

VESIHALLITUKSEN MONISTESARJA

1982: 149

RAUTARUUKKI OY:N RAAHEN TEHTAIDEN
JÄTEVESIEN VAIKUTUKSISTA LOHI-
KALOJEN FYSIOLOGIAAN

Veijo Miettinen, Tarja Nakari ja
Björn-Erik Lönn

V E S I H A L L I T U K S E N M O N I S T E S A R J A



1982: 149

RAUTARUUKKI OY:N RAAHEN TEHTAIDEN
JÄTEVESIEN VAIKUTUKSISTA LOHI-
KALOJEN FYSIOLOGIAAN

Veijo Miettinen, Tarja Nakari ja
Björn-Erik Lönn

Oulun vesipiirin vesitoimisto

Oulu 1982

PAINOPIKKA: vesihallituksen monistamo

A L K U L A U S E

Nämä tutkimukset on tehty vuosina 1979-1981 ja ne rahoitettiin Rautaruukki Oy:n Raahen tehtaiden maksettaviksi määrättyillä vesiensuojelumaksuilla.

Haluamme kiittää tutkimuksen valvontaryhmään kuuluneita sekä Oulun vesipiirin henkilökuntaa, erityisesti ylitar kastaja Urpo Myllymaata ja Martti Heinilehtoa avusta tutkimuksen käytännön järjestelyissä. Samoin Rautaruukki Oy:ltä, erityisesti Marjatta Kajavalta saatu käytännön apu on ollut merkittävää. Näytteenottoon ja analysointiin osallistuivat Maija Castrén, Kari Kainua, Markku Tossavainen ja Aila Urjansson. Dosentti Antti Soiviolta Helsingin yliopistosta ja FM Marja Ruopalta vesihallituksesta saimme arvokkaita neuvoja tutkimusraporttia laadittaessa.

Tutkimuksen tuloksilla on osallistuttu Nordforskin koordinoimaan yhteispohjoismaiseen projektiin "Ekotoxikologiska metoder i akvatisk miljö" 1979-1982.

Helsingissä joulukuussa 1982

Tekijät

S I S Ä L L Y S

	Sivu
ALKULAUSE	3
1 JOHDANTO	7
2 KALATESTIEN KÄYTÖSTÄ VESITUTKIMUKSISSA	7
2.1 Yleistä	7
2.2 Kalojen fysiologisten muutosten merkitys	8
3 VESISTÖALTISTUKSET	13
3.1 Tutkimusalueet	13
3.2 Koejärjestelyt	15
3.3 Näytteenotto ja analyysimenetelmät	15
3.4 Tulokset	16
3.41 Fysiologiset tutkimukset	16
3.42 Raskasmetallien kertyminen kaloihin	23
4 JÄTEVESIALTISTUS	23
4.1 Koejärjestelyt	23
4.2 Tulokset ja tulosten tarkastelu	25
4.21 Fysiologiset muutokset	25
4.22 Raskasmetallien kertyminen	29
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	29
6 TIIVISTELMÄ	29
KIRJALLISUUS	30

I J O H D A N T O

Vesihallitus tutki Rautaruukki Oy:n Raahan tehtaiden jätevesien vaikutuksia kaloihin vuosina 1976-1978. Näiden sumputuskokeiden tarkoituksena oli selvittää lähinnä syanidin vaikutuksia kaloihin. Tehtaan edustalla aiheutti syanidipäästö kalakuoleman vuonna 1975. Kokeiden aikana veden syanidipitoisuus oli kuitenkin niin alhainen, ettei syanidin aiheuttamia mahdollisia vaikutuksia kyetty erottamaan jäteveden muiden komponenttien, lähinnä eräiden raskasmetallien vaikutuksista. Sumputuskokein saadut tulokset ilmentävät näinollen satama-altaaseen johdettujen jätevesien kokonaisvaikutusta (Ruoppa 1978). Kokeissa tutkitiin lähinnä jätevesien vaikutuksia kalojen kidusten rakenteeseen. Todettujen rakennemuutosten perusteella jätevesien kalafysiologisten vaikutusten arvioitiin ulottuvan ainakin Siniluotoon asti etelässä ja aallonmurtajaan asti pohjoisessa. Näiden tutkimustulosten perusteella päättivät vesiviranomaisen ja yhtiön edustajat vuoden 1978 lopulla aloittaa tutkimuksen, jonka tarkoituksena oli aikaisempaa tarkemmin selvittää jätevesien kaloissa aiheuttamia muutoksia sekä niiden alueellista esiintymistä.

Vuosien 1979 ja 1981 vesistöaltistuksissa selvitettiin fysiologisia muutoksia jätevesien purkualueella sumputeissa kaloissa. Vuonna 1980 tehtiin jätevesialtistus, jossa selvitettiin jätevesien akuutteja vaikutuksia sekä pitkäaikaisvaikutuksia vesistöaltistusta kontrolloidummissa olosuhteissa.

2 K A L A T E S T I E N K Ä Y T Ö S T Ä V E S I T U T K I - M U K S I S S A

2.1 YLEISTÄ

Ympäristön muutos ja siitä johtuva rasitus laukaisee kalassa sopeutumismuutoksia eli fysiologisia muutoksia, joiden voimakkuus on riippuvainen rasituksen laadusta ja kestosta. Fysiologinen muutos ei ole aina haitallinen, vaan se voi auttaa kalaa selviytymään uusissa olosuhteissa. Muutos saattaa kuitenkin heijastua kalan kuolevuuteen, kasvuun, lisääntymiseen ja käyttäytymiseen.

Jätevesien vaikutuksia kaloihin tutkitaan akvaariokokein tai vesistöaltistuksin. Kalatetit voidaan jakaa akuuttia, kalan kuolemaan johtavaa, (letaalia) myrkyllisyyttä mittaaviin lyhytaikaisiin (LC 50 96 h) testeihin sekä subletaaleja vaikutuksia mittaaviin pitkä-aikaistesteihin.

Aikaisemmin LC 50 -testejä käytettiin yleisesti myös pitkäaikaisten vaikutusten arviointiin. Testien tuloksista laskettiin mm. turvallisuusrajoja, joiden tuli taata kalaston hyvinvointi ja tilanteen seurantaan riittivät fysiokaalis-kemiallisten analyysien tulokset. Tämä lähestymis-

tapa syrjäytyi 1970-luvun alussa, jolloin ryhdyttiin kehittämään testimenetelmiä, jotka kuvaisivat biosysteemihin kohdistuvia vaikutuksia niin eliö- kuin kudostasolla. Nykyisin LC 50 -testejä käytetään pitkälle standardoituina myrkyllisyysluokitteluun ja esitesteinä pitkäaikaistesteille. Jätevesitutkimuksissa LC 50 -testien tuloksia voidaan käyttää myös laskettaessa eräitä myrkkynuormituksen arvioinnissa käytettäviä suureita.

Pitkäaikaistesteillä pyritään yleensä selvittämään myrkkuvaikutuksen luonne ja etsimään se pitoisuus, jossa myrkkuvaikutuksia ei enää ole havaittavissa. Jälkimmäiseen tavoitteeseen ei kuitenkaan päästäne laboratoriotestein. Tavallisimpia pitkäaikaistestejä ovat fysiologiset, histologiset, kasvu-, käyttäytymistestit sekä testit vieraiden aineiden kertymisen määrittämiseksi (kemialliset tai hajua ja makuanalyysit). Suomessa yleisimmin käytettyjä ovat fysiologiset, histologiset ja kertymätestit.

2.2 KALOJEN FYSIOLOGISTEN MUUTOSTEN MERKITYS

Kalojen fysiologista tilaa säätelevät lukuisat sisäiset ja ulkoiset tekijät. Ulkoisista tekijöistä tärkeimmät ovat veden lämpötila ja happipitoisuus. Koska kala on vaihtolämpöinen, vaikuttaa veden lämpötila sen kaikkien fysiologisten toimintojen vilkkauteen. Veden happipitoisuus on kalalle elintärkeä ympäristötekijä, jonka suhteen kalalla on varsin monipuolinen säätelymekanismi. Sisäisistä tekijöistä tärkeimmät ovat kaasujen vaihto, vesionisäätely, energia-aineenvaihdunta ja vasta viime vuosina todettu vierasaineenvaihdunta eli detoksikaatio, joka huolehtii sisäisesti syntyneiden tai ympäristöstä peräisin olevien haitallisten aineiden muuttamisesta helposti eritettävään muotoon. Nämä ulkoiset ja sisäiset tekijät yhdessä vaikuttavat mm. kalan kykyyn sietää räsitusta ja kompensoida vieraiden aineiden aiheuttamia haittoja. Kalan vuotuisella lisääntymissyklillä saattaa myös olla merkittävä vaikutus kalan fysiologiseen tilaan. Fysiologinen tila heijastuu kalan elinkykyyn, kasvuun, käyttäytymiseen ja lisääntymiseen.

Kalafysiologisten muutosten mittaamiseen käytetään samoja kliinisiä-kemiallisia analyysejä, jotka alunperin on kehitetty nisäkkäiden fysiologisen tilan mittaamiseen. Menetelmiä on kuitenkin täytynyt kehittää kaloille soveltuviksi, ja ne saattavat olla jopa kalalajikohtaisia. Analyysituloksiin saattaa vaikuttaa lisäksi koejärjestelyt ja näytteenotto, jotka on viime vuosien tutkimusten tulosten perusteella pyritty vakioimaan. Kuitenkin normaaliarvojen määrittäminen on vaikeaa, joten tutkimuksissa on aina oltava mukana vertailuryhmä.

Kunto- 1. rasitusmuuttajat

- Veren hemoglobiinipitoisuus (Hb) on suoraan verrannollinen veren hapenkuljetuskykyyn ja kuvastaa siten kalan selviytymismahdollisuuksia huonoissa ympäristöoloissa. Alentunut Hb-pitoisuus (anemia) johtuu useimmiten

kidusvaurion tai plasman ionitasapainon aiheuttamasta veren laimenemisestä. Aneeminen veri on tehoton hapenkuljettaja. Veren Hb-pitoisuuden kohoaminen lyhytaikaisissa rasitustiloissa johtuu pääosin plasmatilavuuden pienenemisestä. Seurauksena on veren hapenkuljetuskyvyn paraneminen.

- Veren hematokriittiarvo (Hkr) on veren punasolujen tilavuuden suhteellinen osuus koko verestä. Lohikalojen punasolut turpoavat nopeasti vähähappisissa olosuhteissa. Tästä syystä Hkr-arvon muutos, joka on epäsuhteessa veren Hb-pitoisuuteen on varsin herkkä rasitusindikaattori (vrt. MCHC). Mikäli punasolujen koko pysyy muuttumattomana johtuu Hkr-arvon muutos usein lyhytaikaisissa testeissä samoista fysiologisista vasteista kuin veren Hb-pitoisuuden muutokset.
- Punasolujen keskihemoglobiinipitoisuus (MCHC) kuvastaa punasolun koon muutoksia. Alhainen MCHC johtuu lohikaloilla punasolujen rasitusperäisestä turpoamisesta. Korkea MCHC kuvastaa useimmiten osmoottista häiriötilaa.
- Leukokriitti (Lkr) ilmoittaa valkoisten verisolujen suhteellisen osuuden veressä. Lyhytaikainen rasitus usein vähentää verenkierrossa olevien valkosolujen erityisesti lymfosyyttien määrää pienentäen Lkr-arvoa. Pitkäaikainen rasitus saattaa lisätä lymfosyyttien määrää ja siten kohottaa Lkr-arvoa.

Aineenvaihduntamuuttujat

Tärkeimmät aineenvaihduntareaktiot tapahtuvat maksassa. Kalan energia-aineenvaihduntaa seurataan useimmiten seuraavilla suureilla:

- Maksan kokoindeksi (LSI) ilmoittaa maksan painon osuuden ruumiinpainosta prosentteina. Elimen koon kasvun syynä ovat usein aineenvaihdintahäiriöt. Maksan kokonaismassan suurentumisella pyritään esim. kompensoimaan toiminnallista vajavuutta. Lyhytaikaisissa altistuksissa LSI:n kasvu johtunee usein maksan vesipitoisuuden kohoamisesta; vasta pitkäaikainen altistus voi aikaansaada LSI:n kasvuun vaadittavan proteiinisynteesiin. LSI:ssä on todettu vuodenaikaisvaihteluita.

Kalojen hiilihydraattivarastojen (lähinnä glykogeeni) määrä vaikuttaa niiden kykyyn liikkua, sietää rasitusta ja selviytyä ympäristömyrkyistä.

- Maksan ja lihaksen glykogeenipitoisuus kuvaavat kalan helposti käytössä olevia energiavaroja. Glykogeeni kuluu helposti akuutissa rasituksessa. Paasto vaikuttaa kuitenkin hyvin hitaasti maksan glykogeenipitoisuuteen.
- Maksan rasva- l. lipidipitoisuus saattaa kohota rasituksen tai ympäristömyrkyjen aiheuttamien aineenvaihdintahäiriöiden seurauksena.

- Maksan ja lihaksen proteiinipitoisuus sekä lihaksen lipidipitoisuus kuvaavat kalan pitkäaikaisia energia- varastoja ja siten ravitsemustilaa, johon lyhytaikainen rasitus ei yleensä vaikuta. Kudosten entsyymiaktiivisuudet ilmoitetaan kudosten proteiinipitoisuutta kohti.
- Maksan ja lihaksen vesipitoisuuden vaihtelut ennakoivat usein elimen toiminnallisia muutoksia.
- Veriplasman sokeri- l. glukoosipitoisuus kuvastaa kalan hiilihydraattiaineenvaihdunnan tilaa. Plasman sokeripitoisuus yleensä alenee pitkäaikaisen rasituksen seurauksena ja kohoa lyhytaikaisessa rasitustilassa sekä hyvin matalissa (0-4 °C) tai korkeissa (yli 15 °C) lämpötiloissa. Pitkäaikainen paasto johtaa plasman glukoosipitoisuuden alenemiseen, mutta lyhytaikainen (n. 1 kk) paasto saattaa jopa kohottaa sitä.
- Veriplasman maitohappo- l. laktaattipitoisuus kuvastaa sekkin hiilihydraattiaineenvaihdunnan tilaa. Häiriintymättömällä kalalla se on yleensä hyvin matala. Ulkoinen tai aineenvaihdunnallinen häiriö kohottaa plasman maitohappopitoisuutta nopeasti jopa yli 10 kertaiseksi lepoarvoon verrattuna. Tällöin plasman korkea laktaattipitoisuus usein korreloi alhaisen MCHC:n kanssa. Toisaalta plasman korkea maitohappopitoisuus saattaa johtua pitkäaikaisesta kudosten hapenpuutteesta sekä matalasta tai korkeasta lämpötilasta (vrt. plasman glukoosi).
- Laktaattidehydrogenaasi (LDH) on hiilihydraattiaineenvaihduntaan liittyvä entsyymi, joka katalysoi pyruvaatin muuttumista maitohapoksi. Pitkäaikaisessa rasituksessa plasman LDH-aktiivisuus kohoa. LDH:n isoentsyymisuhteista voidaan päätellä mahdollisia kudosaivourioita.
- Plasman proteiinipitoisuuden äkilliset muutokset kuvaavat yleensä osmoottisen säätelyn häiriötä. Pitkäaikainen plasman vähäproteiinisuus saattaa olla nälkätilan seurausta.
- Punasolujen adenosinitrifosfaatin (ATP) määrä kuvaa solun sisäistä energia-aineenvaihduntaa ja hapensaantia. Solujen mitokondrioissa tapahtuvan oksidatiivisen fosforylaation tuloksena syntyy ATP:a, joka on solutason energiavarastoa. ATP:n hajotessa ADP:ksi siinä oleva runsasenerginen fosfaattiryhmä irtoaa ja energiaa vapautuu solujen aineenvaihduntareaktioihin. Jos mitokondrioiden aineenvaihdunta häiriintyy niin sekä soluhengitys että ATP:n muodostus hidastuu.

Plasman ionitasapaino on kiduksissa ja munuaisessa tapahtuvan säätelyn tulos. Kaikki säätelymekanismeihin kohdistuvat häiriöt johtavat tasapainosta poikkeamiseen.

- Makean veden kaloissa plasman natrium- (Na^+), kloridi- (Cl^-), magnesium- (Mg^{2+}) ja kalsium- (Ca^{2+}) ionipitoisuuksien alentuminen osoittaa munuaisen aktiivisen ionikuljetuksen häiriintyneen. Erityisesti Na^+ - ja Cl^- -ionien aktiivista kuljetusta tapahtuu myös kiduksissa,

joten näiden osalta häiriö saattaa viitata myös kudosvaurioon. Plasman Na^+ - ja Cl^- -ionipitoisuudet ovat meriveden kaloilla usein korkeat. Plasman Mg^{2+} -ionipitoisuuden kohoaminen makean veden kalassa viittaa hemolyysiin tai kudosvaurioon. Tällöin myös plasman kalium (K^+) -pitoisuus on kohonnut. Merivesi kalojen plasman Mg^{2+} -pitoisuus saattaa kohota myös munuaisvaurion seurauksena. Plasman Ca^{2+} -pitoisuus on korkea kutuaikana muulloin korkea pitoisuus viittaa hemolyysiin tai kudosvaurioon. Kaksiarvoiset ionit Mg^{2+} ja Ca^{2+} ovat myös tärkeitä entsyymiaktiivisuuksien säätelijöitä ja niiden määrien muutokset vaikuttavat täten tiettyjen elinten aineenvaihdunnan muutoksiin. Mg^{2+} -ionien tiedetään aktivoivan esim. peptidaaseja, karboksylaaseja ja fosfataaseja. Ca^{2+} -ioneilla on tärkeä merkitys naaraiden sukurauhas-ten kehityksessä, ruskuaisen muodostuksessa. Ca^{2+} :n pitoisuuden aleneminen aiheuttaa myös hermo-lihas yli-ärtyvyyttä ja jatkuvaa lihasten stimuloitumista, mikä taas vaikuttaa asetylkolinesteraasin aktiivisuuteen. Plasman kaliumpitoisuus kohoaa voimakkaasti kudosvaurion seurauksena. Äkillinen rasitus taas vähentää pitoisuutta nopeasti. K^+ -ionit vaikuttavat hermojen aktiopotentiaal- in ylläpitoon ja täten lihas- ja hermotoimintoihin.

Ionitasapainon muutokset kuvastavat usein myös MCHC:n ja Hkr:n vaihteluita (ks. edellä).

Kudosvauriomuuttajat

Mahdollisia kudosvauriota voidaan osoittaa määrittämällä plasmasta kudospäräisten entsyymien aktiivisuuksia tai määrittämällä aktiivisuus itse kudoksesta.

- Laktaattidehydrogenaasi (LDH) osallistuu kudosten hiilihydraattiaineenvaihduntaan. Sen rakenne on kudokohtainen, joten plasmaan vapautuneiden isoentsyymien suhteesta (H/M, heart/muscle, sydän/lihas) voitaneen arvioida kudosvaurion sijainti ja aktiivisuudesta sen laajuus. Aktiivisuus voidaan määrittää mm. sydäimestä, maksasta ja lihaksesta. Useat ympäristömyrkyt kohottavat plasman LDH-aktiivisuutta.
- Alkaalisten fosfataasin (AP) synteesi tapahtuu maksassa ja luiden osteoblasteissa. Näiden kudosten vaurioituminen näkyy plasman AP aktiivisuuden lisääntymisenä. Samaan aikaan plasman Ca^{2+} -pitoisuus laskee.
- Aspartaattiaminotransferaasi-aktiivisuus (ASAT 1. GOT) kohoaa kalan veressä useiden teollisuuden myrkkujen ja raskametallien vaikutuksesta. Aspartaattiaminotransferaasi-synteesiä tapahtuu lähinnä maksassa ja sydänlihaksessa, joiden vauriot näkyvät plasman ASAT-aktiivisuuden muutoksina.
- Koliiniesteraasia (ChE) muodostuu maksassa, ja se koostuu eri isoentsyymeistä. Entsyymimäärityksissä käytetään eri substraatteja, joista yleisin on asetylkoliini (AChE). Entsyymin aktiivisuus voidaan määrittää useista kudok-

sista. Asetyylikoliiniesteraasi hajottaa hermoimpulssin kemialliseen siirtämiseen tarvittavan asetyylikoliinin. Plasman koliiniesteraasiaktiivisuuden lasku saattaa johtua hermostollisista vaurioista. Mm. organofosfaatit ja metsäteollisuuden jätevedet vaikuttavat ChE-aktiivisuuteen. Plasman korkea ChE-aktiivisuus saattaa haitata kalan lihasliikkeiden koordinoitua.

- Plasman kohonneet kaliumionipitoisuudet saattavat ilmentää kudonvaurioita (ks. edellä ionitasapaino)

Vierasaineenvaihdunta 1. detoksikaatiomuuttajat

Eliöiden aineenvaihdunnan tuloksena syntyy lukuisia elintoiminnoille haitallisia yhdisteitä. Nämä yhdisteet (mm. steroidit) ovat vaarallisimmiksi tunnettujen ympäristömyrkköjen tavoin rasvaliukoisia yhdisteitä. Vierasaineenvaihdunta eli detoksikaatio muokkaa nämä yhdisteet vesiliukoisiksi ja siten helposti eritettäviksi. Detoksikaatioon osallistuu lukuisia entsyymejä, joiden avulla vieraita aineita hapetetaan (hapetusreaktiot) tai niihin liitetään yhdisteitä (konjugaatioreaktiot) erittymisen helpottamiseksi. Yleensä vierasaineenvaihdunta on vilkkaainta maksassa, mutta sitä tapahtuu myös muissa elimissä.

Kaloissa vierasaineenvaihduntaan osallistuvien entsyymien aktiivisuustasossa tai siihen liittyvien yhdisteiden pitoisuuksissa tapahtuvat normaalista poikkeavat muutokset ilmentävät vesien kemiallista kuormitusta yleensä aikaisemmin kuin vaikutukset ilmenevät muissa mekanismeissa tai kalan fysiologisessa kunnossa. Vierasaineenvaihdunnan tilan arviointiin käytetään seuraavia parametreja, jotka liittyvät lähinnä konjugaatioreaktioiden seurantaan:

- UDP-glukuronosyylitransferaasi (UDP-GT) on maksan endoplasmaattisessa kalvostossa toimiva entsyymi, joka liittyy elimistöön vieraaseen aineeseen glukuronosyyliryhmän. Muodostunut vesiliukoinen yhdiste on helposti poistettavissa elimistöstä. Ympäristömyrkköjen on todettu sekä aktivoivan että inhiboivan ko. entsyymejä. Koska mm. elimistön normaalit steroidit detoksikoidaan glukuronosyyliryhmällä, saattavat UDP-GT-aktiivisuuden muutokset häiritä kalojen lisääntymistä.
- β -glukuronidaasi (BG) on "retoksikoiva" entsyymi, joka elimistössä toimii päinvastoin kuin UDP-GT. Se irroittaa detoksikoiduista yhdisteistä glukuronosyyliryhmän. Aktiivisuuden kohoaminen kuvastaa soluvaurioita ja aleneminen mahdollisesti lisääntyneestä glukuronihappokonjugaatiosta ja siten suurempaa kykyä vapautua haitallisista aineista.
- Glutathioni (GSH) on yhdiste, joka liittyy em. konjugaatioreaktioihin. Glutathionista muodostuu konjugaatioissa tarvittavia tioli-ryhmiä, ja milloin detoksikaatio on aktivoitunut, esim. UDP-GT-aktiivisuus lisääntynyt alenee maksan glutathionipitoisuus.

Raskasmetallien vaikutukset

Raskasmetallien vaikutuksia voidaan selvittää määrittämällä kudoksen (yleisemmin veri ja perna) delta-amino-levuliinihappodehydrataasin (ALA-D) aktiivisuus. ALA-D:lla on sekä kaloissa että nisäkkäissä tärkeä tehtävä hemoglobiinisynteesissä. Raskasmetallien vaikutuksesta ALA-D:n aktiivisuus yleensä laskee.

3 V E S I S T Ö A L T I S T U K S E T

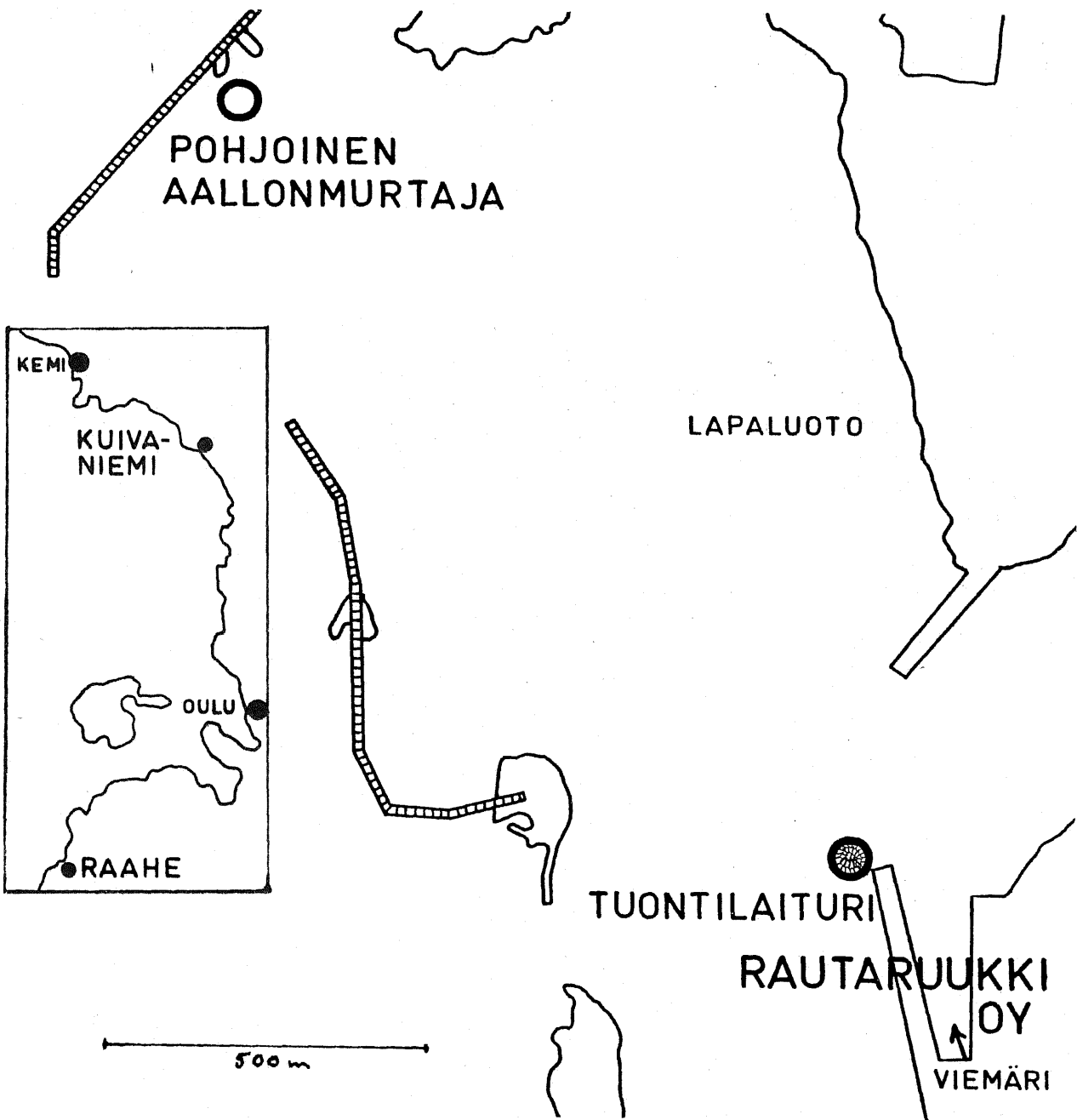
3.1 TUTKIMUSALUEET

Tutkimusalueina olivat Rautaruukki Oy:n Raahen tehtaiden jätevesien välitön vaikutusalue aallonmurtajien sisäpuolella sekä vertailualueena Kuivaniemen Vatunginnokka, jossa sijaitsee Lapplax Oy:n kirjolohen merikasvatuslaitos (kuva 1). Rautaruukki Oy:n edustalla kalojen altistuspaikat olivat tuontilaiturin päässä (vain v. 1979) n. 200 m jätevesien purkupaikasta sekä pohjoisen aallonmurtajan sisärannalla vajaan 2 km päässä tuontilaiturilta. Aallonmurtajien vuoksi veden vaihtuminen ei ole täysin vapaata Perämerelle. Vatunginnokka sijaitsee aavan meren äärellä.

Rautaruukki Oy:n jätevesikuormitus oli vuosina 1979-1981 seuraava:

		1979	1980	1981
Kiintoaine	kg/d	1956	2940	3921
BHK ₇	"	45	36	44
Kok.P	"	3,3	4,0	5,4
Kok.N	"	33	49	45
Öljy	"	144	78	75
Liuk.Zn	"	8,3	21	7,7
Kiint.Zn	"	14	52	-
Liuk.Fe	"	19	38	50
Kiint.Fe	"	469	436	383

Vuonna 1979 veden laatua seurattiin Raahessa koko altistuksen ajan. Vatunginnokasta otettiin vesinäytteitä vain 11.7. kolmesta eri näytteenottopaikasta. Yhteenveto analyysituloksista on esitetty taulukossa 1. Tuloksista voidaan todeta, että lukuunottamatta johtokykyä muut veden laatua kuvaavat parametrit eivät poikkea suuresti toisistaan eri tutkimusalueilla. Veden lämpötila oli aallonmurtajan sisäpuolella keskimäärin 14,5 °C (11-17,5) ja Vatunginnokassa 17,5 °C (13-18,5). Vuonna 1981 altistusalueilla ei selvitetty veden laatua tarkemmin, koska kaloista määritettiin raskasmetallipitoisuudet, jotka kuvaavat vesinäytteitä selkeämmin niiden kemikaalikuormitusta. Altistuksen lopussa aallonmurtajalta otetun vesinäytteen analyysitulokset olivat vuonna 1979 otettujen vesinäytteiden vaihteluvälien sisällä. Sinkin pitoisuus oli 20 µg/l, kuparin 2 µg/l ja lyijyn <1 µg/l. Veden lämpötila oli tutkimusalueilla vuonna 1981 jonkin verran alhaisempi kuin vuonna 1979.



Kuva 1. Tutkimusalueet

Taulukko 1. Veden laatu tutkimusalueilla v. 1979.

	Vatunginnokka	Tuontilaituri	Aallonmurtaja
O ₂ , mg/l	6,8-8,0	-	6,5-11,0
pH	7,5	7,8-8,2	7,8-8,4
Sähkönj., mS/m	228-260	597-626	578-641
Sameus	2,5-4,4	1,0-7,0	1,0-2,0
Kiintoaine, mg/l	1,0-1,4	0,4-8,0	0,2-8,0
Kok.Fe, mg/l	0,24-0,43	≤ 0,05-0,47	0,08-0,62
Liuk.Fe, mg/l	-	≤ 0,05-0,11	≤ 0,05-0,13
Kok.Zn, mg/l	-	≤ 0,05-0,22	≤ 0,05
Liuk.Zn, mg/l	-	≤ 0,05-0,22	≤ 0,05

3.2 KOEJÄRJESTELYT

Tutkimukset suoritettiin molempina vuosina 2-kesäisillä kirjolohilla (*Salmo gairdneri*), jotka hankittiin Kuusamosta Koillis-Lohi Oy:n kalalaitokselta. Kontrollikalat olivat samaa kalaerää, jota kasvatettiin Kuivaniemen Vatunginnokassa Lapplax Oy:n merikasvatuslaitoksella.

Vuonna 1979 kalojen sumputus aloitettiin Rautaruukki Oy:n edustalla ja se kesti 6 viikkoa. Näytteet kontrollikalosta otettiin 8.9. Rautaruukki Oy:n edustalla aallonmurtajalla ja Vatunginnokassa kalat olivat verkkosumpuissa. Rautaruukki Oy:n tuontilaiturin päässä kalat olivat katoksessa muovialtaissa, joihin pumpattiin vettä n. 5 l/kg kalaa/min tuontilaiturin länsireunalta. Vuonna 1981 kaloja sumputettiin aallonmurtajalla ja Vatunginnokassa. Sumputus aallonmurtajalla alkoi 18.8. ja kesti 13 viikkoa 28.10. asti. Raahessa kaloja pyrittiin ruokkimaan kerran viikossa kuivarehulla. Vatunginnokassa kalojen ruokinta oli säännöllisempää.

3.3 NÄYTTEENOTTO JA ANALYYSIMENETELMÄT

Kalojen rauhoittamiseksi ja ulkoisten häiriötekijöiden minimoimiseksi kalat siirrettiin vuorokaudeksi ennen näytteenottoa kukin omaan putkisumpuunsa. Iskulla päähän tainnutetusta kalasta otettiin verinäyte heparinoituun ruiskuun ductus Cuvierista tai pyrstösuonesta (v. 1981). Tämän jälkeen kaloista otettiin kudonäytteet, jotka säilöttiin nestetyypeen. Kunkin ryhmän viidestä kalasta otettiin lihasnäyte ja kolmesta kalasta maksanäyte kokoomanäytteiksi raskasmetallianalyysjää varten.

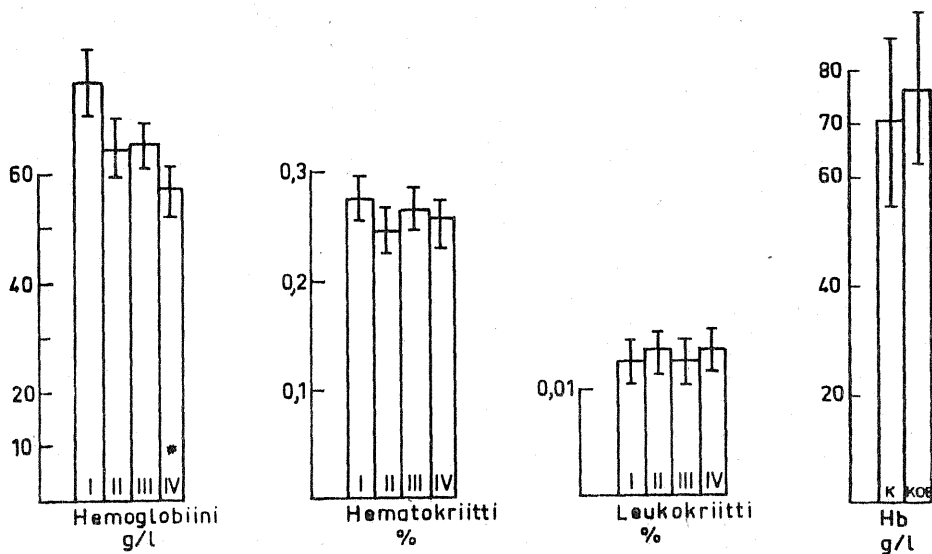
Kliinis-kemialliset analyysit tehtiin Oikari ym. (1979) mukaan sekä vesi ja raskasmetallianalyysit Erkomaa ym. (1977) mukaan. Kliinis-kemiallisten analyysien tulokset testattiin Student's t-testillä.

3.4 TULOKSET

3.4.1 Fysiologiset tutkimukset

Rasitusmuuttajat (kuva 2)

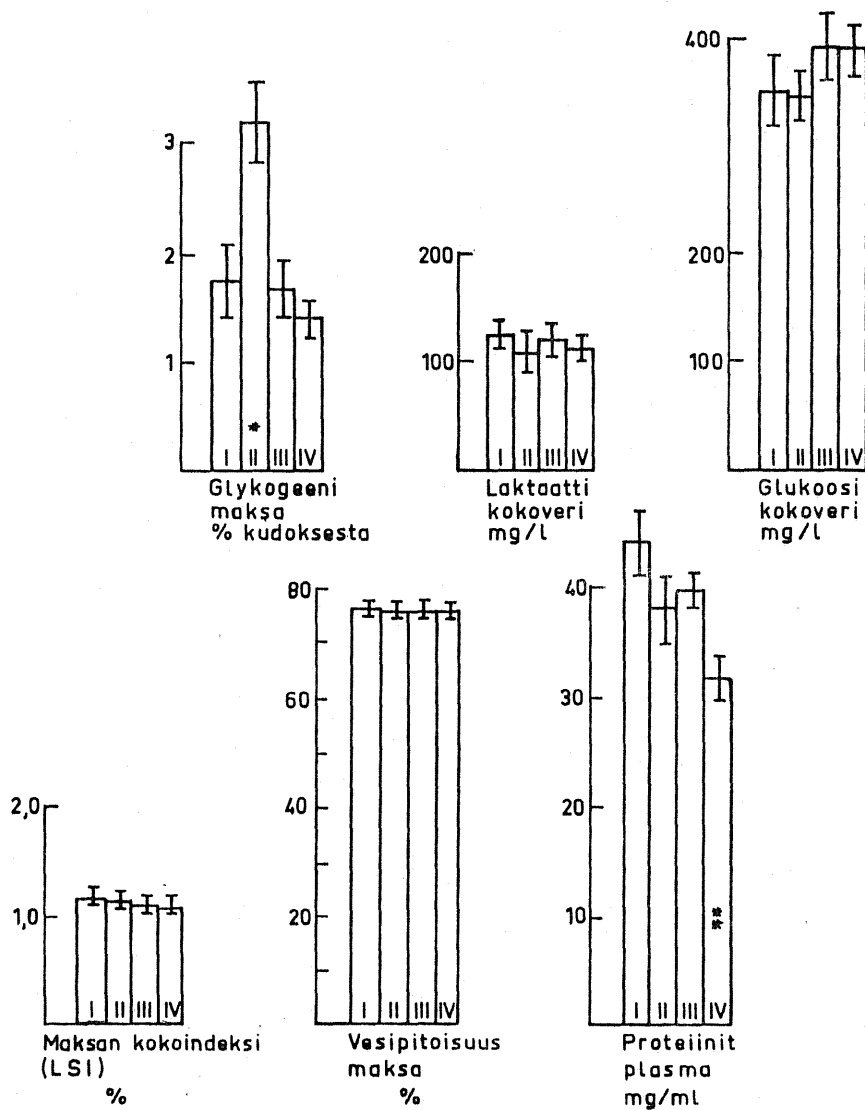
V. 1979 veren hemoglobiinipitoisuus laski kaikissa altistusryhmissä, mikä on osoitus kalojen aneemisyydestä ja johtaa hapenkuljetuskyvyn alenemiseen. Hemoglobiinin määrä laski eniten, 24,9 % aallonmurtajan ryhmässä. Hematokriitti ei sanottavasti muuttunut. Vuoden 1981 altistuksessa Hb-pitoisuus taas jonkin verran kohosi, mutta ei merkittävästi. Leukokriitti eli valkosolujen osuus koko verimäärästä osoitti nousevaa suuntaa tuontilaiturin 3 vk:n ja aallonmurtajan ryhmässä, mikä viitanee immunologisiin muutoksiin kalassa. Larsson (1975), Johansson-Sjöbeck ja Larsson (1978) ovat tutkineet raskasmetalleista kadmiumin vaikutuksia kampelaan (*Pleuronectes flesus*) ja havainneet, että jo $< 5 \mu\text{g Cd/l}$ aiheuttaa kaloille anemiaa, mikä johtuneee muuttuneesta rauta-aineenvaihdunnasta. Kadmium sai aikaan myös valkosolujen määrän lisääntymistä.



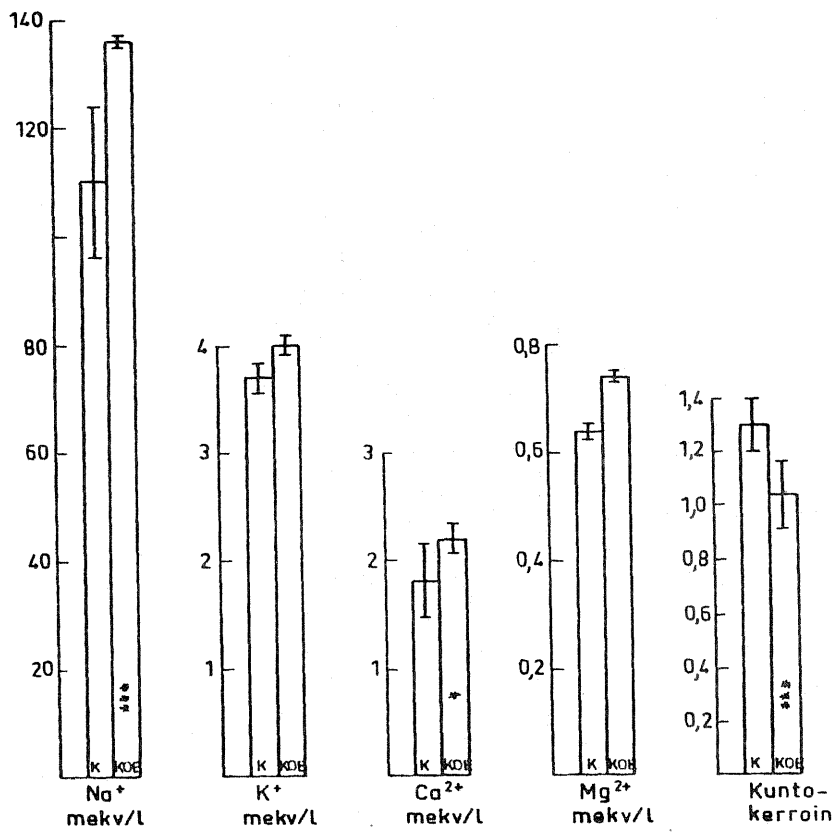
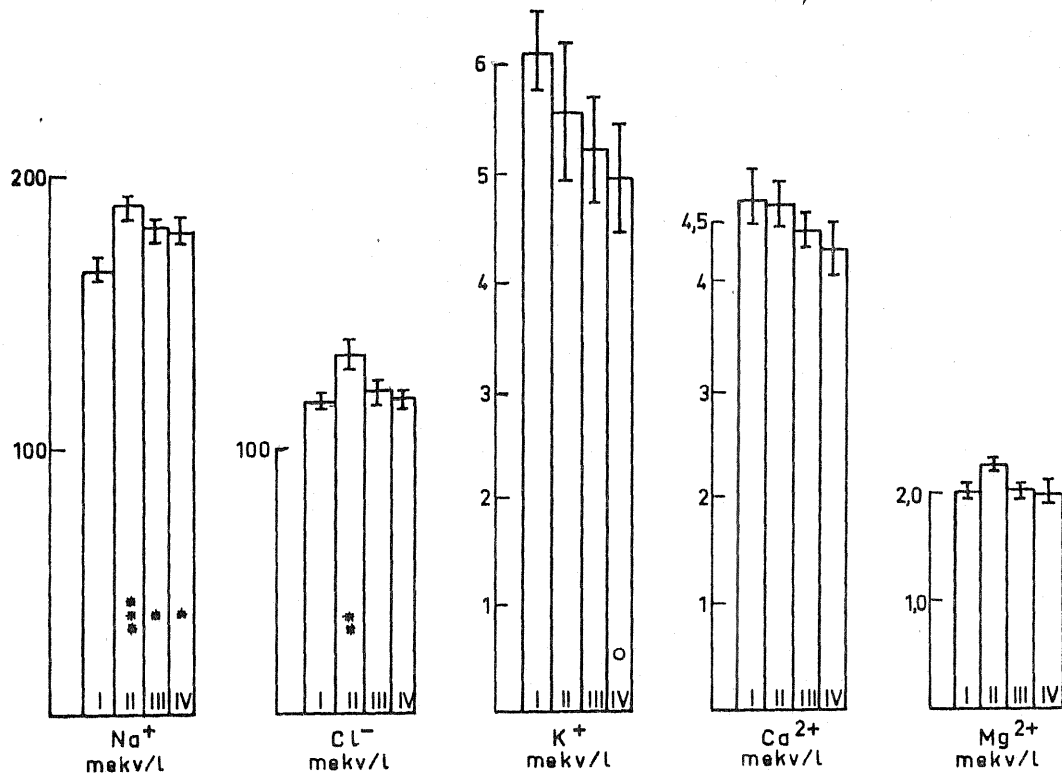
Kuva 2. Kirjolohien veren hemoglobiinipitoisuus sekä hematokriitti- ja leukokriittiarvot. Kuvissa keskiarvo + keskiarvon keskivirhe. V. 1979 altistuksessa I = vertailuryhmä Kuivaniemessä, II ja III Tuontilaituri 3 ja 6 viikkoa sekä IV Aallonmurtaja 6 viikkoa. V. 1981 altistuksessa K = vertailuryhmä Kuivaniemessä ja Koe = Aallonmurtaja (13 vk). Tilastollinen merkittävyys Student's t-testissä 0 = $P < 0,1$, x = $P < 0,05$, xx = $P < 0,01$ ja xxx = $P < 0,001$.

Aineenvaihduntamuuttujat (kuvat 3 ja 4)

Hiilihydraattiaineenvaihduntaa kuvaa veren sokeripitoisuus, joka yleensä laskee pitkäaikaisen ja kohoaa lyhytaikaisen rasituksen aikana. Veren sokerin määrä kasvoi jonkin verran, 10-11 % pitkäaikaisissa altistuksissa.



Kuva 3. Kirjolohen veren laktaatti- ja glukoosi- sekä plasman proteiinipitoisuudet sekä maksan glykogeeni- ja vesipitoisuudet ja kokoindeksit.



Kuva 4. Kirjolohien plasman ionipitoisuudet ja kalojen kuntokertoimet (v. 1981).

Maksan glykogeeni kulutetaan helposti loppuun kalan joutuessa rasitukseen. Tässä kokeessa maksan glykogeenipitoisuus nousi lyhytaikaisessa altistuksessa, 82,9 %, mutta laski 6 viikon altistuksissa. Larsson (1975) havaitsi, että kadmium-ioni lisäsi veren sokerimäärää ja että lyhytaikainen altistus lisäsi maksan glykogeenimäärää.

Plasman kalsiumpitoisuus laski v. 1979 kaikissa altistusrhymissä. Ca^{2+} -pitoisuuden lasku saattaa osaksi johtua munuaisten aktiivisen ioninkuljetuksen häiriintymisestä. Vuoden 1981 kokeessa Ca^{2+} -pitoisuus puolestaan kohosi merkitsevästi koepisteen kaloissa. Plasman alentunut kalsiumpitoisuus aiheuttaa neuromuskulaarista yliärttyvyyttä ja jatkuvaa lihasten stimuloitumista (Harper 1971, Ganong 1971). Tämä tukee näissä tuloksissa kohonnutta AChE-aktiivisuutta, Bengtson ym. (1975) saivat kadmiumilla aikaan vastaavia oireita mudussa (*Phoxinus phoxinus*). Larsson (1975) on myös osoittanut kadmiumin laskevan kampelan plasman kalsiumpitoisuutta.

Plasman magnesiumin määrä kohosi lyhytaikaisessa altistuksessa. Vuoden 1981 altistuksessa Mg-pitoisuus kohosi myös jonkin verran. Magnesiumin kasvu plasmassa saattaa myös johtua munuaisten vaurioitumisesta (Larsson 1975).

Plasman kaliumpitoisuus laski kaikissa ryhmissä, eniten aallonmurtajan ryhmässä, 20,5 % ja vähiten, 9 %, 3 viikon altistuksessa satamalaiturilla. Kalium on solun sisäinen ioni, joka vaikuttaa hermo- ja lihastoimintaan.

Plasman natrium- ja kloridipitoisuudet olivat molempina vuosina koeryhmien kaloissa huomattavasti suuremmat kuin kontrollikaloilla. Tämä johtuu pääasiassa eroista altistusalueiden veden suolapitoisuudessa.

Muutoin ioni-pitoisuuksien muutosten pääasiallinen syy on ioni-kuljetuksen häiriintyminen kiduksissa ja munuaisissa.

Plasman proteiinipitoisuuden lasku kuvastaa häiriöitä vesi- ja ionitasapainon säätelyssä. Vuonna 1979 plasman proteiinipitoisuus laski kaikissa koeryhmissä. Aallonmurtajalla altistetuissa kaloissa muutos oli tilastollisesti merkitsevä. Muutos saattaa osittain johtua kalojen ruokinnan vaikeuksista aallonmurtajalla.

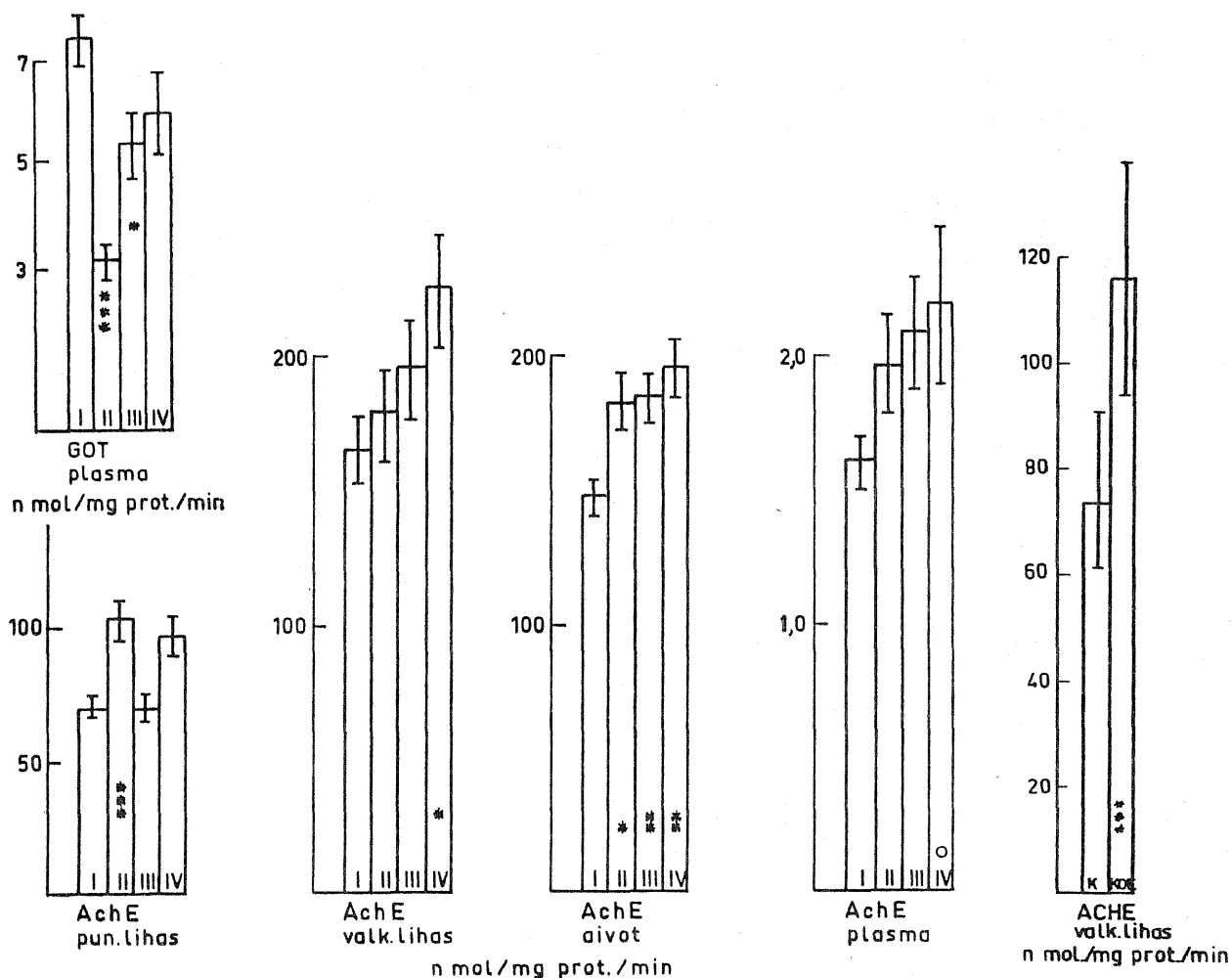
Kalojen painon ja pituuden perusteella määräytyvä kunto-kerroin laskettiin v. 1981 tuloksista ja sen lasku oli koeryhmässä tilastollisesti erittäin merkitsevä.

Kudosvauriomuuttajat (kuva 5)

Plasman glutamaattioksaloasetatitransaminaasi (GOT)-aktiivisuus laski kaikissa koeryhmissä, eniten 3 viikon altistusrhmässä, 55,8 %. Kupari-ionien on havaittu alentavan GOT-aktiivisuutta puronieriällä (Salvelinus

fontinalis) (McKim ym., 1970). Strik ym. (1975) havaitsivat kromi-VI-ionin alentavan GOT-aktiivisuutta särjen (*Rutilus rutilus*) plasmassa.

Asetyylikoliiniesteraasi (AChE)-aktiivisuus kasvoi kaikissa analysoiduissa kudoksissa jokaisessa altistusryhmässä. Plasmassa, aivoissa ja valkeassa lihaksessa eniten 6 viikon altistuksissa, punaisessa lihaksessa taas eniten 3 viikon altistuksessa. Vuoden 1981 altistuksessa valkean lihaksen AChE-aktiivisuus kohosi myös erittäin merkitsevästi. Christensen (1975) on havainnut plasman AChE-aktiivisuuden kasvavan lyijynitraatin ja kadmiumkloridin subletaaleissa pitoisuuksissa puronieriällä.



Kuva 5. Kirjolohien plasman glutamaattioksalosetaatti-transaminaasin (GOT) sekä plasman, lihaksen ja aivojen asetyylikoliiniesteraasin (AChE) aktiivisuudet.

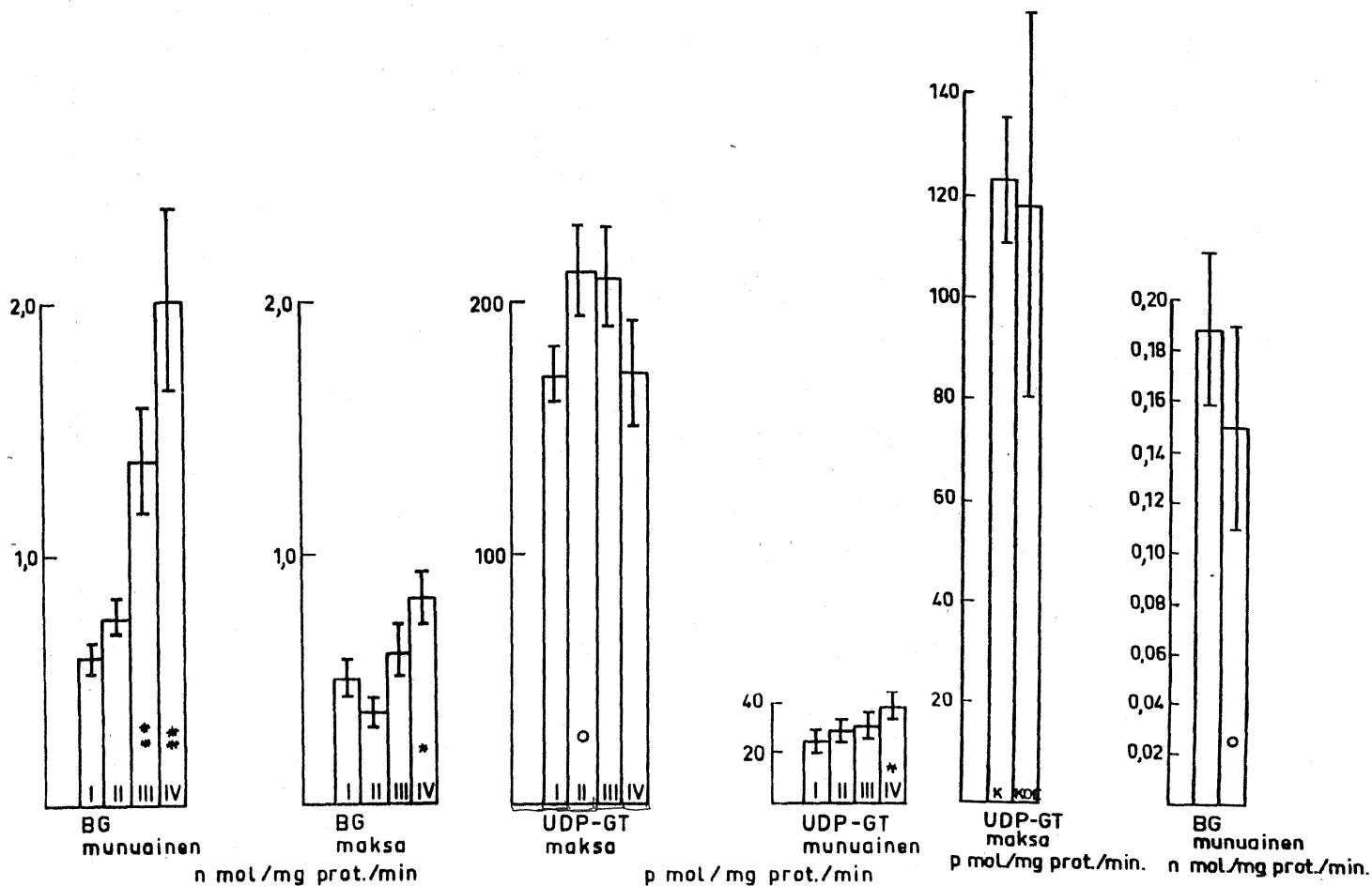
Vierasaineenvaihdunta 1. detoksikaatiomuuttajat

Toisen vaiheen detoksikaatioentsyymeistä UDP-GT muo-

dostaa poistumiskelpoisia glukuronideja ja sen aktiivisuus kuvastaa kohotessaan elimistön lisääntyntä kykyä vapautua vierasaineista ja pienentyessään häiriöitä tässä mekanismissa. β -glukuronidaasin aktiivisuuden kohoaminen kuvastaa soluvaurioita ja lasku eliön lisääntyntä kykyä vapautua haitallisista aineista.

UDP-GT:n aktiivisuus kasvoi sekä maksassa että munuaisessa, munuaisessa eniten aallonmurtajan ryhmässä, 53,7 %. Vuoden 1981 altistuksessa UDP-GT aktiivisuus maksakudoksessa ei juuri muuttunut.

Vuoden 1979 kokeessa oli β -glukuronidaasin kohdalla analysointivaikeuksia, jonka johdosta tulokset ovat suuntaa-antavia. BG:n aktiivisuus kasvoi sekä maksassa että munuaisessa molemmissa 6 viikon altistusryhmissä. Lyhytaikaisessa altistuksessa BG:n aktiivisuus laski maksassa osoittaen samanlaista detoksikaation aktivoitumista kuin maksan UDP-GT:n aktiivisuuden nousu. Vuoden 1981 altistuksessa munuaisen BG-aktiivisuus laski jonkin verran. Vainio (1975) on osoittanut metalli-ionien laskevan BG-aktiivisuutta.

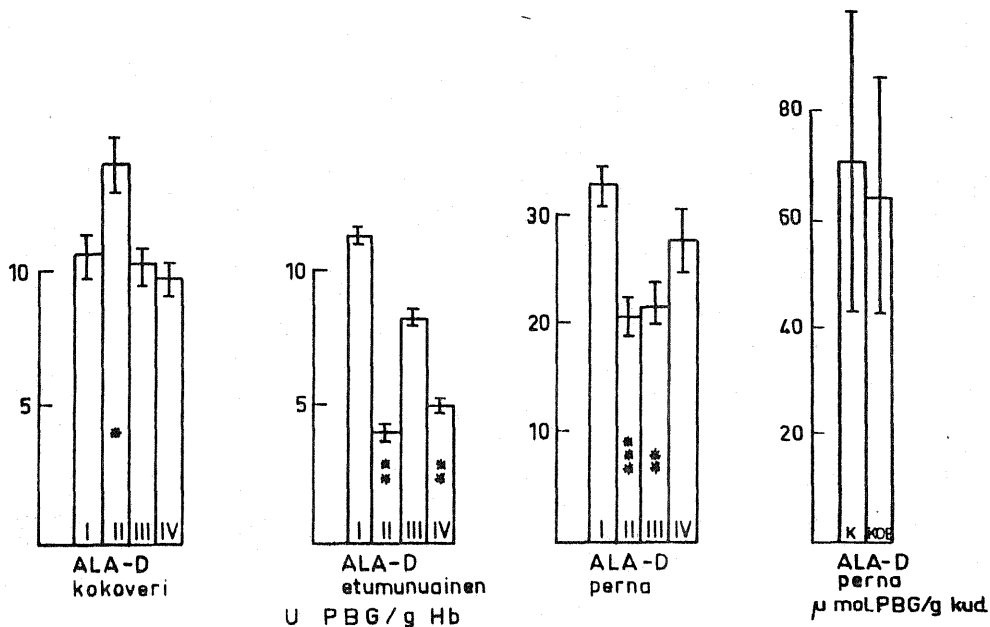


Kuva 6. Kirjolohien maksan ja munuaisen UDP-glukuronyylitransferraasin ja β -glukuronidaasin aktiivisuudet.

Raskasmetallien vaikutukset

Delta-aminolevuliinihappodehydrataasilla (ALA-D) on sekä kaloissa että nisäkkäissä tärkeä tehtävä hemoglobiinisynteesissä. Se katalysoi porfobilinogeenin (PBG) muodostusta kahdesta aminolevuliinihappomolekyylistä (Svanberg ja Lithner 1978) ja entsyymi on havaittu hyväksi raskasmetallien aiheuttamien fysiologisten muutosten ilmentäjäksi.

Vuoden 1979 altistuksessa ALA-D-aktiivisuus laski kaikissa muissa kudoksissa paitsi veressä, 3 viikon altistuksessa pernassa jopa erittäin merkittävästi. Vuoden 1981 kokeessa havaittiin myös pernan ALA-D-aktiivisuuden laskua. Lyijyn on havaittu inhiboivan ALA-D:n aktiivisuutta pernasoluissa (Lauwerys ym. 1973, Hernberg ja Nikkanen 1970). Kirjolohen 30 päivän altistus epäorgaaniselle lyijylle aiheutti ALA-D-aktiivisuuden laskua sekä veressä että munuaisissa eikä veren ALA-D-aktiivisuus palautunut normaalille tasolle 49 päivässä, kun kalat oli siirretty puhtaaseen veteen (Johansson-Sjöbeck ja Larsson 1978). Hemopoiieettisen kudoksen (munuainen ja perna) ALA-D-aktiivisuuden lasku on saattanut olla syynä edellä todettuun kalojen anemiaan.



Kuva 7. Kirjolohien veren, pernan ja munuaisen delta-aminolevuliinihappodehydrataasin aktiivisuudet.

3.42 Raskasmetallien kertyminen kaloihin

Altistuksen yhteydessä kaloista määritettiin niihin kertyneet raskasmetallien määrät. Pitoisuudet määritettiin sekä lihaksesta että maksasta. Tulokset on analysoitu kokoomänäytteistä, joihin on kerätty näytteet kuudesta kalasta, maksanäytteet kuitenkin vain kolmesta kalasta. Analyysitulokset ovat taulukossa 2.

Tuloksista voidaan todeta, että ne ovat normaaleina pidettävällä tasolla, eikä niissä ole havaittavissa jätevesien raskasmetalleista johtuvaa kertymistä.

4 JÄTEVESIALTISTUS

Jatkona kesällä 1979 suoritettulle vesistöaltistukselle tehtiin kesäkuussa 1980 altistuskokeita altaissa, joihin pumpattiin tehtaan jätevettä. Edellisen kesän tuloksien perusteella valittiin kolmetoista parametriä kuvaamaan kalojen kliinis-fysiologista tilaa lähes kolmen viikon altistuksen jälkeen. Tämä jätevesialtistus tehtiin paitsi tulosten vertaamiseksi vesistöaltistukseen myös tietojen saamiseksi jäteveden välittömistä vaikutuksista kalojen fysiologiaan.

4.1 KOEJÄRJESTELYT

Tutkittu jätevesi nostettiin pumpulla suoraan merivesiviemäristä M2. Tämä jätevesi on pääosin merivettä (n. 80 %), jota käytetään mm. jäähdytykseen, kaasunpesuun konverttereissa ja masuunikuonan granuloinnissa sekä sintraamon ja jatkuvavalukoneiden makeaa vettä (n. 20 %). Viemärin keskivirtaama oli vuonna 1979 n. 3800 m³/tunti. Kokeiden aikana otetuista kymmenestä vuorokauden kokoomänäytteestä määritettiin seuraavat arvot (keskiarvo - keskihajonta, suluissa ääriarvot): pH 8.4 - 0.3 (7.9. - 8.7.), kiintoaine 20.6 - 8.0 mg/l (14.0 - 38.0 mg/l), öljy 0.21 - 0.03 mg/l (0.15 - 0.30 mg/l) sekä sameus FTU 16 - 10 (8-44). Pitkäaikaisen altistuksen alussa ja lopussa otetuista satunnaisnäytteistä tehtiin laajemmat analyysit. Tulokset: pH 9.3 (alussa) ja 8.2 (lopussa), kiintoaine 52 ja 2 mg/l, sähkönjohtavuus 506 ja 504 mS/m, ammoniumtyppi 0.055 ja 0.062 mg/l, kokonaistyyppi 0.37 ja 0.45 mg/l, kokonaisfosfori 0.047 ja 0.042 mg/l, kokonaisrauta 9.4 ja 1.4 mg/l, josta liuenneena < 0.05 ja 0.08 mg/l, kokonais sinkki 0.19 ja 0.10 mg/l, josta vuorostaan liuenneena molemmissa näytteissä < 0.05 mg/l, kupari 0.019 ja 0.020 mg/l, lyijy 0.015 ja < 0.01 mg/l, nikkeli < 0.05 ja < 0.01 mg/l, kromi 0.012 ja 0.010 mg/l sekä öljy 0.33 ja 0.14 mg/l. Kaikki vesianalyysit tehtiin tehtaan laboratoriossa vakiomenetelmin. Laimennuksiin käytettiin vesijohtovettä, joka on käsittelemätöntä pohjavettä.

Taulukko 2. Vesistöaltistuksissa kaloista määritettyjen raskasmetallien pitoisuudet (mg/kg tuorep.).

	Hg	Zn	Cu	Pb	Cd
V. 1979					
Lihäs					
Vatunginnokka	0,09	3,8	0,40	<0,05	<0,05
Satama 3 vk	0,07	4,2	0,33	"	"
Satama 6 vk	0,05	3,7	0,24	"	"
Aallonmurtaja 6 vk	0,09	3,1	0,20	"	"
Maksa					
Vatunginnokka	0,17				
Satama 3 vk	0,07				
Satama 6 vk	0,08				
Aallonmurtaja 6 vk	0,12				
V. 1981					
Lihäs					
Vatunginnokka	0,06	3,4	0,33	<0,05	<0,05
Aallonmurtaja	0,07	3,6	0,28	"	"
Maksa					
Vatunginnokka	0,11	21	70	<0,05	<0,05
Aallonmurtaja	0,09	22	79	"	"

Kaikissa kokeissa käytettiin koekaloina Montan kalanviljelylaitokselta, Muhokselta hankittuja taimenia (Varisjoen kantaa). Esikokeena tehtiin neljän vuorokauden kuolleisuustesti 50 l polyeteeniastioidissa. Testi tehtiin ns. puolistaattisena eli puolet koeastioitten vedestä vaihdettiin aamuin illoin. Koekalat, joiden koko vaihteli 5-10 g välillä (pituus n. 10 cm), olivat iältään runsaan vuoden vanhoja (1+). Kokeen aikana kaloja ei ruokittu. Kalat sopeutettiin ennen koetta $+10.0 \pm 1.0$ °C koelämpötilaan. Veden happikyllästeisyys vaihteli kokeen aikana 50 ja 95 % välillä. Jätevesipitoisuudet olivat 50, 60, 70, 80, 90 ja 100 %. Kontrollina oli astia, jossa oli laimennusvettä. Jokaisessa koeastiassa oli 10 kalaa. Neljän vuorokauden aikana yksikään kala ei kuollut ja kaikki kalat vaihtivat kokeen lopussa hyväkuntoisilta.

Pitkäaikainen altistus tehtiin 200 l:n lasikuituastioissa, joissa vesi vaihtui läpivirtauksella. Neljään altaaseen, joissa pitoisuudet olivat 100, 67 ja 33 % jättevettä kontrollin lisäksi, laitettiin kuhunkin 18 taimenta iältään runsaat 2 vuotta (2+) ja kooltaan n. 18 cm. Kokonaisvirtaus allasta kohden oli 3.6 l/min (± 10 %). Lämpötilat altaissa olivat: kontrolli keskimäärin $+10$ °C (vaihteluväli 8-11 °C), 33 % jättevettä $+12$ °C (10.5 - 13.5 °C), 67 % jättevettä $+15$ °C (14.5 - 18 °C) ja 100 % jättevettä $+18$ °C (17 - 21.5 °C). Happikyllästeisyys vaihteli 70 ja 90 % välillä. Kaloja ruokittiin kaksi kertaa viikossa.

Altistuksen 15. tai 16. vuorokautena jättevettäpumppu pysähtyi, jonka seurauksena 100 % jättevettä olevista kaloista 15 kuoli ilmeisesti hapenpuuteeseen, muiden ryhmien selviytyessä makean veden tulon jatkuessa. 17. vuorokauden aamuna pumppu toimi jälleen.

Näytteet otettiin 18 ja 19 vuorokauden altistuksen jälkeen. Vuorokautta ennen näytteenottoa kalat siirrettiin yksittäissumppuihin. Kalan tainnuttamisen jälkeen otettiin verinäyte ductus Cuvierista, kiduspalanen histologiseen tutkimukseen sekä perna, joita yhdistettiin kolme yhtä ALA-D-määritystä varten. Näytteiden käsittely, säilytys sekä määritykset tehtiin vesihallituksessa käytössä olevilla menetelmillä (Oikari ym. 1979). Kunkin ryhmän viidestä kalasta otettiin lihasnäyte kokoomänäytteeksi, josta analysoitiin raskasmetallit Erkomaan ym. (1977) mukaan.

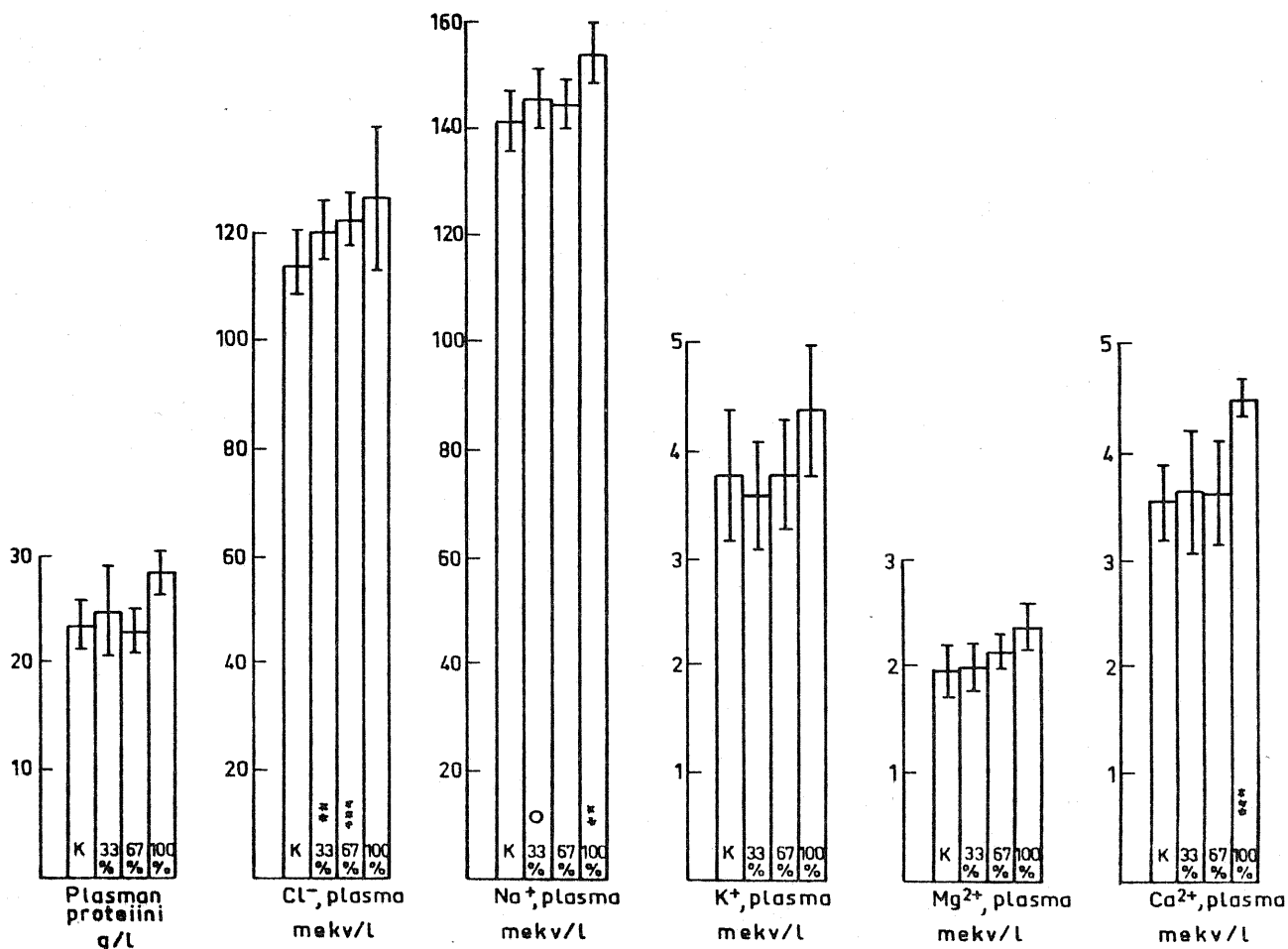
4.2 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

4.2.1 F y s i o l o g i s e t m u u t o k s e t

Koekaloista tehtyjen kliinisiä-kemiallisten analyysien tulokset on esitetty kuvissa 8-10. Kalojen fysiologisen tilan tulkintaa vaikeuttavat koevesien saliniteetin kasvu ja lämpötilan nousu jättevettä osuuden kasvaessa. Jättevettä osuuden kasvaessa myös kalojen ravinnon

käyttö häiriintyi sameuden lisääntymisen tai suoranaisten rasituksen seurauksena. Näytteenoton yhteydessä todettiin, että vain kontrollikaloilla ja 33 %-jäteveden kalaryhmällä oli ravinnon käyttö normaalia. 66 %- ja erityisesti 100 %-jäteveden kalaryhmät olivat nälkiintyneitä. Tarkasteltaessa 100 %-jäteveden kalaryhmän tuloksia on lisäksi huomioitava ryhmän pieni koko (3 kalaa) ja se, että nämä jäljelle jääneet kalat olivat ryhmän "vahvimmat".

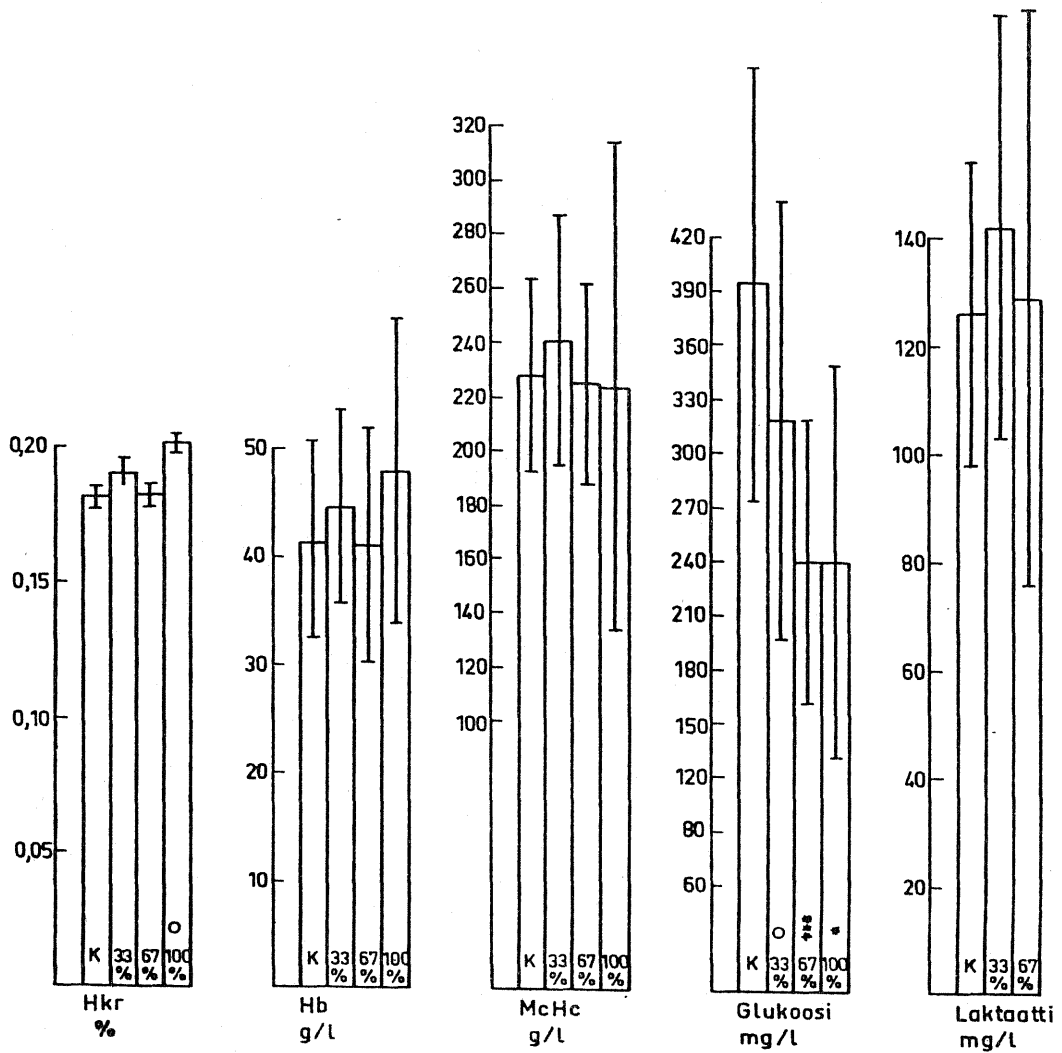
Plasman ionipitoisuudet olivat normaaliarvojen tasolla. Muutokset ionipitoisuuksissa seuraavat melko selkeästi jäteveden ja täten myös meriveden pitoisuuden nousua, joten niistä ei ole luettavissa jättevesien vaikutuksia. Samoin plasman proteiinipitoisuudet osoittavat normaalia ionisäätelyä ja kalojen kidukset olivat normaalit.



Kuva 8. Taimenien plasman proteiini- ja ionipitoisuudet. Tilastollinen tarkastelu kuten kuvassa 2.

Tässä tutkimuksessa lämpötilan nousun yleensä aiheuttama punasolujen turpoaminen kompensoi plasman ionipitoisuuden nousun punasoluja kutistavaa vaikutusta. Veren hemoglobiini- ja hematokriittiarvot ja muutoksen osoittama plasmatilavuuden pieneneminen johtuu lämpötilan kohoamisesta. Tästä normaalimuutoksesta poikkeaa kuitenkin 67 %-ryhmä, jossa plasmatilavuus, on lisääntynyt. Samanaikaisesti tässä ryhmässä plasman Na- ja proteiinipitoisuus on odotusarvoa pienempi.

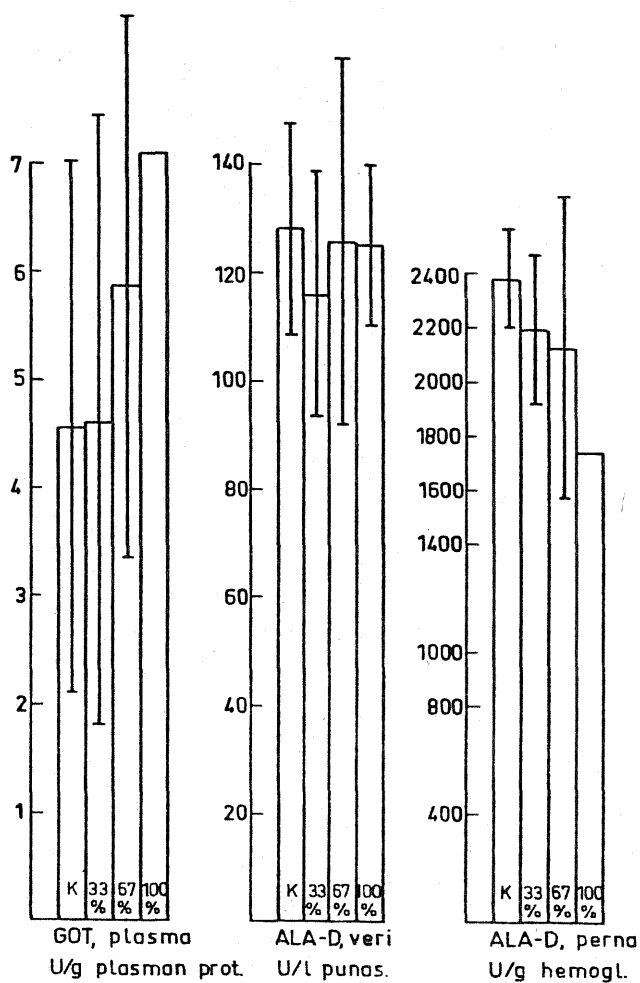
Kalojen ravitsemustila vaikuttanee osaltaan veren sokeri l. glukoosipitoisuuteen. Suurissa jätevesipitoisuuksissa altistetuilta kaloilta mitatut veren glukoosiarvot ilmentävät jo häiriintynyttä hiilihydraattiainevaihduntaa, kala joutuu käyttämään keräämiään energiavarastoja. Mahdollisesta paastosta huolimatta veren glukoosipitoisuus laskee jäteveden osuuden kasvaessa.



Kuva 9. Taimenien veren ja keskimääräinen punasolujen hemoglobiinipitoisuus, hematokriitti-arvot sekä veren glukoosi- ja laktaattipitoisuudet.

Jätevesien vaikutusta osoittaa lisäksi veren glukoosi- ja laktaattipitoisuuksissa todettava lämpötilavaikutusten eliminoituminen. Lämpötilan kohoaminen yli + 15° aiheuttaa veren glukoosi- ja laktaattipitoisuuksien nousua.

Tarkasteltaessa raskasmetallien mahdollista vaikutusta glutamaatti-oksaloasetatransferaasin (GOT) ja delta-aminolevuliinihappodehydrataasin (ALA-D) aktiivisuuksiin voidaan todeta suuntaa-antavia muutoksia. Koeryhmissä plasman GOT-aktiivisuudet osoittivat nousevaa suuntaa, mikä ilmentää kudonvaurioita. Muutoksen suunta on kuitenkin päinvastainen kuin vesistöaltistuksessa. Pernan ALA-D-aktiivisuudet ovat koeryhmissä alentuneet, mikä muutos on todettu erityisesti lyijyn vaikutusten ilmentäjäksi. Vesistöaltistuksessa muutos oli samansuuntainen.



Kuva 10. Taimenien plasman glutamaattioksaloasetatransaminaasin (GOT) sekä veren ja pernan delta-aminolevuliinihappodehydrataasin aktiivisuudet.

4.22 R a s k a s m e t a l l i e n k e r t y m i n e n

Tulokset koekalojen lihasnäytteiden raskasmetalli-analyyseistä ovat taulukossa.

Taulukko 3. Koekalojen lihaksen raskasmetallipitoisuudet (mg/kg tuorep.)

	Hg	Zn	Cu	Pb	Cd
Kontrolli	0,03	3,18	0,15	<0,05	<0,05
33 % jätevesi	0,04	3,36	0,30	"	"
67 % jätevesi	0,03	3,90	0,39	"	"
100 % jätevesi	0,04	-	-	-	-

Tuloksista voidaan todeta, että sinkin ja kuparin pitoisuudet lihasnäytteissä kohosivat jätevesien osuuden kasvaessa. Saadut arvot ovat kuitenkin luonnontilaisena pidettävällä tasolla.

5 J O H T O P Ä Ä T Ö K S E T

Sekä vesistö- että jätevesialtistukset osoittautuivat käyttökelpoisiksi pitkäaikaisvaikutusten tutkimusmenetelmiksi, vaikka kaikkia häiriötekijöitä ei voitukaan eliminoida.

Kalojen fysiologisen tilan ilmentäjistä saatiin erityisesti delta-aminolevuliinihappodehydrataasi entsyymin käyttäytymisestä metallivaikutusten jatkotutkimuksiin käyttökelpoista tietoutta. Tutkimus antoi myös viitteitä, että metallialtistusten yhteydessä tulisi erityistä huomiota kiinnittää munuaisten toiminnan tutkimiseen.

Koekalojen fysiologinen tila ilmaisee lähinnä kalojen "terveydentilan" eikä siitä voida vetää suoraa johtopäätöksiä alueen kalataloudelliseen tilaan. Fysiologisten tutkimustulosten käyttökelpoisuutta kalataloudellisissa arvioissa selvitetäänkin maa- ja metsätalousministeriön rahoittamassa tutkimushankkeessa.

Tarkasteltaessa tämän tutkimuksen kalojen fysiologista tilaa ja metallianalyysien tuloksia voidaan jätevesien vaikutuksia purkualueen kalastoon pitää kuitenkin hyvin vähäisinä. Johtopäätöstä tukee jätevesien akuuteista vaikutuksista saadut tutkimustulokset.

6 T I I V I S T E L M Ä

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on ollut selvittää Rautaruukki Oy:n Raahen rautatehtaan jätevesien vaiku-

tuksia lohikalojen fysiologiaan. Tutkimus tehtiin altistamalla kaloja sekä jätevesien purkualueella että laimennetuissa jätevesissä. Näistä kaloista määritettiin myös eräiden raskasmetallien pitoisuudet. Lisäksi määritettiin jätevesien akuutit vaikutukset LC 50-testein.

Vesistöaltistuksissa todettiin kirjolohien rasitus- ja aineenvaihduntamuuttujissa lieviä jätevesivaikutuksia, jotka ovat yhdistettävissä raskasmetallien vaikutuksiksi. Jätevesialtistuksessa vastaavat muutokset olivat vieläkin lievempiä ja osin päinvastaisia, johtuen laimennusveden eri kalaryhmien koevesissä aiheuttamista lämpötilan ja suolaisuuden muutoksista. Vesistöaltistuksissa kalojen kudოსvaurioita osoittivat selvimmin aivojen asetyylikoliiniesteraasin ja munuaisten β -glukuroniidaasin aktiivisuuksien nousu. Kalojen vierasaineenvaihdunta (UDP-GT) osoitti lievää aktivoitumista. Raskasmetallien vaikutuksia erityisesti ilmentävän delta-aminolevuliinihappodehydrataasin aktiivisuus laski kaikissa altistuksissa kaikilla tutkituissa kudoksissa, selvimmin kuitenkin pernassa, jonka toiminnassa ko. entsyymillä on keskeinen osa.

Kalojen lihaksesta ja maksasta määritetyt elohopea-, sinkki-, kupari-, lyijy- ja kadmiumpitoisuudet olivat luonnontilaisella pidettävällä tasolla.

Tehtaiden jätevedellä ei voitu todeta olevan akuutteja vaikutuksia koekaloihin. Laimentamattomassakin jätevedessä koekalat olivat hyväkuntoisia 4 vrk kestäneen koejakson aikana.

K I R J A L L I S U U S

Bengtsson, B-E., Carlin, C.H., Larsson, Å. ja Svanberg, O. 1975. Vertebral damage in minnows (*Phoxinus phoxinus* L.) exposed to cadmium. *Ambio* 4: 166-168.

Christensen, G.M. 1975. Biochemical effects of methylmercuric chloride, cadmium and lead nitrate on the embryos and alevins of the brook trout, *Salvelinus fontinalis*. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 32: 191-197.

Erkoma, K., Mäkinen, I. & Sandman, O. 1977. Vesiviranomaisen ja julkisen valvonnan alaisten vesitutkimuslaitosten fysikaaliset ja kemialliset analyysimenetelmät. Vesihallituksen tiedotus 121.

Ganong, W.F. 1971. *Review of Medical Physiology*. Lange Medical Publications, Los Altos, California.

Harper, H.A. 1971. *Review of Physiological Chemistry*. Lange Medical Publications, Los Altos, California.

- Hernberg, S. ja Nikkanen, J. 1970. Enzyme inhibition by lead under normal urban conditions. *Lancet* 1: 63-64.
- Johansson-Sjöbeck, M-L. ja Larsson, Å. 1978. The effect of cadmium on the hematology and on the activity of delta-aminolevulinic acid dehydratase (ALA-D) in blood and hematopoietic tissues of the flounder, *Pleuronectes flesus* L. *Environ. Research* 17: 191-204.
- McKim, J.K., Christensen, G.M. ja Hunt, E.P. 1970. Changes in the blood of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) after short-term exposure to copper. *J. Fish. Res. Bd. Canada* 27: 1883-1889.
- Larsson, Å. 1975. Some experimentally induced biochemical effects of cadmium on fish from the Baltic Sea. Third Soviet-Swedish Symposium on the Pollution of the Baltic Sea. Stockholm, September 1975. *Ambio, Special Report*, No. 5, 1977: 67-68.
- Lauwerys, R.R., Buchet, J-P. ja Roels, H.A. 1973. Comparative study of effect of inorganic lead and cadmium on blood delta-aminolevulinic acid dehydratase in man. *Brit. J. Ind. Med.* 30: 359-364.
- Oikari, A., Soivio, A., Tuurala, H., Nyholm, K., Kajava, R. ja Miettinen, V. 1979. Fysiologisia tutkimuksia likaantuneiden vesistöjen hausta (*Esox lucius* L. ja tulosten soveltuvuudesta veden laadun arvioinnissa. *Vesihallituksen tiedotus* 166.
- Ruoppa, M. 1978. Rautaruukki Oy:n Raahen rautatehtaan jätevesien kalatoksikologiset vaikutukset sekä lyhyt kirjallisuuskatsaus syanidin ja raskasmetallien vaikutuksista kaloihin. *Moniste* 17 s.
- Strik, J.J.T.W.A., Iongh, H.H., Rijn van Alkemade, J.W.A. & Wuite, T.B. 1975. Toxicity of chromium (IV) in fish, with special reference to organoweights, liver and plasma enzyme activities, blood parameters and histological alterations. In Koeman, J.H. & Strik, J.J.T.A. (Eds.) *Sublethal effects of toxic chemicals on aquatic animals*. pp. 31-41. Amsterdam-Oxford-New York.

- Svanberg, O. ja Lithner, R. 1978. Evaluation of harmful effects of heavy metals on aquatic organisms. Seminar on heavy metals. Technological methods for the limitation of discharges. Under the convention on the protection of the marine environment of the Baltic Sea area. Copenhagen 4-7 June, 1978.
- Vainio, H. 1975. Linkage of microsomal drug oxidation and glucuronidation. Proc. 6th Int. Congress of Pharmacology, Helsinki, Finland 1975, Vol. 6. Mechanisms of Toxicity and Metabolism. pp. 53-66.

