brooks for crayfish stock data. The size of the perch populations in four recently acidified lakes was estimated by marking and recapturing. The effects of long-term exposure to acidity and aluminium on adult whitefish were studied, and the delay of spawning of perch and whitefish in acidified lakes was examined. The effects of acidity and aluminium on newly hatched perch, pikeperch, roach, pike and whitefish and on 9-week-old roach were studied. Fertilization experiments with eggs of pike and roach were carried out in different acidities and aluminium concentrations.

According to the water samples taken from the lakes in April, there was a significant negative correlation between pH and the aluminium concentration (21 - 810  $\mu\text{g/l Al}_{\text{tot}}$ , 27 - 70 % in labile form). In the test fishings, no fishless lakes were found, but during the marking and recapturing study no fish were caught from L. Iso Majaslampi (Espoo, pH 4.6 - 5.2, 210 - 270  $\mu\text{g Al/l}$ ). The proportion of roach in the gill net catches varied along the pH gradient of the lakes; lakes with pH 6.0 - 7.0 yielded seven times as many roach as did lakes with pH 5.0 - 5.9 and in lakes with pH < 5.0 no roach were caught. The examination of egg-bearing crayfish and the size distributions of crayfish populations suggested disturbances in their reproduction in several lakes with pH 5.5 - 6.0. Exposure to acidity and aluminium caused stress in adult whitefish and disturbed their ion balance. Their growth rate decreased and the maturation of their gametes was delayed. In L. Hauklampi (Espoo, pH 4.4 - 4.9, 275 - 977  $\mu\text{g Al/l}$ ) the perch spawned a month later than usual and all the eggs died. The ranking of the fish species according to the sensitivity of their newly hatched fry to low pH was as follows: roach > pikeperch > perch > whitefish > pike. Aluminium increased the harmful effect of low pH and its toxicity increased with decreasing pH. Aluminium decreased the swimming activity and growth rate of fry - in roach up to pH 5.75 and in pike up to pH 5.25. At the lowest pH tested (4.0), fertilization of pike eggs occurred, but the hatching was delayed and largely failed. At pH 4.0 and at pH 4.5 in the highest tested concentrations of aluminium, the absorption of yolk was delayed.

## KIRJALLISUUS

- Alm, G. 1946. Reasons for the occurrence of stunted fish populations with special regard to the perch. Rep. Inst. Freshwater Res. Drottningholm 25, s. 1 - 146.
- Almer, B. 1972. Försurningens inverkan på fiskbestånd i västkustsjöar. Information från Sötvattenslaboratoriet Drottningholm 12. 47 s.
- Appelberg, M. 1983. Response of acid stress upon the oxygen uptake in eggs of the crayfish Astacus astacus L. Freshwater Crayfish 5, s. 59 - 70.
- Appelberg, M. 1984a. Early development of the crayfish Astacus astacus L. in acid water. Rep. Inst. Freshwater Res. Drottningholm 61, s. 48 - 59.
- Appelberg, M. 1984b. Effekter av försurning och kalkning på populationer av flod- och signalkräftor (Sammanfattning med 8 bilagor). Limnologiska Inst., Uppsala Univ., ser B:7. 16 s.
- Bagenal, T. B. 1978. Aspects on fish fecundity. Teoksessa: Ecology of freshwater fish production. Toim. S. D. Gerking. Oxford. s. 75 - 101.
- Baker, J. P. & Schofield, C. L. 1980. Aluminum toxicity to fish as related to acid precipitation and Adirondack surface water quality. Teoksessa: Ecological impact of acid precipitation. Toim. D. Drablos & A. Tollan. SNSF-project. Oslo-Ås. s. 292 - 293.
- Baker, J. P. & Schofield, C. L. 1982. Aluminum toxicity to fish in acidic waters. Water Air Soil Pollut. 18, s. 289 - 309.
- Beamish, R. J. 1976. Acidification of lakes in Canada by acid precipitation and the resulting effects on fishes. Water Air Soil Pollut. 6, s. 501 - 514.
- Beamish, R. J., Lockhart, W. L., Van Loon, J. C. & Harvey, H. H. 1975. Long term acidification of a lake and resulting effects on fishes. Ambio 4, s. 98 - 102.
- Brown, S. B., Evans, R. E. & Hara, T. J. 1986. Interrenal, thyroidal, carbohydrate, and electrolyte responses in rainbow trout (Salmo gairdneri) during recovery from the



- effects of acidification. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 43, s. 714 - 718.
- Carrick, T. R. 1979. The effect of acid water on the hatching of salmonid eggs. J. Fish Biol. 14, s. 165 - 172.
- Cleveland, L., Little, E. E., Hamilton, S. J., Buckler, D. R. & Hunn, J. B. 1986. Interactive toxicity of aluminum and acidity to early life stages of brook trout. Trans. Amer. Fish. Soc. 115, s. 610 - 620.
- Craig, G. R. & Baksi, W. F. 1977. The effects of depressed pH on flagfish reproduction, growth and survival. Water Res. 11, s. 621 - 626.
- Daye, P. G. & Garside, E. T. 1977. Lower lethal levels of pH for embryos and alevins of Atlantic salmon, Salmo salar L. Can. J. Zool. 55, s. 1504 - 1508.
- of embryos and alevins of the Atlantic salmon, Salmo from fertilization. Can. J. Zool. 57, s. 1713 - 1718.
- Daye, P. G. & Glebe, B. D. 1984. Fertilization success and sperm motility of Atlantic salmon (Salmo salar L.) in acidified water. Aquaculture 43, s. 307 - 312.
- Dickson, W. 1975. The acidification of Swedish lakes. Rep. Inst. Freshwater Res. Drottningholm 54, s. 8 - 20.
- Duplinsky, P. D. 1982. Sperm motility of northern pike and chain pickerel at various pH values. Trans. Amer. Fish. Soc. 111, s. 768 - 771.
- Finney, D. J. 1971. Probit analysis. London, Cambridge University Press. 333 s.
- Fjälling, A. & Fürst, M. 1985. Signalkräftan i Sverige 1969-84. Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm 8. 29 s.
- Fürst, M. 1978. Förurningens inverkan på flodkräftan Astacus astacus L. Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm 14, s. 89 - 94.
- Grahn, O. 1980. Fishkills in two moderately acid lakes due to high aluminum concentration. Teoksessa: Ecological impact of acid precipitation. Toim. D. Drablos & A. Tollan. SNSF-project. Oslo-Ås. s. 310 - 311.
- Guma'a, S. A. 1978. The effects of temperature on the development and mortality of eggs of perch, Perca fluviatilis. Freshwat. Biol. 8, s. 221 - 227.

- Hultberg, H. 1985. Changes in fish populations and water chemistry in Lake Gårdsjön and neighbouring lakes during the last century. *Ecol. Bull. (Stockholm)* 37, s. 64-72.
- Johansson, K. & Nyberg, P. 1980. Försurningen av svenska ytvatten - effekter och omfattning 1980. Information från Sötvattenslaboratoriet Drottningholm 6. 118 s.
- Järvenpää, T., Nikinmaa, M., Westman, K. & Soivio, A. 1983. Effects of hypoxia on the haemolymph of freshwater crayfish Astacus astacus L. in neutral and acid water during the intermoult period. *Freshwater crayfish* 5, s. 86 - 97.
- Kämäri, J. 1985. A quantitative assessment of lake acidification in Finland. *Aqua Fennica* 15, s. 11 - 20.
- Lee, Y. H. 1985. Aluminium speciation in different water types. *Ecological Bulletins* 37, s. 109 - 119.
- Lee, R. M. & Gerking, S. D. 1981. Survival and reproductive performance of the desert pupfish, Cyprinodon nevadensis in acid waters. *J. Fish Biol.* 17, s. 507 - 515.
- Leivestad, H., Hendrey, G., Muniz, I. P. & Snekvik, E. 1976. Teoksessa: Impact of acid precipitation on forest and freshwater ecosystems in Norway. *Toim. F. H. Braekke. SNSF Res. Rep. 6/76*, s. 86 - 111.
- Lindroth, A. 1946. Zur Biologie der Befruchtung und Entwicklung beim Hecht. *Kunigl. Lantbruksstyrelsen Medd. från Statens undersöknings och försöksanstalt för sötvattensfisket* 24, s. 1 - 173.
- Menendez, R. 1976. Chronic effects of reduced pH on brook trout (Salvelinus fontinalis). *J. Fish. Res. Board Can.* 33, s. 118 - 123.
- 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. Freshwater Res. Drottningholm* 54, s. 52 - 62.
- Neville, C. M. 1985. Physiological response of juvenile rainbow trout, Salmo gairdneri, to acid and aluminum-prediction of field responses from laboratory data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42, s. 2004 - 2019.
- Nikinmaa, M., Järvenpää, T., Westman, K. & Soivio, A. 1983. Effects of hypoxia and acidification on the haemolymph pH

- values and ion concentrations in the freshwater crayfish, (Astacus astacus L.). Finnish Fish. Res. 5, s. 17 - 22.
- Nyberg, P. 1976. Production and food consumption of perch in two Swedish forest lakes. Scripta Limnologica Upsaliensia 421, Klotenprojektet 6, s. 1 - 97.
- 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.
- Rask, M. 1983. The effect of low pH on perch, Perca fluviatilis L. I. Effects of low pH on the development of eggs of perch. Ann. Zool. Fennici 20, s. 73 - 76.
- Rask, M. 1984. The effect of low pH on perch, Perca fluviatilis L. II. The effect of acid stress on different development stages of perch. Ann. Zool. Fennici 21, s. 9 - 13.
- Rask, M. & Arvola, L. 1985. The biomass and production of pike, perch and whitefish in two small forest lakes in southern Finland. Ann. Zool. Fennici 22, s. 129 - 136.
- Rask, M., Järvenpää, T., Tuunainen, P., Vuorinen, M. & Vuorinen, P. 1986. Happaman laskeuman vaikutukset kaloihin - havainnot vuodelta 1985. Suomen Kalastuslehti 93, s. 162 - 165.
- Rask, M. & Virtanen, E. 1986. Responses of perch, Perca fluviatilis L., from an acidic and a neutral lake to acidic water. Water Air Soil Pollut. 30, s. 537 - 543.
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Bull. Fish. Res. Bd Can. 191, s. 1 - 382.
- Robson, D. S. & Regier, H. A. 1971. Estimation of population number and mortality rates. Teoksessa: Methods for assessment of fish production in fresh waters. IBP handbook 3. Toim. W. E. Ricker. Oxford/Edinburgh. s. 131-165.
- Rosseland, B. O., Sevaldrud, I., Svalastog, D. & Muniz, I. P. 1980. Studies on freshwater fish populations - effects of acidification on reproduction, population structure, growth and food selection. Teoksessa: Ecological impact of acid precipitation. Toim. D. Drablos & A. Tollan. SNSF-project. Oslo-Ås. s. 336 - 337.

- Rosseland, B. O. & Skogheim, O. K. 1987. Differences in sensitivity to acid soft water among strains of brown trout (Salmo trutta L.). Teoksessa: Ecophysiology of acid stress in aquatic organisms. Book of abstracts. International symposium, 13-16 January 1987, Antwerp, Belgium. s. 36.
- 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.
- Schindler, D. W., Mills, K. H., Malley, D. F., Findlay, D. L., Shearer, J. A., Davies, I. J., Turner, M. A., Lindsey, G. A. & Cruikshank, D. R. 1985. Long-term ecosystem stress: the effects of years of experimental acidification on a small lake. Science 228, s. 1395 - 1401.
- Siddens, L. K., Seim, W. K., Curtis, L. R. & Chapman, G. A. 1986. Comparison of continuous and episodic exposure to acidic, aluminum-contaminated waters of brook trout (Salvelinus fontinalis). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 43, s. 2036 - 2040.
- Sipponen, M. 1978. Happaman veden vaikutuksista hauen määntiin. Ympäristö ja terveys 8, s. 555 - 560.
- Stephan, C. E. 1977. Methods for calculating an LC50. Teoksessa: Aquatic toxicology and hazard evaluation. Toim. F. L. Mayer & J. L. Hamelink. American Society for Testing and Materials. s. 65 - 84.
- Sumari, O. 1971. Structure of the perch populations of some ponds in Finland. Ann. Zool. Fennici 8, s. 406 - 421.
- Svärdson, G. 1974. Översikt över laboratoriets verksamhet med plan för år 1974. Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm 1. 27 s.
- Tam, W. H. & Payson P. D. 1986. Effects of chronic exposure to sublethal pH on growth, egg production, and ovulation in brook trout, Salvelinus fontinalis. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 43, s. 275 - 280.
- Tesch, F. W. 1971. Age and growth. Teoksessa: Methods for assessment of fish production in fresh waters. IBP handbook 3. Toim. W. E. Ricker. Oxford/Edinburgh. s. 98-130.
- Thorpe, J. 1977. Synopsis of biological data on the perch

- Perca fluviatilis Linnaeus, 1758 and Perca flavescens Mitchill, 1814. FAO Fisheries Synopsis 113. Rome. 138 s.
- Tolonen, K. & Jaakkola, T. 1983. History of lake acidification and air pollution studied on sediments in South Finland. Ann. Bot. Fennici 20, s. 57 - 78.
- Tulonen, T. 1985. Selvitys Pohjois-Espoon järvien happamointumiskehityksestä pohjakerrostumiin sedimentoituneiden piilevien avulla. Tutkimusraportti, Espoon kaupungin tekninen virasto. 24 s.
- Tuunainen, P., Vuorinen, P., Rask, M., Järvenpää, T. & Vuorinen, M. 1986. Happaman laskeuman vaikutukset kaloihin - raportti vuodelta 1985. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 50, s. 1 - 39.
- Urho, L., Hudd, R. & Hilden, M. 1984. Kalojen siittiöiden liikkumisaika pH:n funktiona. (The motility of fish sperms as a function of pH). Memoranda Soc. Fauna Flora Fennica 60, s. 41 - 42.
- Vuorinen, M. & Vuorinen, P. J. 1987. Effects of bleached kraft mill effluent on early life stages of brown trout (Salmo trutta L.). Ecotoxicol. Environm. Safety 14, (painossa).
- Wedemeyer, G. A. & McLeay, D. J. 1981. Methods for determining the tolerance of fishes to environmental stressors. Teoksessa: Stress and fish. Toim. A. D. Pickering. London, New York, Toronto, Sydney, San Francisco. Academic Press. s. 147 - 275.
- Witters, H. E. 1986. Acute acid exposure of rainbow trout, Salmo gairdneri Richardson: effects of aluminium and calcium on ion balance and haematology. Aquatic Toxicology 8, s. 197 - 210.

**RIISTA- JA KALATALOUDEN TUTKIMUSLAITOS,  
KALANTUTKIMUSOSASTO**

**MONISTETTUJA JULKAISUJA**

- No 46. Nahkiainen-nejonögon -symposiumin, 17.—18.10.1979 Kalajoki. Toim. T. Järvenpää ja K. Westman. Helsinki 1986. 107 s.
- No 47. LEHTONEN, H., BÖHLING, P. och HUDD, R.: Siken och sikfisket i Kvarkenområdet. Helsinki 1986. 76 s.
- No 48. Suunnitelma Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen kalantutkimusosaston toiminnaksi vuodelle 1986. Helsinki 1986. 178 s.
- No 49. ERONEN, T., HANSKI, A., HYYTINEN, L. ja KAIJOMAA, V.-M.: Vuoksen vesistöalueen lohija taimenkantojen hoidon puiteohjelma. Helsinki 1986. 117 s.
- No 50. TUUNAINEN, P., VUORINEN, P., RASK, M., JÄRVENPÄÄ, T. ja VUORINEN, M.: Happaman laskeuman vaikutukset kaloihin. Raportti vuodelta 1985. English summary: Effects of acidic deposition on fish, Report 1985. 1—39.  
TIKKA, J. ja PAASIVIRTA, L.: Ahvenen populaatorakenne, kasvu ja tuotanto kahdessa eteläsuomalaisessa metsäjärvässä. 40—63. Helsinki 1986.
- No 51. Valtion kalanviljelyn VII neuvottelupäivät 12.—14.4. 1983 Punkaharjulla. Toim. A. Vihervuori. Helsinki 1986. 119 s.
- No 52. NIKINMAA, B.: Inverkan av ljus och insekttillskott till födan på tillväxten hos laxyngel Salmo salar. Helsinki 1986. 79 s.
- No 53. Papers presented at ICES Statutory Meetings in 1984—86 by Finnish participants. Helsinki 1986. 260 pp.
- No 54. JÄRVENPÄÄ, T.: Veden vähähappisuuden ja happamuuden vaikutukset ravun hemolympfaan. Helsinki 1986. 64 s.
- No 55. NYLUND, V.: Ravun loisen, Psorospermium haeckeli Hilgendorf rakenne, haittavaikutukset ja taksonominen asema. Helsinki 1986. 60 s.
- No 56. KETTUNEN, J. ja HILDÉN, M.: Populaatioanalyysi ja sen herkkyys parametrien muutoksille. Helsinki 1986. 50 s.
- No 57. IKONEN, E., JUTILA, E., KOLJONEN, M.-L., PRUUKI, V. ja ROMAkkANIEMI, A.: Tornionjoen vesistön meritaimenkantojen tila, geneettiset erot ja viljelytarpeet. Helsinki 1986. 103 s.
- No 58. SALOJÄRVI, K. ja HUUSKO, A.: Sotkamon reitin velvoitehoidon tulokset v. 1981—1985, tuloksiin vaikuttavat tekijät ja suositukset hoidon kehittämiseksi. Helsinki 1987. 311 s.
- No 59. HEINONEN, M.: Suur-Saimaan siikojen taksonomia ja geneettinen muuntelu. Helsinki 1987. 88 s.
- No 60. PENNANEN, J.T.: Kokemäenjoen vesistön toutaimen hoito- ja suojeluohjelma. Helsinki 1987. 56 s.
- No 61. Suunnitelma Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen kalantutkimusosaston toiminnaksi vuodelle 1987. Helsinki 1987. 184 s.
- No 62. IKONEN, E., AHLFORS, P., MIKKOLA, J. ja SAURA, A.: Meritaimenen ja lohen elvyttäminen Vantaanjoen vesistössä. Helsinki 1987. 106 s.
- No 63. WESTMAN, K., SOIVIO, A., AUTTI, M., JUOLA, M., ARO, M., NENONEN, O. ja TUUNAINEN, P.: Kemi- ja Iijoen lohivelvoitteen hoito. Helsinki 1987. 81 s.
- No 64. JUNTUNEN, K.: Kromosomimääritys apuna siikojen taksonomisten ongelmien ratkaisemisessa. Helsinki 1987. 77 s.
- No 65. PARTANEN, H.: Kalan markkinoinnin nykytila ja kehittäminen Inarin kunnan alueella. Helsinki 1987. 110 s.
- No 66. SARJAMO, H. ja HONKASALO, L.: Kirakkajoen vesistön säännöstelyn vaikutukset Rahajärven, Hammasjärven ja Ukonjärven kalakantoihin sekä kalakantojen hoitosuunnitelma. Helsinki 1987. 70 s.

## SISÄLTÖ

TUUNAINEN, P., VUORINEN, P.J., RASK, M., JÄRVENPÄÄ, T. ja VUORINEN, M.: Happaman laskeuman vaikutukset kaloihin. Raportti vuodelta 1986. English summary: Effects of acidic deposition on fish, Report 1986.

72 s.

ISBN 951-9092-96-X  
ISSN 0358-4623