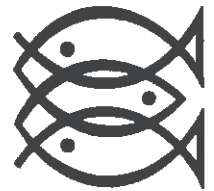
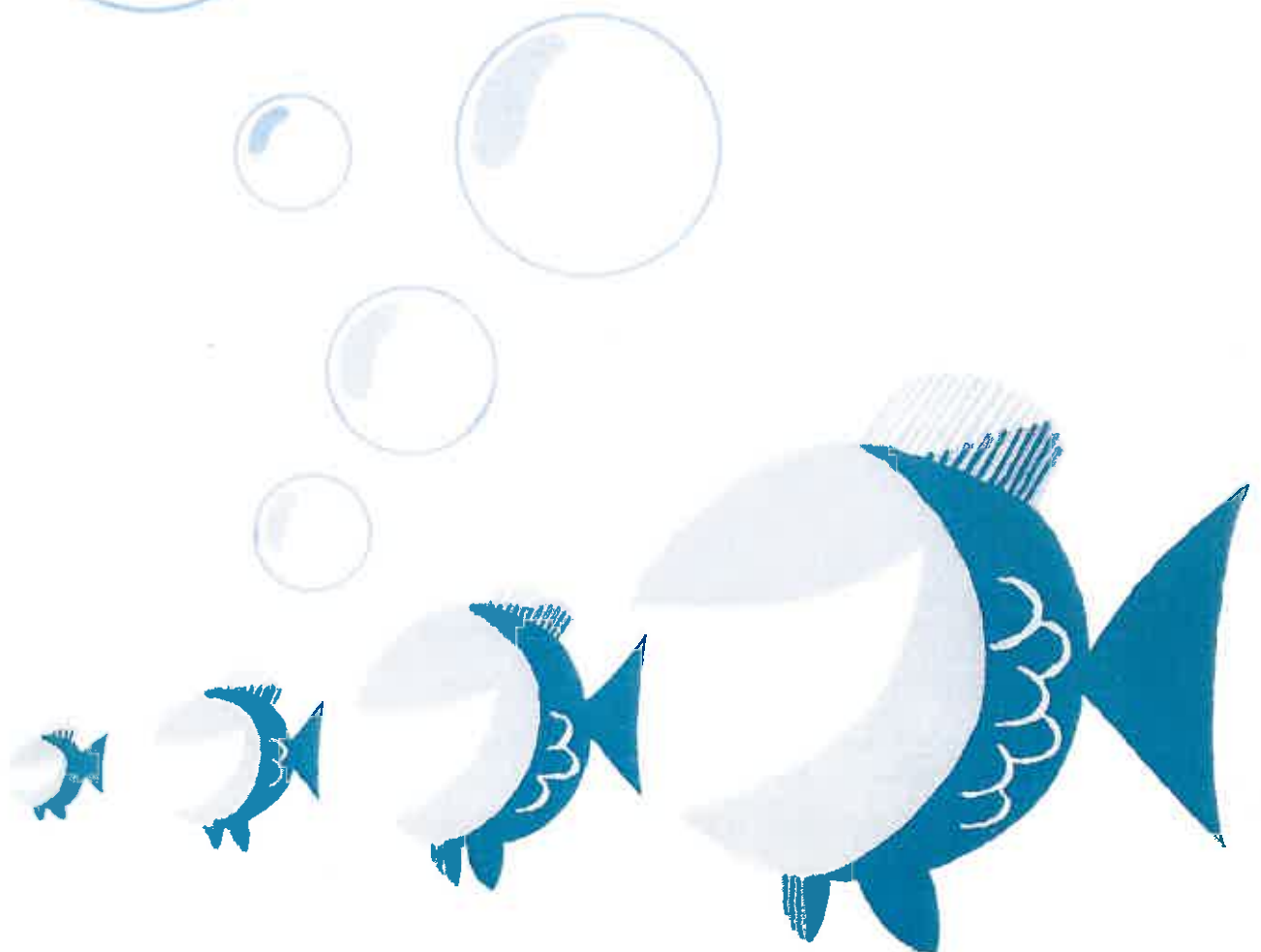


RIISTA-JA KALATALOUDEN TUTKIMUSLAITOS

# KALATUTKIMUKSIA- FISKUNDERSÖKNINGAR



6  
1990



RIISTA-JA KALATALOUDEN TUTKIMUSLAITOS

# KALATUTKIMUKSIA- FISKUNDERSÖKNINGAR



Vastaava toimittaja: Eero Aro

Toimittajat: Mikael Hildén, Aimo Järvinen, Marja-Liisa Koljonen, Finn Löf, Eija Nylander, Riitta Rahkonen, Petri Suuronen, Lauri Urho ja Aune Vihervuori

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos  
Kalantutkimusosasto  
Kalanviljelyosasto  
PL 202  
00151 Helsinki

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

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

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

Kalatutkimuksia – Fiskundersökningar on jatkoa sarjoille: "Maataloushallituksen kalataloudellinen tutkimustoimisto. Monistettuja julkaisuja" (no:t 1–42) ja "Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja" (no:t 1–97), "Tiedonantoja" (no:t 1–24) ja "Meddelanden" (no:t 1–21).

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

Ansvarig redaktör: Eero Aro

Redaktörer: Mikael Hildén, Aimo Järvinen, Marja-Liisa Koljonen, Finn Löf, Eija Nylander, Riitta Rahkonen, Petri Suuronen, Lauri Urho ja Aune Vihervuori

Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet  
Fiskeriforskningsavdelningen  
Fiskodlingsavdelningen  
PB 202  
00151 Helsingfors

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

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

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

Kalatutkimuksia – Fiskundersökningar är en fortsättning på "Maataloushallituksen kalataloudellinen tutkimustoimisto. Monistettuja julkaisuja" (nr 1–42) ja "Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja" (nr 1–97), "Tiedonantoja" (nr 1–24) och "Meddelanden" (nr 1–21).

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

RIISTA- JA KALATALOUDEN TUTKIMUSLAITOS  
**KALATUTKIMUKSIA – FISKUNDERSÖKNINGAR**

**No 6**

**1990**

**Vuorikemian tehtaiden jätevesien kalataloudellisista  
vaikutuksista Porin edustan merialueella  
Hannu Lehtonen**

**Silakoiden vaellukset Selkämerellä keväällä 1982 suoritettujen merkintöjen  
perusteella  
Raimo Parmanne ja Juhani Salmi**

**Silakan troolipyynnin kehittyminen Porin edustan merialueella syksyllä 1976–85  
ja silakoiden kasvu, kuntokerroin ja poikasten määrä Selkämerellä  
Raimo Parmanne**

**Kalastajien havaintoja pyydyksissä tapahtuneista  
kalakuolemista Selkämerellä 1980-luvulla  
Hannu Lehtonen ja Aimo Järvinen**

**Siiian mädin sumputuskokeet Porin edustalla 1985  
Aimo Järvinen ja Hannu Lehtonen**

**Kalojen sumputuskokeet Porin edustalla 1985  
Aimo Järvinen, Hannu Lehtonen ja Göran Bylund**

**Vuorikemian tehtaiden jätevesien vaikutuksista silakan  
alkionkehitykseen ja poikasten elinkykyyn  
Panu Oulasvirta ja Jouko Rissanen**

**Helsinki 1990**

**ISSN 0787-8478**

**Helsinki 1990**

**Yliopistopaino**

**Vuorikemian tehtaiden jätevesien vaikutuksista silakan alkionkehitykseen  
ja poikasten elinkykyyn**

**Panu Oulasvirta ja Jouko Rissanen**

## 1. JOHDANTO

Huolimatta syksyisten silakan troolisaaliiden romahtamisesta on silakka keväisin edelleen noussut kutemaan perinteisille kutupaikoilleen Porin edustalle, eivätkä kevään trooli- ja rysäsaaliit ole merkittävästi pienentyneet (Parmanne ja Salmi 1983). Silakka kutee pääasiassa alle kymmenen metrin syvyyteen, minkä vuoksi sen kutualueet eivät normaalioloissa altistu merivettä painavammalle, Mäntyluodon edustalle johdettavalle Vuorikemian titaanioksiditehtaiden jätevedelle. Jäteveden on todettu kumpuavan matalammille rannikkoalueille pääasiassa vain kaakon ja pohjoisen välisellä tuulella (Lehtonen 1976, Häkkilä 1983).

Vuorikemian tehtaiden jäteveden mahdollisia vaikutuksia silakan mätiin ei ole aikaisemmin tutkittu. Ainoa maininta silakan kudun epäonnistumisesta Porin edustalla on Sandbergin (1973) kirjoitus silakan mädin suurtuhosta Kaijakarilla vuona 1973. Laboratorio-kokeissa on titaanioksiditeollisuuden jäteveden todettu olevan haitallista sillin mädille ja poikasille vielä laimennoksessa 1:32 000 (Kinne ja Rosenthal 1967). Tässä tutkimuksessa on tarkoituksena selvittää silakan mädin kehittymistä luonnonkutupaikoilla ja mätisumpuissa eri etäisyyksillä jäteveden purkupaikasta sekä laboratoriossa eri jätevesipitoisuuksissa.

## 2. TUTKIMUKSET PORIN EDUSTALLA (Panu Oulasvirta)

### 2.1. Tutkimusalue ja menetelmät

Silakan mädin elinkykyä tutkittiin alueella, joka ulottuu jätevesien purkupaikasta n. 19 km pohjoiseen ja n. 14 km etelään. Tutkimuksia tehtiin sekä silakan luonnollisilla kutupaikoilla mätinäytteitä keräten että keinohedelmöitetyllä mädillä sumpuskokein. Mätinäytteitä kerättiin vuonna 1984 2.-12.6. seitsemältä silakan kutupaikalta (kuva 1) ja vuonna 1985 13.-20.6. viideltä kutupaikalta (kuva 2). Kutualueet paikallistettiin kalastajilta saatujen tietojen, pohjaharausten ja sukellushavain-

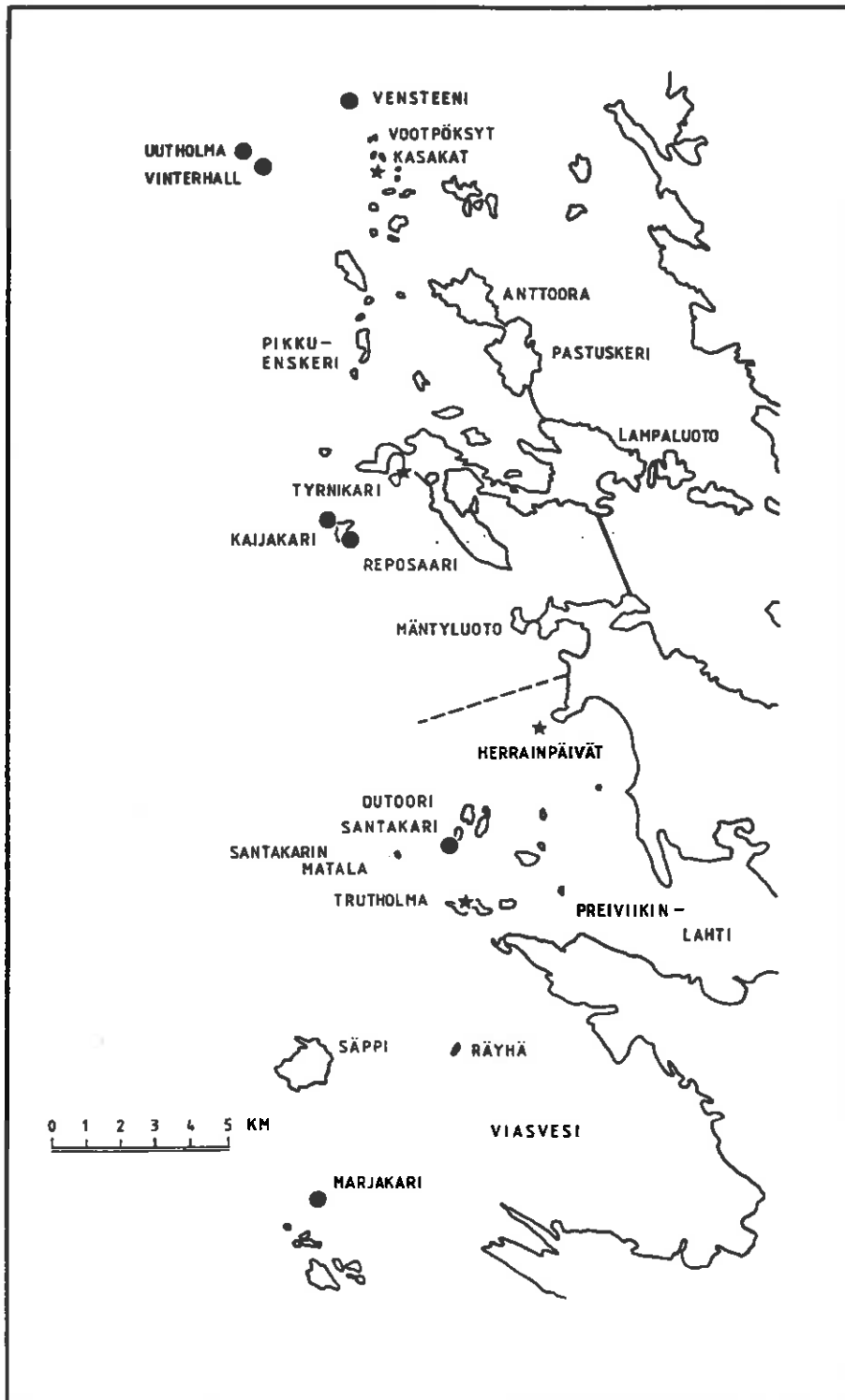
tojen perusteella. Mätinäytteet kerättiin pääasiassa sukeltamalla. Joitakin näytteitä otettiin pohjaharalla. Sukeltaja teki myös havaintoja kutusyvyvyydestä, pohjan laadusta ja mätitiheyksistä. Veden lämpötila mitattiin jokaisen näytteenottokerran yhteydessä.

Mätimunat tapettiin ja värjättiin välittömästi näytteenoton jälkeen laimealla erikkahapolla Braumin (1978) ohjeiden mukaisesti. Myöhemmin näytteet säilöttiin 4 % formaldehydiin.

Näytteistä tutkittiin alkionkehitysvaihe sekä kuolleiden ja hedelmöitymättömien munien osuudet. Osa näytteistä värjättiin kaliumferrosyanidilla, jolla voidaan osoittaa muniin kertyneen raudan määrä värjäytymisen voimakkuuden mukaan. Muniin kertyneen raudan määrä kuvattiin seuraavalla asteikolla: - ei havaittavasti, (+) erittäin vähän, ++ melko vähän, +++ kohtalaisesti, ++++ melko runsaasti, +(-) runsaasti, +(-) erittäin runsasti, +(-) epävarma havainto.

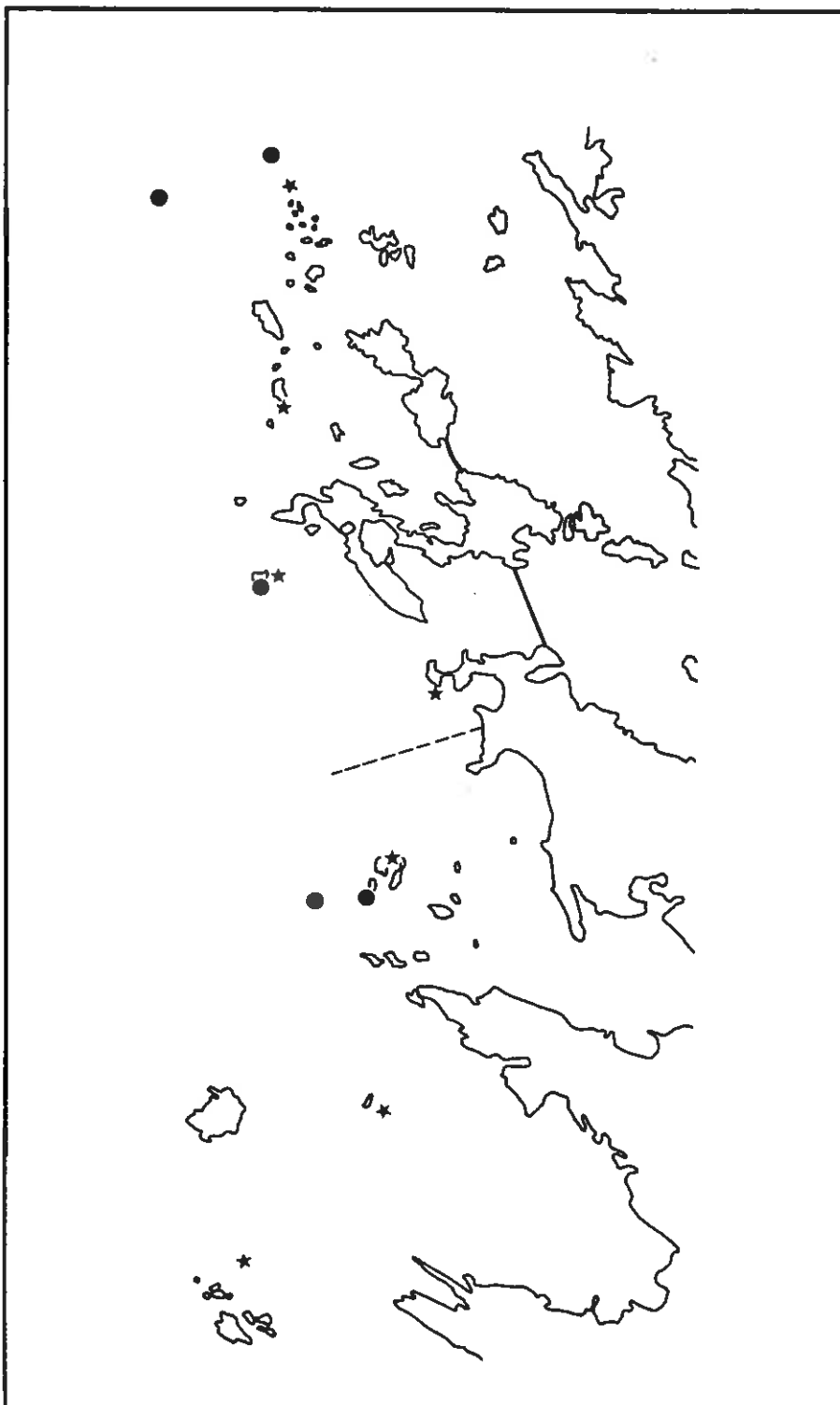
Mädin sumputuskokeet tehtiin 1. - 12.6.1984 neljällä, kuvassa 1 osoitetulla paikalla ja 12. - 20.6.1985 seitsemällä, kuvassa 2 osoitetulla paikalla. Vuonna 1984 sumputuspaikat olivat hiekkapohjaisia. Vuonna 1985 sumputuskokeet tehtiin kivikkopohjilla, jotka paremmin vastaavat silakan luonnollista kutualustaa. Sumput oli koottu muoviämpäreistä, joissa oli kolme aukkoa. Aukot oli peitetty 500 m silmäkokoa olevalla nylonverkolla. Myös ämpärin pohja oli korvattu nylonverkolla.

Mädin hedelmöitys tehtiin 5 x 5 cm kokoisille kosteille nylonverkonpaloille rysästä saaduilla silakoilla. Hedelmöitykseen käytettiin aina useaa naaras- ja koiraskalaa. Mäti lypsettiin verkoille yhteen kerrokseen. Vuonna 1984 koe toteutettiin siten, että emokalat kuljetettiin veneessä elävinä sumputuspaikoille, missä hedelmöitys tehtiin. Hedelmöityksen jälkeen nylonverkonpalat laitettiin sumppuihin, jotka sukeltaja vei välittömästi pohjaan siten, että sumpun verkkopohja tuli pohjahiekkaa vasten. Vuonna 1985 hedelmöitykset tehtiin heti kun silakat oli otettu



Kuva 1. Tutkimusalue v. 1984. Musta pallo = silakan mädin näytteenottopaikka, musta tähti = mädin sumputuspaikka, katkoviiva = jätevesiputki.





Kuva 2. Tutkimusalue v. 1985. Selitykset kuten kuvassa 1.

rysästä. Hedelmöitettyt munat kuljetettiin ilmastetussa astiassa sumputuspaikoille. Sumppujen rakennetta oli muutettu edellisvuodesta siten, että sumpun verkkopohja tuli nyt n. 5 cm merenpohjan yläpuolelle. Vuoden 1985 kokeissa jokaisella sumputuspaikalla laitettiin yhteen sumppuun lisäksi yksi ylimääräinen verkonpala metallimäärityksiä varten.

Vuonna 1984 sumppuja oli kuusi kussakin paikassa. Kolme sumppua nostettiin ylös 5 - 6 ja loput kolme 11 vuorokauden inkuboinnin jälkeen. Vuonna 1985 sumppuja oli neljä kussakin paikassa, joista puolet nostettiin ylös neljän ja loput kaksi kahdeksan vuorokauden inkuboinnin jälkeen. Ajanpuutteen vuoksi sumput nostettiin ylös ennen munien kuoriutumista. Viimeisellä kokemiskerralla alkiot olivat varhaisessa silmäpistevaiheessa.

Sumppujen noston jälkeen mäti käsiteltiin kuten luonnonkutupaikoilta otetut näytteet. Hedelmöitymättömät munat jätettiin kuitenkin nyt kuolevuutta laskettaessa huomioimatta. Metallimäärityksiin tarkoitetut munat kuljetettiin elävinä maihin, missä ne pakastettiin. Munista määritettiin myöhemmin VTT:ssa Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Ti, V ja Zn -pitoisuudet (mg/kg tuore-painoa).

## 2.2. Tulokset

### 2.2.1. Vuoden 1984 tutkimukset

#### 2.2.1.1. Luonnonkutupaikat

Mädin hedelmöitymisprosentti oli kaikilla kutupaikoilla yli 98. Alkioiden kuolevuus oli selvästi suurinta lähinnä jäteveden purkupaikkaa sijaitsevilla kutupaikoilla, Santakarilla ja Kaijakarilla (taulukko 1, kuva 3). Näillä kutupaikoilla myös eläviksi luokitellut munat olivat jokseenkin sameita ja saattoivat olla kuolleita. Epämuodostuneita alkioita oli eniten Kaijakaran länsipuolella ja Utholmassa. Yleensä epämuodostuneiksi luokitellut olivat alkioita, joissa solut eivät olleet erilaistuneet vaan muodostivat järjestäytymättömän solujoukon.

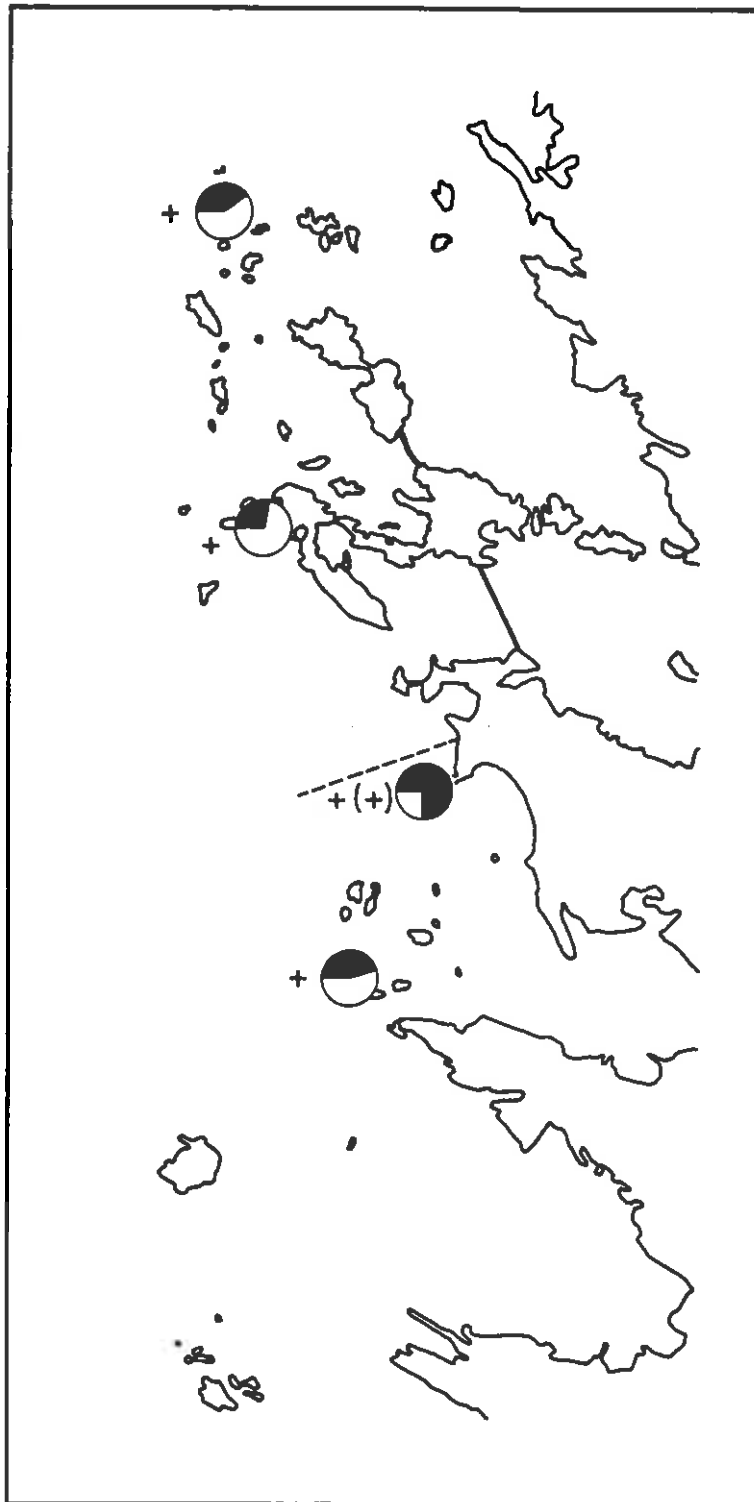
Taulukko 1. Kuolleiden, epämuodostuneiden ja hedelmöitymättömien mätimunien osuudet mätinäytteissä sekä raudan määrä mätimunissa 1984. N = näytteiden lukumäärä.

Kutualue	Kuolleet %	Epämuodostuneet %	Hedelmöitymättömät %	Yht. %	N	Fe
Vensteenien	2,9			2,9	4	-
Uutholma	18,9	17,3	0,6	36,8	6	+
Vinterhall	2,0	2,4	0,5	4,9	5	+(-)
Kaijakari E-puoli	87,4	0,8	0,1	88,3	8	++
Kaijakari W-puoli	95,1	2,6		97,7	3	++
Santakari	94,9	0,4	0,1	95,4	9	+++
Marjakari	1,6	0,2	0,2	2,0	8	+

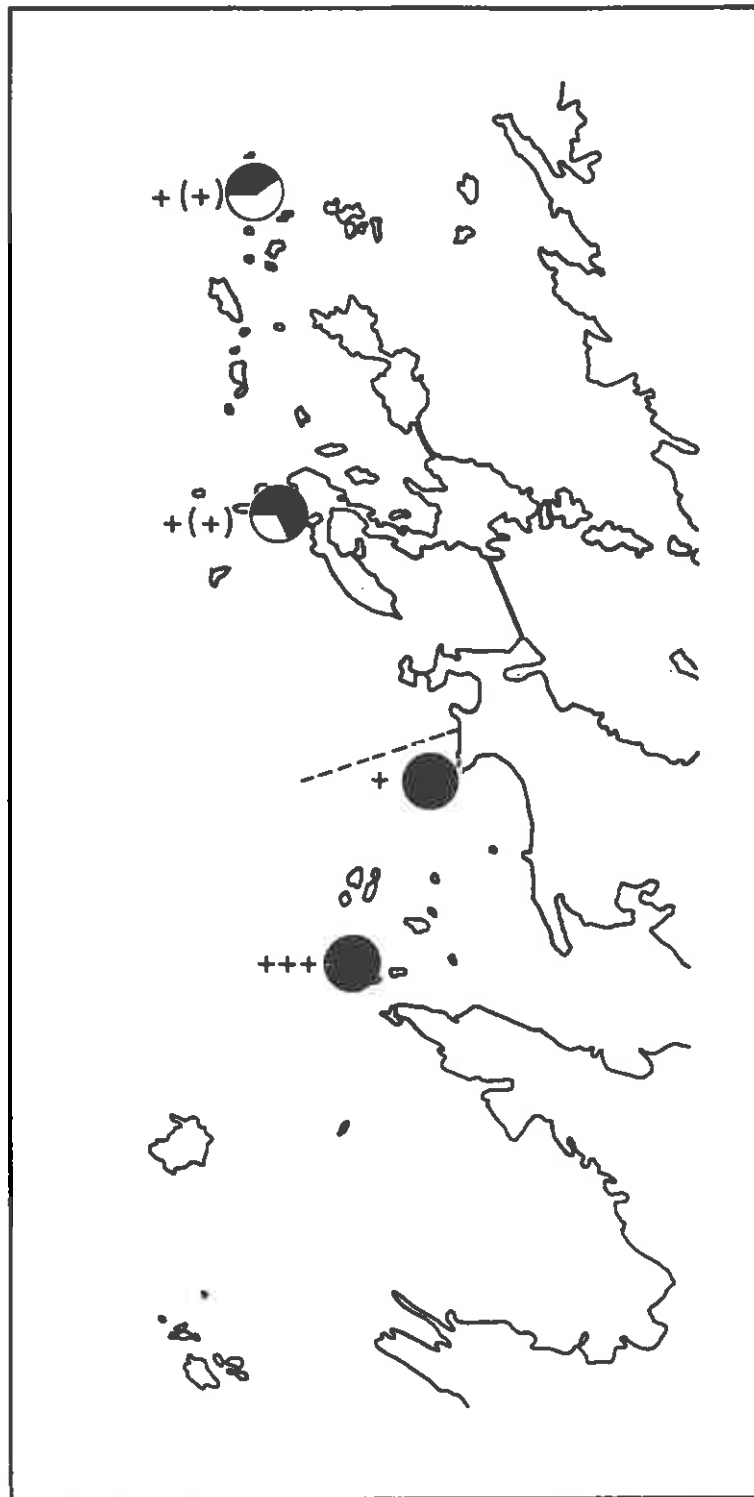
#### 2.2.1.2. Sumputuskoee

Vuoden 1984 sumputuskoeeet epäonnistuivat mädin hedelmöityksen osalta: hedelmöitymisprosentti sumpuissa oli paikoin alle 10. Hedelmöityneistäkin munista vain 3 - 53 % oli elossa kokeen päättyessä (taulukko 2, kuva 4). Sumppujen ensimmäisellä nostokerralla oli kuolleiden munien osuus suurin Kasakoilla 24,9 %. Herrainpäivissä oli 75,3 % munista pahoin epämuodostuneita. Viimeisellä nostokerralla ei Herrainpäivissä ollut enää lainkaan normaaleiksi luokiteltuja eläviä alkioita (taulukko 2, kuva 5).





Kuva 4. Mädin kuolevuus sumpuissa ensimmäisellä kokemiskerralla 6.- 7.6.1984. Selitykset kuten kuvassa 3. Hedelmöitymättömiä munia ei ole laskettu.



Kuva 5. Mädin kuolevuus sumpuissa toisella kokemiskerralla 12.6.1984. Selitykset kuten kuvassa 3. Hedelmöitymättömiä munia ei ole laskettu.

Taulukko 2. Kuolleiden ja epämuodostuneiden munien osuudet hedelmöityneistä munista ja raudan määrä sumputuskokeiden mätimunissa 1984. Sumputuspaikkojen alla suunta ja etäisyys purkupuutkesta. N = rinnakkaisten sumppujen lukumäärä.

Paikka (km)	Pvm.	Kuolleet %	Epämuodos- tuneet %	Yhteensä %	N	Fe
Kasakat (N 17)	7.6.	24,9	14,3	39,3	3	+
	12.6.	86,4	1,1	87,5	3	+(+)
Tyrnikari (N 7,7)	7.6.	1,6	26,5	38,2	3	+
	12.6.	47,0	20,5	67,5	3	+(+)
Herrain- päivät (E 3,6)	6.6.	-	75,3	75,3	2	+
	12.6.	58,7	41,3	100,0	3	+
Trutholma (S 5,3)	6.6.	21,9	23,9	45,7	2	+
	12.6.	97,0	0,4	97,4	3	+++

## 2.2.2. Vuoden 1985 tutkimukset

### 2.2.2.1. Luonnonkutupaikat

Munien hedelmöitymisprosentti näytteissä oli yli 96. Munien kuolevuus oli nytkin suurin Santakarilla, sen sijaan Kaijakarilla kutu onnistui edellisvuotta huomattavasti paremmin (taulukko 3, kuva 6). Epämuodostuneiden munien osuus oli erityisen suuri, 20 - 33 %, Uutholman syvältä (8 - 11 m) kerätyissä näyteissä. Epämuodostuneet alkiot olivat nytkin pääasiassa järjestäytymättömiä solurykelmiä.

Taulukko 3. Kuolleiden, epämuodostuneiden ja hedelmöitymättömien mätimunien osuudet mätinäytteissä sekä raudan määrä mätimunissa 1985. N = näytteiden lukumäärä.

Kutualue	Kuolleet %	Epämuodostuneet %	Hedelmöitymättömät %	Yht. %	N	Fe
Vensteeni	9,0			9,0	1	(+)
Uutholma	22,2	18,2	0,4	40,8	3	+
Kaijakari	9,7	2,0		11,7	2	++(+)
Santakaran matala	27,0	3,1	0,1	30,1	6	++
Santakari	95,0	3,7	1,3	100,0	1	++++

#### 2.2.2.2. Sumputuskoe

Mätimunien hedelmöitys onnistui edellistä vuotta paremmin: hedelmöitymisprosentti oli 95 - 99,7. Kuolleiden munien osuus oli sumppujen ensimmäisellä nostokerralla suurin pohjoisimmalla sumputuspaikalla eli Vootpöksyissä, 30,6 % (taulukko 4, kuva 7). Toisella nostokerralla 20.6. oli kuolleiden munien osuus Vootpöksyissä 43,1 %, mutta Mäntyluodossa kuitenkin vielä enemmän eli 44,1 % (taulukko 4, kuva 8). Epämuodostuneita alkioita oli eniten 16,0 %, Mäntyluodossa sumppujen ensimmäisellä kokemiskerralla. Epämuodostuneiden joukossa oli nyt myös sellaisia alkioita, jotka olivat kuroutuneet keskeltä poikki.

#### 2.2.2.3. Rautavärjäykset ja metallimääritykset

Eniten rautaa oli kertynyt mätimuniin lähinnä jätevesien purkupaikkaa sijaitsevilla tutkimuspaikoilla. Kuitenkin vielä kaukaisimmillakin pisteillä oli rautaa havaittavasti (kuvat 1 ja 2). Elävissä munissa näytti rautaa olevan eniten alkiossa. Erityisen paljon rautaa oli hedelmöitymättömissä munissa sekä kuolleiden munien pinnalla kasvavassa vesihomeessa. Vastaavalla tavalla vär-

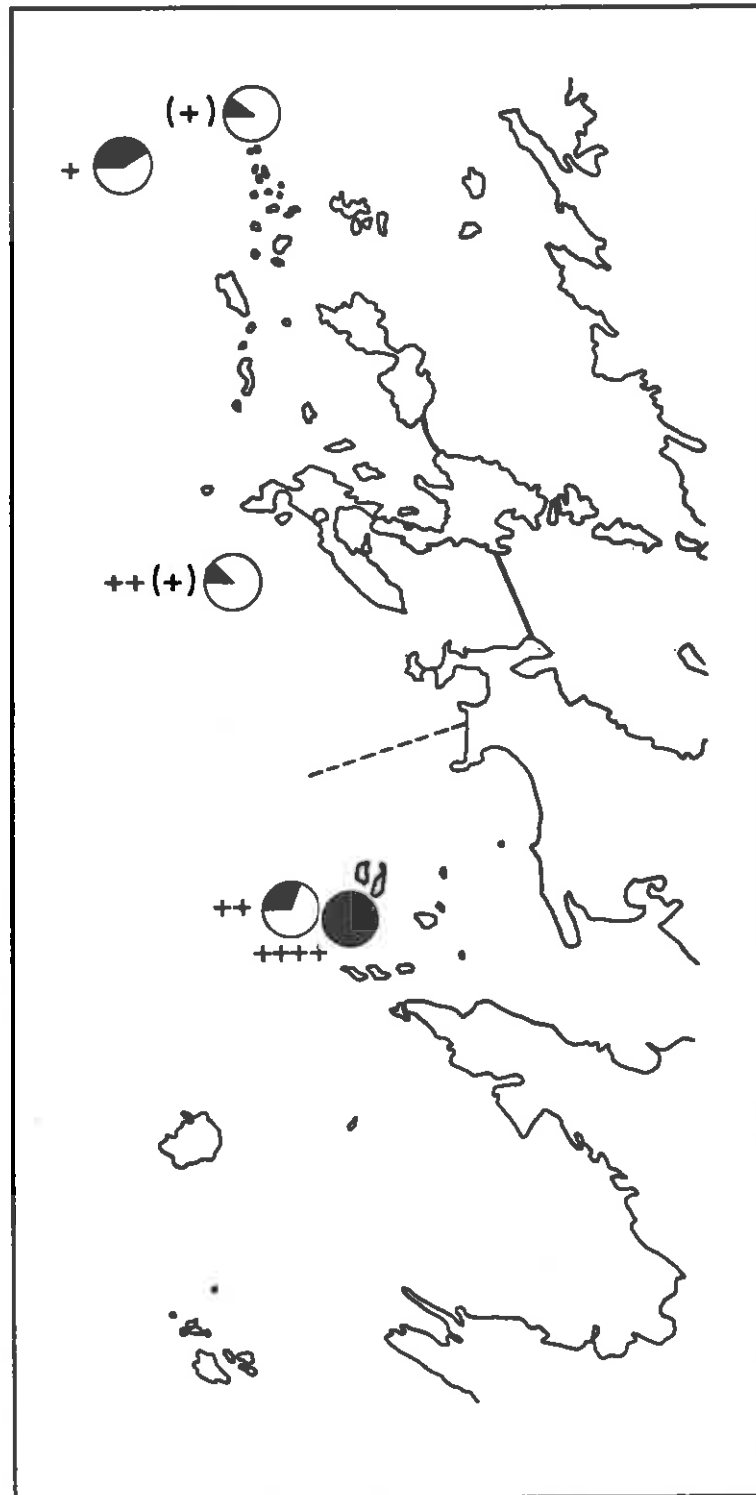


Taulukko 4. Kuolleiden ja epämuodostuneiden munien osuudet hedelmöityneistä munista ja raudan määrä sumputuskokeiden mätimunissa 1985. N = rinnakkaisten sumppujen lukumäärä.

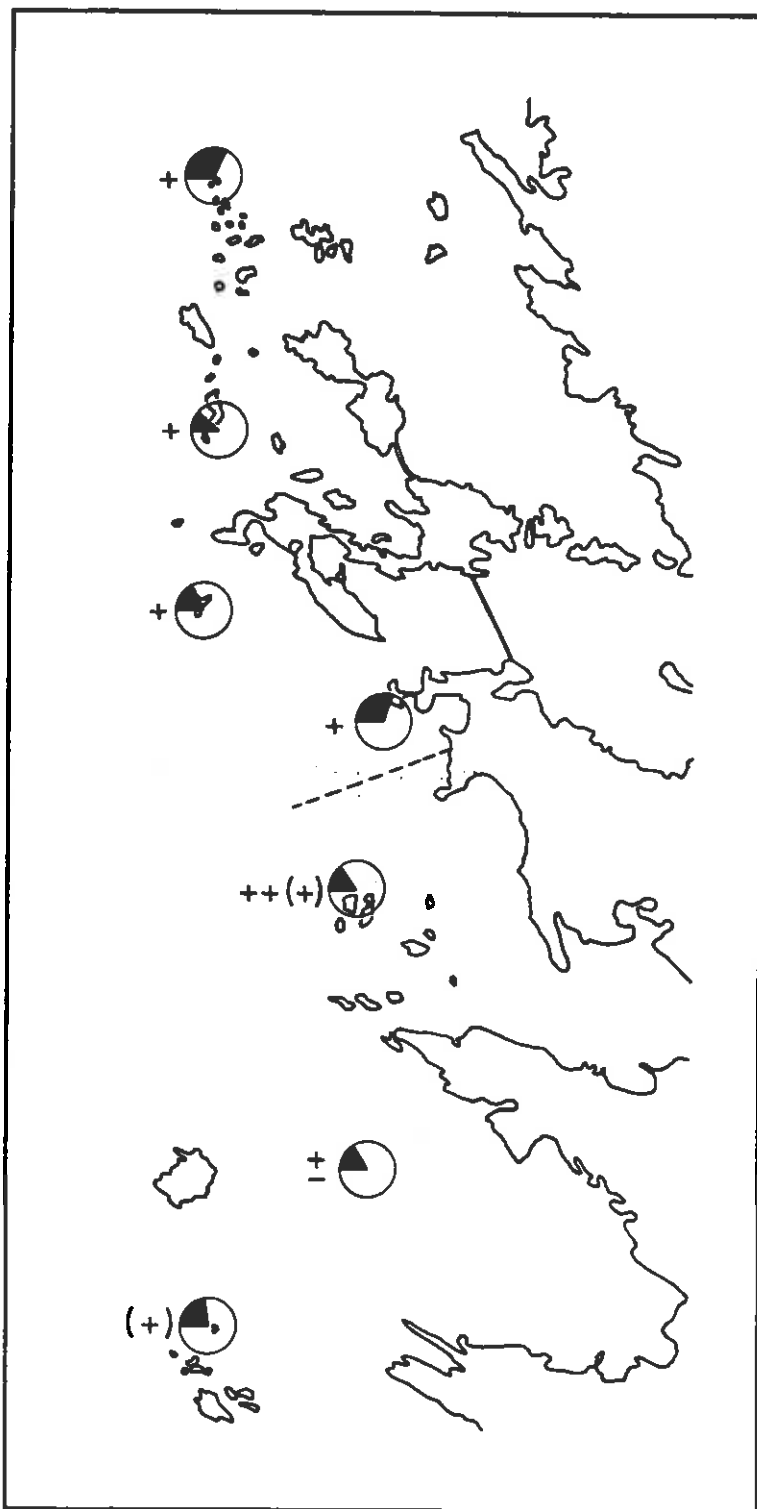
Paikka (km)	Pvm.	Kuolleet %	Epämuodos- tuneet %	Yhteensä %	N	Fe
Vootpöksyt (N 18)	16.6.	30,6	2,3	32,9	2	+
	20.6.	43,1	-	43,1	2	++
Pikku-Enskeri (N 11)	16.6.	10,8	2,6	12,4	2	+
	20.6.	18,3	0,8	19,1	2	++
Kaijakari (N 6,4)	16.6.	13,4	4,3	17,6	2	+
	20.6.	18,3	4,3	22,6	2	++
Mäntyluoto (NE 4,2)	16.6.	15,2	16,0	31,2	2	+
	20.6.	44,1	4,3	48,4	2	+++
Outoori (SE 3)	16.6.	14,9	1,3	16,3	2	++(+)
	20.6.	21,8	0,7	22,5	2	+++
Räyhä (S 9,5)	16.6.	15,9	0,8	16,6	2	+(-)
	20.6.	27,0	3,3	30,3	2	+
Marjakari (S 14)	16.6.	22,0	1,5	23,5	2	(+)
	20.6.	30,5	3,3	33,8	2	+

jättyistä, itäiseltä Suomenlahdelta kerätyistä silakan mätimunistä ei havaittu rautaa.

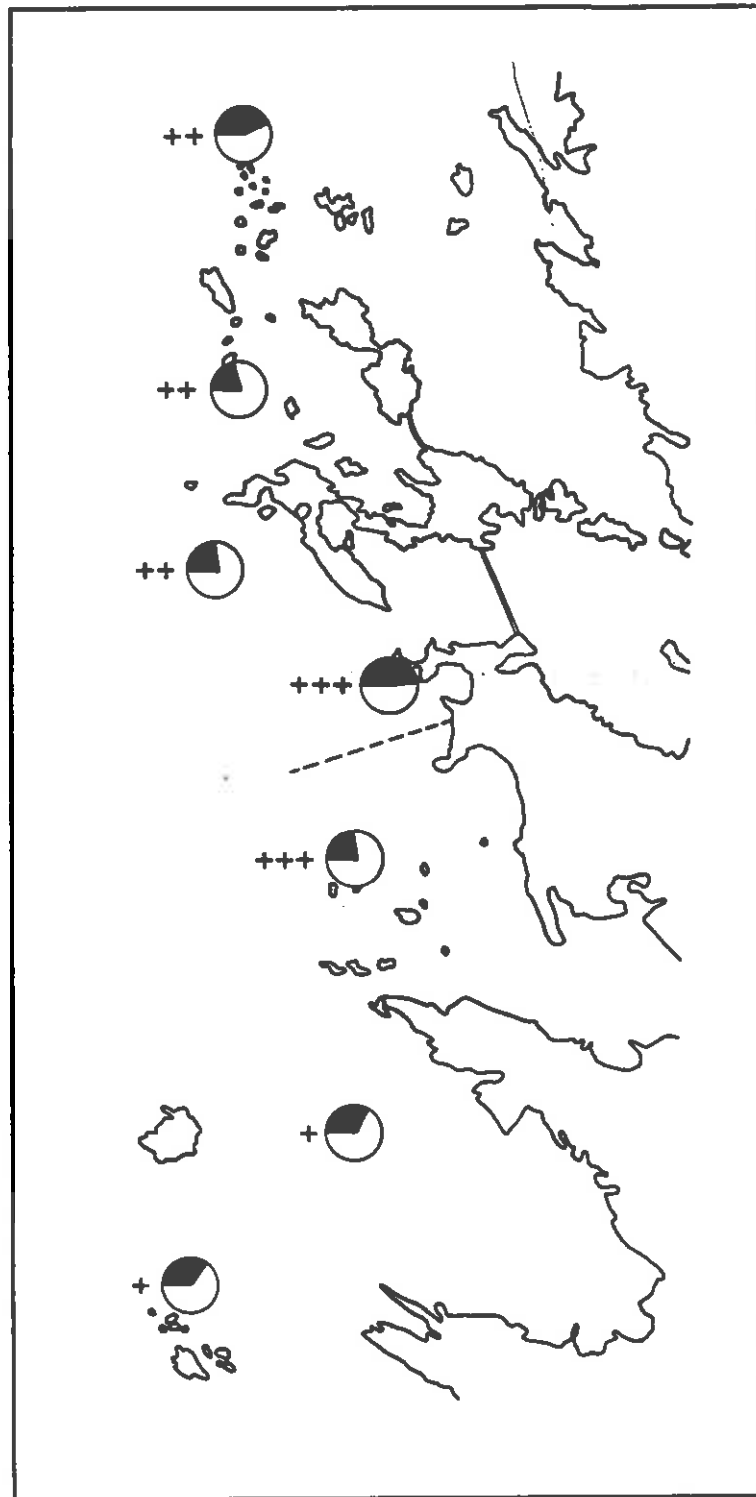
Vuorikemian jäteveettä osoittavia aineita eli titaania, vanadiinia ja rautaa oli mätimunissa kaikilla sumputuspaikoilla, mikä osoittaa jäteveden vaikuttavan koko tutkimusalueella. Korkeimmat em. aineiden pitoisuudet olivat lähinnä purkupaikkaa sijaitsevissa paikoissa, Mäntyluodossa ja Kaijakarilla, sekä titaanin osalta myös Outoorissa. Muiden metallien suhteen ei ollut havaittavissa yhtä selvää trendiä jätevesien purkupaikkaan nähden. Metallipitoisuudet olivat sangen korkeita myös Vootpöksyissä, tutkimusalueen pohjoislaidalla, mikä on myös Kokemäenjoen vaikutusaluetta. Mätimunista mitatut metallipitoisuudet on esitetty kuvassa 9.



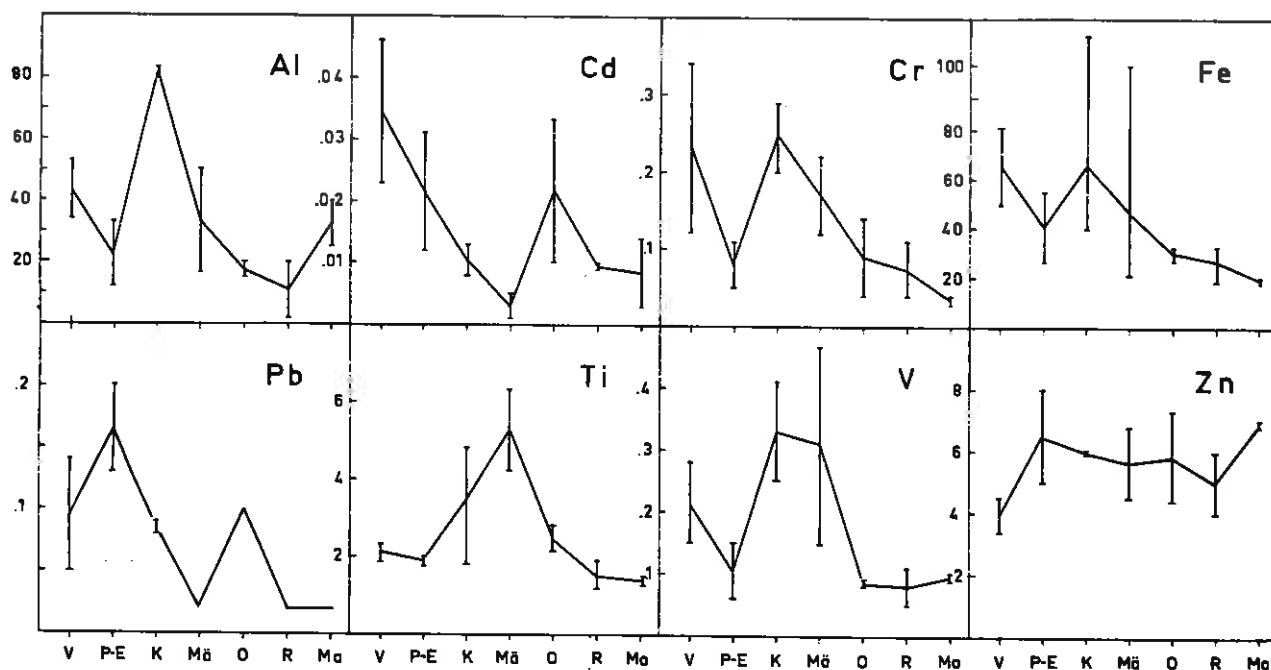
Kuva 6. Mädin kuolevuus luonnonkutupaikoilla 1985. Selitykset kuten kuvassa 3.



Kuva 7. Mädin kuolevuus sumpuissa ensimmäisellä kokemiskerralla 16.6.1985. Selitykset kuten kuvassa 3. Hedelmöitymättömiä munia ei ole laskettu.



Kuva 8. Mädin kuolevuus sumpuissa toisella kokemiskerralla 20.6.1985. Selitykset kuten kuvassa 3. Hedelmöitymättömiä munia ei ole laskettu.



Kuva 9. Eri metallien määrä v. 1985 sumputetuissa mätimunissa mg/kg tuorepainoa. V = Vootpöksyt, P-E = Pikku-Enskeri, K = Kaijakari, Mä = Mäntyluoto, O = Outoori, R = Räyhä, Ma = Marjakari.

### 2.3. Tulosten tarkastelua

Itämerellä tehdyissä silakan kutualueiden tutkimuksissa on todettu mädin kuolevuuden vaihtelevan olosuhteiden mukaan suuresti ollen yleensä kuitenkin keskimäärin 10 - 30 % luokkaa (Rannak 1971, Biester ym. 1979, Ojaveer 1981a, Rajasilta 1982, Oulasvirta ym. 1985a, 1985b). Mädin kuolevuuteen on todettu vaikuttavan mm. veden lämpötila ja happipitoisuus (Aneer ja Nellbring 1982, Oulasvirta ym. 1985a). Tammisaaren saaristossa tehdyssä tutkimuksessa oli kuolleiden munien osuus näytteissä toukokuussa keskimäärin 6,5 %, kesäkuussa 31,4 % ja heinäkuussa 94,7 % (Oulasvirta ym. 1985a). Kuolevuuden nousu johtui ilmeisesti kohonneen veden lämpötilan ohella myös rihmamaisten ruskolevien hajoamisen seurauksena johtuvasta hapen vähäisyydestä. Ojaveer (1981b) on laboratoriokokeissa todennut myös hyvin kylmän (3 °C) veden haittaavan alkion kehitystä. Mätinäytteen kuolleiden munien

määrään vaikuttaa myös mädin ikä: näyte tulisi ottaa mahdollisimman lähellä munien kuoriutumisaikajankohtaa. Tässä tutkimuksessa esim. Marjakarilta kerätyt mätimunat olivat vain pari päivän ikäisiä, mikä osaltaan selittää alhaista kuolevuusprosenttia.

Nyt tutkituilla kutupaikoilla Kaijakarilla 1984 ja Santakarilla molempina tutkimusvuosina mädin kuolevuus oli edellä esitettyjen lukujen valossa veden lämpötilan huomioon ottaen epänormaalin suuri. Myös Uutholman ja Santakarinnan matalan kutupaikoilla tavatut mädin kuolevuusarvot ovat melko korkeita. Varsinkin Kaijakarinnan ja Santakarinnan välisellä alueella oli Vuorikemian jätevesien vaikutus mädin kuolevuuteen ilmeinen. Vallitsevat tuulet olivat etenkin 1984 idän ja pohjoisen väliltä, jolloin jäteveden on todettu kumpuavan matalampiin rannikkovesiin (Lehtonen 1976, Häkkilä 1983). Muniin oli kertynyt paljon rautaa ja epämuodostuneita alkioita oli ajoittain runsaasti. Vuorikemian jäteveten osoittavien aineiden titaanin ja vanadiinin pitoisuudet olivat korkeimmat Kaijakarilla ja Mäntyluodossa sumputetuissa mätimunisissa. Nyt tehtyjen laboratorikokeiden ja aikaisempien tutkimusten mukaan kalat ja mätimunat ovat akuutisti herkkiä ennen kaikkea jäteveden happamuudelle (Bagge ja Ilus 1975, Häkkilä 1978, Edmonds 1981). Kalojen mätimunilla tehtyjen kokeiden mukaan mädin kehitykselle vahingolliset pH-arvot ovat 4,5 - 6,5 (ref. EIFAC 1968). Porin edustalla, alle kymmenen metrin syvyydessä, ei ole Häkkilän (1981) mukaan vuosina 1970 - 1975 todettu alle 6,8 olevia pH-arvoja. On ilmeistä, että mikään tekijä ei yksinään selitä mädin suurta kuolevuutta Santakarinnan ja Kaijakarinnan välisellä alueella, vaan se on seurausta jäteveden myrkkyjen, mahdollisen lievän pH:n alenemisen ja ehkä jonkin luonnossa vaikuttavan tekijän yhteisvaikutuksesta. Uutholmassa Vuorikemian jätevesien vaikutus ei ole yhtä selvä. On mahdollista, että mädin elinkykyyn on Uutholmasta vaikuttanut Vuorikemian jätepäästöjen ohella Kokemäenjoesta peräisin olevat jätevedet. Vootpöksyissä, joka Häkkilän (1980) mukaan sijaitsee Uutholman tavoin Vuorikemian ja Kokemäenjoen yhteisvaikutusalueella, mitattiin mätimunista varsin korkeita metallipitoisuuksia (kuva 9).

Muilla tutkituilla kutupaikoilla kuolevuus oli normaaliluokkaa. Kuolevuus oli vuoden 1984 sumputuskokeissa suuri, kun sitä verrataan samanlaisilla sumpuilla Hankoniemen vesillä sumputettujen silakan mätimunien kuolevuuteen (Kalliola ym. 1983, Rissanen ja Oulasvirta 1985). Mädin kuolevuus näissä tutkimuksissa oli 63 ja 50,8 %. Vuoden 1984 sumputuskokeiden tulosten tulkintaa häittää alhainen hedelmöitymisprosentti; hedelmöityneiden munien määrä oli paikoin niin alhainen, että se vähentää kuolevuuslaskelmien luotettavuutta. Hedelmöitymättömiin muniin iskenyt vesihome on eläviin muniin levitessään todennäköisesti nostanut kuolevuutta.

Kaliumferrosyanidivärjäykset osoittivat rautaa kertyneen mätimuniin lähes kaikilla tutkimuspaikoilla. Raudan määrän ei aina havaittu olevan suoraan verrannollinen mädin kuolevuuteen siitäkään huolimatta, että nimenomaan alkion todettiin usein värjäytyvän eniten, mikä osoittaa raudan kertyneen siihen. Erityisen paljon rautaa todettiin hedelmöitymättömissä munissa. On todennäköistä, että hedelmöitymättömän munan kuori on läpäisevämpi kuin hedelmöityneen. Sakkautunutta rautaa havaittiin munien päällä Outoorissa, Herranpäivissä ja Mäntyluodossa. Kinne ja Rosenthal (1967) totesivat munien päälle sakkautuvien partikkelien voivan haitata alkion ja ympäristön välistä aineenvaihduntaa.

Yhteenvedon voidaan todeta, että Vuorikemian jätevesien haitallinen vaikutus silakan mätiiin näkyy selvästi Kaijakerin ja Santakerin välisellä vesialueella. Vielä Trutholmassakin todetut suuret rautapitoisuudet viittaavat Vuorikemiaan. Laajemmalla alueella akuutteja haittavaikutuksia ei voi osoittaa. Alkioihin kertyneiden myrkyjen aiheuttamia mahdollisesti myöhemmin ilmeneviä subletaaleja vaikutuksia ei selvitetty tässä tutkimuksessa. On ilmeistä, että mädin selviytyminen riippuu jätevesien virtausreiteistä, joita on vaikea ennustaa. Suotuisten virtausten vallitessa jätevesi valuu purkupaikasta länteen syvempään veteen ja mäti saattaa kehittyä melko lähelläkin jätevesien purkupaikkaa (esim. kutu Kaijakerilla vuonna 1985). Toisaalta epäsuotuisten virtausten ja sääolojen yhteensattuessa jätevesi

kumpuaa ylös, ja mädin täydellinen tuhoutuminen saattaa tapahtua ainakin 6 - 7 km:n etäisyydellä purkuaukosta (vrt. kutu Kaijakarilla vuonna 1984).

### 3. LABORATORIOKOKKEET (Jouko Rissanen)

#### 3.1. Menetelmät

Laboratoriokokeet suoritettiin Tvärminnen eläintieteellisellä asemalla 21.5. - 5.6. 1985. Koesarjoja oli kolme. Hedelmöityskokeessa pyrittiin selvittämään silakan mätimunien hedelmöitymisvaiheen herkkyyttä, 15 vrk altistuskokeessa keinohedelmöitetyn mädin ja siitä kuoriutuvien poikasten, ja 96 tunnin altistuskokeessa puhtaassa merivedessä kasvatettujen poikasten elinkykyä eri jätevesikonsentraatioissa.

Jätevesi oli peräisin Vuorikemian tehtaiden elokuun 1984 jätevesierästä. Valtion teknisen tutkimuslaitoksen analyysien mukaan jäteveden rautapitoisuus oli 6,9 g Fe/l ja liunneen titaanin pitoisuus 0,72 g Ti/l. Jäteveden pH oli noin 1. Laimennoksissa käytetty vesi haettiin Tvärminnen ulkosaaristosta (suolapitoisuus noin 0,6 %).

#### 3.1.1. Hedelmöityskoe

Hedelmöityskokeessa paikallisten kalastajien rysistä saaduista kutukypsistä silakoista lypsettiin mätimunia kosteille nylonverkonpalloille, jotka laitettiin puhdasta merivettä sisältäville petrimaljoille. Kullekin verkonpalalle lypsettiin mätiä ainakin kahdesta eri naaraskalasta. Petrimaljoihin lisättiin Vuorikemian tehtaiden jätevettä seuraavien jätevesipitoisuuksien aikaansaamiseksi: 0,002 % (sekoitussuhde 1:50 000), 0,01 % (1:10 000), 0,02 % (1:5 000), 0,1 % (1:1 000) ja 0,2 % (1:500). Lisäksi käytettiin puhdasta merivettä sisältäviä kontrollimaljoja. Rinnakkaisia maljoja oli kutakin pitoisuutta kohden kolme kap-



paletta. Jätevesilisäyksen jälkeen kuhunkin maljaan lisättiin maitiliuosta. 7,5 tunnin kuluttua jätevesi- ja maitilisäyksistä verkonalat mätimunineen siirrettiin laimean etikkahappoliuoksen kautta puskuroituun noin 4 % formaldehydiliuokseen. Näytteistä laskettiin monisoluvaiheeseen ehtineiden ja kuolleiden alkioiden sekä hedelmöitymättömien mätimunien osuudet. Kustakin näytteestä laskettiin 357 - 400 mätimunaa.

### 3.1.2. 15 vrk altistuskoe

15 vrk altistuskokeessa nylonverkonpaloille lypettyä ja keino-hedelmöitettyä mätiä inkuboitiin eri jätevesipitoisuuksissa poikasten kuoriutumiseen ja edelleen ruskuaispussivaiheen loppuun asti. Kokeen kesto oli lähes 15 vrk. Jätevesipitoisuudet olivat samat kuin hedelmöityskokeessa. Rinnakkaisia altaita oli kolme kappaletta kussakin pitoisuudessa. Inkubointialtaassa oli liuosta 1,5 l ja altaat olivat ilmastetut koko kokeen ajan.

Liuokset vaihdettiin tuoreisiin 3 - 5 vrk välein, koska alhaisen pH:n omaavan jäteveden sisältämä liukoisessa muodossa oleva rauta sakkautuu varsin nopeasti pH:n kohotessa jätevettä laimennettaessa. Liuosten vaihtojen yhteydessä mitattiin vanhan liuoksen happipitoisuus Delta-happimittarilla. Lisäksi seurattiin liuoksen pH:ta. Koealtaiden lämpötilat mitattiin kokeen alkupuoliskolla muiden mittausten ja näytteenottojen yhteydessä. Kokeen loppupuoliskolla oli käytössä ympärivuorokautisesti toimiva lämpötilapiirturi.

Altaista otettiin näytteitä monisoluvaiheessa alkioiden ollessa 7,5 tunnin ikäisiä, alkioiden ollessa 140 tunnin ikäisiä, juuri ennen kuoriutumisvaihetta alkioiden ollessa 207 ja 228 tunnin ikäisiä ja ruskuaispussivaiheen lopulla 350,5 tunnin kuluttua hedelmöityksestä. Näytteet käsiteltiin ja säilöttiin kuten hedelmöityskokeen näytteet. Näytteistä laskettiin kuoriutuneiden poikasten, eri alkionkehitysvaiheiden, kuolleiden poikasten ja alkioiden sekä hedelmöitymättömien mätimunien osuudet. Kustakin

näytteestä laskettiin n. 400 (224 - 578) mätimunaa. Osalle näytteistä tehtiin kaliumferrosyanidivärjäyksiä alkioihin kertyneen raudan määrän suhteellista määrittystä varten.

### 3.1.3. Poikasten 96 tunnin altistuskoe

Kokeessa käytettiin puhtaassa merivedessä kasvatetuista mätimunista kuoriutuneita poikasia. Kokeessa käytettiin viittä eri jätevesipitoisuutta, 0,005 % (sekoitussuhde 1:20 000), 0,01 % (1:10 000), 0,02 % (1:5 000), 0,05 % (1:2 000), 0,01 % (1:1 000) ja 0,2 % (1:500), sekä kontrollina puhdasta merivettä. Rinnakkaisia altaita oli kussakin pitoisuudessa kolme lukuunottamatta kontrollia, jossa altaita oli kaksi. 96 tunnin kuluttua jäteveden lisäyksestä poikaset siirrettiin puskuroituun formaliiniin. Näytteistä laskettiin ruskuaispussinsa jo käyttäneiden, ruskuaispussillisten ja kuolleiden poikasten osuudet. Poikasten alhaisen ja vaihtelevan määrän vuoksi rinnakkaiset näytteet yhdistettiin. Yhdistettyjen näytteiden poikasten lukumäärät vaihtelivat välillä 52 - 110.

## 3.2. Tulokset

### 3.2.1. Fysikaaliset mittaukset koealtaista

Vuorikemian jäteveden lisäys murtoveteen aiheutti koeliuosten pH:n alenemisen. Aleneminen oli laimeimmissa jätevesipitoisuuksissa vähäistä. Käytetyn puhtaan murtoveden pH oli 7,9 ja vielä 0,1 % jätevesipitoisuudessa 7,2. Pudotus 0,2 % jätevesipitoisuuden pH 3,8:aan oli jyrkkä (taulukko 5). Muutosta kuvaa parhaiten regressioyhtälö  $y = 8,05 - 0,173e^{16x}$  ( $r^2 = 0,999$ ) 0,2 % jätevesipitoisuuteen asti.

Taulukko 5. 15 vrk altistuskokeen aikana eri jätevesipitoisuuksista mitattujen pH-arvojen keskiarvot sekä näiden 95 % luotettavuusrajat.

Pitoisuus %	pH
0	7,87 ± 0,11
0,002	7,94 ± 0,09
0,01	7,85 ± 0,05
0,02	7,77 ± 0,07
0,1	7,20 ± 0,25
0,2	3,80 ± 0,07

Happipitoisuudet olivat kaikissa koealtaissa ilmastuksen vuoksi riittäviä. Mittausten mukaan happipitoisuus oli keskimäärin 9,7 mg/l.

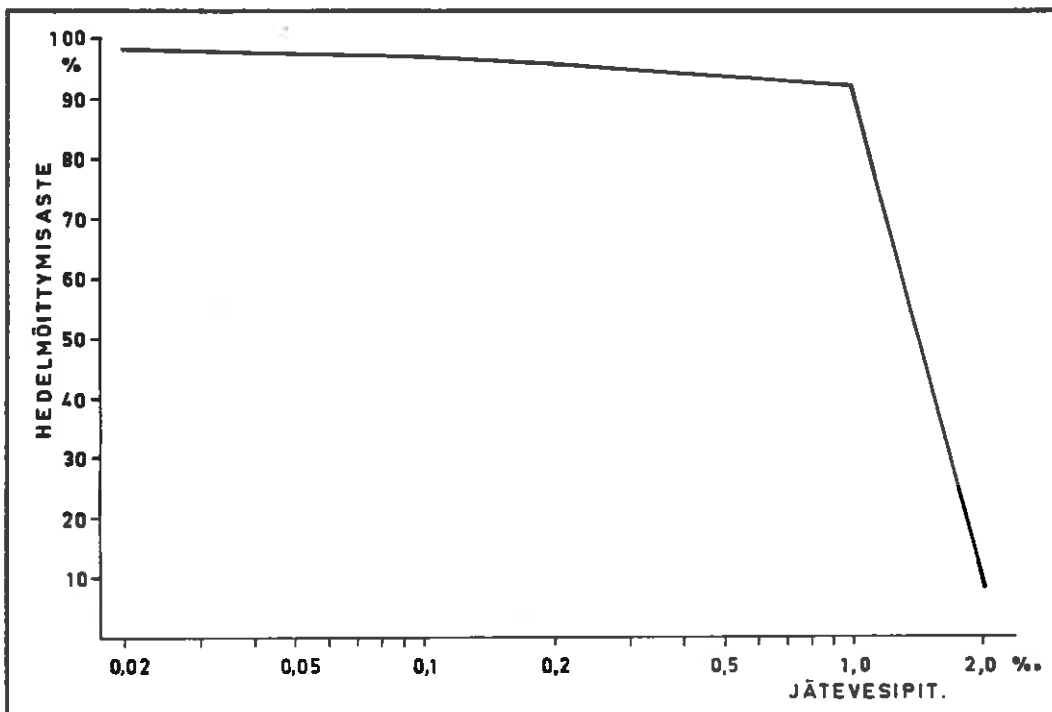
Koealtaiden lämpötila vaihteli rajoissa 9,5 - 10,5 °C. Mittausten päiväkeskiarvo oli keskimäärin 9,8 °C.

### 3.2.2. Hedelmöityskoe

Hedelmöitymisaste oli puhtaassa murtovedessä n. 98 % ja laski jätevesipitoisuuden kasvaessa (taulukko 6, kuva 10). Hedelmöitymisasteen muutosta jätevesipitoisuuden funktiona kuvaa parhaiten regressioyhtälö  $y = 96,0 - 0,335e^{28x}$  ( $r^2 = 0,997$   $df = 17$ ). Hedelmöitymisasteen lasku oli pientä alle 0,1 % jätevesipitoisuudessa (0,1 % pitoisuudessa 92 %). Sen sijaan 0,2 % jätevesipitoisuudessa alle 10 % hedelmöityi ja itseasiassa kaikki mätimunat kuolivat jo ennen kokeen loppua. Varianssianalyysi osoittaa kuitenkin sen, että jäteveden vaikutus hedelmöitymisasteeseen oli tilastollisesti merkitsevää 0,01 % pitoisuuksissa ( $F = 6,35^{**}$   $df_1 = 4$   $df_2 = 10$ ) ja ero kontrolliin jokseenkin merkitsevä vielä 0,02 % pitoisuudessa ( $F = 9,45^*$   $df_1 = 1$   $df_2 = 4$ ).

Taulukko 6. Hedelmöityskokeen tulokset. Silakan elävien ja kuolleiden alkioiden sekä hedelmöitymättömien mätimunien osuudet ( $\pm 95\%$  luotettavuusrajat) eri jätevesipitoisuuksissa.

Pitoisuus %	Elävät %	Kuolleet %	Hedelmöi- tymättömät %
0	97,8 $\pm$ 1,3	1,0 $\pm$ 1,2	2,3 $\pm$ 1,2
0,002	94,8 $\pm$ 1,0	1,6 $\pm$ 1,4	1,6 $\pm$ 1,0
0,01	96,9 $\pm$ 2,5	2,2 $\pm$ 2,5	3,1 $\pm$ 2,5
0,02	95,9 $\pm$ 1,8	2,1 $\pm$ 2,0	4,1 $\pm$ 1,8
0,1	92,1 $\pm$ 5,2	1,3 $\pm$ 2,5	6,7 $\pm$ 7,4
0,2	8,4 $\pm$ 1,0	3,0 $\pm$ 4,1	1,5 $\pm$ 0,6

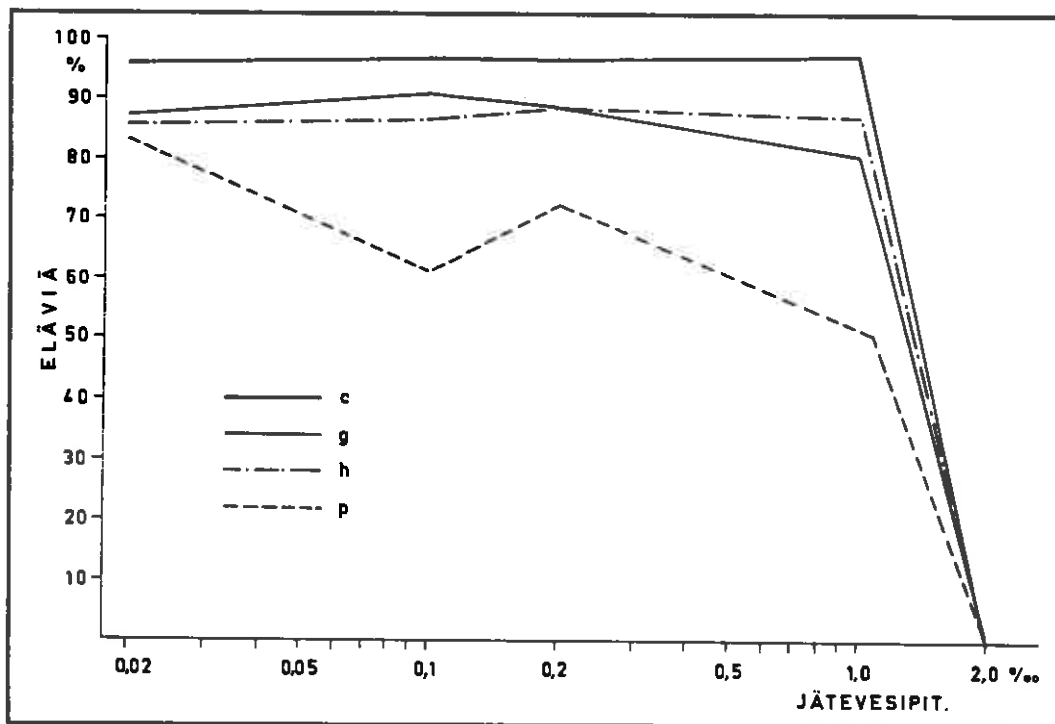


Kuva 10. Hedelmöityneiden silakan mätimunien osuudet eri jätevesipitoisuuksissa.

## 3.2.3. 15 vrk altistuskoe

Ennen kuoriutumisvaihetta ei silakan alkioiden kuolevuudessa 0,1 % ja sitä laimeammissa jätevesipitoisuuksissa ollut havaittavissa eroa verrattuna kuolevuuteen kontrollissa ( $0,54 \leq F \leq 1,47$   $df_1 = 4$   $df_2 = 10$ ). Kuolevuus pysyi mainituissa jätevesipitoisuuksissa alle 20 %:ssa. Alhaisen pH:n omaavassa 0,2 % pitoisuudessa sitävastoin kaikki alkiot kuolivat jo kokeen alkuvaiheessa (kuva 11, taulukko 7).

Poikasten kuoriuduttua tapahtui kuolevuudessa kontrollia ja laimeinta 0,002 % jätevesipitoisuutta lukuunottamatta selvää kasvua. Kokeen lopussa puhtaassa merivedessä ja 0,002 % jätevesipitoisuudessa oli vielä yli 80 % elossa, 0,01 - 0,02 % pitoisuudessa n. 60 - 70 % ja 0,1 % pitoisuudessa enää n. 50 % (kuva 11, taulukko 7).



Kuva 11. Elävien silakan alkioiden ja poikasten osuudet c = 7,5 tunnin, g = 140 tunnin, h = 207 tunnin ja 228 tunnin ja p = 350,5 tunnin kuluttua hedelmöityksestä eri jätevesipitoisuuksissa.

-----  
 Taulukko 7. 15 vrk altistuskokeen tulokset. Silakan poikasten, elävien ja kuolleiden alkioiden sekä hedelmöitymättömien mätimurien osuudet ( $x \pm 95\%$  luotettavuusrajat) eri näytteenottokerroilla ja eri jätevesipitoisuuksissa. (jatkuu seuraavalla sivulla)  
 -----

22.5.1985 (7,5 tuntia hedelmöityksestä)

Pitoisuus	Elävät	Kuolleet	Hedelmöitymättömät
%	%	%	%
0	98,1 $\pm$ 3,2	1,2 $\pm$ 2,4	0,8 $\pm$ 1,9
0,002	95,9 $\pm$ 2,8	3,1 $\pm$ 3,1	1,0 $\pm$ 1,6
0,01	97,3 $\pm$ 4,7	0,7 $\pm$ 1,9	2,1 $\pm$ 2,5
0,02	97,3 $\pm$ 7,6	1,9 $\pm$ 7,2	0,8 $\pm$ 0,7
0,1	97,6 $\pm$ 3,6	1,5 $\pm$ 2,2	0,9 $\pm$ 1,6
0,2	0 $\pm$ 0	99,7 $\pm$ 0,4	0,3 $\pm$ 0,4

27.5.1985 (140 tuntia hedelmöityksestä)

Pitoisuus	Elävät	Kuolleet	Hedelmöitymättömät
%	%	%	%
0	88,8 $\pm$ 10,2	8,9 $\pm$ 7,7	2,3 $\pm$ 3,9
0,002	87,2 $\pm$ 13,9	10,4 $\pm$ 10,6	2,4 $\pm$ 3,4
0,01	91,0 $\pm$ 7,3	7,8 $\pm$ 3,7	1,3 $\pm$ 3,8
0,02	89,0 $\pm$ 9,2	9,1 $\pm$ 8,3	1,9 $\pm$ 3,6
0,1	80,8 $\pm$ 22,8	16,8 $\pm$ 21,0	2,3 $\pm$ 2,9
0,2	0 $\pm$ 0	99,3 $\pm$ 1,6	0,7 $\pm$ 1,6

30.-31.5.1985 (207 ja 228 tuntia hedelmöityksestä)

Pitoisuus	Elävät	Kuolleet	Hedelmöitymättömät
%	%	%	%
0	88,1 $\pm$ 6,3	9,5 $\pm$ 5,8	2,5 $\pm$ 1,6
0,002	85,8 $\pm$ 5,5	12,1 $\pm$ 6,1	2,1 $\pm$ 1,9
0,01	85,9 $\pm$ 5,9	13,2 $\pm$ 5,8	0,9 $\pm$ 0,8
0,02	89,2 $\pm$ 2,8	9,7 $\pm$ 2,1	1,1 $\pm$ 1,0
0,1	97,6 $\pm$ 3,9	11,7 $\pm$ 3,7	0,7 $\pm$ 0,5
0,2	0 $\pm$ 0	99,3 $\pm$ 0,7	0,8 $\pm$ 0,7

(jatkuu seuraavalla sivulla)  
 -----

Taulukko 7. (jatkoa ed. sivulta)

5.6.1985 (350,5 tuntia hedelmöityksestä)

Pit. %	poikaset %	kuoll.poik. %	kuoll.h-v <sup>1</sup> %	muut kuoll. %
0	81,9 ± 13,1	5,8 ± 2,4	2,0 ± 4,5	10,3 ± 2,2
0,002	83,4 ± 4,0	6,5 ± 5,6	3,2 ± 5,9	7,0 ± 3,6
0,01	62,3 ± 11,7	18,9 ± 9,5	3,1 ± 10,7	15,7 ± 10,5
0,02	72,5 ± 33,9	11,8 ± 23,3	2,2 ± 3,7	13,5 ± 15,4
0,1	50,8 ± 34,6	26,3 ± 34,7	14,5 ± 34,2	8,4 ± 9,4
0,2	0 ± 0	0 ± 0	0,04 ± 0,17	100,9 ± 0,2

1) kuolleet kuoriutumista edeltäneen vaiheen alkioit

Kuoriutumisprosentti oli kontrollikokeessa n. 88 %, 0,002 % jätevesipitoisuudessa n. 90 %, 0,01 % pitoisuudessa n. 81 %, 0,02 % pitoisuudessa 84 % ja 0,1 % pitoisuudessa 77 %. 0,01 -0,1 % jätevesipitoisuuksissa tapahtunut jyrkkä kuolevuuden nousu nousu ajoittuu siis kuoriutumisvaiheen jälkeiseen aikaan. Sama käy ilmi, kun tarkastellaan kuolleiden poikasten osuuksia. Kontrollissa oli kuolleita poikasia kokeen lopussa 5,8 % kokonaisuksilömäärästä. Vastaava osuus 0,002 % jätevesipitoisuudessa oli 6,5 %, 0,01 % pitoisuudessa 19 %, 0,02 % pitoisuudessa 12 % ja 0,1 % pitoisuudessa 26,3 %.

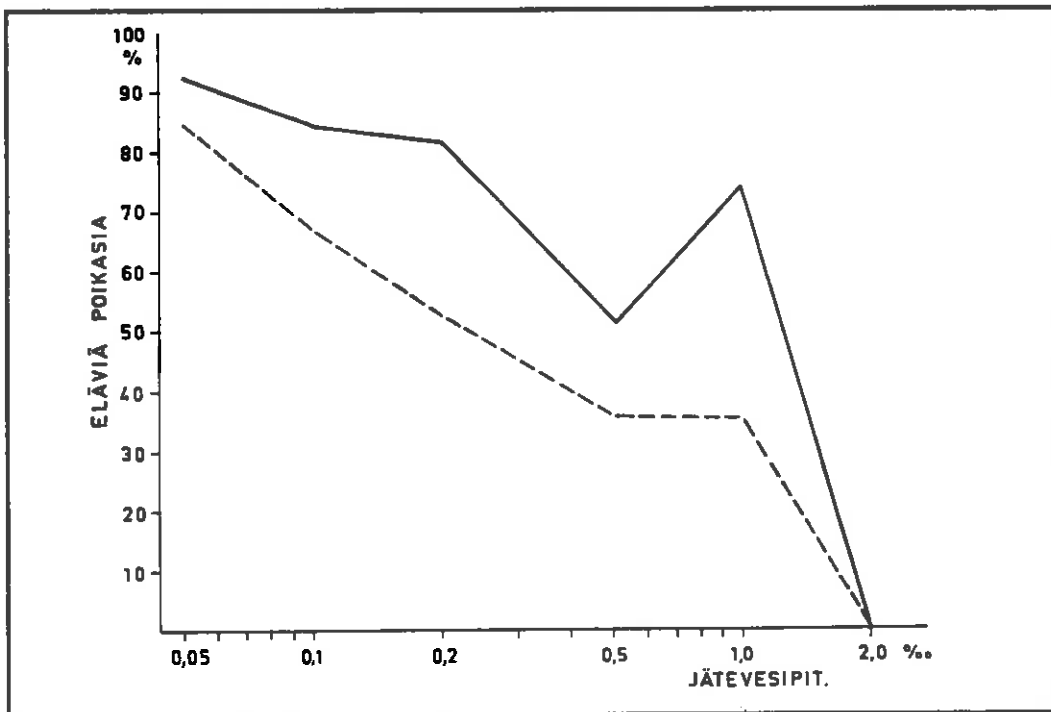
Varianssianalyysin mukaan jäteveden vaikutus elävien poikasten osuuteen on myös tilastollisesti merkitsevää ( $F = 6,77^{**}$   $df_1 = 4$   $df_2 = 10$ ) 0,1 % ja sitä laimeimmissa pitoisuuksissa. Vielä 0,01 % jätevesipitoisuudessa elävien poikasten osuudet poikkesivat tilastollisesti merkittävästi kontrollista ( $F = 33,53^{**}$   $df_1 = 1$   $df_2 = 4$ ) ja myös kuoriutumisasteessa ero oli jokseenkin merkitsevää ( $F = 14,49^*$   $df_1 = 1$   $df_2 = 4$ ). Näytteiden suuresta hajonnasta ja rinnakkaisnäytteiden alhaisesta lukumäärästä johtuen 0,02 % jätevesipitoisuuden ja kontrollin välillä ei voitu osoittaa tilastollisesti merkitseviä eroja.

Rautavärjäykset alkioista ja poikasista osoittivat, että niiden kudoksiin oli kerääntynyt rautaa havaittavia määriä 0,02 % ja

sitä suuremmissa jätevesipitoisuuksissa. 0,2 % pitoisuudessa rautaa oli mätimunissa suhteellisen asteikon mukaan erittäin paljon. 0,02 % pitoisuudessa rautaa oli kertynyt vain osaan alkioista ja niihinkin paikoittain. Usein värjäytyminen oli voimakkainta alkioiden ja varsinkin poikasten pääosissa. Kuolleet munat ja poikaset olivat voimakkaimmin värjäytyneitä.

#### 3.2.4. Poikasten 96 tunnin altistuskoe

Puhtaassa vedessä kuoriutumisvaiheeseen asti kasvatettujen silakan poikasten kuolevuus oli kontrollia selvästi suurempaa 0,02 % suuremmissa jätevesipitoisuuksissa. Poikasten kehityksen hidastuminen näkyi elävien ruskuaispussivaiheen poikasten osuuden kasvuna jo 0,01 % ja sitä suuremmissa jätevesipitoisuuksissa (kuva 12, taulukko 8). 0,2 % pitoisuudessa kuolivat kaikki poikaset heti jätevesilisäyksen jälkeen. 96 tunnin  $LC_{50}$  -arvoksi voidaan arvioida 0,1 - 0,2 % jätevesipitoisuus.



Kuva 12. Elävien poikasten (yhtenäinen viiva) ja elävien ruskuaispussivaiheen ohittaneiden poikasten (katkoviiva) osuudet 96 tunnin altistuksen jälkeen eri jätevesipitoisuuksissa.



Taulukko 8. Silakan poikasten 96 h:n altistuskokeen tulokset. Elävien poikasten ja ruskuaispussivaiheen ohittaneiden poikasten osuus eri jätevesipitoisuuksissa.

Pitoisuus %	Elävät poikaset %	Ruskuaispussivaiheen ohittaneet poikaset %
0	100,0	80,8
0,005	92,4	84,8
0,01	84,4	67,2
0,02	81,7	52,9
0,05	51,4	35,9
0,2	73,8	35,4
0,2	0	0

### 3.3. Tulosten tarkastelua

Koetulosten perusteella 0,1 - 0,2 % välillä oleva jätevesipitoisuus oli silakan kaikille nuoruusvaiheille akuutisti letaali. 0,2 % pitoisuudessa kuolivat kaikki koeryhmien yksilöt lähes välittömästi jäteveden lisäyksen jälkeen. Vanhin nyt kokeessa olleista kehitysvaiheista, ruskuaispussivaihe, oli herkin. Tässä kehitysvaiheessa ilmeni jäteveden haitallisia vaikutuksia vielä 0,01 % pitoisuuksissa. Myös hedelmöitymisvaihe oli herkkä jäteveden vaikutukselle. Hedelmöitymisasteessa oli havaittavissa pientä alentumista jo 0,01 % pitoisuudessa. Hedelmöitymisasteen lasku oli kuitenkin huomattavaa vasta yli 0,1 % jätevesipitoisuudessa. Eri alkionkehitysvaiheet vaikuttivat varsin kestävilä jäteveden haittavaikutuksille. Kuolevuuden kasvua oli havaittavissa vasta yli 0,1 % pitoisuudessa. Ilmeisesti mätimunän kuori toimii tehokkaana suojana ympäristön haittatekijöitä vastaan. Kinne ja Rosenthal (1967) ovat myös todenneet, että kuoriutuneet sillin poikaset ovat herkempiä  $\text{FeSO}_4$ - ja  $\text{H}_2\text{SO}_4$  -pitoiselle jätevedelle kuin mätimunat. Kokeissa jäteveden vaikutuksessa kasvaneet alkiot saattoivat kyllä kuoriutua, mutta kuoriutuneiden poikasten elinikä jäi lyhyeksi.

Vuorikemian tehtaiden jäteveden kaloille aiheuttamien välittömien haittavaikutusten suurimpana aiheuttajana pidetään jäteveden

sisältämää rikkihappoa ja siitä johtuvaa alhaista pH:ta (Häkkilä 1978). Hedelmöitymisvaihe mukaan lukien mädin kehitykselle vahingolliset pH-arvot vaihtelevat välillä 4,5 - 6 (ref. EIFAC 1968). Myös tässä tutkimuksessa liuosten pH on se tekijä, joka selittää kuolevuuden äkillisen kasvun 0,1 - 0,2 % jätevesipitoisuudessa. Sitä vastoin 0,1 % ja sitä laimeammassa pitoisuudessa pH:n alenemisella ei enää ole haitallista vaikutusta. Hedelmöitymisvaiheen aikana havaittu hedelmöitymisasteen aleneminen ja kuoriutumisen jälkeisen ruskuaispussivaiheen aikana havaittu kuolevuuden lisääntyminen samoin kuin ruskuaispussivaiheen pitkittyminen tai aineenvaihdunnan hidastuminen 0,01 - 0,1 % jätevesipitoisuudessa ei siis ole selitettävissä pH:n alenemisellä. Luonnossa tapahtuu jatkuvasti suurempia pH-vaihteluita kuin mitä pH:n aleneminen oli tällä pitoisuusalueella. Selkämeren pintaosissa on pH vuodenaajoista riippuen keskimäärin 7,5 - 8,2 ja pohjan läheisessä vesikerroksessa 7,3 - 7,7 (Kohonen 1973).

Vuorikemian tehtaiden jätevesien pH:ta alentava vaikutus riippuu suuresti veden suolapitoisuudesta. Lehtosen (1976) mittausten mukaan Porin Reposaaressa edustalla veden suolapitoisuus n. 5 m syvyydessä vaihtelee välillä 0,45 - 0,60 ‰. Suorien rinnastusten tekeminen kentällä havaittujen pH-pitoisuuksien ja laboratorio-kokeiden yhteydessä tehtyjen mittausten välillä onkin vaikeaa. Mädille haitallisen alhaisia pH-arvoja (pH alle 6) on mitattu n. 5 km:n säteellä jätevesien purkuaukosta (Häkkilä 1981).

pH vaikuttaa lisäksi liukoisessa muodossa olevan ferrosulfaatin hydroloitumiseen sakkautuvaksi ferrihydroksidiksi. Kaikissa jätevesipitoisuuksissa oli havaittavissa ruskean sakan muodostusta. Vahvimmissa pitoisuuksissa sakka peitti mätimunat lähes täysin. Kinne ja Rosenthal (1967) epäilevät, että sakka voi haitata kaasujen ja muiden aineenvaihduntatuotteiden vaihtoa mätimunaa ja ympäristön välillä.

Sakan on havaittu tarttuvan myös kalojen kiduksiin (Lehtinen 1980), mikä voi osaltaan selittää poikasten suurta kuolevuutta.

Yhteenvedona voidaan todeta, että 0,1 - 0,2 % jätevesipitoisuus tappoi välittömästi kaikki silakan kehitysvaiheet, ja että vielä 0,01 % jätevesipitoisuus aiheutti havaittavia haittavaikutuksia hedelmöitymisvaiheelle ja kuoriutuneille poikasille. 0,2 % pitoisuudessa liuoksen pH laskee alle 4:n. Näin alhainen pH riittää yksin aiheuttamaan havaitun kuolevuuden. Sensijaan 0,01 - 0,1 % pitoisuusalueella havaittuja haittavaikutuksia pH ei selitä. Syitä on etsittävä jäteveden sisältämästä ferrosulfaatista ja muusta koostumuksesta.

#### KIRJALLISUUS

- Aneer, G. & Nellbring, S. 1982. A Scuba-diving investigation of Baltic herring (*Clupea harengus membras* L.) spawning grounds in the Askö-Landsort area, northern Baltic proper. *J. Fish. Biol.* 21, p. 433-442.
- Bagge, P. and Ilus, E. 1975. Ferrosulfaatin ja sitä sisältävien jätevesien akuutista myrkyllisyydestä murtovedessä. Helsinki. Merentutkimuslaitos. *Meri* 1975, 3, s. 46-64.
- Biestel, E., Jönsson, N., Hering, P., Thieme, Th., Breilman, N. & Lill, D. 1979. Studies on Rugen herring in 1979. Copenhagen. ICES C.M. 1979/J:32. (mimeogr.)
- Braum, E. 1978. The eggs and larval phase. In: Bagenal, T. (ed.). *Methods of assessment of fish production in fresh waters*. IBP Handbook 3, p. 178-201.
- Edmonds, J.S. 1981. Studies of effects on fish of effluent from a titanium dioxide plant. *Fish. Res. Bull. West. Aust.* 26, p. 1-21.
- EIFAC 1968. Water quality criteria for European freshwater fish. Report on extreme pH values and inland fisheries. Rome. EIFAC tech. paper 4, p. 1-17.
- Häkkilä, K. 1978. Titaanidioksiditehtaan jätevesien myrkyllisyydestä murtovedessä. Helsinki. Vesihallituksen tiedotus 144, s. 133-172.
- Häkkilä, K. 1980. Vuorikemian titaanidioksiditehtaan jätevesien vaikutuksista Porin edustan merialueen pohjaeläimistöön. Helsinki. Vesihallituksen monistesarja 1980(43), s. 1-23.
- Häkkilä, K. 1981. Vuorikemian titaanidioksiditehtaiden jätevedet Porin edustan merialueella. Helsinki. Vesihallituksen monistesarja 1981(84), s. 1-65.

- Häkkiä, K. 1983. Yhteenvedo Porin edustalla ja Selkämerellä tehdyistä tutkimuksista, jotka saattavat valaista Selkämeren ekosysteemissä tapahtuneita muutoksia. Helsinki. Merentutkimuslaitos. Meri 12, s. 21-82.
- Kalliola, I., Oulasvirta, P. & Rissanen, J. 1983. Selvitys Koverharin rauta- ja terästehtaan vaikutuksista kalastoon, erityisesti silakan (*Clupea harengus* var. *membras* L.) alkionkehitykseen. Länsi-Uudenmaan Vesiensuojeluyhdistys ry. Tutkimusjulkaisu 1983(24), s. 1-13.
- Kinne, O. & Rosenthal, H. 1967. Effects of sulphuric water pollutants on fertilization, embryonic development and larvae of herring, *Clupea harengus*. Mar. Biol. 1, p. 65-83.
- Kohonen, T. 1973. Suomen rannikonläheisten merialueiden tila vuosina 1966 - 1970. Helsinki. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 8. 124 s.
- Lehtinen, K-J. 1980. Effects on fish exposed to effluent from a titanium dioxide industry and tested with rotatory-flow technique. Ambio 9(1), p. 31-33.
- Lehtonen, H. 1976. Tutimus Kemira Oy:n Porin tehtaiden jätevesien kalataloudellisista vaikutuksista sekä kalataloudellinen tarkkailu- ja hoitosuunnitelma. Helsinki. RKTL kalantutkimusosasto. Tiedonantoja 6. 292 s.
- Ojaveer, E. 1981a. On embryonal mortality of spring spawning herring on spawning grounds in the northeastern Gulf of Riga. Rapp. P.-v. Run. Cons. int. Explor. Mer. 178, p. 401.
- Ojaveer, E. 1981b. Influence of temperature salinity and reproductive mixing of Baltic herring groups on its embryonal development. Rapp. P.-v. Run. Cons. int. Explor. Mer 178, p. 409-415.
- Oulasvirta, P., Rissanen, J. & Parmanne, R. 1985a. Spawning of Baltic herring (*Clupea harengus* L.) in the western part of the Gulf of Finland. Finnish Fish. Res. 5, 41-54.
- Oulasvirta, P., Rissanen, J. & Lehtonen, H. 1985b. Pyhtään Kaunissaaren ympäristössä ennen merihiekan nostoa tehdyt kalataloudelliset tutkimukset. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. 12 s. +liitteet. (moniste)
- Parmanne, R. & Salmi, J. 1983. Alustavia tuloksia silakoiden vaelluksista Selkämerellä keväällä 1982 suoritetun merkin- töjen perusteella. Helsinki. Merentutkimuslaitos. Meri 12, s. 172-175.
- Rajasilta, M. 1982. Laivaliikenteen vaikutukset kaloihin ja kalastukseen Saaristomerellä. Turun yliopiston biologian laitoksen Julkaisuja 4. 73 s.

- Rannak, L. 1987. On recruitment to the stock of spring herring in the north-eastern Baltic. Rapp. P.-v. Run. Cons. int. Explor. Mer. 160, p. 76-82.
- Rissanen, J. & Oulasvirta, P. 1985. Oy Forcit Ab:n dynamiittitehtaan jätevesien vaikutuksista silakan mätimunien kehitykseen ja elinkykyyn. Tvärminnen eläintieteellinen asema. 7 s.+ liitteet. (Moniste)
- Sandberg, I. 1973. Silakan mädin suurtoho. Suomen Kalastuslehti 80(7), s. 187-188.