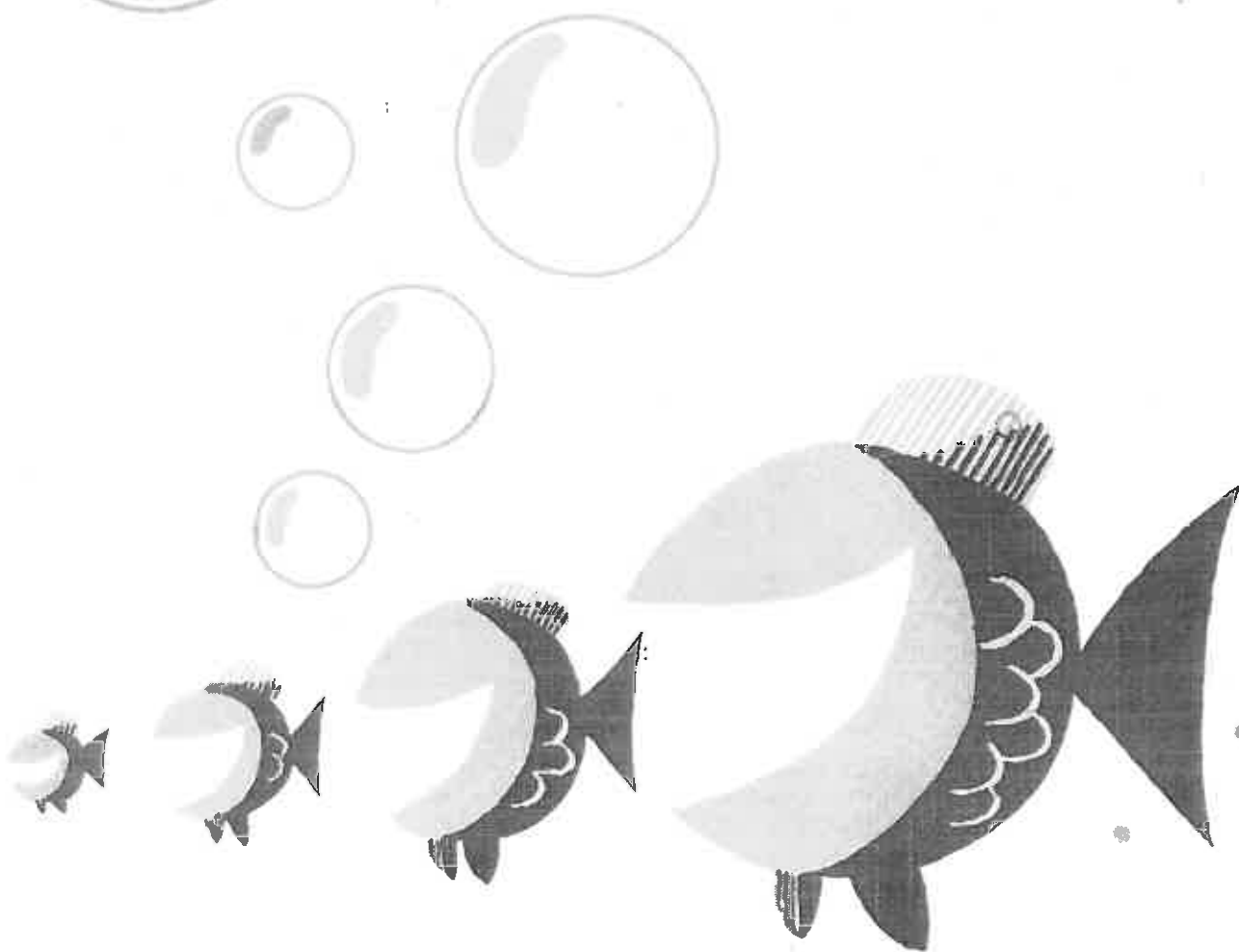


RIISTA- JA KALATALOUDEN TUTKIMUSLAITOS
KALANTUTKIMUSOSASTO



MONISTETTUJA JULKAISUJA

50
1986





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 fastställs 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

Nö 50

1986

HAPPAMAN LASKEUMAN VAIKUTUKSET KALOIHIN

Raportti vuodelta 1985

English summary: Effects of acidic deposition
on fish, Report 1985

Pekka Tuunainen, Pekka Vuorinen, Martti Rask,
Teuvo Järvenpää ja Marja Vuorinen

AHVENEN POPULAATIORAKENNE, KASVU JA TUOTANTO KAHDESSA
ETELÄSUOMALAISESSA METSÄJÄRVESSÄ

Juha Tikka ja Lauri Paasivirta

HELSINKI 1986

ISBN 951-9092-79-X
ISSN 0358-4623
Helsinki 1986
Yliopistopaino

HAPRO
HAPPAMAN LASKEUMAN VAIKUTUKSET KALOIHIIN
Raportti vuodelta 1985

English summary: Effects of acidic deposition on fish,
Report 1985

Pekka Tuunainen¹, Pekka Vuorinen¹, Martti Rask²,
Teuvo Järvenpää¹ ja Marja Vuorinen¹

SISÄLLYSLUETTELO	Sivu
TIIVISTELMÄ	
1. JOHDANTO.....	2
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	
2.1. KALAKANTATUTKIMUKSET.....	3
2.2. RAPUTUTKIMUKSET.....	5
2.3. KOKEELLISET TUTKIMUKSET	
2.3.1. HAPPAMUUDEN VAIKUTUS ALUMIININ AKUUTTIIN MYRKYLLISYYTEEN.....	10
2.3.2. HAPPAMUUDEN JA ALUMIININ PITKÄAIKAIS- VAIKUTUS EMOSIIKIOIHIN.....	11
3. TULOKSET	
3.1. KALAKANTATUTKIMUKSET	
3.1.1. KALAKANTOJEN YLEISKUVA TUTKITUISSA JÄRVISSÄ.....	12
3.1.2. HAVAITUT MUUTOKSET KALAKANNOISSA.....	18
3.2. RAPUTUTKIMUKSET.....	19
3.3. KOKEELLISET TUTKIMUKSET	
3.3.1. HAPPAMUUDEN VAIKUTUS ALUMIININ AKUUTTIIN MYRKYLLISYYTEEN.....	22
3.3.2. HAPPAMUUDEN JA ALUMIININ PITKÄAIKAIS- VAIKUTUS EMOSIIKIOIHIN.....	22
4. TULOSTEN TARKASTELU	
4.1. KALAKANTATUTKIMUKSET.....	27
4.2. RAPUTUTKIMUKSET.....	29
4.3. KOKEELLISET TUTKIMUKSET	
4.3.1. HAPPAMUUDEN VAIKUTUS ALUMIININ AKUUTTIIN MYRKYLLISYYTEEN.....	31
4.3.2. HAPPAMUUDEN JA ALUMIININ PITKÄAIKAIS- VAIKUTUS EMOSIIKIOIHIN.....	32
SUMMARY.....	34
KIRJALLISUUS.....	35

- 1) Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimus-
osasto, PL 193, 00131 Helsinki
- 2) Helsingin yliopisto, Lammin biologinen asema, 16900 Lammi

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, sekä tutkia kokeellisesti tärkeimpien kalalajien ja niiden eri kehitysvaiheiden herkkyyttä happamoitumiselle.

Koekalastuksia suoritettiin 44 järvessä, kuudessa niistä viisi kertaa. Näistä järvistä 14 kuuluu vesihallituksen ILVES-projektin koejärviin. Lammilta, Evon alueelta, koottiin 28 järven kalastotiedot ja tiedot veden ominaisuuksista. Lisäksi valittiin Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen 1960-luvulla toteuttaman pienten vesien kalataloudellisen hyväksikäytön tutkimuksen järviaineistosta 26 järveä, joista otettiin ja analysoitiin vesinäytteet mahdollisen happamoitumisen toteamiseksi. Länsi-Uudellamaalla koeravustettiin viisi järveä. Kokeellisesti tutkittiin happamuuden vaikutusta alumiinin tappavaan myrkyllisyyteen siian poikasille ja pitkäaikaisen happamuudelle ja alumiinille altistamisen vaikutusta emosiikoihin.

Koekalastusten perusteella kalakannat ovat heikot useissa etelärannikon happamoituneissa järvissä. Tällaisia järviä ovat mm. Espoon Hauklampi ja Iso Majaslampi, Vihdin Iso Lehmälampi ja Saaren Musta sekä Tenholan Munajärvi. Näiden järvien saalis oli pääasiassa ahvenia; niitä oli vähän, mutta niiden keskikoko oli suuri. Kasvumääritysten perusteella näissä järvissä ahventen kasvu oli nopeampaa kuin neutraaleissa järvissä. Neljän ravustetun järven rapukantojen todettiin olevan heikot, minkä pääteltiin johtuvan happamoitumisesta. Yksikesäisille siianpoikasille määritettiin alumiinin kynnyksen LC50-arvoiksi 0,4 mg/l pH:ssa 4,5 ja 0,6 mg/l pH:ssa 5,0 (nimelliset pitoisuudet). Alumiini ja happamuus, molemmat, hidastivat sekä koiras- että naarassiikojen sukusolujen kypsymistä. Happamuuden ja alumiinin yhteisvaikutuksesta emosiikojen plasman kalsium-, natrium- ja kloridipitoisuus pienenevät.

1. JOHDANTO

Vesistöjen happamoitumisen haitallisista vaikutuksista kalojen lisääntymiseen raportoitiin ensimmäisen kerran 1920-luvulla (DAHL 1927). Happamien sateiden, pintavesien happamoitumisen ja kalakantojen taantumisen välinen yhteys osoitettiin 1950-luvun lopulla (DANNEVIG 1959). Käsitys happamoitumisongelman laajuudesta ja yleinen tietoisuus sen vakavuudesta on kuitenkin kehittynyt vasta viimeisen 15 vuoden aikana (esim. COWLING 1980). Suomessa happamoitumisen kalastovaikutuksiin kiinnitettiin huomiota 1970-luvun lopulla (mm. JOKINEN ja HÄKKINEN 1977, SIPPONEN 1978), kun taas alunamaiden vesissä tapahtuneista kalakuolemista oli tehty havaintoja paljon aikaisemmin (mm. NORDQVIST 1902). Myös teollisuuden happamien jätevesien vaikutuksia kaloihin on tutkittu (RYHÄNEN 1958, 1961). Veden happamoitumisesta johtuvia rapukantoihin kohdistuneita haittoja on osoitettu mm. Kyrönjoen rapukantaselvityksessä (PURSIAINEN ym. 1984, JÄRVENPÄÄ ja RAILO 1984).

Happamoitumisen seurauksena metalleja, varsinkin alumiinia, huuhtoutuu maaperästä ja sedimentistä veteen (DRISCOLL ym. 1980). Alumiinin on arveltu olevan jopa tärkein syy kalakantojen taantumiseen (LAZERTE 1984). Kuitenkin kokeita on tehty pääasiassa suurentuneen vetyionikonsentraation vaikutuksista; eri kalalajien herkkyys vetyionipitoisuuksille vaihtelee paljon (MAGNUSON ym. 1984, HARVEY 1985). Koekaloina ovat olleet enimmäkseen nieriät, lohet ja taimenet (BERGMAN ym. 1985). Veden happamuuden ja metallien yhteisvaikutuksia on tutkittu vähemmän ja alumiinin myrkyllisyydestä tiedetään vain muutamille kalalajeille (MAGNUSON ym. 1984, HARVEY 1985). Laboratoriokokeet ovat paras tapa selvittää happamuuden ja metallien yhteisvaikutuksia (MAGNUSON ym. 1984).

Tutkimus "Happaman laskeuman vaikutukset kaloihin" on osa vuonna 1985 käynnistynyttä maa- ja metsätalousministeriön sekä ympäristöministeriön rahoittamaa happamoitumistutkimusta (HAPRO). Tutkimuksen tarkoituksena on sel-

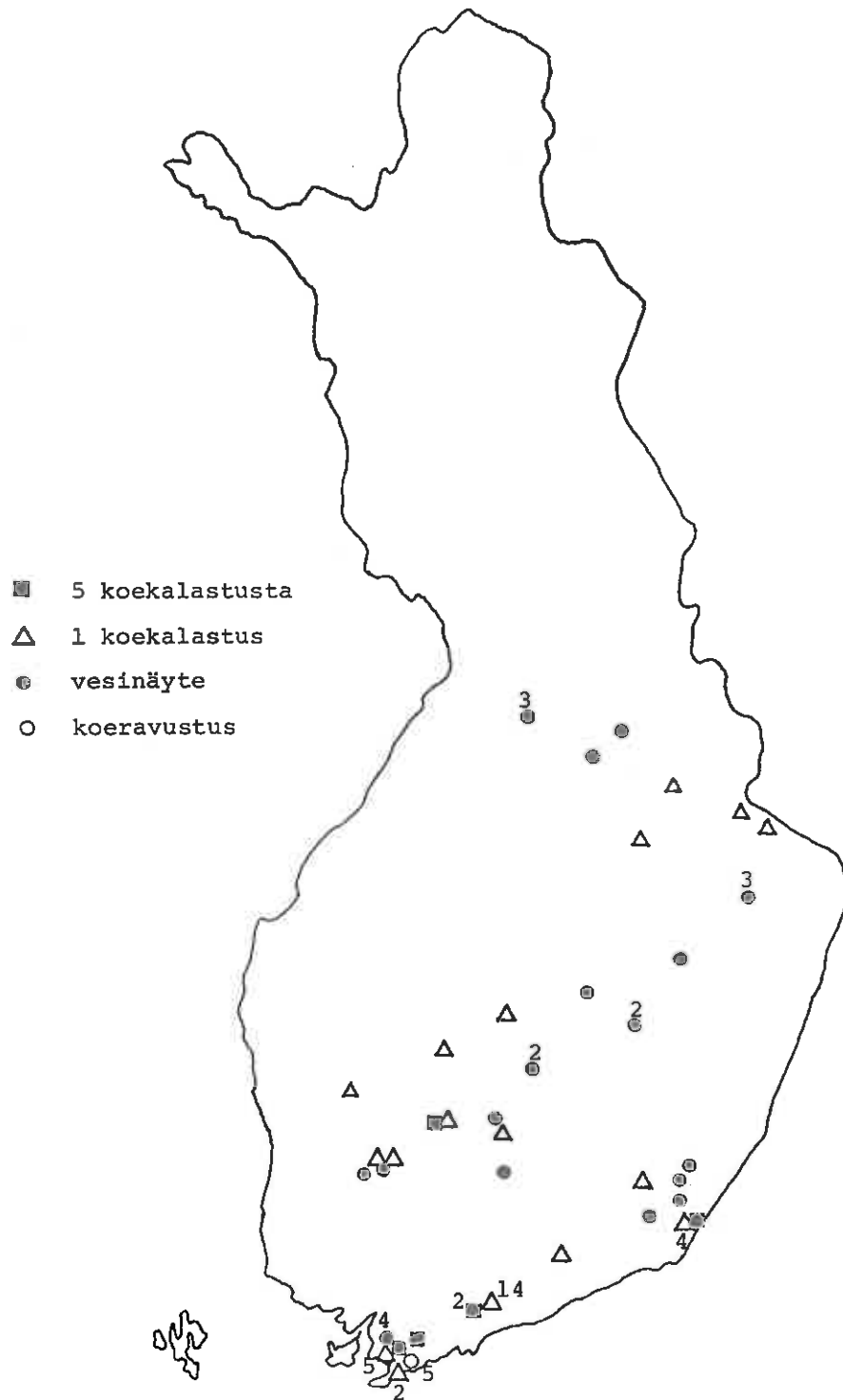
vittää, missä määrin happamoituminen on vaikuttanut kala- ja rapukantoihin, sekä tutkia kokeellisesti tärkeimpien kalalajien ja niiden eri kehitysvaiheiden herkkyyttä happamoitumiselle.

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. Kalakantatutkimuksista vastaa Martti Rask ja rapututkimuksista Teuvo Järvenpää.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1. KALAKANTATUTKIMUKSET

Tutkimusjärvet valittiin pääasiassa kolmesta aineistosta. Suuri osa koekalastetuista järvistä kuuluu HAPRON muihin vesitutkimuksiin (mm. KENTTÄMIES ym. 1985, KÄMÄRI 1985). Useiden järvien happamoitumishistoria on määritetty paleolimnologisesti pohjasedimentin piileväjäänteiden perusteella (TOLONEN ja JAAKKOLA 1983, SIMOLA 1985, TOLONEN ym. 1986). Järvien sijainti käy ilmi kuvasta 1. Koekalastuksissa käytettiin verkkosarjaa, jossa 1,8 x 30 m:n kokoisten verkkojen havaksen solmuvälit olivat 12, 15, 20, 25, 30, 35, 45 ja 60 mm. Kaikkiaan koekalastettiin 44 järveä. Näistä kuusi koekalastettiin 5 kertaa siten, että järvien eri syvyydet olivat edustettuina. Muissa järvissä kalastettiin kertaalleen laskemalla verkot kahteen jataan 3 - 5 m:n syvyyteen rannan suuntaisesti siten, että tiheät ja harvat verkot vuorottelivat. Verkot laskettiin iltapäivisin ja ne olivat järvessä yön yli (15 - 20 tuntia). Kunkin koekalastuksen saalis punnittiin lajeittain. Eri lajien yksilöistä mitattiin kokonaispituus (mm) ja paino (g) 100 kalan otoksesta milloin mahdollista. Ikä- ja kasvumäärityksiä varten otettiin jokaisessa koekalastuksessa somu- tai operculum-näytteet



Kuva 1. Tutkimusjärvien (75 kpl) sijainti. Jos samalla alueella sijaitsee useita koejärviä, niiden lukumäärä on merkitty numerolla.

50 Yksilöä kutakin lajia. Vuoden 1985 loppuun mennessä määritettiin ikä ja takautuva kasvu koko särkiaineistosta (suomuista, Fraserin ja Leen menetelmällä, TESCH 1971) sekä ahvenista (operculumista, Monastyrskyn menetelmällä, TESCH 1971) sellaisista järvistä, joiden tiedetään olevan happamoituneita. Jokaisesta koekalastetusta järvestä otettiin vesinäytteet (n. 30 cm:n syvyydeltä) ja määritettiin standardimenetelmin (SFS) pH,-alkaliteetti, johtokyky, väri sekä Ca-kovuus (taulukko 1)

Evon alueelta Lammilta koottiin 28 järven kalastotiedot ja tiedot veden ominaisuuksista (taulukko 2). Järvet kuuluvat Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen sekä Helsingin yliopiston Lammin biologisen aseman tutkimusohjelmiin (mm. PRUUKI ym. 1983, PRUUKI 1984, SALONEN ym. 1984, RASK ym. 1985).

Lisäksi valittiin Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen 1960-luvulla suorittaman pienten vesien kalataloudellisen hyväksikäytön tutkimuksen (mm. TOIVONEN ym. 1964, TUUNAINEN 1970, SUMARI 1971) järviaineistosta 26 järveä (kuva 1), joista otettiin ja analysoitiin vesinäytteet (taulukko 3) mahdollisen happamoitumisen toteamiseksi.

2.2 RAPUTUTKIMUKSET

Rapukannan koon ja rakenteen selvittämiseksi koeravustettiin neljä happamoituvaa järveä läntisellä Uudellamaalla. Järvet olivat Fårsjö, Sågsjö (= Sahajärvi) ja Flacksjö Pohjan kunnassa sekä Långträsket (Hylta) Tenhossa. Järvien vedenlaatutiedot on esitetty taulukossa 1.

Alkuperäisen suunniteman mukaan järvissä piti suorittaa merkintä-takaisinpyynti kahden viiko välein, mutta saaliiden pienuuden takia uusintaravustus (takaisinpyynti) suoritettiin vain kahdessa järvestä (Fårsjö ja Sågsjö). Koeravustukset tehtiin 16. - 20.9 ja 30.9 - 4.10.1985. Kussakin järvestä ravustettiin 125 - 300 merralla. Merrat olivat 7 mm:n havaksesta tehtyjä putkimertoja, "Evo-mertoja" (WESTMAN ym. 1979). Ne laskettiin pyyntiin

Taulukko 1. Veden ominaisuudet vuonna 1985 koekalastetuissa ja -ravustetuissa järviissä.

JÄRVEN NIMI	KUNTA	KOORDINAATIT	PVM	pH	ALKALIT., mmol/l	SÄHK.JOHT., mS/m	VARI, mg Pt/l	Ca-KOV., mmol/l
Flacksjö	Pohja	2-666920-47230	13.05.85	5,9	0,06	3,7	10	
Färsjö	Pohja	2-666850-47050	19.07.83	7,0	0,04	3,7	20	
Hauklampi	Espoo	2-668962-53385	07.06.85	4,8	0,02	3,5	0	0,03
Hirvilampi	Ylämaa	3-673314-55031	01.07.85	5,3		3,2	5	0,05
Häkläjärvi	Espoo	2-668712-53654	29.05.85	5,1	0,03	3,0	3	0,05
Häkläjärvi	Espoo	2-668712-53654	03.06.85	5,0	0,03	3,3	5	0,04
Iso Hanhijärvi	Orivesi	2-685470-51501	16.07.85	5,0	0,03	2,9	50	0,04
Iso Koukujärvi	Myrskylä	3-672703-43437	30.07.85	5,9	0,05	3,4	15	0,05
Iso Lehmälampi	Vihti	2-669270-53330	03.06.85	4,8	0,02	3,5	5	0,03
Iso Lehmälampi	Vihti	2-669270-53330	27.05.85	4,7	0,02	2,6	5	0,03
Iso Majaslampi	Espoo	2-668990-53300	06.06.85	4,8	0,02	3,0	0	0,02
Iso-Simi	Pohja	2-667346-47541	27.06.85	5,6	0,04	3,2	30	0,05
Kaitalampi	Espoo	2-668994-53674	10.06.85	5,4	0,03	4,3	20	0,05
Kakkinen	Liekka	4-706168-49752	10.07.85	4,8	0,02	1,5	5	0,01
Kakkinen	Liekka	4-706168-49752	09.07.85	4,8	0,01	1,6	5	0,02
Kankaantakunen	Kuhmoinen	2-683441-55972	16.07.85	6,0	0,06	2,9	50	0,04
Kattilajärvi	Espoo	2-668794-53424	03.06.85	5,8	0,04	4,6	10	0,04
Kattilajärvi	Espoo	2-668794-53424	26.06.85	6,1	0,05	3,5	20	0,06
Keidaslammi	Parkano	2-688021-43474	17.07.85	4,4		2,5	20	0,01
Kiiskilampi	Uurainen	3-693746-42732	19.07.85	4,9	0,02	1,5	5	0,03
Kotilampi	Ylämaa	3-673550-55111	30.07.85	6,7	0,13	4,1	40	0,10
Lilla Tregren	Pohja	2-667304-47295	27.06.85	5,4	0,04	2,8	30	0,05
Långträsket	Tenhola	2-665389-46316	27.06.85	5,9	0,05	3,9	25	0,06
Melalampi	Sotkamo	4-708493-44437	12.07.85	5,1	0,03	1,6	40	0,03
Melalampi	Liekka	4-704264-51628	09.07.85	5,9	0,05	1,3	40	0,02
Munajärvi	Tenhola	2-666970-46118	27.06.95	4,7	0,01	3,0	25	0,05
Myllyjärvi	Espoo	2-668585-53644	10.06.85	6,5	0,09	4,4	50	

Jatkuu...

Taulukko 1. Jatkoa

JÄRVEN NIMI	KUNTA	KOORDINAATIT	PVM	pH	ALKALIT., mmol/l	SÄHK.JOHT., mS/m	VÄRI, mg Pt/l	Ca-KOV., mmol/l
Mäkilampi	Ylämaa	3-673661-54831	03.07.85	5,2		2,8	10	0,05
Örajärvi	Espoo	2-668852-53265	05.06.85	4,8	0,02	2,9	0	0,03
Pieni Lehmälampi	Vihti	2-669286-53292	27.05.85	4,7	0,02	2,6	5	0,03
Pieni Lehmälampi	Vihti	2-669286-53292	03.06.85	4,6	0,01	3,1	10	0,03
Pieni-Löytönen	Savitaipale	3-677630-51208	04.07.85	5,1		1,3	10	0,00
Pitkäjärvi (Kelkkala)	Tenhola	2-666882-46148	27.06.85	5,7	0,03	2,7	5	0,03
Pitkäjärvi (Krailla)	Tenhola	2-666520-44834	27.06.85	5,7				
Pitkälampi	Nokia	2-682397-47220	15.07.85	5,1	0,03	2,8	40	0,05
Ruokejärvi	Nokia	2-682402-47271	15.07.85	5,1	0,04	3,0	40	0,05
Ruuhijärvi	Espoo	2-668925-53160	26.06.85	5,2	0,03	2,9	15	0,03
Saaren Musta	Vihti	2-669256-53378	10.06.85	4,7	0,01	3,2	35	0,04
Saarijärvi	Vihti/Espoo	2-669096-53351	03.06.85	5,6	0,04	3,4	10	0,06
Saarijärvi	Vihti/Espoo	2-669096-53351	29.05.85	5,7	0,04	4,1	3	0,05
Sahajärvi	Pohja	2-666909-46900	27.06.85	6,1	0,04	2,6	5	0,05
Sarkkinen	Vihti	2-669083-53257	10.06.85	4,6	0,01	2,4	40	0,05
Siikajärvi	Orivesi	2-685584-51112	15.07.85	5,2	0,03	2,3	15	0,03
Sorvalampi	Espoo	2-668724-53616	30.05.85	5,3	0,04	3,0	0	0,05
Sorvalampi	Espoo	2-668724-53616	03.06.85	5,4	0,04	3,4	10	0,05
Suolikas	Vihti	2-669100-53200	10.06.85	4,8	0,02	2,9	25	0,05
Suo-Valkeinen	Rautavaara	3-705369-55375	11.05.85	5,0	0,03	1,3	0	0,02
Uakkoi	Vihti	2-669214-53338	10.06.85	5,1	0,03	3,2	15	0,05
Valkeinen	Keuruu	2-691100-52110	18.07.85	5,8	0,05	2,8	5	0,03
Valkjärvi	Ylämaa	3-673739-56160	30.07.85	5,8	0,04	2,5	15	0,05
Vitsjön (Björknäs)	Tenhola	2-664790-46000	27.06.85	5,4	0,04	3,8	35	0,06
Vitsjön (Sputsböle)	Tenhola	2-665032-46196	27.06.85	6,4	0,06	4,0	10	0,06
Vuorilampi	Ylämaa	3-673604-55029	02.07.85	5,6		3,4	5	0,05

Taulukko 2. Veden ominaisuudet 28 Evon metsäjärnessä. Mittaukset ovat viiden näytteenottokerran keskiarvoja vuodelta 1985. pH-CO₂ = pH-mittaus, kun näytettä on ensin kuplitettu N₂:lla 7 min CO₂:n poistamiseksi.

Järvi	Ala ha	Max.syv. m	Val.al. ha	pH	pH- CO ₂	Alk. mmol/l	Väri mgPt/l	Johtok. mS/m
Haarajärvi	12,1	14	57	6,3	7,2	0,09	137	3,6
Sorsajärvi	5,0	13	115	6,0	7,1	0,07	196	3,8
Savijärvi	16,6	12	154	5,9	7,0	0,06	220	3,9
Rahtijärvi	13,2	13	99	6,0	7,1	0,07	227	3,9
Haukilampi	2,3	8	906	5,9	7,0	0,09	215	4,8
Pitkäniemenjärvi	14,4	10	112	6,1	7,3	0,09	197	4,4
Ylinen Rautjärvi	37,0	12	175	6,4	7,5	0,12	187	4,1
Keskinen Rautjärvi	14,9	6	42	6,4	7,5	0,10	159	4,3
Alinen Rautjärvi	45,0	12	1007	6,3	7,4	0,15	171	4,2
Nimetön	0,4	11	37	5,7	6,8	0,07	218	4,0
Tavilampi	0,8	7	12	5,5	6,5	0,04	120	3,2
Karhujärvi	0,8	8	23	4,4	4,4	-0,04	300	4,3
Haarajärven Valkj.	3,5	12	45	5,9	6,9	0,05	90	3,3
Horkkajärvi	1,1	12	36	5,4	6,4	0,04	250	4,3
Rieskalampi	2,5	4	31	5,5	6,2	0,05	338	4,3
Möläkkä	0,9	15	22	4,7	5,3	-0,01	206	4,5
Kylökäs	2,7	4,5	50	5,8	6,9	0,07	215	3,8
Valkea Mustajärvi	13,9	10	41	6,5	7,4	0,06	46	2,6
Alinen Mustajärvi	0,7	6	19	5,3	6,5	0,04	93	2,1
Iso Valkjärvi	4,2	8	17	5,1	5,8	0,00	48	1,8
Vähä Valkjärvi	2,3	4	24	4,5	4,9	-0,03	17	2,5
Syrjänalunen	0,9	8	28	6,3	7,8	0,19	12	6,2
Huhmari	1,6	8	21	6,3	7,5	0,13	135	5,2
Särkijärvi	1,8	3	33	6,2	7,4	0,13	144	5,3
Mekkojärvi	0,3	3,5	7	5,5	6,9	0,11	360	4,5
Etu-Killo	0,8	10	7	6,2	7,4	0,08	70	1,8
Keski-Killo	2,0	5	6	5,9	7,0	0,04	35	1,3
Taka-Killo	4,4	12	53	6,2	7,2	0,06	30	2,5

Taulukko 3. Veden ominaisuudet Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen pienten vesien kalat-
taloudellisen hyväksikäytön tutkimuksesta tähän työhön valituissa järvissä.

JÄRVEN NIMI	KUNTA	KOORDINAATIT	PVM	pH	ALKALIT., mmol/l	SÄHK.JOHT., mS/m	VARI, mg Pt/l	Ca-KOV., mmol/l
Abborreträsk	Pohja	2-666977-46866	22.08.85	4,6	0,01	2,8	15	0,03
Ahvenjärvi	Tenhola	2-666914-46310	27.06.85	4,9	0,02	2,7	5	0,02
Ala-Kalmo	Kontiolahti	4-699243-48938	06.08.85	6,7	0,09	2,1	30	0,05
Einarinlampi	Tuusniemi	3-695427-57432	07.07.85	6,9	0,15	4,2	40	0,11
Haukilampi	Kontiolahti	4-699288-49008	06.08.85	6,9	0,22	3,8	40	0,12
Haukkalampi	Toivakka	3-688404-43950	12.08.85	6,6	0,08	2,5	25	0,05
Hirvijärvi	Sippola	3-674714-51917	20.08.85	6,0	0,05	3,1	25	0,06
Huhtlampi	Rautalampi	3-694432-49672	13.08.85	7,2	0,23	4,6	30	0,11
Kaakkuri	Kontiolahti	4-699400-48954	06.08.85	6,9	0,20	3,3	25	0,11
Kaitalampi	Paltamo	3-714725-54858	27.08.85	6,5	0,19	3,6	140	0,08
Kivi-Ahveroinen	Utajärvi	3-716576-47364	27.08.85	6,8	0,12	1,6	13	0,03
Koirajärvi	Toivakka	3-688684-44205	12.08.85	6,6	0,10	3,0	40	0,06
Konijärvi	Kuhmoinen	2-684577-55606	22.07.85	6,7	0,09	3,3	20	0,07
Kyynijärvi	Nokia	2-682180-47435	23.07.85	7,2	0,54	10,9	120	0,20
Norrjäälträsk	Pohja	2-666942-46878	22.08.85	5,6	0,05	2,1	30	0,03
Pyykkölänlampi	Kajaanin mlk	3-713234-52550	27.08.85	6,7	0,09	2,5	10	0,04
Riihijärvi	Luumäki	3-675556-54800	19.08.85	5,5	0,03	2,7	15	0,05
Saarinen	Utajärvi	3-716512-47422	27.08.85	6,5	0,06	1,2	10	0,02
Salmiinen	Utajärvi	3-716484-47400	27.08.85	6,6	0,07	1,2	10	0,03
Sipulijärvi	Tenhola	2-666969-46314	27.06.85	5,8	0,05	2,3	5	0,05
Sorvijärvi	Vammala	2-681410-44641	23.07.85	6,4	0,07	3,2	25	0,05
Soutlampi	Lemi	3-677739-54836	19.08.85	5,0	0,03	3,7	120	0,08
Suurlampi	Taipalsaari	3-678134-55908	19.08.85	5,4	0,03	1,9	15	0,05
Vaikkeinen	Jäppilä	3-691747-53081	13.08.85	6,8	0,14	3,1	30	0,07
Vihkijärvi	Padasjoki	2-679664-56243	22.07.85	6,1	0,09	3,2	120	0,07
Väänälampi	Jäppilä	3-691820-52967	13.08.85	6,6	0,10	3,1	45	0,07

rantaviivan tuntumaan 5 m:n välein selkäsiimaan kiinnitettyinä. Merrat laskettiin ennen iltahämärää ja nostettiin seuraavana aamuna. Syöttinä käytettiin pakastettua särkeä.

Ravuista mitattiin selkäkilven pituus, määritettiin sukupuoli, naaraiden lisääntymisvalmius (limarauhasten kehitysvaihe), kuoren kovuus, tehtiin havainnot saksi- ja kuorivaurioista sekä taudeista ja loisista. Ravut merkittiin leikkaamalla niiltä äärimmäisen vasemman uropodin viimeinen jaoke, ja sen jälkeen ne laskettiin takaisin pyyntipaikalle.

Hemolymfanäytteiden ottoa varten toisella ravustuskeralla Fårsjöstä (pH n. 6) pyydettyjä rapuja (9 naarasta ja 11 koirasta) sumputettiin yksilöllisissä sumpuissa yli yön. Näytteet (0,7 ml/rapu) otettiin aamulla. Vertailunäytteen saamiseksi läheisestä Slickolammista (pH n. 7) pyydettiin ja sumputettiin vastaava määrä rapuja. Hemolymfanäytteistä määritettiin kokonaisvalkuaisaine-, glukoosi-, laktaatti-, Cl^- -, K^+ -, Na^+ -, Ca^{++} -, Mg^{++} - ja Cu^{++} -pitoisuudet.

2.3. KOKEELLISET TUTKIMUKSET

2.3.1. HAPPAMUUDEN VAIKUTUS ALUMIININ AKUUTTIIN MYRKYLLISYYTEEN

Akuutin myrkyllisyyden kokeet tehtiin Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen Itä-Suomen keskuskalanviljelylaitoksella loka-marraskuussa. Koekaloina olivat luonnonravintolammikossa kasvatetut yksikesäiset planktonsiiat, joiden paino oli $4,4 \pm 0,1$ g ja pituus $9,5 \pm 0,1$ cm (keskiarvo \pm SE, n = 120).

Testatut, nimelliset alumiinipitoisuudet olivat pH:ssa 4,5: 0, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,6 0,8 ja 1,0 mg/l ja pH:ssa 5,0: 0, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, ja 1,0 mg/l. Kokeet tehtiin 10 °C:ssa semistaattisina; 80 % testiliuksesta vaihdettiin kerran vuorokaudessa. Kaloja oli 10 kpl jokaisessa akvaariossa. Kuolleiden kalojen määrät kirjattiin aina 24 tunnin välein 10 vuorokauden ajan.

Kunkin havaintovuorokauden LC50-arvot laskettiin probit-analyysillä (FINNEY 1971) tai epälineaarilla interpoloinnilla. LC50-arvojen perusteella laadittiin toksisuuskäyrät alumiinipitoisuus abskissana ja 50 %:n kuolemiseen kulunut aika oordinaattana. Toksisuuskäyriltä voidaan lukea kynnyks-LC50-arvo (incipient LC50), jossa akuutti kuoleminen lakkaa (SPRAGUE 1969). pH:n 4,5 ja 5,0 LC50-arvoja eri havaintoaikoina verrattiin parittaisella t-testillä.

2.3.2. HAPPAMUUDEN JA ALUMIININ PITKÄAIKAISVAIKUTUS EMOSIIKIOIHIN

Koe tehtiin Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen Itä-Suomen keskuskalanviljelylaitoksella Paasivedestä kesäkuun alussa 1985 pyydetyillä vaellussiioilla. Kokeen alussa kalojen paino oli 108 ± 9 g ja pituus $23,9 \pm 0,1$ cm (keskiarvo \pm SE, n = 62).

Altistus aloitettiin 29.7. ja lopettiin 5.12.1985. Altistusryhmät olivat: "pH 6" (pH 5,9; vaihteluväli 5,5 - 7,2), "pH 5" (pH 5,0; vaihteluväli 4,1 - 7,2), "pH 6 + Al" (pH 5,9; vaihteluväli 5,5 - 7,0 ja alumiinia lisätty 0,1 mg/l) ja "pH 5 + Al" (pH 5,0; vaihteluväli 4,0 - 7,2 ja alumiinia lisätty 0,1 mg/l). Ilmoitetut pH:t ovat keskiarvoja päivien minimi- ja maksimivetyionikonsentraatioista.

Kalat lypsettiin 7. - 17.11. ja mäti hedelmöitettiin. Jokaisen naaraan mäti käsiteltiin erikseen. Hedelmöittämättömästä mädistä otettiin näytteet munien koon ja vesipitoisuuden määrittämiseksi. Mäti pantiin hautoutumaan pieniin lasisuppiloihin. Mätieristä otettiin näytteet hedelmöityneiden munien osuuden määrittämiseksi.

Noin kaksi viikkoa viimeisestä lypsykerrasta, 3. - 5.12., siioista otettiin näytteet. Verinäytteestä määritettiin hematokriittiarvo (Hkr) ja hemoglobiinipitoisuus (Hb), ja keskiarvohemoglobiinipitoisuus (MCHC) laskettiin. Plasma pakastettiin myöhempää analysointia varten (Ca^{++} -, Mg^{++} -, Na^+ -, K^+ -, Cl^- - ja proteiinipitoisuus).

Kalojen paino ja pituus mitattiin. Kalojen maksa, lypsetyihin naaraisiin jäljelle jäänyt mäti sekä koiraiden testikset punnittiin. Jäännösmädin, maksan (LSI) ja testisten (GSI) suhteelliset painot laskettiin. Lihasnäytteestä määritettiin vesipitoisuus. Histologiset näytteet otettiin osasta kaloja kiduksesta, maksasta ja gonadeista.

Ryhmiä välisten erojen tilastollista merkitsevyyttä testattiin yksisuuntaisella varianssianalyysillä (***) = $P < 0,001$, ** = $P < 0,01$, * = $P < 0,05$, o = $P < 0,1$ ja NS = $P > 0,1$).

3. TULOKSET

3.1. KALAKANTATUTKIMUKSET

3.1.1. KALAKANTOJEN YLEISKUVA TUTKITUISSA JÄRVISSÄ

Koekalastuksissa kesällä 1985 tavattiin 44 järvessä yhteensä 10 kalalajia. Ahven kuului 42:n, kiiski 20:n, hauki 17:n, särki 11:n ja siika (useimmiten istutettu) 10:n järven kalastoon. Taulukossa 4 on esitetty saaliiden yksilömäärät ja painot kalalajeittain. Evon alueen 28 järven kalalajien kokonaismäärä on 15 (taulukko 5). Niissä Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen pienten vesien tutkimukseen kuuluneissa järvissä, joita tutkitaan tämän työn yhteydessä, esiintyi 1960-luvun alussa yhteensä 12 kalalajia (taulukko 6).

Kun otetaan huomioon Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen pienten vesien tutkimuksen kaikki koejärvet sekä tässä tutkimuksessa 1985 tuotettu tai järjestetty aineisto (yhteensä 171 järveä) sekä ryhmitellään järvet pH-luokkiin kuvan 2 mukaisesti, voidaan viidestä yleisimmästä lajista todeta, että ahven kuuluu lähes kaikkien järvien kalastoon niiden happamuudesta riippumatta. Myös haukea ja kiiskeä tavataan happamimmissakin järvissä (pH < 5,0), mutta särki ja made ovat yleisiä vasta kun veden pH on 5,5 - 6,0.

Taulukko 4. Keskimääräinen saalis verkkosarjakertaa kohti kalalajeittain vuonna 1985 koe-
kalastetuissa järvissä (+ = lajia on saatu satunnaisesti koekalastuksissa).

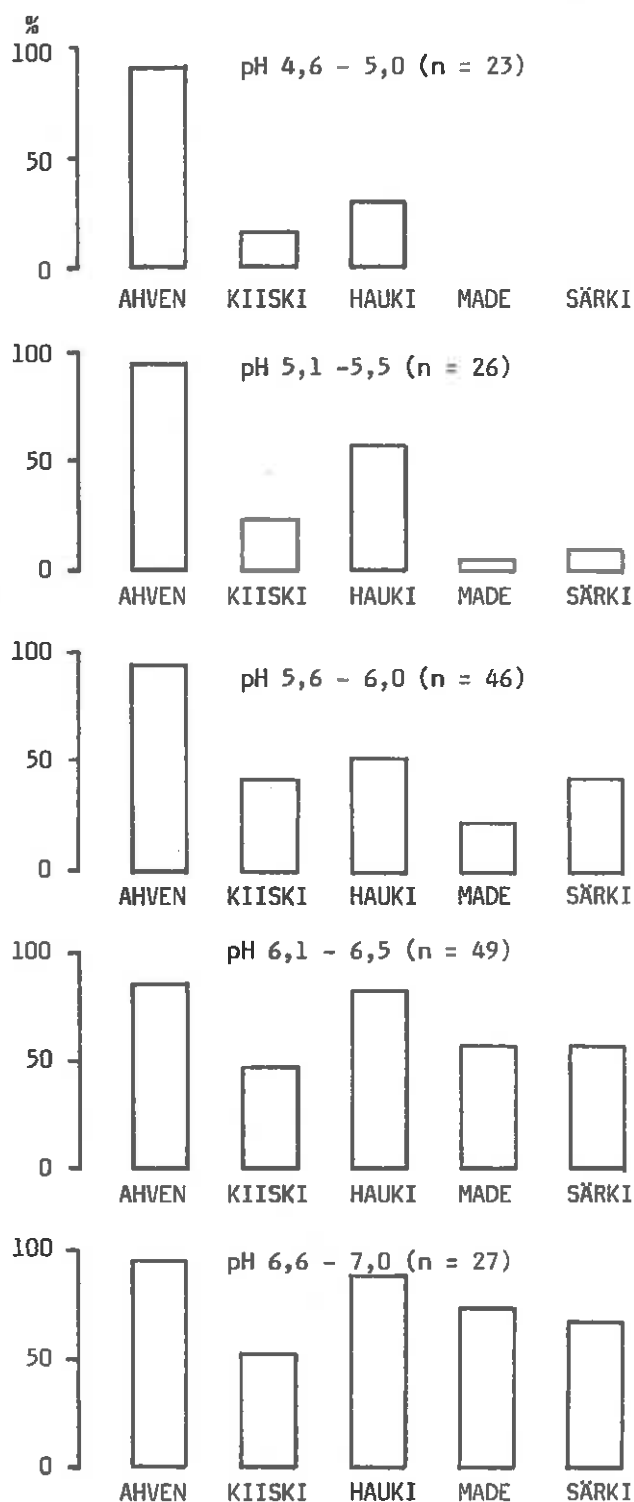
JÄRVEN NIMI	PVM	AHVEN kg/kpl	KIISKI kg/kpl	KUHA kg/kpl	HAUKI kg/kpl	SARKI kg/kpl	SORVA kg/kpl	LAHNA kg/kpl	SIIKA kg/kpl	MUIKKU kg/kpl	TAIMEN kg/kpl
Hauklampi	07.06.85	3,878/28									
Härvilampi	01.07.85	4,174/183									
Häkijärvi	29.05.85	1,160/25									
Iso Hanhijärvi	16.07.85	,497/8	,067/6		,686/2						
Iso Koukijärvi	30.07.85	6,934/349	,071/5			6,567/77		1,707/2	,859/3		
Iso Lehmälampi											
Iso Majaslampi	06.06.85	,583/1									
Iso-Simi		2,195/43	,181/12			+			,801/3	,470/27	+
Kaitalampi (E)	10.06.85	2,966/145	,083/6								
Kakkinen	10.07.85	1,849/45									
Kankaantakunen	16.07.85	3,928/178	,030/3			,803/73		,696/3			
Kattilajärvi		4,986/271	,106/9		1,678/2	3,798/86	+				
Keidaslammi	17.07.85	2,974/105									
Kiiskilampi	19.07.85	,363/20									
Kotilampi	30.07.85	7,715/684									
Lilla Tregren	27.06.85	5,840/166	,104/7								
Långträsket											
Matojärvi	12.07.85	5,013/118									
Melalampi	09.07.85	5,774/									
Munajärvi	14.06.85	1,758/4									
Myllyjärvi	10.06.85	3,865/217									
Mäkilampi	03.07.85	18,052/867									
Orajärvi	05.06.85	31,809/98									
Pieni Lehmälampi	27.05.85	12,151/121									
Pieni-Löytönen	04.07.85	2,885/153									
Pitkäjärvi (Kaikkala)	13.06.85	1,867/69	,093/9			,118/1			,160/1		
Pitkäjärvi (Kraile)	27.06.85	6,666/307	,087/11		,984/1						

Taulukko 4. Jatkoa

JÄRVEN NIMI	PVM	AHVEN kg/kpl	KIISKI kg/kpl	KUHA kg/kpl	HAUKI kg/kpl	SÄRKI kg/kpl	SORVA kg/kpl	LAHNA kg/kpl	SIIKA kg/kpl	MUIKKU kg/kpl	TÄIMEN kg/kpl
Pitkälampi	19.07.85	5,957/264			3,313/4	5,409/16					
Ruokejärvi	15.07.85	1,584/44	,048/4		1,072/4						
Ruuhijärvi	26.06.85	7,071/184	,496/17		1,143/3						
Saaren Musta	10.06.85	5,556/45									
Saarijärvi		6,286/186	1,780/93		+	4,595/113			,710/7		
Sahajärvi	27.06.85	3,625/105	,336/34		,188/1				6,230/15		
Sarkkinen	10.06.85	1,259/6			1,023/10						
Siikajärvi		7,118/267	1,770/125						3,687/16		
Sorvalampi	30.05.85	,071/4									
Suolikas	10.06.85	6,658/172	,014/1								
Suo-Valkeinen	11.05.85	5,555/276			,340/1						
Vaakkoi	10.06.85	,620/19	,032/1								
Valkeinen (K)	18.07.85	6,621/212							,671/19		1,212/1
Valkjärvi		4,068/150	,483/56		+				4,582/11		
Vitsjön (Björknäs)	27.06.85	14,703/218							,647/1		
Vitsjön (Spjutsböle)	12.06.85	5,008/226	,313/38								
Vuorilampi	02.07.85	4,474/180			,494/1	11,017/144					

Taulukko 6. Koekalastusten keski-saalien verkkoarjakertaa kohti (kg/kpl) v. 1961 järvistä, jotka kuuluvat Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen pienten vesien kalataloudellisen hyväksikäytön tutkimukseen 1960-luvulla. Satunnaisesti saadut lajit on merkitty +:lla.

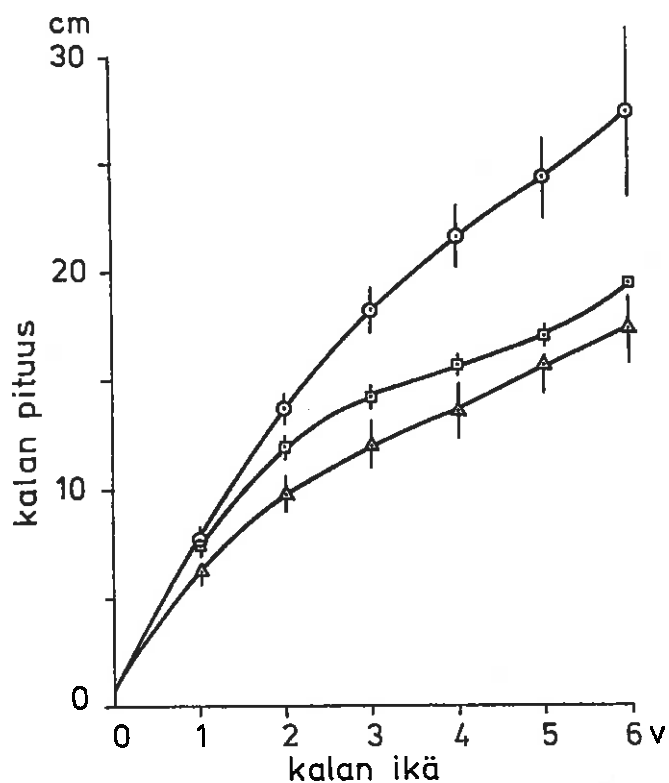
Järvi	ahven	kiiski	hauki	made	särki	sorva	salakka	lahna	mutu	silke	nielviä	taimen
Ala-Kalmo	0,1/1									1,5/1		
Einarinlampi	0,4/23		0,4/1		1,3/32			0,2/1				
Haukilampi	0,7/4									3,9/4		
Haukkalampi	6,4/102	0,8/11								0,1/1		0,1/1
Hirvi-järvi	0,7/32		0,9/1		0,5/13							
Huhtilampi	2,7/144	1,0/43	+	+	1,0/39							
Keakkuri	0,8/8									7,9/20		
Kaitalampi	1,6/37		0,2/1									
Kivi-Auveroinen	3,4/202											
Koirajärvi	3,0/53	0,7/42		+	1,2/6					+		+
Koni-järvi	1,8/72	0,1/8	+		0,6/6					1,2/3		
Kyyni-järvi	0,2/7	+	0,5/1									
Pyykkölänlampi	1,6/102											
Riini-järvi	0,8/14		0,8/1									
Searinen	1,4/46											
Salmiinen	4,5/120											
Sorvi-järvi	1,0/33		0,6/1			0,4/3						
Soutlampi	1,1/38											
Suurlampi	1,3/56		1,1/2									
Valkeinen	1,4/38		0,4/1	0,2/1	1,1/41							0,2/1
Vihki-järvi	2,5/74			0,3/1								
Väärälampi	0,4/21	0,5/30	0,1/1	+	1,1/61							0,1/4



Kuva 2. Viiden yleisimmän kalalajin esiintyminen pH:n mukaan ryhmitellyissä pikkujärvissä (n = 171). Pylväät kuvaavat niiden järvien suhteellista osuutta, joissa mainittua kalalajia on tavattu.

3.1.2. HAVAITUT MUUTOKSET KALAKANNOISSA

Koekalastusten perusteella kalakannat useissa etelärannikolla sijaitsevista happamoituneista järvissä ovat heikot. Tällaisia järviä ovat mm. Espoon Hauklampi ja Iso Majaslampi, Vihdin Iso Lehmälampi ja Saaren Musta sekä Tenholan Munajärvi. Näissä järvissä koekalastuksen saalis oli pääasiassa ahvenia, joiden yksilömäärä oli pieni, mutta keskikoko suuri. Kasvunmääritysten mukaan ahvenen kasvu oli näissä järvissä nopeampaa kuin neutraaleissa järvissä (kuva 3).



Kuva 3. Ahvenen keskimääräinen kasvu (keskiarvo \pm SE) happamuuden mukaan luokitelluissa järvissä. Voimakkaasti happamoituneet järvet (pH < 5, n = 6) on esitetty ympyröillä, lievästi happamoituneet (pH 5 - 6, n = 5) neliöillä ja "normaalit" (pH > 6, n = 4) kolmioilla.

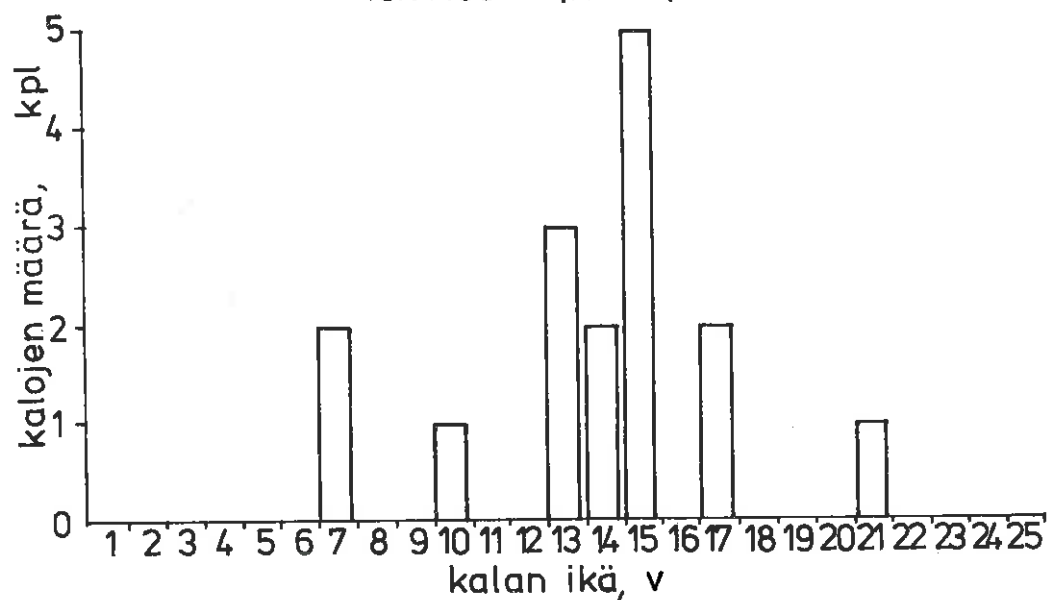
Länsi-Uudellamaalla sijaitsevien Kelkkalan Pitkäjärven ja Iso-Simin vähäinen särkisaalis sekä järvillä pitkään kalastaneiden maininnat särjen vähenemisestä saattaisivat viitata happamoitumiseen. Samoin saattaa olla laita Nokialla sijaitsevan Pitkälammien, josta saadut särjet olivat kookkaita ja vanhoja. Kalojen keskipaino oli 338 g ja nuorin ikäryhmä 7 v. Pitkälammien (pH 5,1) särjen ikäjakautuma on tyypillinen taantuvalle kannalle (kuva 4). Lieksan Melalammen (pH 5,9) särkisaalis, paljon ja enimmäkseen nuorta kalaa, on puolestaan esimerkki runsaasta kannasta (kuva 4).

3.2. RAPUTUTKIMUKSET

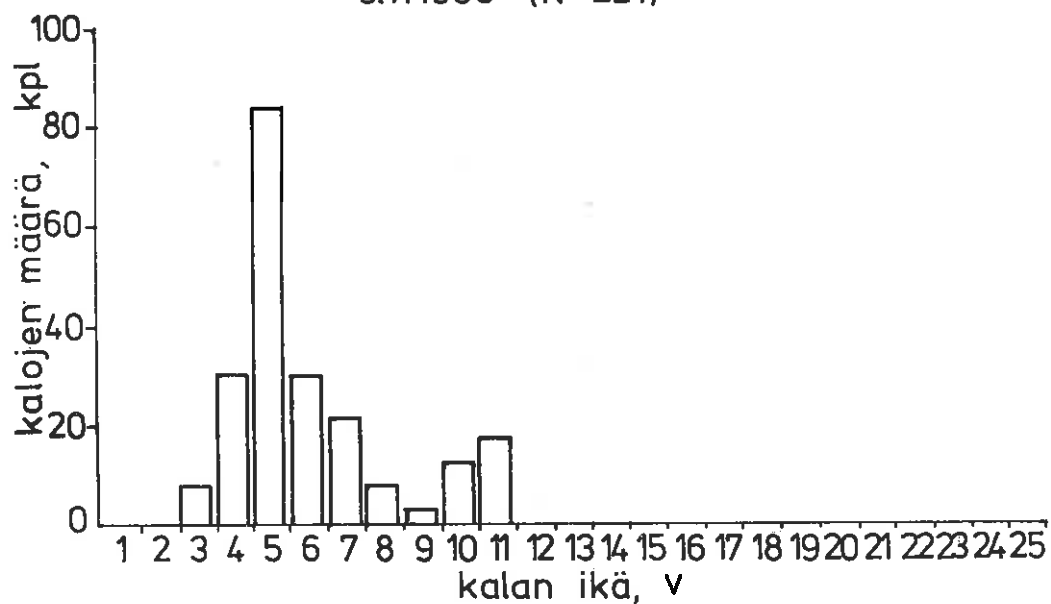
Taulukossa 7 on esitetty koeravustusten saalis ja siitä tehdyt havainnot. Vain Fårsjön rapusaaliita voidaan pitää riittävän suurina kannan koon arvioimiseksi merkintä-takaisinpyyntimenetelmällä. Mertaan menevien rapujen (pituus > 7 cm) kokonaismääräksi pyyntialueella saatiin 788 eli 0,53 rapua rantametriä kohti. Loisittuja tai sairaita rapuja ei havaittu yhdessäkään koaravustussaaliissa.

Fårsjöstä pyydettyjen rapujen hemolymfan koostumus ei poikennut merkitsevästi vertailujärvestä (Slickolammi) otetusta näytteestä (taulukko 8). Näytteenottohetkellä Fårsjön veden pH:ksi määritettiin n. 6 ja Slickolammen n. 7. Vertailuun paremmin soveltuvista järvistä Såg-sjöstä (pH n. 5,5) ja Långträsketistä (pH n. 5,5) saatu saalis oli kuitenkin liian pieni näyteryhmän muodostamiseksi.

Särjen ikäjakauma Nokian Pitkälammessa
19.7.1985 (N = 16)



Särjen ikäjakauma Lieksan Melalammessa
9.7.1985 (N=221)



Kuva 4. Särjen ikäjakauma Nokian Pitkälammessa (pH 5,1)
ja Lieksan Melalammessa (pH 5,9).

Taulukko 7. Koeravustussaaliit ja niistä tehdyt havainnot neljässä koejärvessä 1985.

Järvi	pvm	pyynti		yht. kpl	σ %	s %	saalis kpl/merta / yö	sk-pituus mm $\bar{X} \pm SE$	lisääntymis-valmius % %:sta	pehmeä kuorisia %	saksi- ja kuorivaurioisia %
		mertoja kpl	rantaa m								
Fårsjö	16.-18.9.	300	1 500	178	60,7	39,3	0,59	45,6 ± 0,5	54,4	14,4	17,4
	30.9.-2.10.	300	1 500	43	58,1	41,9	0,14	44,6 ± 1,2	33,3	0	11,6
Sågajö	18.-19.9.	150	750	11	36,4	63,4	0,04	49,9 ± 1,9	100	0	0
	1.-2.10.	175	875	5	40,0	60,0	0,03	53,2 ± 2,6	100	0	20,0
Långträsk	19.-20.9.	150	750	4	25,0	75,0	0,03	39,8 ± 3,1	66,6	0	25,0
Flacksjö	3.-4.10.	125	625	38	78,9	21,1	0,30	42,5 ± 0,9	78,8	0	18,4

Taulukko 8. Rapujen hemolymfa-analyysitulokset ($\bar{x} \pm SE$) Fårsjöstä ja Slickolammista pyydetyistä ravuista. Näytteiden lukumäärä on ilmoitettu suluissa.

	sk-pituus mm	glukoosi g/l	laktaatti g/l	proteiinit g/l	kupari mg/l	kloridi mekv/l	kalium mekv/l	natrium mekv/l	kalsium mekv/l	magnesium mekv/l
Fårsjö	51,8	0,039	0,069	45,8	72,1	240	3,82	212	21,7	6,42
σσ	±6,3	±0,007	±0,001	±2,3	±3,6	±3	±0,12	±2	±0,3	±0,22
	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)
	44,1	0,032	0,067	52,0	77,9	234	3,81	206	22,3	6,15
♀♀	±5,2	±0,010	±0,002	±8,6	±11,8	±2	±0,10	±3	±1,0	±0,32
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
Slickolampi	49,4	0,028	0,070	38,6	57,5	235	3,88	208	21,8	5,70
σσ	±2,2	±0,003	±0,002	±4,9	±7,5	±2	±0,10	±2	±0,6	±0,26
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	45,9	0,038	0,080	63,2	88,5	232	3,71	202	23,9	6,10
♀♀	±2,6	±0,009	±0,001	±5,0	±5,4	±2	±0,12	±2	±0,6	±0,18
	(9)	(9)	(9)	(9)	(8)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)

3.3. KOKEELLISET TUTKIMUKSET

3.3.1. HAPPAMUUDEN VAIKUTUS ALUMIININ AKUUTTIIN MYRKYLLISYYTEEN

Eri havaintoaikojen LC50-arvot 95 % luotettavuusrajoineen pH:ssa 4,5 ja 5,0 on esitetty taulukossa 9. Arvot poikkeavat erittäin merkittävästi toisistaan ($P < 0,001$). Alumiini oli pH:ssa 4,5 myrkyllisempää kuin pH:ssa 5,0: pH:ssa 4,5 saatiin 96 tunnin LC50-arvoksi 0,42 mg Al/l ja pH:ssa 5,0 vastaavasti 0,77 mg Al/l. Toksisuuskäyriltä saadaan kynnykset LC50-arvoiksi pH 4,5:ssä 0,4 mg Al/l ja pH 5,0:ssa 0,6 mg Al/l (kuva 5).

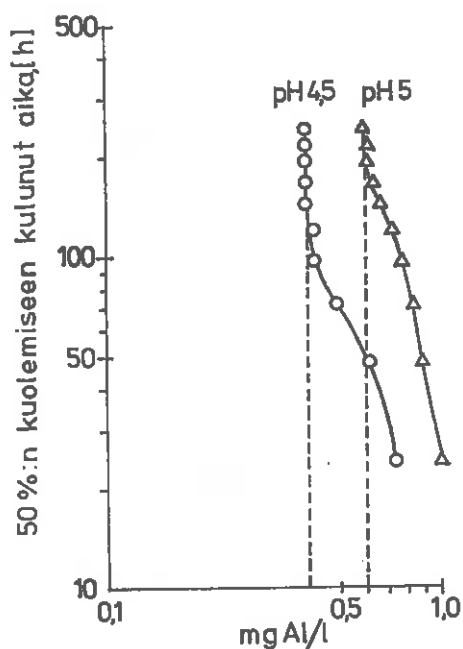
3.3.2. HAPPAMUUDEN JA ALUMIININ PITKÄAIKAISVAIKUTUS EMO-SIIKOKSIIN

Kalojen paino, pituus ja kuntokerroin altistuksen päätyttyä on esitetty taulukossa 10. Sekä alumiini kummassakin pH:ssa että pelkkä happamuus viivästyttivät siikojen kutuvalmiutta. Mäti oli juoksevaa ensimmäisenä ryhmässä "pH6" ja viimeisenä ryhmässä "pH 5 + Al" (kuva 6). Ryhmän "pH 6" kaloihin oli jäänyt vähiten mätiä ja ryhmän "pH 5 + Al" kaloihin eniten (kuva 7). Näytteenoton aikana, keskimäärin kolme viikkoa lypsyt jälkeen, ryhmän "pH 5 + Al" useilla koirailta oli vielä runsaasti maitia. Myös ryhmässä "pH 6 + Al" ja "pH 5" oli maitia muutamilla koirailta. Testisten suhteellinen paino (GSI) oli suurin ryhmässä "pH 5 + Al", toiseksi suurin ryhmässä "pH 6 + Al" ja pienin ryhmässä "pH 6"; erot olivat merkittävät ($P < 0,05$, kuva 8). Mätimunien koossa tai vesipitoisuudessa ei ollut merkittäviä eroja ryhmien välillä (taulukko 11).

Verisuureista koiraiden hematokriittiarvossa ja hemoglobiinipitoisuudessa sekä koiraiden ja naaraiden veren glukoosipitoisuudessa oli merkittävät erot ryhmien välillä (taulukko 12). Sekä naaraiden että koiraiden plasman Na^+ - ja Cl^- -pitoisuuksissa oli erittäin merkittävät erot

Taulukko 9. Alumiinin nominaaliset LC50-arvot 95 %:n luotettavuusväleineen 1-kesäisille siianpoikasille pH:ssa 4,5 ja 5,0 eri aikoina.

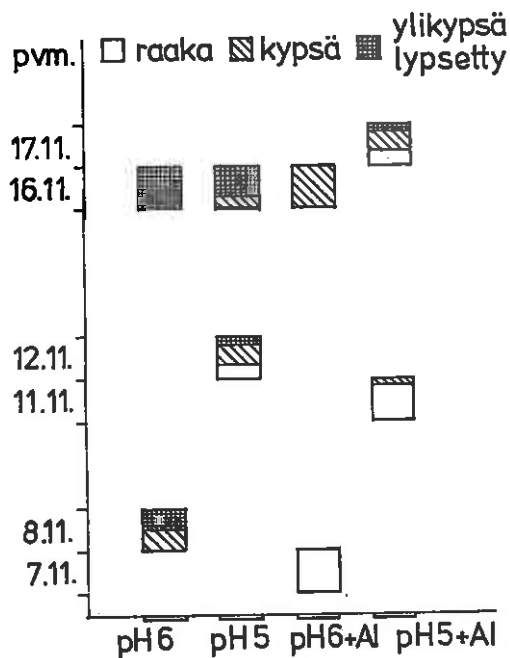
Aika h	pH 4,5		pH 5,0	
	LC50-arvo mg Al/l	95 %:n lv mg Al/l	LC50-arvo mg Al/l	95 %:n lv mg Al/l
24	0,73	0,60-1,00	1,00	0,90-2,27
48	0,62	0,40-0,80	0,88	0,78-1,04
72	0,49	0,40-0,60	0,83	0,74-0,92
96	0,42	0,30-0,60	0,77	0,68-0,85
120	0,42	0,20-0,60	0,72	0,62-0,82
144	0,40	0,20-0,60	0,67	0,55-0,80
168	0,40	0,20-0,60	0,63	0,51-0,74
192	0,40	0,20-0,60	0,61	0,49-0,72
216	0,40	0,20-0,60	0,61	0,49-0,72
240	0,40	0,20-0,60	0,58	0,46-0,70



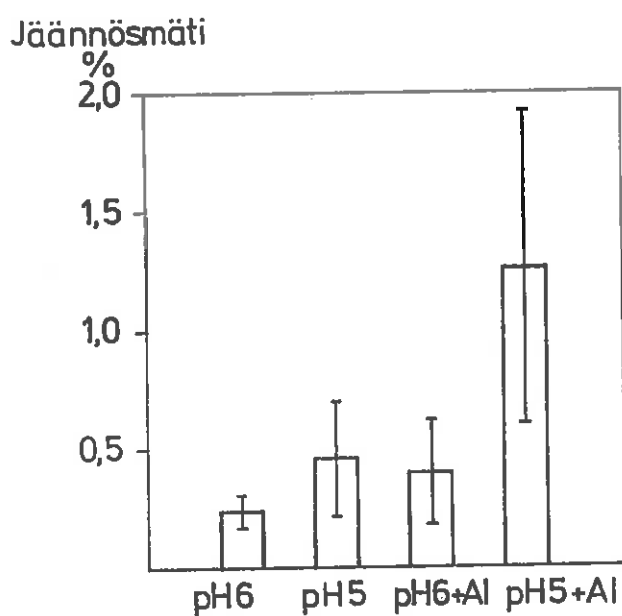
Kuva 5. Alumiinin akuutisti tappava myrkyllisyys (nominaaliset LC50-arvot) 1-kesäisille siianpoikasille pH:ssa 4,5 ja 5,0. Kynnys-LC50-arvot merkitty katkoviivalla.

Taulukko 10. Emosiikojen paino, pituus ja kuntokerroin (keskiarvo \pm SE) altistuksen päättyessä.

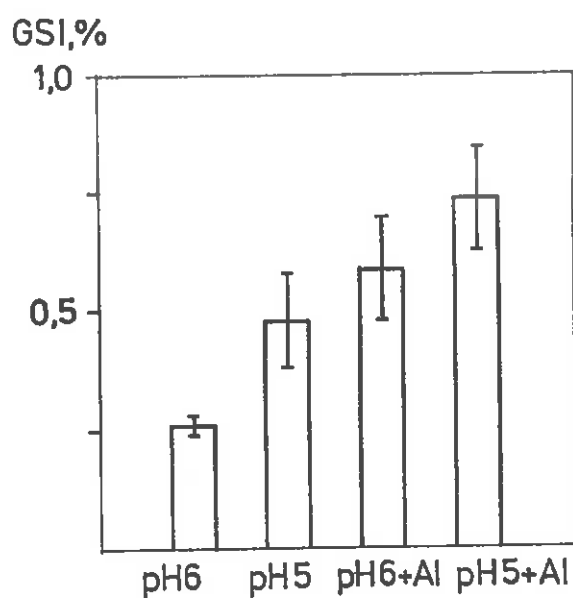
	pH6	pH5	pH6 + Al	pH5 + Al	P
<u>Naaraat</u>					
Pituus, cm	25,8 \pm 0,8	27,0 \pm 0,5	28,0 \pm 0,8	25,8 \pm 0,5	NS
Paino, g	156 \pm 16	172 \pm 11	200 \pm 21	148 \pm 9	NS
Kuntokerr.	0,88 \pm 0,02	0,86 \pm 0,02	0,89 \pm 0,03	0,85 \pm 0,02	NS
<u>Koiraat</u>					
Pituus, cm	25,6 \pm 0,7	26,5 \pm 0,5	27,1 \pm 0,7	26,7 \pm 0,5	NS
Paino, g	141 \pm 10	154 \pm 11	176 \pm 19	168 \pm 11	NS
Kuntokerr.	0,83 \pm 0,03	0,83 \pm 0,04	0,87 \pm 0,03	0,87 \pm 0,02	NS



Kuva 6. Siikanaaraiden mädin kypsyys eri lypsykerroilla.



Kuva 7. Siikanaaraisiin jääneen mädin paino suhteessa ruumiin painoon keskimäärin kolme viikkoa lypsyn jälkeen (keskiarvo \pm SE).



Kuva 8. Siikakoiraiden testisten paino suhteessa ruumiin painoon (GSI) keskimäärin kolme viikkoa lypsyn jälkeen (keskiarvo \pm SE).

Taulukko 11. Hedelmöittämättömien mätimunien painot ja vesipitoisuus (keskiarvo \pm SE).

	pH 6	pH 5	pH 6 + Al	pH 5 + Al	P
Märkápaino, mg	7,3 \pm 0,8	6,1 \pm 0,3	7,8 \pm 0,8	6,5 \pm 0,3	NS
Kuivapaino, mg	1,9 \pm 0,2	1,8 \pm 0,1	2,2 \pm 0,2	1,9 \pm 0,1	NS
Vesipit., %	72,7 \pm 1,3	70,6 \pm 0,3	71,2 \pm 0,9	71,3 \pm 0,4	NS

Taulukko 12. Emsiikojen veren hematokriittiarvo (Hkr) sekä hemoglobiini- (Hb), keskisoluhemoglobiini- (MCHC), glukoosi- ja laktaattipitoisuudet (keskiarvo \pm SE) altistuksen päättyessä.

	pH 6	pH 5	pH 6 + Al	pH 5 + Al	P
<u>Naaraat</u>					
Hkr	0,30 \pm 0,01	0,31 \pm 0,01	0,29 \pm 0,03	0,32 \pm 0,01	NS
Hb, g/l	73,6 \pm 2,3	73,8 \pm 2,1	71,1 \pm 4,8	75,1 \pm 1,1	NS
MCHC, g/l	242 \pm 3	242 \pm 3	246 \pm 8	237 \pm 3	NS
Gluk., g/l	0,70 \pm 0,03	0,73 \pm 0,04	0,77 \pm 0,07	2,22 \pm 0,42	***
Lakt., g/l	0,123 \pm 0,015	0,124 \pm 0,006	0,100 \pm 0,013	0,112 \pm 0,010	NS
<u>Koiraat</u>					
Hkr	0,34 \pm 0,01	0,34 \pm 0,01	0,36 \pm 0,01	0,37 \pm 0,01	*
Hb, g/l	80,7 \pm 1,7	79,7 \pm 3,4	84,8 \pm 2,9	89,3 \pm 3,3	o
MCHC, g/l	237 \pm 3	238 \pm 4	233 \pm 5	232 \pm 3	NS
Gluk., g/l	0,63 \pm 0,03	0,82 \pm 0,08	0,58 \pm 0,03	1,04 \pm 0,14	**
Lakt., g/l	0,069 \pm 0,008	0,095 \pm 0,009	0,100 \pm 0,021	0,075 \pm 0,008	NS

Taulukko 13. Emosiikojen plasman ionipitoisuudet sekä proteiinipitoisuus (keskiarvo \pm SE) altistuksen päättyessä.

	pH 6	pH 5	pH 6 + Al	pH 5 + Al	P
<u>Naaraat</u>					
Ca ⁺⁺ , mmol/l	5,91 \pm 0,68	5,24 \pm 0,53	4,60 \pm 0,17	4,32 \pm 0,37	NS
Mg ⁺⁺ , mmol/l	1,31 \pm 0,08	1,20 \pm 0,05	1,19 \pm 0,04	0,93	NS
Na ⁺ , mmol/l	159 \pm 2	152 \pm 1	156 \pm 2	132 \pm 4	***
K ⁺ , mmol/l	2,6 \pm 0,1	2,5 \pm 0,1	2,3 \pm 0,1	2,4 \pm 0,1	NS
Cl ⁻ , mmol/l	134 \pm 1	133 \pm 1	134 \pm 1	123 \pm 3	***
Prot., g/l	44,6 \pm 4,6	41,9 \pm 4,2	50,0 \pm 7,6	45,3 \pm 2,8	NS
<u>Koiraat</u>					
Ca ⁺⁺ , mmol/l	2,41 \pm 0,16	2,39 \pm 0,11	2,33 \pm 0,08	2,47 \pm 0,14	NS
Mg ⁺⁺ , mmol/l	0,93 \pm 0,04	0,99 \pm 0,05	0,95 \pm 0,05	1,02 \pm 0,05	NS
Na ⁺ , mmol/l	159 \pm 1	155 \pm 2	158 \pm 2	144 \pm 3	***
K ⁺ , mmol/l	2,3 \pm 0,1	2,4 \pm 0,1	2,4 \pm 0,1	2,3 \pm 0,1	NS
Cl ⁻ , mmol/l	132 \pm 1	133 \pm 2	135 \pm 1	123 \pm 2	***
Prot., g/l	38,4 \pm 3,3	40,6 \pm 1,9	38,6 \pm 2,3	44,3 \pm 2,8	NS

Taulukko 14. Emosiikojen lihaksen vesipitoisuus sekä maksan paino suhteessa kalan painoon (LSI) (keskiarvo \pm SE) altistuksen päättyessä.

	pH 6	pH 5	pH 6 + Al	pH 5 + Al	P
<u>Naaraat</u>					
Lihaksen vesipit., %	76,9 \pm 0,2	76,7 \pm 0,2	76,9 \pm 0,3	76,7 \pm 0,2	NS
LSI	1,41 \pm 0,06	1,38 \pm 0,09	1,32 \pm 0,08	1,33 \pm 0,07	NS
<u>Koiraat</u>					
Lihaksen vesipit., %	77,0 \pm 0,2	76,9 \pm 0,3	77,0 \pm 0,2	76,7 \pm 0,1	NS
LSI	1,38 \pm 0,09	1,10 \pm 0,07	1,26 \pm 0,13	1,40 \pm 0,17	NS

ryhmien välillä (taulukko 13). Pitoisuudet olivat pienimmät ryhmässä "pH 5 + Al". Naaraiden plasman kalsiumpitoisuudet pienenevät sekä happamuuden että alumiinin vaikutuksesta (taulukko 13). Lihaksen vesipitoisuudessa tai maksan suhteellisessa painossa ei ollut merkitseviä eroja ryhmien välillä (taulukko 14).

4. TULOSTEN TARKASTELU

4.1. KALANKANTATUTKIMUKSET

Kalalajien suhteellisen pieni määrä tutkituissa järvissä johtuu mm. järvien pienestä koosta ja karuudesta, reittijärvien pienestä osuudesta järvien joukossa, sekä järvien happamuudesta. Koekalastetuista 44 järvestä yksikään ei ollut kokonaan kalaton, mutta useissa järvissä happamoituminen näyttää vaikuttaneen kalastoon. Yksi koekalastuskerta ei tosin anna siitä luotettavaa kuvaa: jokin laji, esim. made, on voinut jäädä saamatta. Useat tutkimusjärvistä ovat kuitenkin niin pieniä (< 5 ha), että voimakkaampi koekalastus saattaisi vaikuttaa kalaston rakenteeseen. Kalojen hyvin nopea kasvu useissa etelärannikolla sijaitsevilla järvissä tukee koekalastuksista saatuja viitteitä kalakantojen harvenemisestä. Vastavia muutoksia happamoituneiden järvien kalojen kasvussa kantojen harvenemisen seurauksena on todettu myös eräissä Skandinaviassa ja Pohjois-Amerikassa tehdyissä tutkimuksissa (ALMER ym. 1974, RYAN ja HARVEY 1980). Syynä nopeutuneeseen kasvuun on jäljellä olevan kalaston parantuneet ravinnonsaantimahdollisuudet. Meillä ilmiö on aikaisemmin todettu Evolla sijaitsevassa luonnostaan happamassa Karhujärvessä, jota tutkittiin vuosina 1981 - 1984 (RASK ym. 1986). Kalojen kasvua nopeuttava kannan harveneminen voi johtua myös muista syistä kuin veden happamoitumisesta, esimerkiksi jostakin kalataudista.

Happamoitumisen jatkuessa harventuneet kalakannat voivat hävitä kokonaan. Ruotsissa ja Norjassa on tuhansia happamoitumisen vuoksi kalattomia järviä (mm. OVERREIN

ym. 1980). Suomen kalalajeista ahven, kiiski ja hauki sietävät siinä määrin happamia olosuhteita, että pystyvät tulemaan toimeen, ainakin heikentyneinä kantoina, pitkällekkin happamoituneissa vesissä (pH < 5). Särjen on puolestaan todettu olevan varsin herkkä happamoitumiselle (mm. ALMER ym. 1974). Sen vuoksi, erityisesti happamoitumisen alkuvaiheissa, jolloin järven pH vaihtelee välillä 5 - 6, se saattaa olla hyvä happamoitumisen osoittajalaji. Toisaalta, särki suosii reheviä vesiä eikä aina kuulu karujen, happamoitumiselle herkkien järvien lajistoon.

4.2. RAPUTUTKIMUKSET

Rapu häviää happamoituvista vesistöistä paljon ennen kestävimpiä kalalajeja. Tästä syystä se näyttää soveltuvan hyvin yhdeksi happamoitumista kuvastavaksi indikaattorilajiksi. Ruotsissa tehdyn selvityksen mukaan rapu puuttuu kokonaan järvistä, joiden pH on alle 5,5. Saman tutkimuksen mukaan parhaat rapusaaliit saatiin neutraaleista ja lievästi emäksisistä vesistä (SVÄRSDON 1974).

APPELBERGIN ja ODELSTRÖMIN (1985) mukaan pyyntiponnistus tutkimusaluetta kohti pitäisi olla vähintään 50 meritayötä, jotta kannasta voitaisiin saada luotettava kuva. Tässä tutkimuksessa pyyntiponnistus ylitti minimivaatimuksen 2,5 - 6-kertaisesti, mutta saaliit jäivät kauttaaltaan liian pieniksi, jotta luotettavia arvioita rapukantojen koosta ja rakenteesta voitaisiin tehdä.

Fårsjössä, josta saatiin runsaimmat saaliit, yli 7 cm:n pituisten rapujen tiheydeksi arvioitiin 0,53 rapua rantametrille. Muista tutkimuksen järvistä tiheysarviota ei voitu tehdä. Muualla maassa samalla menetelmällä tehdyt rapukantojen tiheysarviot vaihtelevat välillä 0,6 - 11,5 rapua rantametrillä (JÄPPINEN 1976, NIEMI 1977, WESTMAN ja PURSIAINEN 1982).

Fårsjössä lisääntymisvalmiiden naaraiden osuus sukukypsästä kannasta oli huomattavan pieni. Molempien ravustuskertojen keskiarvo oli 50,1 %. Muista vesistöistä tehdyissä tutkimuksissa osuudet ovat olleet 69 - 86 %

(WESTMAN ja PURSIAINEN 1982). Pienen lisääntymisprosentin syynä saattaa olla ravinnon niukkuus (ABRAHAMSSON 1972).

Sågsjön saaliissa rapujen keskikoko oli muita suurempi ja pienet yksilöt puuttuivat kokonaan. Tämä saattaa joutua happamoitumisen aiheuttamista lisääntymishäiriöistä (FRANCE 1983, APPELBERG 1984).

Kaikissa selvityksen kohteina olevissa järvissä on ravustettu aikoinaan säännöllisesti, vaikkakaan varsinaisia koeravustuksia ei ole aikaisemmin tehty. Fårsjössä Brödtorpin kartano, joka oli järven pääasiallinen ravustaja, pyyti 1950- ja 1960-luvulla yli 1 000 rapua vuodessa. 1970-luvun puolivälissä saaliit saattoivat parhaimmillaan olla lähes 300 rapua yössä 25 merralla eli n. 10 kpl/merta. Tämän jälkeen saaliit alkoivat ehtyä nopeasti. Vuonna 1979 suunniteltiin ravun rauhoittamista saaliin pienuuden takia. Vuonna 1984 saalis oli 54 kpl ja v. 1985 ei enää ravustettu. (Tiedot on saatu agronomi Bo Knapelta, Pohja, ja perustuvat mm. vieraskirjamerkintöihin).

Sågsjössä rapusaaliit eivät koskaan ole olleet erityisen runsaita. Parhaimmillaan ne olivat 1950- ja 1960-luvulla. Saaliit olivat tuolloin 1 - 2 mitan täyttävää rapua merta kohti yössä. 1970-luvulla saaliit alkoivat vähetä, 1970-luvun loppuun mennessä ne olivat pienentyneet noin 10 rapuun 40 merralla yössä ja säännöllinen ravustus lopetettiin. (Tiedot on saatu opiskelija Erik Andersinilta, Helsinki.)

Långträskin rapukanta oli runsaimmillaan 1920- ja 1930-luvulla. 1960- ja 1970-luvun taitteeseen tultaessa saaliit olivat n. 1 rapu syöttiä kohden yössä. Sen jälkeen saaliit ovat pienentyneet ja ravustus on nyttemmin lopetettu kokonaan. Järveen on istutettu ranta-asukkaiden toimesta rapuja vuonna 1983. (Tiedot on saatu maanviljelijä Erik Björklundilta, Tenhola, ja toimitusjohtaja Jorma Sammalkorvelta, Helsinki.)

Flacksjön rapukanta oli hyvä vielä 1960-luvulla, jolloin 25 merralla saatiin jopa 100 pyyntikokoista rapua yössä. Sen jälkeen saaliit pienenevät niin, että 1980-luvun alussa 25 merralla saatiin 8 - 10 rapua yössä ja ravustus lopetettiin. (Tiedot perustuvat Fiskars Oy:n

riistanhoitaja Matti Vuorisen, Pohja, päiväkirjamerkintöihin.)

Kaikissa koejärvissä on runsaasti ravulle soveltuvia kivikkorantoja. Järviin ei johdeta jätevesiä ja alueella on tehty vain vähäisiä metsäojitustöitä. Sekä Fårsjöltä että Sågsjöltä on 1970-luvun alusta havaintoja minkeistä, mutta viime vuosina minkkejä ei ole nähty. Ravuissa havaitut poikkeuksellisen runsaat kuori- ja saksivauriot (vrt. APPELBERG ja ODELSTRÖM 1985, PURSIAINEN ym. 1984) eivät näyttäneet minkin aiheuttamilta vaan johtunevat todennäköisemmin rapujen keskinäisistä kamppailuista. Koska suojapaikkoja on erittäin runsaasti, lienee kamppailujen syynä ravulle sopivan ravinnon niukkuus, mikä osittain johtunee happamoitumisesta. Rapukantojen pienehkömisen todennäköisimmäksi syyksi jää näin ollen veden happamoituminen ja sen seurannaisilmiöt.

4. KOKEELLISET TUTKIMUKSET

4.3.1. HAPPAMUUDEN VAIKUTUS ALUMIININ AKUUTTIN MYRKYLLISYYTEEN

Tulosten perusteella 1-kesäinen planktonsiian poikanen on jokseenkin yhtä herkkä alumiinille kuin puronieriän ruskuaispussi-poikanen; 50 % puronieriän ruskuaispussi-poikasista kuoli 115 tunnin kuluessa pitoisuudessa 0,42 mg Al/l pH:ssa 5,2 ja 256 tunnin kuluessa pitoisuudessa 0,48 mg Al/l pH:ssa 4,4. (DRISCOLL ym. 1980). Tosin alumiini oli siian poikasille myrkyllisempää pH:ssa 4,5 kuin pH:ssa 5,0. pH:n alentaminen lisäsi alumiinin myrkyllisyyttä myös särjen poikasille (VUORINEN ja VUORINEN, julkaisematon). Särjen poikanen (pituus n. 1 cm) oli herkempi kuin 1-kesäinen siian poikanen; pH 4,5:ssä 96 tunnin LC50-arvo oli < 0,1 mg Al/l ja pH 5,0:ssa 0,66 mg Al/l. Alumiini (1 mg:aan/l asti) ei ollut akuutisti tappavan myrkyllistä särjen poikasille pH:ssa 5,5 tai sitä suuremmissa pH-arvoissa. BAKERin ja SCHOFIELDin (1982) mukaan alumiini on myrkyllisintä pH-arvoissa 5,2 - 5,4.

Kalat kuolivat nopeammin pH-arvoissa 5,1 ja 5,5 kuin pH:ssa 4,3 tai 4,5 alumiinipitoisuudessa 0,9 mg/l, ja pH:ssa 6 alumiini ei ollut myrkyllistä (MUNIZ ja LEIVESTAD 1980).

4.3.2. HAPPAMUUDEN JA ALUMIININ PITKÄAIKAISVAIKUTUS EMOSIIKIOIHIN

Altistuksissa käytetty nimellinen alumiinipitoisuus (0,1 mg/l) lienee tavallinen myös luonnossa näissä pH-arvoissa. Ruotsalaisen tutkimuksen mukaan järvissä, joiden pH oli 6 - 5, veden alumiinipitoisuus oli noin 0,01 - 0,2 mg/l (DICKSON 1975).

Alumiini ja happamuus, molemmat, hidastivat sekä koiras- että naarassiikojen sukusolujen kypsymistä. Pelkän happamuuden on todettu häiritsevän floridanhammaskarpin oosyyttien ja siittiöiden kehittymistä (RUBY ym. 1977, 1978). Pimephales promelas -kalan (fathead minnow) mädin tuotanto ja poikasten kuoriutumisen vähenivät, kun emoja oli altistettu pH:ssa 5,9 tai sitä pienemmissä pH-arvoissa (MOUNT 1973). BEAMISH ym. (1975) ja BEAMISH (1976) havaitsivat, että monien kalalajien naaraat eivät olleet laskeneet mätiään happamissa järvissä; mm. hauet eivät olleet kuteneet järvissä, joiden pH oli noin 5. Lisääntymishäiriöiden arveltiin johtuvan järvien happamuudesta. Kalojen herkkyys suurentuneille vetyioni- ja alumiinipitoisuuksille vaihtelee paljon, ja eri lajien populaatioiden häviämismekanismit happamoituneissa järvissä voivat olla erilaiset (BEGGS ym. 1985, INGERSOLL ym. 1985).

Sekä happamuus että alumiini näyttivät pienentävän siikanaaraiden plasman kalsiumpitoisuutta. Kalsiumpitoisuus oli pienin ryhmässä "pH 5 + Al", jossa mäti kypsyi viimeiseksi ja suurin ryhmässä "pH 6", jossa mäti oli ensimmäiseksi lypsettävää. BEAMISHin ym. (1975) ja BEAMISHin (1976) tutkimuksissa happamoituneiden järvien naaraskalojen seerumin kalsiumpitoisuus oli epänormaalin pieni, ja pienten pitoisuuksien todettiin olevan yhteydessä kutemattomuuteen.

Sekä koiras- että naarassiikojen plasman natrium- ja kloridipitoisuus olivat pienentyneet "pH 5 + Al" -altistuksessa. Näiden ionien pitoisuuksien on todettu vähenevän hapolle altistuneiden kalojen plasmassa ja vähenemisen korreloivan hyvin kalojen kuolevuuteen (MUNIZ ja LEIVESTAD 1980, LEIVESTAD 1982, HARVEY 1985). Ryhmässä "pH 5 + Al" ei kuitenkaan kuollut siikoja altistukseen. Myös alumiini on aiheuttanut kalojen plasman natrium- ja kloridipitoisuuden pienenemistä akuutin myrkyllisyyden kokeissa (LEIVESTAD 1982, HARVEY 1985). Alumiinin (0,05 - 0,2 mg/l) on todettu lyhytaikaisessa altistuksessa (8 h) estävän taimenen natriumin ottoa pH:ssa 4,0 ja 4,5, mutta ei pH:ssa 5,4 tai 7,0; pelkkä pH:n alentaminen ei estänyt natriumin ottoa (DALZIEL ym. 1985).

SUMMARY

The Effects of Acidic Deposition on Fish is part of the Finnish Research Project on Acidification (HAPRO), which was initiated in 1985 by the Ministry of the Environment and the Ministry of Agriculture and Forestry. The aims of this subproject are to evaluate the degree to which acidification has affected the fish and crayfish populations in small waters of Finland and to study experimentally the sensitivity of the most important fish species and their development stages to low pH and elevated metal concentrations.

Test fishings were performed in 44 lakes, 14 of which belong to other subprojects of HAPRO. From the Evo forest area in southern Finland, fish species composition and water quality data were collected from 28 lakes. In addition 26 lakes from the small lake data collection of the Finnish Game and Fisheries Research Institute were chosen in order to study their water chemistry and see if the lakes have acidified since the 1960's. The crayfish populations of five lakes in southernmost Finland were studied. The effect of acidity and aluminium was studied by LC50 tests on young-of-the-year whitefish and by long term exposures on adult whitefish.

According to test fishings, fish populations of several acidified lakes in southernmost Finland are sparse. Perch was the only species of fish in most of these lakes. Their population densities were low, consisting mostly of large individuals. According to growth determinations, perch in strongly acidified lakes showed exceptionally high growth rates. The crayfish populations in four lakes were also sparse. This was concluded to be due to acidification. The threshold LC50 values of aluminium for young-of-the-year whitefish were 0.4 mg Al/l at pH 4.5 and 0.6 mg Al/l at pH 5.0 (nominal concentrations). Acidity and aluminium slowed the ripening of gametes in both sexes of whitefish. Due to the combined effect of acidity and aluminium, plasma calcium of females and sodium and chloride of both sexes of whitefish decreased.

KIRJALLISUUS

- Abrahamsson, S. 1972. Fecundity and growth of some populations of *Astacus astacus* Linne in Sweden. - Rep. Inst. Freshwater Res. Drottningholm 52: 23 - 37.
- Almer, B., Dickson, W., Ekström, C. & Hörnström, E. 1974. Effects of acidification on Swedish lakes. - *Ambio* 3: 30 - 36.
- Appelberg, M. 1984. Early development of the crayfish *Astacus astacus* L. in acid water. - Rep. Inst. Freshwater Res. Drottningholm 61: 48 - 59.
- Appelberg, M. & Odelström, T. 1985. Rekommendationer för provfiske efter kräftor. Utvärdering av försöksfisken samt reviderat förslag. - Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm 7. 28 s.
- Baker, J. P. & Schofield, C. L. 1982. Aluminum toxicity to fish in acidic waters. - *Water Air Soil Pollut.* 18: 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: 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: 98 - 102.
- Beggs, G. L., Gunn, J. M., Shuter, B. J. & Ihssen, P. E. 1985. The response of lake trout, brook trout and smallmouth bass to surface water acidification in Ontario - A synthesis of bioassay and population data. - Abstracts of Muskoka Conference '85 Internat. Symp. Acidic Precipitation: 137.
- Bergman, H., Parkhurst, B., Ingersoll, C. G., Marcus, M. & Mattice, J. 1985. Effects of acidification on fish: review of laboratory toxicity studies. - Abstracts of Muskoka Conference '85 Internat. Symp. Acidic Precipitation: 46.
- Cowling, E. B. 1980. An historical resume of progress in scientific and public understanding of acid precipitation and its biological consequences. - SNSF-project, FR 18/80, 29 s.

- Dahl, K. 1927. The effects of acid water on trout fry. - Salmon and Trout Magazine 46: 35 - 43.
- Dalziel, T. R. K., Morris, R. & Brown, D. J. A. 1985. Effects of low pH and aluminium on sodium balance in brown trout (*Salmo trutta* L.). - Abstracts of Muskoka Conference '85 Internat. Symp. Acidic Precipitation: 114.
- Dannevig, A. 1959. Nedborens inflytelse på vassdragenes surhet og på fiskebestand. - Jaeger og Fisker 3: 116 - 118.
- Dickson, W. 1975. The acidification of Swedish lakes. - Rep. Inst. Freshwater Res. Drottningholm 54: 8 - 20.
- Driscoll, C. T., Baker, J. P., Bisogni, J. J. & Schofield, C. L. 1980. Effects of aluminium speciation on fish in dilute mountain waters. - Nature 284: 161 - 164.
- Finney, D. J. 1971. Probit analysis. - Cambridge University Press, London, 333 s.
- France, R. L. 1983. Response of the crayfish *Orconectes virilis* to experimental acidification of a lake with special reference to the importance of calcium. - Freshwater crayfish 5: 98 - 111. AVI Publishing company, Westport, Conn.
- Harvey, H. H. 1985. The biological evidence of acidification, mechanism of action and an attempt at predicting acidification effects. - Symposium on the effects of air pollution on forest and water ecosystems, Helsinki, April 23 - 24, 1985: 63 - 78.
- Ingersoll, C. G., La Point, T., Fernandez, J. & Mount, D. 1985. The long term effects of pH, aluminum and calcium on early lifestage and adult brook trout (*Salvelinus fontinalis*) survival, growth and reproduction. - Abstracts of Muskoka Conference '85 Internat. Symp. Acidic Precipitation: 126.
- Jokinen, J. & Häkkinen, I. 1977. Norjan haposadekokous 1976. - Suomen Luonto 36: 259 - 263.
- Jäppinen, R. 1976. Varisjoen ravuista ja ravustuksesta. - Kalamies 6: 1 - 4.
- Järvenpää, T. & Railo, E. 1984. Kyrönjoessa vuosina 1981 ja 1982 sumputettujen rapujen fysiologisesta tilasta. - Vesi-hallituksen tiedotus 247A: 65 - 93.
- Kenttämies, K., Haapaniemi, S., Hynynen, J., Joki-Heiskala, P. & Kämäri, J. 1985. Biological characteristics of small acidic lakes in southern Finland. - Aqua Fennica 15: 21 - 33.

- Kämäri, J. 1985. A quantitative assessment of lake acidification in Finland. - *Aqua Fennica* 15: 11 - 20.
- LaZerte, B. D. 1984. Forms of aqueous aluminum in acidified catchments of central Ontario: a methodological analysis. - *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 41: 766 - 776.
- Leivestad, H. 1982. Physiological effects of acid stress on fish. - *Acid rain and fisheries, Proc. of an Internat. Symp. on Acidic Precipitation and Fishery Impacts in Northeastern North America, 1981: 157 - 164.*
- Magnuson, J. J., Baker, J. P. & Rahel, E. J. 1984. A critical assessment of effects of acidification on fisheries in North America. - *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 305: 501 - 516.
- Mount, D. I. 1973. Chronic effect of low pH on fathead minnow survival, growth and reproduction. - *Water Res.* 7: 987 - 993.
- Muniz, I. P. & Leivestad, H. 1980. Acidification - effects on fresh water fish. - *Teoksessa: Drablos, D. & Tollan, A. (toim.), Ecological impact of acid precipitation: 84 - 92. SNSF-project, Oslo-Ås.*
- Niemi, A. 1977. Population studies on the crayfish *Astacus astacus* L. in River Pyhäjoki, Finland. - *Freshwater crayfish* 3: 81 - 94. University of Kuopio, Finland.
- Nordquist, O. 1902. Kalojen kuoleminen Malminkylän purossa lokakuussa 1901. - *Suomen Kalastuslehti* 11: 142 - 153.
- Overrein, L. N., Seip, H. M. & Tollan, A. 1980. Acid precipitation - effects on forest and fish. Final report of the SNSF-project 1972 - 1980. - *SNSF-project, FR 18/80, 175 s.*
- Pruuki, V. 1984. Peledsiian (*Coregonus peled* (Gmelin)) ja planktonsiian (*Coregonus muksun* (Pallas)) kantojen arviointi ja istutusten kannattavuus kahdessa eteläsuomalaisessa pienjärvessä. - *Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja* 20, 55 s.
- Pruuki, V., Pursiainen, M. & Westman, K. 1983. Vähäarvoisten kalojen tehostetusta pyynnistä ja pyynnin vaikutuksista kalastoon Evon kalastuskoeaseman pienissä järvissä. - *Suomen Kalastuslehti* 90: 60 - 65.

- Pursiainen, M., Järvenpää, T., Westman, K., Tikka, J., Kuittinen, E. & Louhimo, J. 1984. Kyrönjoen vesistöalueen rapukantojen tila ja nykyiset ravintotuotantoedellytykset. - Vesihallituksen tiedotus 247A: 33 - 64.
- Rask, M., Arvola, L. & Salonen, K. 1985. A note on the acidity in 54 small lakes in Evo forest area, southern Finland. - Aqua Fennica 15: 41 - 46.
- Rask, M., Heinänen, A. & Salonen, K., Arvola, L., Bergström, I., Liukkonen, M. & Ojala, A. 1986. The limnology of a small, naturally acidic, highly humic forest lake. - Arch. Hydrobiol. (painossa).
- Ruby, S. M., Aczel, J. & Craig, G. R. 1977. The effects of depressed pH on oogenesis in flagfish *Jordanella floridae*. - Water. Res. 11: 757 - 762.
- Ruby, S. M., Aczel, J. & Craig, G. R. 1978. The effects of depressed pH on spermatogenesis in flagfish *Jordanella floridae*. - Water Res. 12: 621 - 626.
- Ryan, P. M. & Harvey, H. H. 1980. Growth responses of yellow perch, *Perca flavescens* (Mitchill), to lake acidification in the La Cloche mountain lakes of Ontario. - Env. Biol. Fish. 5: 97 - 108.
- Ryhänen, R. 1958. Einwirkung einer Kupfergrube auf einen dystrophen See. - Verh. Internat. Ver. Limnol. 13: 596 - 602.
- Ryhänen, R. 1961. Über die Einwirkung von Grubenabfällen auf einen dystrophen See. - Ann. Zool. Soc. 'Vanamo' 22(8): 1 - 70.
- Salonen, K., Arvola, L. & Rask, M. 1984. Autumnal and vernal circulation of small forest lakes in southern Finland. - Verh. Internat. Ver. Limnol. 22: 103 - 107.
- Simola, H. 1985. Järvien happamoitumisen selvittäminen sedimentin piilevien avulla. Joensuun yliopisto. Karjalan tutkimuslaitoksen monisteita 2/1985, 48 s.
- Sipponen, M. 1978. Paljonko kalat sietävät vesien happanemista? - Luonnon Tutkija 82: 97 - 99.
- Sprague, J. B. 1969. Measurement of pollutant toxicity to fish I. Bioassay methods for acute toxicity. - Water Res. 3: 793 - 821.
- Sumari, O. 1971. Structure of the perch populations of some ponds in Finland. - Ann. Zool. Fennici. 8: 406 - 421.

- Svärdson, G. 1974. Översikt över laboratoriets verksamhet med plan för år 1974. - Inform. Inst. Freshwater Res. Drottningholm 1/1974, 26 s.
- Tesch, F. W. 1971. Age and growth. - Teoksessa: Ricker, W. E. (toim.), Methods for assessment of fish production in fresh waters. IBP handbook 3: 98 - 130. Oxford/Edinburgh.
- Toivonen, J., Tuunainen, P. & Peippo, L. 1964. Rotenonmyrkytysten avulla saatuja tietoja eräiden lampien kalakannoista ja niihin vaikuttavista tekijöistä. - Suomen Kalastuslehti 71: 3 - 11.
- Tolonen, K. & Jaakkola, T. 1983. History of lake acidification and air pollution studied on sediments in South Finland. - Ann. Bot. Fennici 20: 57 - 78.
- Tolonen, K., Liukkonen, M., Harjula, R. & Pätilä, A. 1986. Acidification of small lakes in Finland documented by sedimentary diatom and chrysophycean remains. - Hydrobiologia (painossa).
- Tuunainen, P. 1970. Relations between the benthic fauna and two species of trout in some small Finnish lakes treated with rotenone. - Ann. Zool. Fennici 7: 67 - 120.
- Westman, K., Pursiainen, M. & Vilkmán, R. 1979. A new folding trap model which prevents crayfish from escaping. - Freshwater crayfish 4: 235 - 241. Institut National de la Recherche Agronomique, Thonon-les-Bains, France.
- Westman, K. & Pursiainen, M. 1982. Size and structure of crayfish (*Astacus astacus*) populations on different habitats in Finland. - Hydrobiologia 86: 67 - 72.