

E. Neom

SUOMEN KALATALOUS 36 FINLANDS FISKERIER



KALOJEN ELOHOPEAPITOISUUS
SUOMESSA VUONNA 1967

Sammandrag: Kvicksilverhalt i fisk i Finland år 1967

Summary: Mercury content of fish in Finland in 1967

ERKKI HÄSÄNEN

Teknillinen korkeakoulu Reaktorilaboratorio
Tekniska högskolan Reaktorlaboratoric
Technical University of Helsinki Reactor Laboratory

&

VEIKKO SJÖBLOM

Maataloushallitus Kalataloudellinen tutkimustoimisto
Lantbruksstyrelsen Byrån för fiskeriundersökningar
Board of Agriculture Bureau of Fisheries Investigation

HELSINKI 1968

SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
I. Johdanto	5
A. Elohopean esiintyminen luonnossa	5
B. Äyriäisten, simpukoiden ja kalojen elohopeapitoisuus Japanissa sekä kalojen elohopeapitoisuus Ruotsissa	8
C. Elohopean rikastuminen: vesi — kalojen ravinto — kalat — hylje ja merikotka	8
II. Kalojen elohopeapitoisuus Suomessa	9
A. Analyysitulokset	14
B. Kohonneiden pitoisuuksien syyt	14
III. Kohonneiden pitoisuuksien merkitys	17
A. Elohopean ja sen yhdisteiden sietorajat elintarvikkeissa, juomavedessä ja työpaikan ilmassa	17
B. Elohopealla saastuneiden kalojen aiheuttamat joukkorairastumiset Japanissa	17
C. Ihmisiin kohdistuneet tutkimukset Ruotsissa ja Suomessa	18
D. Ruotsin ravintohygieeniset sietorajat kaloille	19
IV. Toimenpiteet kohonneiden pitoisuuksien johdosta	20
V. Yhteenvedo	21
VI. Sammandrag	22
VII. Summary	22
Kirjallisuus	23

I. JOHDANTO

Elohopean vuotuinen tuotanto koko maapallon osalta on arvioitu noin 5 000 tonniksi (RÖMPP 1953). Suomeen tuotetaan elohopeaa ja sen yhdisteitä noin 50 elohopeatonnia vastaava määrä vuosittain, mikä on siis noin 1 % koko maapallon tuotannosta.

Sekä metallinen elohopea että kaikki sen yhdisteet ovat myrkyllisiä. Erityisen myrkyllisiä ovat orgaaniset elohopeayhdisteet, joilla on voimakas taipumus pidättyä elimistöön.

Aikaisemmin käytettiin elohopeayhdisteitä lääkintätarkoituksiin. Nykyään on käyttö rajoittunut pääasiassa teollisuuden ja maanviljelyn (peitatusaineet) piiriin. Sisäisesti annettavana lääkkeenä käytetään tätä nykyä vain diureettisesti vaikuttavaa elohopean allyl-derivaattia (AHLBORG & HOLMSTEDT 1965).

Elohopean vaarallisuus riippuu oleellisesti siitä, missä kemiallisessa muodossa se joutuu elimistöön. Orgaaniset yhdisteet ovat myrkyllisempiä kuin epäorgaaniset ja orgaanisista taas alkylyyhdisteet ovat kaikkein myrkyllisimmät.

Elimistöön absorboituneen elohopean oleellisin reaktio tapahtuu tionyyliyhdisteiden kanssa, mistä seuraa reaktiotuotteina elohopeamerkkapptideja. Tästä reaktiosta riippuu, miten absorboitunut elohopea vaikuttaa ja miten se jakaantuu elimistössä. Vaikutusmekanismia ei tunneta tarkoin, mutta arvellaan, että elohopean myrkyvä vaikutus perustuu pääasiallisesti siihen, että se estää entsyymitoimintoja (op. cit.).

Aikaisemmin kohdistuivat elohopean haittavaikutukset rajoitettuihin ihmisryhmiin, lähinnä teollisuudessa ja laboratorioissa työskenteleviin henkilöihin. Viimeisten viidentoista vuoden aikana on esiintynyt kuitenkin tapauksia, jolloin orgaanisen elohopean haittavaikutuksille on jou-

tunut alttiiksi aivan yllättäviä sektoreita. Ensimmäkin on todettu peittausaineina käytettyjen elohopeayhdisteiden kulkeutumista riistaan (BORG 1958, BORG ym. 1965, HENRIKSSON ym. 1966 a, HENRIKSON ym. 1966 b), ja toiseksi on havaittu teollisuuden jätevesien sisältämän elohopean rikastuvan kaloihin siinä määrin, että runsaasti kalaa ravintonaan käyttävät ihmiset ovat saaneet niistä elohopeamyrkytyksen (KURLAND ym. 1960). Tämän lisäksi on sattunut muutamia paikallisia peitatusviljan syömisestä aiheutuneita myrkytys- ja kuolemantapauksia (JALILI & AB-BASI 1961).

A. Elohopean esiintyminen luonnossa

Luonnossa elohopea esiintyy yleensä hivenaineenä, jonka pitoisuudet ovat välillä 0,00003—0,8 ppm¹⁾ (BOWEN 1966). Sen pitoisuus maankuoressa on arvioitu olevan noin 0,4 ppm (RÖMPP 1966). Tärkein elohopeamineraali on elohopeasulfidi (HgS) eli sinooperi. Tärkeimmät elohopeaesiintymät ovat Etelä-Espanjassa ja Pohjois-Italiassa. Pienempiä esiintymiä on myös Böömissä, Unkarissa, Kaliforniassa, Meksikossa, Kiinassa ja Japanissa.

Elohopean jakautumista maaperässä, kallioperässä, vesistöissä ja elintarvikkeissa ovat STOCK & CUCUEL (1934) laajasti tutkineet. Heidän työnsä on vieläkin laajin yhtenäinen tällä alalla tehty tutkimus. Taulukossa 1 esitetyt arvot ovat suureksi osaksi peräisin mainitusta tutkimuksesta.

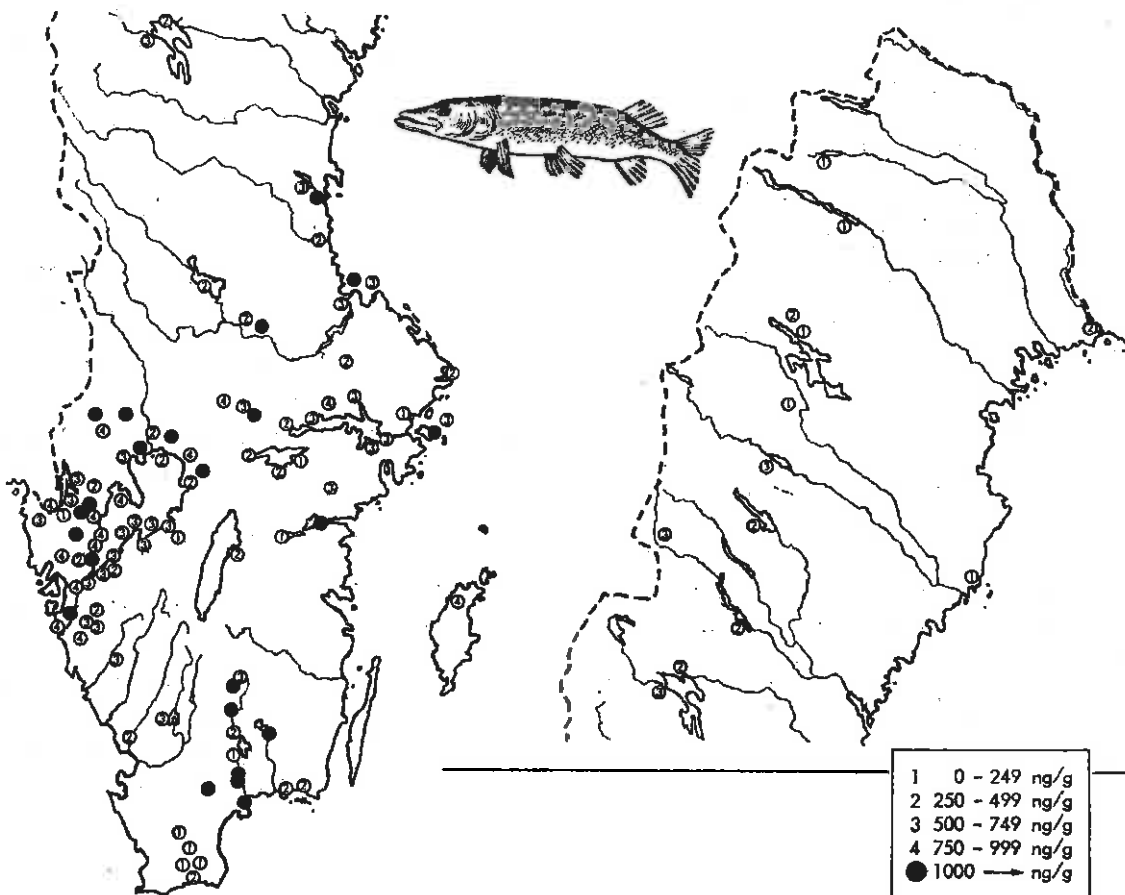
¹⁾ Esityksessä on elohopeapitoisuus ilmoitettu seuraavissa yksiköissä: 1 ppm = 1 mg/kg = 1 000 ng/g. Veden pitoisuudesta on käytetty yksikköä µg/l = 0,001 mg/l.

Taulukko 1. Elohopean pitoisuuksia kallioperässä, maaperässä, vedessä, eräissä elintarvikkeissa ja muissa tuotteissa.

Tabell 1. Kvicksilverhalter i berggrund, markgrund, vatten, några livsmedel och andra produkter.

Table 1. Mercury content in bedrock, soil, water, some food and other products.

	Elohopeapitoisuus Kvicksilverhalt Mercury content	Tekijä Auktor Author
kallioperä — berggrund — bedrock	0,02—0,5 ppm	STOCK & CUCUEL 1934
maaperä — markgrund — soil	0,03—0,8 ppm	»
kivihiili — stenkol — coal	0,01 ppm	»
puuhiili — träkol — charcoal	0,02 ppm	»
valokaasu — lysgas — illuminating gas	0,5 µg/100 l	»
merivesi — havsvatten — sea water	0,03—0,1 µg/l	»
jokivesi — flodvatten — river water	0,1 µg/l	»
jokivesi — flodvatten — river water	0,1—0,4 µg/l	LANDSTRÖM & WENNER 1965
lähdevesi — källvatten — spring water	0,01—0,05 µg/l	STOCK & CUCUEL 1934
tislattu vesi — destillerat vatten — distilled water	0,05—0,8 µg/l	»
sadevesi — regnvatten — rain water	0,05—0,48 µg/l	»
vihannekset — grönsaker — vegetables	0,015 ppm	»
juurekset — rotfrukter — roots	0,025 ppm	»
hedelmät — frukt — fruit	0,01 ppm	»
jauhot — mjöl — flour	0,025 ppm	»
kananmunat — hönsägg — hen's egg	0,03 ppm	WESTRÖÖ 1965
lihatuotteet — köttprodukter — meat	0,02 ppm	»



Kuva 1. Ruotsin kilon painoisten haukien elohopeapitoisuus. Miljövärdningsforskning 1 (1967).

Fig. 1. Kvicksilverhalten i svenska 1-kg gäddor. Miljövärdningsforskning 1 (1967).

Fig. 1. Mercury content in Swedish pike of one kilogramme weight. Miljövärdningsforskning 1 (1967).

Taulukko 2. Kalojen elohopeapitoisuuksia 1930- ja 1940-luvuilla.
 Tabell 2. Kviksilverhalt i fisk från 1930- och 1940-talet.
 Tabel 2. Mercury content in fish from 1930'ies and 1940'ies.

	mg Hg/kg ¹⁾	Tekijä Auktor Author
Taimen — laxöring — trout <i>Salmo trutta</i> L.	0,028	STOCK & CUCUEL 1934
Suutari — sutare — tench <i>Tinca tinca</i> (L.)	0,180	»
Salakka — löja — bleak <i>Alburnus alburnus</i> (L.)	0,120	»
Kolja — kolja — haddock <i>Melanogrammus aeglefinus</i> (L.)	0,045	»
Valkoturska — vitling — whiting <i>Merlangus merlangus</i> (L.)	0,047	»
Turska — torsk — cod <i>Codrus morhua</i> L.	0,110	»
Kymmenpiikki — småspigg — ten-spined stickleback <i>Pungitius pungitius</i> (L.)	0,142	RAEDER & SNEKVIK 1941
Ankerias — ål — eel <i>Anguilla anguilla</i> (L.)	0,167	»
Järvitaimen — insjööring — lake trout <i>Salmo trutta m.lacustris</i> L.	0,136	»
»	0,094	»
Nieriä — röding — arctic char <i>Salvelinus alpinus</i> (L.)	0,100	»
Ahven — abborre — perch <i>Perca fluviatilis</i> L.	0,089	»
Made — lake — burbot <i>Lota lota</i> (L.)	0,077	»
Siika — sik — whitefish <i>Coregonus lavaretus</i> (L.)	0,076	»
Turska — torsk — cod <i>Gadus morhua</i> (L.)	0,054	RAEDER & SNEKVIK 1949
Merikissa — havkatt — catfish <i>Anarhichas lupus</i> L.	0,150	»
Puna-ahven — större kungsfisken — redfish <i>Sebastes marinus</i> (L.)	0,152	»
Kolja — kolja — haddock <i>Melanogrammus aeglefinus</i> (L.)	0,141	»
Seiti — sej — coalfish <i>Pollachius virens</i> (L.)	0,088	»
Silli — sill — herring <i>Clupea harengus</i> L.	0,095	»
Lohi — lax — salmon <i>Salmo salar</i> L.	0,073	»
Makrilli — makrill — mackerel <i>Scomber scombrus</i> L.	0,059	»
Ruijanpallas — hälleflundra — halibut <i>Hippoglossus hippoglossus</i> (L.)	0,105	»
Järvitaimen — insjööring — lake trout <i>Salmo trutta m.lacustris</i> L.	0,133	»
Nieriä — röding — arctic char <i>Salvelinus alpinus</i> (L.)	0,100	»
Hauki — gädda — pike <i>Esox lucius</i> L.	0,122	»

1) Tuorepaino — färskvikt — fresh weight

Kalat sisältävät runsaammin elohopeaa kuin muut elintarvikkeet (taulukko 2). Jos verrataan vesien ja kalojen elohopeapitoisuuksia toisiinsa, havaitaan, että kalat sisältävät noin 1 000 kertaa enemmän elohopeaa kuin vesi.

B. Äyriäisten, simpukoiden ja kalojen elohopeapitoisuus Japanissa sekä kalojen elohopeapitoisuus Ruotsissa

Japanissa on kahdella erillisellä alueella todettu luonnontila paljon korkeampia elohopeapitoisuuksia. Kummallakin alueella on ilmennyt joukkosairastumisia elohopeapitoisten kalojen ja muiden merieläinten syönnin johdosta (vrt. luku III B).

Minamatassa ravinnoksi käytettyjen merieläinten elohopeapitoisuus oli kuivapainoa kohti laskettuna 27–102 mg/kg (taulukko 3). Vertailtaessa kuiva- ja tuorepainosta saatuja pitoisuuksia on kuivapainosta saadut jaettava 2,5:llä (KURLAND 1960).

Taulukko 3. Minamata-lahden merieläinten elohopeapitoisuus.

Tabell 3. Kviksilverhalten i skaldjur från Minamatabukten.
Table 3. Mercury content in shellfish of the Minamata Bay.

	mgHg/kg ¹⁾	Tekijä Auktor Autor
»Oysters»	38—69	KURLAND 1960
»Shellfish»	102	»
»	89	»
»	27	»

¹⁾ Kuivapaino — torrsvikt — dry weight

Niigatassa olevan Agano-joen kalojen elohopeapitoisuus oli 1,06–23,6 mg/kg (tuorepaino) (taulukko 4).

Biosidijäämiä koskevien tutkimusten yhteydessä havaittiin Ruotsissa kaloissa poikkeuksellisen korkeita elohopeapitoisuuksia. Tämä johti laajaan kalatutkimukseen, jossa otettiin näytteitä sekä sisävesistä että rannikkoalueilta. Indikaattorikalana käytettiin haukea. Tulokset on esitetty

Taulukko 4. Agano-joen kalojen elohopeapitoisuus (UI 1966).

Tabell 4. Kviksilverhalten i fisk från Agano-floden (UI 1966).

Table 4. Mercury content in fish of the Agano river (UI 1966).

	mgHg/kg
<i>Hemibarbus barbuis</i> T & S	8,24 (2,47—23,6)
<i>Anguilla japonica</i> T & S	1,48
<i>Zacco platypus</i> T & S	2,13; 2,16
<i>Channa argus</i>	1,83; 12,30
<i>Tribolodon hakonensis</i>	6,01; 8,38
<i>Acanthogobius flavimarius</i>	2,06
<i>Carassius auratus</i>	1,06 ¹⁾
<i>Parasilurus asotus</i>	2,40

¹⁾ Kuivattu näyte—torkat prov—dried sample

kuvassa 1. Suurin yksittäinen pitoisuus haussa on ollut 9,8 mg/kg (WESTERMARK, TEJNINGIN 1967 a mukaan). Kuitenkin ahvenen pitoisuus oli keskimäärin suurin (WESTÖÖ 1967). Kaloissa olevan elohopean todettiin olevan käytännöllisesti katsoen kokonaisuudessaan (yli 90 %:sti) metyylielohopeaa (NOREN & WESTÖÖ 1967).

C. Elohopean rikastuminen: vesi — kalojen ravinto — kalat — hylje ja merikotka

Sisävesikalojen voidaan sanoa rikastavan kaikkia alkuaineita. Esimerkiksi natriumin, kaliumin, mangaanin ja kuparin suhteen ovat mainittujen aineiden pitoisuudet kaloissa suuruusluokkaa tuhat kertaa korkeimpia kuin ympäröivän veden vastaavat pitoisuudet (BOWEN 1966). Näin ollen ei ole mitenkään yllättävää, että myös elohopean rikastumista tapahtuu.

Yllättävää on sen sijaan, että vedessä oleva sekä epäorgaaninen että fenyylielohopea on kalaan jouduttuaan muuttunut metyylielohopeaksi (NOREN & WESTÖÖ 1967).

Muuttumismekanismia ei tarkoin tunneta, mutta ruotsalaiset tutkijat ovat vuonna 1967 aloittamissaan kokeissa osoittaneet, että eräät mikro-organismit voivat muuttaa epäorgaanista ja fenyylielohopeaa metyylielohopeaksi (JENSEN & JERNELÖV 1967).

Japanilaiset ovat puolestaan simpukoilla tekemissään kokeissa havainneet 1) elohopean biologisen puoliintumisajan ($BT_{1/2}$) riippuvan siitä minä yhdisteenä elohopea on ja 2) $BT_{1/2}$ -arvon muuttuvan, jos yhdiste joutuu kulkemaan ravintoketjun läpi (YOSHIDA et al. 1967). Elohopea (II)kloridille ilmoitetaan $BT_{1/2}$ -arvoksi 2,8 vrk, fenyylielohopeakloridille 4,8 vrk ja ravintoketjun (bacterial cells) läpi kulkeneelle elohopea(II)kloridille 7,8 vrk. Tämän $BT_{1/2}$ -arvon suurenemisen on katsottu merkitsevän yhdisteen rakenteen muuttumista.

Minamata-katastrofin syytä tutkittaessa on todettu kemiallisten tehtaiden jätevesien sisältäneen elohopeakloridia ja -sulfaattia, mikä kaloihin ja simpukoihin jouduttuaan oli muuttunut metyylielohopeakloridiksi. Tämän puolestaan on todettu aiheuttaneen Japanissa sekä Minamatan että Niigatan joukkosairastumiset.

Vedessä tapahtuvia elohopean rikastumisprosesseja on selvittänyt HANNERZ (1966). Hän on tutkinut metyylielohopeahydroksidin ja fenyyl-elohopea-asetaatin rikastumis- ja poistumisprosesseja veden kasvi- ja eläinmaailmassa. Tutkimuksen mukaan on molempien yhdisteiden rikastuminen hyvin samantapaista. Rikastumista tapahtuu mm. vedessä oleviin hiukkasiin, mistä se joutuu sedimenttiin. Kasvien vedenalaiset osat rikastavat pinnalleen voimakkaasti elohopeaa, joka ei kuitenkaan merkittävässä määrin siirry kasvin sisempiin osiin. Alempien eläinten on todettu rikastavan tutkittuja yhdisteitä aina 8 000-kertaisesti. Kaloissa vaihtelee elohopean rikastumisaste merkittävästi sekä lajeittain että yksilöittäin. Yksilöiden väliset erot todettiin

suuremmiksi kuin lajien väliset. Kalan lihaksessa oli rikastuminen veteen verrattuna 1 000—2 000-kertainen. HANNERZIN mukaan on rikastumisprosessin alkuvaiheessa suoraan vedestä tulevalle elohopealle dominoiva osuus. Myöhemmässä vaiheessa on myöskin ravinnosta tulevalla elohopealla merkitystä. Kalan lihaksen sisältämän elohopean biologiseksi puoliintumisajaksi on arvioitu 65—70 vrk. Tutkitut kalat olivat hauen, kuhan ja ahvenen poikasia.

Samana vesistön eri kalalajien välillä on havaittu selviä eroja elohopeapitoisuuksissa. Tämä voidaan selittää joko siten, että elohopean rikastumisaste on eri lajeissa erilainen (toiset lajit ovat petokaloja, toiset eivät) tai siten, että eri lajien välillä on eroja elohopean metaboliassa. Metaboliaeroihin viittaavat ne havainnot, joiden mukaan esim. alkalimetallien (Na, Cs) biologisissa puoliintumisajoissa on selviä lajien välisiä eroja. Esimerkiksi ahvenella on Cs^{137} :n biologisen puoliintumisajan arvo 2—3 kertaa niin suuri kuin särjellä, mikä merkitsee sitä, että ahven kykenee rikastamaan samasta ympäristöstä Cs^{137} :n 2—3 kertaa tehokkaammin kuin särki (HÄSÄNEN ym. 1966, 1967).

Kalojen sisältämä elohopea on ollut syynä merikotkissa tavattuihin korkeisiin elohopeapitoisuuksiin, mikä on puolestaan aiheuttanut Suomen alueella pesivien merikotkien lukumäärässä jyrkkää laskua (HENRIKSSON, KARPPANEN & HELMINEN 1966).

Saimaan norpassa on tavattu myöskin erittäin korkeita elohopeapitoisuuksia maksimin ollessa 197 mg/kg (lihas, tuorepaino) (HELMINEN, KARPPANEN & KOIVISTO 1968).

II. KALOJEN ELOHOPEAPITOISUUS SUOMESSA

Ensimmäiset elohopeamääritykset suomalaisista kaloista tehtiin v. 1965 ruotsalaisten toimesta. Tämä tapahtui sikäläisten biosiditutkimusten yhteydessä. Suomesta pyydystetyt kalat olivat vertailumateriaalina ruotsalaisten omista

tutkimuksissa. Kalat olivat haukia ja niitä oli 20 kpl. Pyyntipaikat sijaitsivat Ahvenanmaalla, Turun ja Porin läänissä sekä Vaasan edustalla. Pitoisuudet vaihtelivat välillä 0,09—0,9 mg Hg/kg (JOHNELS 1966).

Valtion eläinlääketieteen laitos suoritti tammi-kuussa 1966 pistokokeen luontoisen tutkimuksen Helsingissä myytävänä olevien kalojen elohopeapitoisuudesta (KARPPANEN, henkilökoht. ilm.). Tulokset muodostuivat seuraaviksi:

hauki 0,15—0,30, ahven 0,3, silakka 0,1, lahna 0,2—0,3, muikku 0,5—0,6, kuore 0,1 ja turska 0,1 mg elohopeaa/kg.

Kalat oli ostettu Hakaniemen torilta. Pyyntipaikoista, pituuksista ja painoista ei ole tietoja.

Teknillisen korkeakoulun reaktorilaboratoriossa aloitettiin kalojen elohopeapitoisuuden määrittäykset sopivan menetelmän kehittämisen jälkeen syksyllä 1966 (HÄSÄNEN 1967). Neutroniaktiivointiin perustuva menetelmä esitetään seuraavassa pääpiirteittäin.

Kalan kylkilihaksesta otetaan kaksi noin gramman suuruista näytettä, jotka suljetaan muovikapseliin. Kapselit, samoin kuin elohopeastandardi lasketaan ydinreaktoriin. Neutronivuossa muuttuvat näytteen sisältämät alkuaineet, mm. elohopea radioaktiivisiksi. Sen jälkeen kun näyte on poistettu reaktorista, hajoitetaan se ns. märkäpoltolla (typpihappo-rikkihapposeos). Hajoituksen jälkeen laimennetaan kirkas liuos, lisätään joukkoon kuparijauhetta ja sekoitetaan lasisauvalla tai magneettisekoittajalla, jolloin elohopea saostuu kvantitatiivisesti metallisena kuparijauheen pinnalle. Jauhe suodatetaan erilleen, pestään, suljetaan muovikapseliin ja sen aktiivisuus mitataan käyttäen apuna pulssinkorkeusanalyysaattoria. Preparaatin sisältämän elohopean aktiivisuutta verrataan standardin aktiivisuuteen, jonka jälkeen kalanäytteen elohopeapitoisuus (kokonaiselohopea) voidaan laskea.

Edellä kuvatulla tavalla voidaan käytettävissä olevalla laitteistolla havaita n. $5 \cdot 10^{-9}$ g:n suuruisen elohopeamäärä. Kemiallisten menetelmien alarajana on yleensä n. 10^{-6} g, eli aktivointianalyysi on tässä tapauksessa noin 200 kertaa muita menetelmiä herkempi.

Ensimmäisissä, vuoden 1966 syksyllä tutkituissa kalanäytteissä (ahven-, hauki-, made- ja särkinäytteitä), jotka olivat Inarinjärvestä, Päi-

jänteestä ja Näsijärvestä, olivat elohopeapitoisuudet 0,05—1,5 mg/kg.

Vuoden 1967 aikana tutkittiin reaktorilaboratoriossa Åbo Akademin toimeksiannosta 56 hainäytteen elohopeapitoisuudet. Näytteet olivat peräisin Ahvenanmaan järvistä ja rannikkovesistä ja pitoisuudet vaihtelivat välillä 0,08—1,46 mg/kg. Kilon painoisten haukien elohopeapitoisuudet olivat 0,2—0,6 mg/kg, korkein havaittu arvo 1,46 mg/kg tavattiin 7,2 kg:n painoisessa hauessa (AHO 1967).

Nyt käsiteltävä tutkimus aloitettiin helmikuussa 1967 teknillisen korkeakoulun reaktorilaboratorion ja maataloushallituksen kalataloudellisen tutkimustoimiston välisenä yhteistyönä. Näytteitä otettiin 85 paikasta eri puolilta Suomea. Analysoitujen näytteiden lukumäärä oli n. 170 kpl. Valtaosa näytteistä oli haukia, joka on yleinen, suppealla alueella liikkuva petokala. Muutamista paikoista tutkittiin myöskin muita kalalajeja. Tulokset on esitetty taulukossa 6 ja kuvassa 2. Ilmoitetut arvot mg/kg tarkoittavat kalan kylkilihaksen (tuorepaino) elohopeapitoisuutta.

Tulosten luotettavuus on kontrolloitu siten, että 12 näytettä on analysoitu elohopean suhteen myöskin valtion eläinlääketieteellisessä laitoksessa (taulukko 5). Täällä on analyysit tehty käyt-

Taulukko 5. Eri menetelmillä suoritettujen vertailuanalyysien tulokset.

Tabell 5. Resultat av jämförelseanalyser.
Table 5. Results of comparative analysis.

Näyte Prov Sample No	Elohopeapitoisuus Kvicksilverhalten Mercury content mg/kg	
	Aktivointianalyysi Aktiveringsanalys Activation analysis	Happipoltto- dititsonimenetelmä Syreförbrännings- ditizonmetod Combustion in oxygen- extract with dibigen
6	1,1	1,0
10	1,3	1,4
11	1,3	1,4
22	0,3	0,3
23	3,2	3,6
24	4,6	4,7
39	0,8	1,1
43	0,2	0,1
48	0,9	0,7
52	1,7	1,7
55	2,1	2,4
139	0,3	0,3

Taulukko 6. Kalan kylkilihaksen elohopeapitoisuus (mgHg/kg) tuorepainon kohti laskettuna.
 Tabell 6. Kvikksilverhalt i fiskfilét (mgHg/kg) uträknad för färskvikt.
 Table 6. Mercury content in fish fillet (mgHg/kg) estimated according to fresh weight of the fish.

paikka plats locality	kalalaji fiskslag fish sp.	pituus längd length cm	paino vikt weight g	sukup. kön sex	ikä (v.) ålder (år) age (year)	mg Hg/kg
Pohjanlahti Bottniska viken Gulf of Bothnia						
Haukipudas, Pappilanlahti	hauki — gädda — pike	46	670	♂		0,48
» Martinniemen tukkilahti	»	49	770	♂	4	1,50
» Kotakari	»	51	940	♂	3	0,75
Oulu — Uleåborg, Toppila	»	52	1 060	♂	5	0,71
Kokkola — Gamlakarleby, Ykspihlajanlahti — Yxpilaviken	»	54	1 150		6	0,32
Karleby, Möllersvik	säyne — id — ide	30	330			0,13
» »	hauki — gädda — pike	50	1 050		3	0,13
» »	säyne — id — ide	48	1 620			0,18
Öja, Vargholmsfjärden	hauki — gädda — pike	52	1 100		4	0,17
» »	lahna — braxen — bream	40	810			0,06
Larsmo, Kackurfjärden	hauki — gädda — pike	42	440	♂	3	0,26
» »	»	46	630	♂	5	0,41
» »	»	49	880	♂	5	0,35
Pietarsaari — Jakobstad, Ädöfjärden	»	42	530	♂	4	0,34
» »	»	45	780	♂	4	0,43
» »	»	45	700	♂	3	0,31
Vaasa — Vasa, Etel. Kaupunginselkä — Södra Stadsfjärden	»	48	720	♂	6	0,41
» »	»	50	900	♂	5	0,34
» »	»	53	920	♂	5	0,34
» Storviken	särki — mört — roach	16	42			0,93
» »	»	19	67			0,60
» »	»	20	89			0,87
Merikarvia — Sastmola, Kasala	hauki — gädda — pike	46	700	♂	4	0,61
Ahlainen — Vittisbofjärd, Lampaluoto	»	46	600	♂	5	1,30
» Keikvesi	»	48	800	♂	4	0,60
Pori — Björneborg, Kyläsaari	»	38	360	♂	2	1,10
» edusta — utanför — outside	silakka — strömming — Baltic herring	17	25			0,59
Porin mlk — Björneborg lk, Viasvesi	hauki — gädda — pike	39	440	♂	3	0,63
» »	»	61	2 100	♂	4	1,10
Luvia	»	49	700	♂	5	0,61
Eurajoki — Euraäminne, Ilavainen	»	51	880	♂	3	1,10
Uusikaupunki — Nystad, Putsaari	»	47	750	♂	5	0,30
» »	»	54	1 500	♂	6	0,53
Kustavi — Gustavs, Laupunen — Löpö	»	43	550	♂	4	0,25
» »	»	46	610	♂	5	0,26
» »	»	51	900	♂	4	0,25
Kakskerta	»	48	700	♂	4	0,39
» »	»	50	750	♂	4	0,41
» »	»	51	850	♂	4	0,35
Korpoo — Korpo	»	47	620	♂	3	0,39
Karuna, Haanniemi	»	49	850	♂	5	0,13
» »	»	51	860	♂	5	0,15
Suomenlahti Finska viken Gulf of Finland						
Helsinki — Helsingfors, Villinki — Villinge	hauki — gädda — pike	42	570	♂	3	0,21
» »	»	44	640	♂	3	0,62
» »	ahven — abborre — perch	23	200		8	0,63
» »	kuha — gös — pike-perch	37	450		4	0,35
» »	särki — mört — roach	23	140			0,13
Sipoo — Sibbo, Löparö	hauki — gädda — pike	49	810	♂	4	0,15
» »	»	51	860	♂	5	0,35

paikka plats locality	kalalaji fiskslag fish sp.	pituus längd length cm	paino vikt weight g	sukupu. køn sex	ikä (v.) ålder (år) age (y ar)	mg Hg/kg
Loviisa — Lovisa, Loviisanlahti — Lovisaviken	hauki — gädda — pike	40	450	O-C-C	4	0,64
»	»	45	630	C-C	3	0,64
»	»	47	700	C-C	3	0,74
Pyhtää — Pyttis, Ahvenkoskenlahti — Abborforsfrä-	»	42	490	O	4	3,60
den	»	42	520	O	5	2,80
»	»	45	560	O-O	4	3,60
»	»	49	650	O-O	7	5,80
»	»	52	900	O-O	2	2,90
»	»	59	1 300	O-O	4	3,10
»	»	83	4 200	O-O	6	5,00
»	ahven — abborre — perch	22	125			4,70
Pyhtää, Ykspäänsaari	hauki — gädda — pike	47	800	O-O	6	3,20
»	»	47	840	O-O	6	1,10
»	»	48	770	O-O	4	4,60
Kotka, Koukkusaari — Krokö	»	41	420	O-O	4	2,00
»	»	45	560	O-O	5	1,60
» Maijansalmi	»	40	400	O-O	4	2,00
»	»	41	500	O-O	3	1,30
»	»	44	660	O-O	4	1,10
» Norssaari (W)	»	53	1 130	O-O	2	3,40
»	»	58	1 350	O-O	2	2,50
» Norssaari (N)	»	44	570	O-O	4	2,00
» Kuutsalo — Kutsalö (N)	»	46	730	O-O	5	1,20
»	»	50	900	O-O	5	0,91
»	»	54	1 150	O-O	5	1,20
Karhula, Kaarniemenlahti	»	43	480	O-O	4	0,73
Vehkalahti — Veckelax, Mäntlahti — Mäntlax	»	56	1 200	O-O	4	0,53
»	»	58	1 430	O-O	4	0,53
Virolahti — Vederlax, Maringinlahti	»	43	450	O-O	2	0,70
»	»	47	600	O-O	2	0,80
»	»	50	800	O-O	2	0,85
Kokemäenjoen vesistö Kumoälvs vattendrag Kokemäenjoki watercourse						
Mänttä, Keuruonselkä	»	42	490	O	4	0,30
Vilppula — Filpula, Huutoselkä	»	50	900	O	5	0,42
»	»	50	980	O	6	0,38
»	»	58	1 720	O-O	9	1,00
Näsijärvi, Koljonselkä	»	45	630	O-O	3	1,70
»	»	52	1 100	O-O	4	2,10
»	»	54	1 135	O-O	6	1,90
Näsijärvi, Näsiselkä	hauki — gädda — pike	45	970	O	4	1,40
»	ahven — abborre — perch	17	25		4	0,93
»	»	18	50		6	1,10
»	mace — lake — burbot	46	630			1,70
»	lahna — braxen — bream	44	1 230		12	0,60
»	muikku — siklöja — vendace	16	20			0,46
»	»	16	20			0,39
Pyhäjärvi, Pirkkala	hauki — gädda — pike	49	850	O	5	1,10
Kulovesi	»	59	1 400	O-O	11	1,30
»	»	63	1 600	O-O	10	1,30
Rautavesi	»	48	800	O-O	7	1,00
»	»	48	800	O-O	8	1,00
»	»	52	1 000	O-O	9	1,20
Kokemäenjoki — Kumoälv, Kokemäki — Kumo	»	45	610	O-O	4	1,90
» Pori — Björneborg	»	43	590	O-O	3	0,52
» suualuc — mynning — mouth	»	44	520	O-O	2	2,00
Vesijärvi, Kangasala	»	52	1 000	O-O	5	0,21
»	»	52	1 020	O-O	5	0,17
»	»	53	1 070	O-O	4	0,18

paikka plats locality	kalalaji fiskslag fish sp.	pituus längd length cm	paino vikt weight g	sukup. kön sex	ikä (v.) ålder (år) age (year)	mg Hg/kg
Roine	hauki — gädda — pike	48	860	♂+♀	5	0,19
»	»	50	930	♂+♀	4	0,09
Mallasvesi	»	44	590	♂	3	0,09
»	»	59	1 780	♂+♀	5	0,21
Vanaja	»	35	300	♂	5	0,10
Loimijoki, Loimaa — Loimijoki	»	45	570	♂	3	0,36
Kymijoen vesistö Kymmenälvs vattendrag Kymijoki watercourse						
Kuusvesi, Laukaa — Laukas	»	42	700	♂	5	0,41
Lievestuoreenjärvi, Laukaa — Laukas	»	32	240	♂	2	0,65
»	»	38	300	♂	3	0,80
»	»	43	650	♂	4	0,80
Vatianjärvi	»	40	430	♂+♀	5	0,65
»	»	44	850	♂+♀	4	0,63
»	»	57	1 630	♂+♀	6	0,77
Leppävesi, Jyväskylän mlk	»	41	460	♂+♀	4	1,20
»	»	45	680	♂	3	1,30
Päijänne, Korpilahti — Korpilax	»	51	880	♂+♀	5	1,30
»	»	51	930	♂+♀	5	1,10
» Tiirinselkä	»	47	670	♂	3	0,91
»	»	47	710	♂	3	1,20
»	»	47	760	♂+♀	3	0,93
» Asikkalanselkä	»	49	750	♂+♀	4	1,40
»	»	54	1 140	♂+♀	6	1,70
»	»	57	1 270	♂	5	1,30
Kymijoki — Kymmene älv, Kuusankoski, Korian sil- lan alapuoli — nedanom Koria bro — below Koria bridge	»	45	505	♂	4	1,50
»	»	48	745	♂	4	1,70
» Sippola, Myllykosken tehtaiden alap. — Nedan- om Myllykoski fabrik — below Myllykoski factory	»	47	800	♂+♀	5	1,90
» Huruksela	»	38	380	♂+♀	2,70	
»	»	39	400	♂+♀	2,20	
»	»	48	660	♂+♀	1,70	
»	»	48	920	♂	3	1,90
»	»	51	1 000	♂+♀	2,10	
Muut järvet ja joet Andra insjöar och åar Other lakes and rivers						
Kemijärvi	»	48	770	♂	7	0,52
»	»	51	1 150	♂	4	0,26
Lentua, Kuhmo	»	48	850	♂+♀	4	0,46
Ontojärvi, Kuhmo	»	37	330	♂	3	0,31
Valkeinen, Kuhmo	»	36	280	♂	3	0,30
Sysmäjärvi, Kuusjärvi	»	39	585	♂	3	0,06
»	»	40	550	♂	0,03	
Viinijärvi	»	41	400	♂	0,15	
»	»	45	750	♂	0,20	
Pielinen, Juuka — Juga	»	39	500	♂	3	0,30
Kajaani — Kajana, Rehjanselkä	»	53	1 000	♂	4	0,55
» Paltajärvi	»	43	600	♂	5	0,50
»	»	40	570	♂	5	0,26
Kuopio, Akonvesi	siika — sik — whitefish	47	690	♂	4	0,60
Varkaus, Unnukka	hauki — gädda — pike	45	650	♂+♀	4	0,41
» Siilinselkä	»	49	800	♂+♀	5	0,45

paikka plats locality	kalalaji fiskslag fish sp.	pituus längd length cm	paino vikt weight g	sukup. køn sex:	ikä (v.) alder (år) age (year)	mg Hg/kg
Saimaa — Saimen, Lappee — Lappvesi, Iiottula . . .	hauki — gädda — pike	33	240	♀	4	0,55
»	»	41	500	♀	3	0,42
»	»	53	1 200	♀	5	0,77
Maavesi, Taipalsaari	»	50	940	♀	5	0,28
Lohjanjärvi — Lojosjö, Aurlahti	»	48	750	♀	5	0,17
Pyhäjärvi (T.I.)	»	48	750	♀	3	0,16
»	»	49	960	♀	5	0,43
Lestijoki, Kannus	»	53	1 170	♀	4	0,33
Kyrönjoki — Kyröälvi, Kurikka	»	46	780	♀	3	0,60
Hirvijoki, Lemu — Lemo	»	50	780	♀	4	0,22
»	»	50	980	♀	4	0,29
»	»	51	1 000	♀	4	0,20
Väänteenjoki, Lohja mlk — Lojo lk	»	48	740	♀	5	0,27
Lautaslampi, Ylöjärvi	ahven — abborre — perch	28	270			0,23
»	»	16	50			0,25

täen happipolito — dittonimenetelmää (KARPANEN henkilökoht. ilm.).

Suomessa ei ole tehty määrittämiä kalojen sisältämästä metyylielohopeasta. Orgaanisen elohopean osuus kolmessa Turun saaristosta saadussa haussa oli Ruotsissa tehtyjen määritysten mukaan 90 % (WESTERMARK, henkilökoht. ilm.).

A. Analyysitulokset

Hauen elohopeapitoisuus vaihteli välillä 0,05—5,8 mg/kg. Tutkituissa 79 paikassa oli elohopeapitoisuuksien mukainen jakautuma seuraava:

0,05—0,19 mg Hg/kg	9 paikassa
0,20—0,49 »	25 »
0,50—0,99 »	20 »
1,0 — , »	25 »

Siis noin 30 %:ssa tutkituista paikoista hauen elohopeapitoisuus oli yli 1 mg/kg. On kuitenkin huomattava, että paikkoja ei oltu valittu satunnaisella otannalla, vaan oli nimenomaan pyritty saamaan näytteet sellaisilta alueilta, joissa voidaan ajatella tavattavan luonnontilaa korkeampia elohopeapitoisuuksia. Vertailumateriaaliksi oli otettu näytteitä sellaisista vesistöistä, joiden voitiin olettaa olevan täysin luonnontilassa.

Saman vesistön eri kalalajien välillä todettiin elohopeapitoisuuksissa vaihteluita seuraavasti.

Mateen (paino 1 kg) ja ahvenen (100 g) pitoisuudet olivat suunnilleen samat kuin hauen (1 kg). Sensijaan lahnan (1 kg), siian (0,5 kg) särjen (100 g) ja muikun (20 g) pitoisuudet olivat 30—50 % vastaavasta hauen (1 kg) pitoisuudesta.

Kalan iän ja elohopeapitoisuuden havaittiin riippuvan toisistaan siten, että vanhemmilla kaloilla on elohopeapitoisuus yleensä saman lajin puitteissa korkeampi. Riippuvuus ei kuitenkaan ole selvä ja yksikäsitteinen, vaan vaihtelee nähtävästi vesistöalueittain.

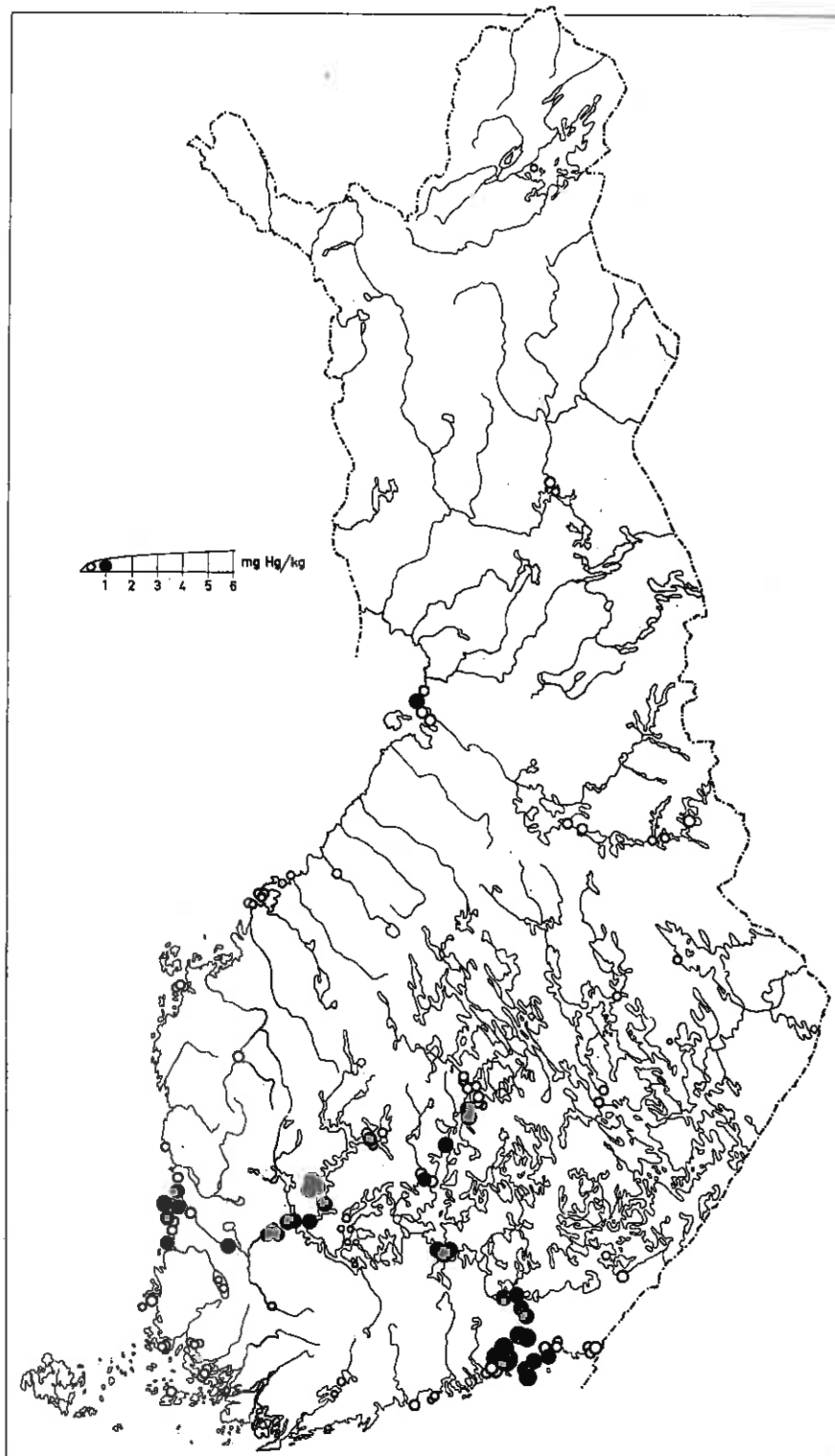
B. Kohonneiden pitoisuuksien syyt

Elohopeaa tulee vesistöihin maaperästä, ilma-kehästä, elohopeapitoisista peittäusaineista ja teollisuuden jätevesien mukana.

Maaperässä luonnostaan olevan elohopean merkitystä pidetään yleensä vähäisenä. On arvioitu, että luonnontilainen elohopea voisi korottaa häiriintymättömän (normaalin) elohopeapitoisuuden mahdollisesti kaksinkertaiseksi (JOHNELS ym. 1967).

Alueen geologialla ei näytä olevan ratkaisevaa osuutta Suomenkaan kalojen kohonneisiin elohopeapitoisuuksiin.

Ilmakehästä luonnostaan tulevaa elohopealiäystä pidetään myös pienenä. Lisäystä normaaliin on epäilty voivan esiintyä kaupunkien läheis-



Kuva 2. Haukien elohopeapitoisuus Suomessa vuonna 1967. Mustilla pisteillä merkityissä havainnoissa pitoisuus on ollut vähintään 1 mg Hg/kg.

Fig. 2. Gäddans kvicksilverhalt i Finland år 1967. I platser utmärkta med svarta prickar har halten varit minst 1 mg Hg/kg.

Fig. 2. Mercury content in pike (*Esox lucius* L.) in Finland in 1967. Black spots show observations of content at least 1 mg Hg/kg.

sydessä. Syynä lisäykseen saattaa silloin olla runsas kivihiilen käyttö polttoaineena (STOCK & CUCUHL 1934) tai esim. elohopeaa sisältävän sanomalehtipaperin polttaminen kaatopaikoilla (TEJNING 1967). Eräiden muuten häiriintymättömien vesistöjen korkeat elohopeapitoisuudet ovat Ruotsissa antaneet aiheen epäillä, että korkea pitoisuus johtuisi läheisen teollisuuslaitoksen polttolaitoksen ilmaan johtamista jätteistä, jotka esim. sateen mukana joutuvat vesistöön (l. cit.).

Peittausaineiden aiheuttama lisäys ilmakehästä tulevan laskeuman aiheuttamaan lisäykseen on arvioitu 30 %:ksi (ODEN 1965).

Peittausaineiden vaikutusta silmälläpitäen yritettiin löytää vesistö, jossa ei olisi teollisuuden välitöntä vaikutusta. Monta mahdollisuutta ei ollut, sillä etelä-Suomen maanviljelysseudunkin jokivarsilla on monenmoista pienteollisuutta, jonka voidaan epäillä käyttäneen elohopeaa. Vain Loimijokea pidettiin edustavana. Loimijoen hauen pitoisuus oli 0,36 mg Hg/kg. Määrää on pidettävä jo jonkin verran häiriintyneenä.

Peittausaineiden merkitystä elohopeapitoisuuden nousun aiheuttajana vesistöissä on pidettävä toisarvoisena. Sitävastoin Ruotsissa voitiin heti osoittaa elohopeapitoisuuden nousun olevan selvästi suuremman teollisuuden ala- kuin yläpuolisissa vesissä (WESTERMARK 1965; SJÖBLOM 1966; JOHNELS ym. 1967 a; 1967 b).

Teollisuudessa käytetään elohopeaa tai sen yhdisteitä mm.

- 1) klooritehtaissa (Finnish Chemicals Oy, Äetsä, Oulu Oy, Oulu ja Kymn Oy, Kuusankoski),
- 2) limantorjunta-aineita ja elohopeapitoisia peittausaineita valmistavissa tehtaissa (pääasiallisesti Rikkihappo Oy., Vaasa),
- 3) useimmissa paperitehtaissa, koneistojen ja putkistojen limoittumisen estämiseksi (vrt. GADD & WILLIAMSON 1966).

4) puuhioketehtaissa, joissa säilytetään massaa märkänä (Toppila Oy, Oulu, A. Ahlström Oy, Karhula, Nokia Oy, Nokia),

5) selluloosatehtaissa, joiden käyttämässä keittolipeässä on epäpuhtautena elohopeaa (RUNFELT 1967),

6) hammasvälinelaboratorioissa, lämpömittari- ja ilmapuntaritehtaissa, sähkölaitetehtaissa, räjähdysainetehtaissa ja laboratorioissa.

Klooritehtaita sekä paperi- ja puuhioketehtaita pidetään sekä Ruotsissa (JOHNELS ym. 1967 a; 1967 b) että meillä pahimpina elohopealähteinä. Maataloushallituksen vesiensuojelutoimiston selvityksen mukaan kaikissa paperitehtaiden, mutta myös selluloosatehtaiden jätevesissä on elohopeaa. Suurin havaittu pitoisuus oli kuitenkin Rikkihappo Oy:n Vaasan tehtaiden jätevesissä (0,9 mg Hg/l). Kymijoen varrella olevan klooritehtaan jätevesissä oli 0,4 mg Hg/l. Myös Kokemäenjoen varrella olevan klooritehtaan jätevesissä pitoisuus oli suuri (0,06 mg Hg/l). Kun verrataan teollisuuden sijaintia ja kalojen elohopeapitoisuutta (kuva 2), ei yhdenmukaisuutta voida kieltää. Rikkihappo Oy:n jätevesien purkualueella on niin paljon muita haitallisia aineita (arseenia, kromia, kuparia), ettei siellä ole kaloja edes näytteeksi. Teollisuuden sijainti selvittää myös miksi elohopeapitoisuuden taso on meillä häiriintyneillä alueilla enimmäkseen korkeampi kuin Ruotsissa. Ruotsin teollisuuslaitokset ovat useiden erillisten vesistöjen varsilla, suurimmat rannikolla. Suomessa ko. teollisuus on keskittynyt Kymijoen ja Kokemäenjoen vesistön varteen. Kymijoen varrella tuotetaan vesikuutiometriä kohden enemmän paperia kuin missään muualla. Limoittuminen on rehevässä vedessä nopeaa, joten siellä on käytettävä enemmän limantorjunta-aineita kuin puhtaissa vesissä.

III. KOHONNEIDEN PITOISUUKSIEN MERKITYS

A. Elohopean ja sen yhdisteiden sietorajat elintarvikkeissa ja työpaikan ilmassa

Sietorajat on pyritty asettamaan sellaisiksi, ettei elohopean kumuloitumista tapahtuisi.

Normaalialia ravintoa syövän henkilön arvellaan nykyään saavan elohopeaa keskimäärin 0,02—0,03 mg/vrk (BOWEN 1966). 1930-luvulla arvioitiin tämän määrän olevan noin 0,01 mg/vrk, eli selvästi alhaisempi (STOCK & CUCUEL 1934).

Fenyyliimerkuriasetaattina tulevalle elohopealle on olemassa FAO/WHO:n suositus, jossa ilmoitetaan määrä yksikössä mg/vrk. Muissa suosituksissa tai määräyksissä on kysymys elohopean pitoisuudesta. Esim. FAO/WHO:n suositus ilmoittaa elohopean maksimimääräksi 0,00005 mg ruumiinpainon kiloa kohti/vrk, mikä vastaa 70 kg

painavalle henkilölle 0,0035 mg elohopeaa/vrk (FAO/WHO 1964).

FAO/WHO:n Codex Alimentarius Commissionin kokouksessa vuonna 1963 on esitetty elintarvikkeiden, lukuunottamatta kaloja, simpukoita ja äyriäisiä, elohopeapitoisuuden sietorajaksi 0,05 mg/kg (FAO/WHO 1963).

Taulukossa 7 on esitetty eri maissa elintarvikkeissa, juomavedessä ja työpaikan ilmassa sallitut elohopeapitoisuudet.

B. Elohopealla saastuneiden kalojen aiheuttamat joukkosairastumiset Japanissa

Jos vesistön elohopeapitoisuus nousee jostakin syystä poikkeuksellisen korkeaksi, nousevat

Taulukko 7. Eräissä maissa elintarvikkeissa, juomavedessä ja työpaikan ilmassa sallitut elohopeapitoisuudet.

Tabell 7. I livsmedel, driksvatten och arbetsluften tillåtna mängder av kvicksilver i några länder.

Table 7. The tolerance values of mercury contamination in food, drinking water and working air in some countries.

	Sallittu Hg-pitoisuus Tillåten Hg-halt Permitted Hg-content	Maa Land Country	
Elintarvikkeet — Livsmedel — Food	0,03 mg/kg ¹⁾ 0,10 mg/kg	Alankomaat Nederländerna Netherlands	FAO 1961
»	ei yhtään ingen none	Etelä-Australia Södra-Australien South-Australia	FAO/CFAL 1959
Kalat — Fisk — Fish	1,0 mg/kg ²⁾	Neuvostoliitto Sovjetunionen USSR	Journal of Hygiene, Epidemiology, Microbiology and Immunology 1965
Juomavesi — Dricksvatten — Drinking water	5 µg/l	Ruotsi Sverige Sweden	BERGLUND & WRETLING 1967
Työpaikan ilma — Arbetsluften — Working air	0,1 mg/m ³ ³⁾ 0,01 mg/m ³ ⁴⁾	Suomi, Neuvostoliitto, Itä-euroopan maat Finland, Sovjetunionen, Östereuropäiska länder Finland, USSR, East European countries	International Digest of Health Legislation 1966
		Pohjoismaat Norden The northern countries	Sosiaaliministeriön vahvistamat teknilliset turvallisuusohjeet 1962

¹⁾ Orgaanisissa yhdisteissä korkeintaan 2 kk:n ajan — Som organiska föreningar högst 2 månader — *As organic compounds maximum 2 months*

²⁾ Sietoraja on herättänyt vastustusta. Uudeksi sietorajaksi on ehdotettu 0,2 mg/kg (TEJNING 1967 b). — Gränsvärdet har opponerats. Som nytt gränsvärde har föreslagits 0,2 mg/kg (TEJNING 1967 b). — *The tolerans value has opposed. As new tolerans value has been proposed 0,2 mg/kg (TEJNING 1967 b).*

³⁾ Epäorgaaninen elohopea — Organisk kvicksilver — *Inorganic mercury*

⁴⁾ Orgaaninen elohopea — Organisk kvicksilver — *Organic mercury*

myös kalojen elohopeapitoisuudet. Näin voi määrätyissä olosuhteissa kaloihin kerääntyä selviä määriä elohopeaa, että näiden jatkuvasta ravinnoksi käyttämisestä seuraa krooninen elohopeamyrkytys ja pahimmassa tapauksessa kuolema. Tästä ovat esimerkkeinä Japanissa 1950- ja 1960-luvulla sattuneet myrkytystapaukset. Näissä sairastui yhteensä 133 ihmistä, joista 46 kuoli.

Ensimmäinen joukkosairastuminen alkoi vuonna 1953, jolloin omituinen hermosairaus levisi Minamata kaupungin läheisyydessä asuvan väestön keskuuteen. Kaupunki sijaitsee Minamata lahden rannalla Länsi-Japanissa. Sairaus muistutti alkyylielohopeamyrkytystä ja sairastumisia tapahtui lähinnä kalastajaperheissä. Suurin osa sairastuneista oli alle 10-vuotiaita lapsia. Koska sairastumistapaukset olivat selvästi yhteydessä kalaravinnon käyttöön, kiellettiin rannikkoalueella kalastus vuonna 1957. Uusien tapauksien luku laski tämän jälkeen välittömästi. Vuoden 1960 mennessä oli sairastumistapauksien lukumäärä 111. Joukossa oli 19 vastasyntyntä, jotka olivat saaneet myrkytyksen kalaravintoa käyttävän äitinsä välityksellä. Vuoden 1965 elokuuhun mennessä oli sairastuneista 41 kuollut. Tutkimuksissa todettiin ravinnoksi käytettyjen merieläinten elohopeapitoisuuden olevan noin 50 mg/kg (kuivapaino) eli 200 kertaa normaalia tasoa korkeampi (KURLAND 1960; IRUKAYAMA 1966).

Toinen joukkosairastuminen sattui vuosina 1964—65 Niigatassa Agano-joen suualueen lähettyvillä. Sairastuneita oli 22, joista 5 kuoli. Kaloissa oli elohopeaa keskimäärin 10 mg/kg (tuorepaino) (UI 1966).

Molempiin tapahtumaketjuihin oli syynä ravintona käytettyjen kalojen sisältämä orgaaninen elohopea, joka myöhemmin todettiin metyylielohopeakloridiksi (CH_3HgCl). Elohopea oli peräisin molemmissa tapauksissa lähistöllä olevan kemiallisen tehtaan jätevedestä. Tehtaassa oli käytetty elohopeasulfaattia ja -kloridia katalysaattorina eräissä teollisissa prosesseissa. Elohopea oli ennen kaloihin joutumistaan muuttunut ravinto-

ketjun jossakin vaiheessa, epäorgaanisesta orgaaniseen muotoon.

Niigatan sairaustapauksia tutkittaessa otettiin Agano-joen varrelta asuvalta väestöltä n. 1400 hiusnäytettä, joiden elohopeapitoisuudet määritettiin. Ravinnoksi käytetyn kalan määrän ja hiusten elohopeapitoisuuden välillä vallitsee erittäin selvä riippuvuus (kuva 3). Sairastumistapauksissa on hiusten elohopeapitoisuus ollut 60—530 mg/kg, keskiarvon ollessa 220 mg Hg/kg.

C. Ihmisiin kohdistuneet tutkimukset Ruotsissa ja Suomessa

Kaloissa havaittujen korkeiden elohopeapitoisuuksien johdosta on tutkimus kohdistettu myöskin tällaisia kaloja ravintonaan käyttäviin ihmisiin. Eri tutkimusten mukaan (TEJNING 1967 a, b ja BIRKE ym. 1967) on Ruotsissa määrättyjen aluiden kalastajilla veren ja hiusten (karvojen) elohopeapitoisuus selvästi normaalia korkeampi.

Normaalitapauksissa, ts. henkilöillä, jotka eivät joudu työssään elohopean kanssa tekemisiin, eivät ole syöneet riistaa, eivätkä munia enempää kuin 7 kpl viikossa eivätkä kalaa useammin kuin kerran viikossa on elohopeapitoisuus TEJNINGIN (1967 a) mukaan:

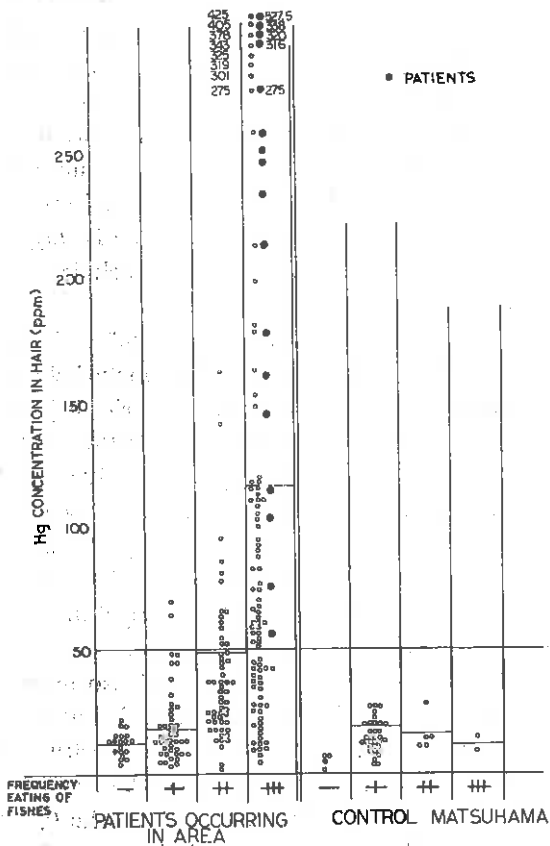
verisoluissa	10 ng Hg/g
veriplasmassa	2,3 »
hiuksissa	n. 1500 »

Vänerin rannalla asuvilla kalastajilla, jotka olivat syöneet keskimäärin kolme kala-ateriaa viikossa, à 150 g (pääasiallisesti haukia, elohopeapitoisuus 0,87 mg/kg), vastaavat pitoisuudet olivat

verisoluissa	58 ng Hg/g
veriplasmassa	7,3 »
karvoissa	7900 »

eli 5—6 kertaa niin suuria kuin normaalitapauksissa (TEJNING 1967 a).

Eräällä tutkitulla henkilöllä, joka oli syönyt päivittäin keskimäärin 150 g haukea, jonka elohopeapitoisuus oli 6,7 mg/kg, oli veren elohopeapitoisuus noin puolet siitä, mikä oli todettu



Kuva 3. Syödyn kalamäärän ja hiusten elohopeapitoisuuden välinen riippuvuus Agano-joen variella asuvalla väestöllä touko—heinäkuussa 1965. Syödyn kalan määrä on esitetty seuraavasti:

— ei yhtään

+ kerran viikossa tai suhteellisen pieniä määriä

++ useita kertoja viikossa tai suhteellisen suuria määriä

+++ joka päivä tai hyvin suuria määriä

Hg concentration in hair = hiusten elohopeapitoisuus; patients = sairastuneet; patients occurring in area = alue, jolla sairastumisia on esiintynyt; control Matsuhama = Matsuhaman vertailualue; frequency eating of fishes = kalojen määrä. UI 1966.

Fig. 3. Förhållandet mellan konsumerad fisk och kvicksilverhalten i hår hos befolkning vid Aganofloden i mai—juli 1965. Frekvensen av konsumerad fisk är följande:

— ingen

+ en gång i veckan eller relativt små mängder

++ flera gånger i veckan eller relativt stora mängder

+++ varje dag eller mycket stora mängder

Hg concentration in hair = kvicksilverhalten i hår; patients = insjuknade; patients occurring in area = området där insjuknande skett; control Matsuhama = jämförelseområdet frequency eating of fish = frekvensen av konsumerad fisk. UI 1966.

Fig. 3. Correlation between quantity of eaten fish and mercury concentration in human hair, measured in May—July 1965. Symbols representing quantity of fish eaten are as follows:

— None

+ Once/wk, or relatively small quantity.

++ Several times/wk, or relatively large quantity.

+++ Every day, or very large quantity. UI 1966.

kuolemaan johtaneessa tapauksessa Japanissa (BIRKE ym. 1967).

Sen jälkeen kun muutamat tutkituista olivat lopettaneet elohopeaa sisältävien kalojen syönnin, voitiin heillä todeta sekä hiusten että veren elohopeapitoisuuden laskevan aluksi verraten nopeasti ($BT_{1/2}$, biologinen puoliintumisaika 2—3 kk), mutta hidastuvan sen jälkeen siten, että kun oli tultu 1/3:een lähtöarvosta oli elohopeapitoisuuden lasku hyvin hidasta ($BT_{1/2}$ 1 vuosi).

Vaikka ainoassakaan Ruotsissa tutkitussa tapauksessa ei voitu varmuudella havaita elohopeamyrkytyksen kliinisiä oireita, on arvioitu, että jos kalojen elohopeapitoisuus on 5—6 mg/kg, on mahdollista saada letaaliannos elohopeaa, jos

on kysymys jatkuvasta ja erittäin runsaasta kalaravinnon käytöstä (n. 300 g/vrk).

Suomessa on toistaiseksi tutkittu muutamien Näsijärven, Päijänteen ja Kymijoen alajuoksun kalastajien hiusten elohopeapitoisuudet sekä verrattu niitä viiden helsinkiläisen vastaaviin arvoihin (taulukko 8). Elohoepapitoista kalaa ravintonaan käyttävillä on tämän suppean aineiston mukaan hiusten elohopeapitoisuus ollut 2—20 kertaa normaalia korkeampi.

D. Ruotsin ravintohygieniset sietorajat kaloille

Minimatassa arvioitiin vakavasti sairastuneiden syöneen kaloja, simpukoita ja äyriäisiä 100—

Taulukko 8. Hiusten elohopeapitoisuus
 Tabell 8. Kvikksilverhalt i hår
 Table 8. Mercury content in hair (of the head).

Henkilö Person Person No	Sukupuoli Kön Sex	Ikä Ålder Age	ppm Hg	Asuinpaikka Bonningsort Place of residence
1 ...	♀	24	1,6	Helsinki — Helsingfors
2 ...	♀	28	1,9	»
3 ...	♀	29	1,6	»
4 ...	♀	36	1,4	»
5 ...	♀	38	3,4	»
6 ...	♀	50	3,7	Pori — Björneborg
7 ...	♀	—	10,0	Tampere — Tammerfors
8 ...	♀	—	8,0	»
9 ...	♀	29	3,0	Asikkala
10 ...	♀	35	6,0	»
11 ...	♀	52	45,0	Anjala
12 ...	♀	56	10,0	»
13 ...	♀	52	33,0	Pyhtää — Pyttis
14 ...	♀	83	8,0	»

300 g päivässä. Tämän oletetaan vastaavan ruotsalaisten maksimaalista kalankulutusta. Arvioimalla kalojen elohopeapitoisuudeksi 5 mg/kg eli 1/10 Minamatan vastaavasta arvosta, ei yleisten farmakologisten perusteiden mukaan päivittäisenkään kalan käytön pitäisi aiheuttaa sairastumista. On kuitenkin otettava lukuun, että tällöin elohopeapitoisuus kohoaa tietyissä ruumiin kudoksissa. Jos kalan elohopeapitoisuus on 0,5—1,0 mg/kg, voidaan kohtuudella olettaa, ettei ole myrkytysvaaraa. Tähän arvioitiin perustuen kala, jonka elohopeapitoisuus on yli 1 mg/kg on sopimatonta päivittäiseksi ihmisravinnoksi (BERGLUND & WRETLIND 1967).

Ruotsissa virallisesti hyväksytty sietoraja on antanut aihetta arvosteluun. Arvostelua on perusteltu seuraavasti.

IV. TOIMENPITEET KOHONNEIDEN PITOISUUKSIEN JOHDOSTA

Japanissa kiellettiin kalastus elohopeapitoisten jätevesien saastuttamalla rannikonosalla vuonna 1957 (IRUKAYAMA 1966).

Ruotsissakin kalojen korkeat elohopeapitoisuudet ovat johtaneet radikaalisiin hallinnollisiin toimenpiteisiin.

Fenyylielohopeaa sisältäviä preparaatteja ei Ruotsissa ole saanut käyttää paperiteollisuudessa

Perusravintoaineiden, kuten lihan, munien ja maidon, joilla on laajalle levinnyt käyttö pääasiallisena proteiini-lähteenä, ravintohygieeniselle toleranssirajalle on luonnollisesti asetettava ehto, että rajan alittavia pitoisuuksia voidaan vaaratta käyttää päivittäin ilman, että vaarallinen aine muuten kuin tilapäisesti keräytyy elimistöön tai sen osaan. Myrkytys ei siis saa olla suurempi kuin mikä heti hajoaa vaarattomaksi tai erittyy. WHO:n käsittelemä sietoraja, 0,05 mg Hg/kg on TEJNING'in (1967 a) suorittamien laskelmien mukaan näille elintarvikkeille sopiva.

Tiedetään, 1) että kalojen sisältämä elohopea on pääasiassa erittäin myrkyllistä metyylielohopeata, 2) että ihmisruumis ei pysty sitä hajottamaan, 3) että sen erittyminen on äärettömän hidasta, 4) että metyylielohopea vaurioittaa tiettyjä isojen ja pienten aivojen osia, 5) että vauriot ovat parantumattomia, ja 6) että tarpeeksi suuri annos aiheuttaa vakavan sairaustilan, joka ei ole parannettavissa ja joka johtaa pysyvään, vaikeaan invaliditeettiin tai kuolemaan.

Mikäli halutaan säilyttää normaalitaso metyylielohopean saannissa kalaa runsaasti ravintona käytettäessä, TEJNING (op.cit.) on määrittellyt WHO:n muiden ravintoaineiden osalta käsittelemää sietorajaa vastaavaksi arvoksi kalalle 0,150 mg Hg/kg. T.s. 1/5—1/6 siitä pitoisuudesta, joka aiheutti 5,5 kertaisen lisäyksen veren elohopeapitoisuuteen. Runsaalla syömisellä tarkoitetaan, että kalaa käytetään ravinnoksi joka toinen päivä.

limoittumisen estämiseksi 1. päivästä tammikuuta 1966 lukien (Kommuniké från giftnämnden den 14 december 1965), eikä puuhiokkeen säilyttämiseen 1. 10. 1967 lukien (Nordforsk Biocid-information 1967 a).

Kokouksessaan 14. 11. 1967 Ruotsin lääkintöhallitus ja eläinlääkintöhallitus ovat kieltäneet myytäväksi tarkoitettavien kalojen pyynnin noin

40:stä Ruotsin järvestä, joesta ja muusta vesistö-alueesta (Nordforsk Biocid information 1967 b).

Suomessa vastaavat toimenpiteet on myös pantu alulle. Maataloushallitus on esittänyt elohopeaa sisältävien aineiden käytön kieltämistä paperiteollisuudessa limoittumisen torjuntaan 1. 1. 1968 lukien sekä muuhun tarkoitukseen puunjalostusteollisuudessa, mm. määrän hioke-massan säilöntään 1. 7. 1968 lukien. Mitä tulee muun teollisuuden elohopean tai sen yhdisteiden käyttämiseen prosesseissaan maataloushallitus on ryhtynyt toimenpiteisiin sanottujen laitosten velvoittamiseksi käsittelemään jätevetensä niin, että myös näiden myrkyllisiksi katsottavien aineiden pääsy vesistöihin tulee estetyksi (Maataloushallituksen kirj. 30/790 -67, 9. 8. 1967).

Suomen Puunjalostusteollisuuden Keskusliiton ilmoituksen mukaan liittoon kuuluva puunjalostusteollisuus ei tule vuodenvaihteen 1967—68 jälkeen käyttämään tuotannossaan elohopeapitoisia aineita lukuunottamatta kahta laitosta, jotka tammi—helmikuussa 1968 saavat tuotantonsa niin järjestetyiksi, että nekin voivat luopua elohopeapitoisten aineiden käytöstä (Maatalousministeriön kirj. 2047/MM 28. 12. 1967).

Kymin Oy:lle Itä-Suomen vesioikeus myönsi 14. 12. 1967 anomuksesta pidennystä puhdistustoiminnan aloittamiseksi vastoin maataloushallituksen suositusta 31. 12. 1969 saakka. Asian johdosta maataloushallitus on esittänyt valituksen Korkeimmalle hallinto-oikeudelle 27. 1. 1968. (Maataloushallituksen kirj. 87/790 -67, 27. 1. 1968).

Pohjois-Suomen vesioikeus on 31. 1. 1968 tekemällään päätöksellä myöntänyt Oulu Oy:lle pidennystä tarpeellisten suoja- ja puhdistuslaitteiden rakentamiseen 31. 12. 1969 saakka. Oulu Oy veloitetaan kuitenkin viimeistään kesäkuun 30 päivään 1968 mennessä ympäröimään klooritehtaan purkupaikka verkolla, jonka silmäkoko on enintään 10 mm, siten, että kalojen pääsy estyy vesialueelle, jonka elohopeapitoisuus on enemmän kuin 0,005 mg/l. Verkko on tarvittaessa suojattava jäiltä ja tuulen kuljettamilta ajopuilta. Mikäli purkualuetta ei näin eristetä, voidaan käyttää samaan tulokseen johtavaa muuta menetelmää (Pohjois-Suomen vesioikeuden päätös 31. 1. 1968, DN:o II/973/D -67, N:o 8/68/II). Asian johdosta maataloushallitus on esittänyt valituksen korkeimmalle hallinto-oikeudelle 9. 3. 1968 (Maataloushallituksen kirj. 98/790 -67, 9. 3. 1968).

Länsi-Suomen vesioikeus on 2. 2. 1968 tekemällään päätöksellä myöntänyt Finnish Chemicals Oy:lle pidennystä suoja- ja puhdistuslaitteiden rakentamiseen 1. 11. 1968 saakka (Länsi-Suomen vesioikeuden päätös 2. 2. 1968, N:o S -46/388).

Täten Suomessakin kalojen elohopeapitoisuuden nousuun eniten vaikuttavina pidetyt lähteet on joko saatu tai saadaan lähitulevaisuudessa eliminoiduiksi. Tarkistusnäytteillä tullaan vuosittain seuraamaan kalojen elohopeapitoisuudessa tapahtuvaa kehittymistä pahimmin häiriintyneillä alueilla.

V. YHTEENVETO

Kalojen elohopeapitoisuutta on tutkittu sekä sisävesien että rannikkoalueiden osalta. Indikaattorikalana on käytetty haukea. Eräistä paikoista on tutkittu myös muita kalalajeja. Hauen elohopeapitoisuus (kylkilihas, tuorepaino) on vaihdellut välillä 0,03—5,8 mg/kg. Mateen ja ahvenen elohopeapitoisuus on ollut samaa luokkaa kuin hauen, muiden kalalajien pitoisuudet

sitävastoin selvästi alhaisempia, n. 30—50 % hauen elohopeapitoisuudesta. Kaikki vesistö-alueet, missä kaloissa on todettu kohonneita elohopeapitoisuuksia, ovat teollisuuden (puunjalostusteollisuus, klooriteollisuus) jätevesien vaikutuspiirissä (kuva 2). Maanviljelyn (peittausaineet) vaikutusta kalojen elohopeapitoisuuksiin ei ole voitu todeta. Samoin ei näytä alueen geologialla

olevan ratkaisevaa osuutta kalojen kohonneisiin elohopeapitoisuuksiin.

Kaloissa tavattujen korkeiden elohopeapitoisuuksien johdosta on puunjalostusteollisuus vuoden 1968 alusta lähtien luopunut elohopeaa sisäl-

tävien liman- ja homeentorjunta-aineiden käytöstä. Klooriteollisuus on velvoitettu tietyn ajan kuluessa rakentamaan tarpeelliset suoja- ja puhdistuslaitteet.

V. SAMMANDRAG: KVICKSILVERHALT I FISK I FINLAND ÅR 1967

Fiskens kvicksilverhalt har undersökts både för insjövattdragens och kustområdenas vidkommande. Som indikator har gäddan utnyttjats. På vissa håll har jämväl andra fiskarter varit föremål för undersökningar. Kvicksilverhalten i gäddan (filén, färsk vikt) har varierat mellan värdena 0,03—5,8 mg/kg (tabell 6). Kvicksilverhalten i lake och abborre har varit av samma storleksordning som motsvarande hos gädda, medan andra fiskarter däremot har haft klart lägre halter, c. 30—50 % av gäddans kvicksilverhalt. Alla de vattendragområden, inom vilka förhöjda kvicksilverhalter konstaterats, är påverkade av

industri (träförädlingsindustri, klorindustri, fig. 2). Man har ej kunnat påvisa att lantbruket (betningsmedlen) skulle ha haft inverkan på fiskens kvicksilverhalt. Lika litet synes området geologi ha haft avgörande betydelse för fiskens förhöjda kvicksilverhalter.

På grund av de påträffade höga kvicksilverhalterna i fisk har träförädlingsindustrin sedan början av år 1968 avstått ifrån användningen av kvicksilverhaltiga preparat för bekämpning av slembildning och mögel. Klorindustrin har förståndigats att inom en viss tid bygga nödiga skydds- och reningsanläggningar.

VII. SUMMARY: MERCURY CONTENT OF FISH IN FINLAND IN 1967

Mercury determinations have been made from fish taken both from inland waters and from the sea. The pike has been used as an indicator. From some places, other fish have also been investigated.

The mercury content of pike (white muscle, fresh weight) has varied from 0.03 to 5.8 mg/kg (Table 6), and similar levels have been found in burbot and perch. The content of other species, on the contrary, has been much lower, e.g. about 30—50 % of that the pike.

All watercourses in which the fish have been found to have a high mercury content are pol-

luted by industrial waste waters (wood conversion and chlorine-alkali industries) (Fig. 2). There is no evidence that substances used in agriculture (seed-dressing agents) have affected the mercury content of fish nor does geology seem to have any decisive influence.

As a result of these observations, the wood conversion industry has desisted from using mercury-containing fungicides since the beginning of 1968, and the chlorine-alkali industry has been required by law to build the necessary protection and cleaning plants within a stipulated time.

KIRJALLISUUS

- AHLBORG, U. & B. HOLMSTEDT, 1965: Kvicksilverförgiftning. — Kvicksilverfrågan i Sverige, Kvicksilverkonferensen 1965, Stockholm, 172—181.
- AHO, I., 1967: Besked om kvicksilvret: Ålandska gäddan riskfri. — Fiskarbladet 22, 14, 1 & 4.
- BERGLUND, F. & E. WRETLIND, 1967: Tokikologisk värdering av kvicksilverhalter i svensk fisk. — Vår föda 19: 1, 9—11.
- BIRKE, G., A. JOHNELS, L.-O. PLANTIN, B. SJÖSTRAND & T. WESTERMARK, 1967: Hg i livsmedel (3): Metylkvicksilverförgiftning genom förtäring av fisk? — Läkartidningen 64, 37, 3628—3637.
- BORG, K., 1958: Inverkan av betat utsäde på viltfaunan. — 8th Nordic Veterinary Congress, Helsinki June 23—26, 1958, 394—400.
- , K. KERNE, E. HANKO & J. WANNTORP, 1965: Kvicksilverförgiftningarna bland vilt i Sverige. — Statens Veterinärmedicinska Anstalt, Stockholm.
- BOWEN, H. J. M., 1966: Trace elements in Biochemistry. 187. London.
- FAO, 1961: Food Additive Control, 21.
- /WHO, 1963: Codex Alimentaries Commission Report of the 1st Session, Rome 25 June — 3 July 1963, 62.
- 1964: Evaluation of the toxicity of pesticide residues on food. Report of a joint meeting of the FAO committee on pesticides in Agriculture and the WHO expert committee on pesticide residues, Genova 1963. — FAO Meeting Report N:o PL/1963/13, WHO/Food Add./23 (1964), 1—172.
- GADD, O. & H. WILLIAMSON, 1966: Slime Inhibitions Pursues New Paths. — Paperi ja puu/Pappet och trä/Paper and Timber 9, 543—547.
- HANNERZ, L., 1966: Anrikingar av metylkvicksilverhydroxid och fenykvicksilverasetat i sötvattensbiotopmodeller 1—43 (moniste/mimeo).
- HELMINEN, M., EBVA KARPPANEN & I. KOIVISTO, 1968: Saimaan norpan elohopeapitoisuudesta 1967. — Suomen eläinlääkärilehti 74, 87—89.
- HENRIKSSON, K., EBVA KARPPANEN & M. HELMINEN, 1966 a: High residue of mercury in Finnish white-tailed eagles. — Ornis Fenn. 43, 38—45.
- 1966 b: Biociderna och viltet i Finland. — Nordic Meeting of Game Biologists, Stockholm, March 3—5, 1966.
- HÄSÄNEN, E., S. KOLEHMAINEN & J. K. MIEHTINEN, 1966: Biological half-time of ^{137}Cs in three species of fresh-water fish: perch, roach and rainbow trout. — Radioecological Concentration Processes, Proceedings of an International Symposium held in Stockholm 25—29 April, 1966, 921—924.
- HÄSÄNEN, E., 1967: Biologisen materiaalin elohopeapitoisuuden määrittäminen aktivointianalyysillä. — Teknillinen korkeakoulu, teknillisen fysiikan osasto, raportti 64/1967, 1—5.
- , S. KOLEHMAINEN & J. K. MIEHTINEN, 1967: Biological half-times of ^{137}Cs and ^{22}Na in different fish species and their temperature dependence. — Proceedings of the first International Congress of the International Radiation Protection Association, Rome, Sept. 5—10, 1966, 393—398.
- International Digest of Health Legislation 1966: 17, 4, 997.
- IRUKAYAMA, K., 1966: The Pollution of Minamata Bay and Minamata Disease. — Third International Conference on Water Pollution Research 8, 1—13.
- JALILI, M. A. & A. H. ABBASI, 1961: Poisoning by ethyl mercury toluene sulfonanilide. — Brit. J. Indust. Med. 18, 303—308.
- JENSEN, S. & A. JERNELÖV, 1967: Biosyntes av metylkvicksilver I. Slam. — Nordforsk Biocidinformatio 10, 4—5.
- JOHNELS, A. G., 1966: Vattenmiljön. Ekologisk biocidforskning. — Diskussionsprotokoll från panel på Häselby Slott, Stockholm, 18—20 april 1966, 19—34.
- T. WESTERMARK, W. BERG, P. I. PERSSON & B. SJÖSTRAND, 1967 a: Pike (*Esox lucius* L.) and some other aquatic organism in Sweden as indicators of mercury contamination in the environment. — Oikos 18, 323—333.
- M. OLSSON & T. WESTERMARK, 1967 b: Kvicksilver i fisk. Undersökningar av kvicksilverhalter i svensk fisk. — Vår föda 19:7, 66—103.
- Kommuniké från giftnämnden den 14 december 1965, 1—3 (moniste/mimeo).
- KURLAND, L. T., FARO, S. N. & H. SIEDLER, 1960: Minamata Disease. The Outbreak of a Neurologic Disorder in Minamata, Japan, and Its Relationship to the Ingestion of Seafood Contaminated by Mercuric Compounds. — World Neurology 1:5, 370—395.
- LANDSTRÖM, O. & C. G. WENNER, 1965: Neutron-Activation Analysis of Natural Water Applied to Hydrology. — AE — 204, Stockholm, 1—15.
- Miljövärdhetsforskning I, Statens offentliga utredningar, 1967: 43, 183.
- Nordforsk Biocid-informatio 1967 a: 9, 8 (moniste/mimeo).
- 1967 b: 13,2 (moniste/mimeo)
- NORBN, K. & G. WESTÖÖ, 1967: Metylkvicksilver i fisk. — Vår föda 2, 13—17.
- ODEN, S., 1965: Kvicksilverfrågan i Sverige, Kvicksilverkonferensen 1965, 185—187.

- RAEDER, M. G. & E. SNEKVIK, 1941: Mercury Contents of fish and other aquatic organisms — Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab, Forhandlinger BD XXI, 26, 105—109.
- 1949: Quecksilberhalt mariner Organismen. — Ibid. BD XIII, 42, 169—172.
- RUNFELT, R., 1967: Några synpunkten på kvicksilverförluster inom klor-alkali-industrin. — Föredrag i IV Nordiska Klorkongressen i Helsingfors 29—30. 8. 1967, 1—6 (moniste/mimeo).
- RÖMPP, H., 1953: Chemie Lexikon. — Franc'sche Verlagshandlung, 1470. Stuttgart.
- 1966: Idem, 5260.
- SJÖBLOM, V., 1966: Elohopean esiintyminen kaloissa ja muissa vesieliöissä, sen analysoiminen ja vaikutus ihmiseen. — Kalataloudellisen tutkimustoimiston tiedonantoja 4, 1—5.
- Sosiaaliministeriön vahvistamat teknilliset turvallisuusohjeet, 1962: 11. Terveydelle vaaralliset aineet.
- STOCK, A. & F. CUCUEL, 1934: Die Verbreitung des Quecksilbers. — Naturwissenschaften 22/24, 390—393.
- TEJNING, S., 1967 a: Kvicksilverhalterna i blodkroppar, blodplasma och hår hos storkonsumenter av fisk från olika områden av Vänern och sambandet mellan kvicksilverhalterna i dessa organelement och kvicksilverhalten i fisk samt förslag om det internationella födoämneshygieniska gränsvärdets för kvicksilver tillämpning på fisk och fiskprodukter. — Rapport 67 08 31 från Yrkesmedicinska kliniken vid Lasarettet i Lund, 1—18 (moniste/mimeo).
- 1967 b: Kvicksilverhalterna i blodkroppar och i blod hos vuxna normalpersoner. Rapport från yrkesmedicinska kliniken vid Lasarettet i Lund, 1—3 (moniste/mimeo).
- Ur, J., Formal diskussion. — Paper III — 8, Third International Conference on Water Pollution Research, 1—9.
- WESTERMARK, T. 1965: Kvicksilver hos vattenlevande organismer. — Kvicksilverfrågan i Sverige, Kvicksilverkonferensen 1965, 25—42.
- WESTRÖÖ, G., 1965: Kvicksilver i ägg. — Vår föda 5, 1—7.
- 1967: Kvicksilver: fisk. — Ibid. 1, 1—7.
- YOSHIDA, T., KAWABATA, T. & Y. MATSUE, 1967: Transference mechanism of mercury in marine environment. — Journal of the Tokyo University of Fisheries 53, 1—2, 73—84.