

E. Nuora

SUOMEN KALATALOUS 34 FINLANDS FISKERIER

VESIKASVIEN TORJUNTAAN KÄYTETTÄVÄN
PARAKVATIN VAIKUTUS KALOIHIIN, KASVI-
PLANKTONIIN JA VEDEN HAPPIPITOISUUTEEN
SEKÄ SEN HÄVIÄMINEN VEDESTÄ

Sammandrag: Effekten på fisk, växtplankton och syrehalt i vattnet av för
vattenvegetationsbekämpning använt paraquat samt dettas
försvinnande ur vattnet

Summary: The influence of paraquat, a herbicide used in aquatic
weed control, upon fish, phytoplankton and the oxygen
content of water, and its disappearance from the water

OLAVI E. J. SILVO

Oy Suunnittelukeskus = MKR

SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
I. Johdanto	5
II. Parakvatin tehotutkimukset Suomessa	6
III. Parakvatin akuutista myrkyllisyydestä eläimille	8
IV. Parakvatin vaikutuksesta kasviplanktoniin	9
V. Parakvatin vaikutuksesta veden happipitoisuuteen	11
VI. Parakvatin jäämätutkimuksista	13
1. Biologiset jäämätutkimukset Suomessa	13
2. Kemialliset jäämätutkimukset Suomessa	15
VII. Yhteenveto	15
VIII. Sammandrag	16
IX. Summary	17
Kirjallisuus	18
Taulukot	19

I. JOHDANTO

Eräät vesikasvilajit saattavat aiheuttaa tuntuva haittaa esiintyessään rehevinä kasvustoina. Esim. pitkäästä talvesta, runsaasta humuskoloidien pitoisuudesta ja järvien pienestä keskisyvyydestä johtuva Suomen vesistöjen erikoisluonne aiheuttaa oman tutkimustoiminnan vaatimuksen. Muista maista saatuja menetelmiä ja tuloksia ei meillä voida sellaisinaan soveltaa.

Vesikasvit voidaan jakaa useihin torjuntateknisiin ryhmiin (SILVO 1967 a). Vedenalaisten, pohjaan juurtuneiden eli uposversoisten kasvien ryhmässä on kanadalainen vesirutto (*Elodea canadensis* L. C. Rich.) herättänyt viime vuosina huomiota levinneisyytensä ja haitallisuutensa vuoksi.

Vesirutto on monivuotinen makean veden uposkasvi, joka on peräisin Pohjois-Amerikasta. Eurooppaan kasvi ilmestyi 1836 ja Suomeen 1884. Suomessa kasvaa vain emikasvia (HIRRONEN 1933), ja kukkiva vesirutto on meillä melko harvinainen. Kasvi kukkii kuitenkin esim. Porlan kalanviljelylaitoksella Lohjalla joinakin vuosina.

Suomessa vesirutto esiintyi aluksi vain siellä täällä, eikä sitä aikaisemmin pidetty haitallisena, niinkuin ei muitakaan vesikasveja. Nyt tämä kasvi näyttää kuitenkin levinnen vesistöissämme varsin laajalle, ja sitä on tavattu mm. Kuopion pohjoispuolella saakka. Kasvin haitallisesta esiintymisestä saatiin esim. 1966 ilmoituksia mm. Hämeestä ja Savosta. Ilmoituksia seurasi tavallisesti pyyntö saada sopivia torjuntaohjeita.

Lehtivihreätä sisältävänä, hiilidioksidia yhteyttävänä, pohjaan juurtuneena kasvina ei vesirutto viihdy kovin syvällä, sillä se vaatii menestyäkseen riittävästi valoa. Se onkin litoraalikasvi, joka esiintyy koko altaan pohjaa peittävänä kasvustona vain suhteellisen matalissa järvissä. Mi-

käli altaan pohja tarjoaa vesirutolle sopivan alustan, vaikuttaa sen kasvusyvytyteen pääasiassa vain veden läpinäkyvyys, josta riittävän valon saaminen riippuu.

Saatujen ilmoitusten perusteella vesirutto on aiheuttanut meillä haittaa matalissa vesissä mm. kalanviljelylammikoissa ja uimarannoilla, mutta sitä on tavattu myös vedenottamoiksi suunnitelluissa järvissä ja lammissa.

Vesirutto esiintyy usein tiheinä kasvustoina. Paitsi, että tällaiset kasvimassat vaikeuttavat soutamista, tekevät moottorikäyttöisten veneiden kulun mahdottomaksi ja vaikeuttavat kalastusta, ne tekevät uimarannat epämiellyttäväksi ja vaikeuttavat näin haitallisesti virkistysmahdollisuuksiin. Myös kalanviljelylaitoksien lammikoissa on vesirutosta enemmän haittaa kuin hyötyä, milloin kasvustot ovat erityisen rehevät.

Vesirutto kerää rakennusainekseen huomattavia ravinnemääriä, jotka sitten nopeasti vapautuvat kasvimassan hajotessa. Hajoamisjätteet ovat omiaan edistämään kasvupaikan madaltumista, mutta kasvien hajoaminen kuluttaa myös veden happivarjoja. Vesirutto edistää veden puhdistumista niin kauan kuin se on elossa, mutta kasvuston kuoltua tulevat hajoavan kasvimassan aiheuttamat biologiskemialliset haitat merkittäviksi.

Niin meillä kuin ulkomaillakin on vesiruttota yritetty jo kauan hävittää mekaanisin keinoin. Suomessa tavataan eräällä kalanviljelylaitoksella kerätä vesiruttokasvusto tyhjiksi lasketuissa kalalammikoissa kasoihin ja hävittää kasat polttamalla (ks. kuva 1). Menetelmä ei kuitenkaan ole tähän mennessä johtanut tyydyttäviin tuloksiin, sillä vesiruton kasvu on palautunut joka vuosi ennalleen kun altaat on jälleen täytetty vedellä.



Kuva 1. Tyhjäksi laskettu lammikko Porlan kalanviljelylaitoksella, Lohjalla vuonna 1961. Lammikossa rehevänä kasvanut *Elodea canadensis*-massa on kerätty kasoihin hävittämistä varten.

Fig. 1. Tömd damm vid fiskodlingen i Porla, Lojo år 1961. Den rikliga massan av *Elodea canadensis* har samlats i hopar för förstöring.

Fig. 1. An empty pond at the fish-breeding establishment of Porla, Lohja, Finland in 1961. The mass of *Elodea canadensis* has been gathered into a pile for destruction.

Asiantuntijat katsovat nykyisin, että vesiruton torjunta on tehokasta ja taloudellisesti kannattavaa vain, jos käytetään kemiallisia torjunta-aineita. Alan kirjallisuudessa on mainittu useita kemikaaleja, mutta esim. AUSTIN (1963) pitää tehokkaina vesiruton torjunta-aineina vain ns. bipyridyliumi-valmisteita. Hän mainitsee esim. dikvatin (kauppavalmiste Reglone) eli 9,10-dihydro - 8 a, 10 a - diatsoniafenantreeni - 2 A lupaavana vedenalaisten kasvien torjunta-aineena jo dikvatti-ioniväkevyydessä 0,5 mg/l. ANDERSON (1965) ja YOUNGER (1958) mainitsevat myös fenopropin eli 2 (2,4,5-triklorfenoksi-*propioni*-hapon) tehokkaana vesiruton torjunta-aineena väkevyydessä 1 mg/l.

Ihanteelliselta vedenalaisten kasvien torjuntakemikaalilta vaaditaan paitsi hyvää tehoa torjuttavaan kasvilajiin mahdollisimman pienessä konsentraatiossa myös mm. pieni akuutti myrkyllisyys kaloille, pieni välillisen vaaran kaloille aiheuttava ominaisuus, mahdollisimman vähän planktonia vahingoittava ominaisuus sekä mahdollisimman suuri hajoamisnopeus vedessä sen jälkeen, kun torjuntatuloksena on saavutettu. Ottaen huomioon mainitut vaatimukset oli parakvattia (kauppavalmiste Gramoxone) eli 1,1'-dimetyyli-4,4'-bipyridylium-2 A:ta pidettävä ulkomaisen kirjallisuuden perusteella varsin lähellä ihanteellista torjunta-ainetta olevana vesiruton hävitteenä. Sen nopean tehon voi kuitenkin etukäteen odottaa aiheuttavan veden vapaan hapen pitoisuuden äkillisen vähenemisen, milloin hajoamaton orgaanista ainetta, esim. elävää kasviplanktonia olisi runsaasti läsnä. Sen sijaan esim. fenopropi, joka vaikuttaa kasveihin hitaammin kuin parakvatti, ei aiheuta kovin suurta veden happipitoisuuden äkillisen alenemisen vaaraa (YOUNGER 1958).

Suomessa on vesiruton kemiallisesta torjunnasta tehty tutkimuksia jo usean vuoden ajan. Alustavissa tutkimuksissa on testattu lukuisia kemikaaleja, mutta paras torjuntatuloksena on saatu säännöllisesti parakvatilla.

Seuraavassa esitetään ne tutkimukset, jotka on tehty Suomessa 1966 loppuun mennessä parakvatin soveltuvuudesta vesiruton torjuntaan. Nämä tutkimukset liittyvät yksityisten tutkimusrahojen tarkoitusta varten myöntämien apurahojen turvin 1959—1966 tehtyihin laajempiin vesikasvien torjuntatutkimuksiin, jotka on osittain kustannettu Maatalouden tutkimuskeskuksen Kasvinviljelylaitokselle myönnettyillä kasvinsuojeluvaroilla.

II. PARAKVATIN TEHOTUTKIMUKSET SUOMESSA

Vedenalaisten kasvien torjuntakokeiden järjestäminen tuottaa tuntuva vaikeuksia nimenomaan siitä syystä, että torjuntakemikaali on

pakko johtaa veteen veden kemikaalikonsentraation saattamiseksi halutulle tasolle. Suomessa tehdyt vesiruton torjuntakokeet on suoritettu

lammikoissa, mutta osa kokeista on tehty myös astiakokeina. Kokeita on tehty 1961—1966. Ne olivat aluksi luonteeltaan suunnistavia johtuen sekä kokemuksen että koetekniikkaa käsittelevän kirjallisuuden puutteesta. Viime vuosina on tutkimustoiminta kuitenkin ohjattu tiettyihin muotoihin, ja tutkittavaan kemikaaliin kohdistettavat kysymykset ovat kiteytyneet seuraaviksi:

- a) teho vesiruttoon
- b) akuutti myrkyllisyys kaloille
- c) välillinen vaarallisuus kaloille (nimenomaan sen vaikutus veden vapaan hapen pitoisuuteen)
- d) vaikutus planktoniin
- e) hajoamisnopeus vedessä (jäämäkysymys)

Ensimmäisissä kokeissa 1961 käytetyt valmisteet olivat rakeistettu Aqua Cleer 20-Granular, joka sisältää 2,4-D:tä eli 2,4-dikloretikkahappoa 20 % sekä jauhemainen Weedazol-valmiste, joka sisältää amitrolia eli 3-amino-1,2,4-triaatsolia 50 %. Valmisteet levitettiin veden pinnalle kylvämällä. Aqua Cleer-valmistetta käytettiin 100—200 kg/ha ja Weedazolia 50—100 kg/ha. Käsitellyn altaan syvyys oli noin 1 m, joten suurin Aqua Cleer-annos merkitsi tehoaineväkevyyttä 4 mg/l ja suurin Weedazol-annos tehoaineväkevyyttä 5 mg/l. Näissä kokeissa ei saatu aikaan havaittavaa vaikutusta vesiruttoon. Käytettyjä kemikaalimääriä pidettiin molempien valmistaiden osalta niin suurina, ettei niitä enää katsottu voitavan korottaa, eikä kokeita näillä aineilla niin ollen katsottu asialliseksi myöhemminkään jatkaa (SILVO 1962 ja 1963).

V. 1962 tehtiin Porlassa vesiruton torjuntakokeita Phygon XL-valmisteella, joka sisältää 50 % diklonia eli 2,3 diklor 1,4-naftokinonia. Käytetyt tehoainemäärät olivat 0,5 mg/l, 0,6 mg/l, 0,75 mg/l ja 1,0 mg/l. Tälläkin aineella saadut torjuntatulokset olivat niin heikkoja, että aineen enemmistä tehotutkimuksista vesiruton osalta luovuttiin.

Ensimmäinen vesiruton torjuntakoe, jossa käytettiin myös parakvattia, järjestettiin kesällä 1963 Lohjalla altaassa, jossa ei ollut kaloja. Para-

kvatin hyvä ja nopea teho vesiruttokasvustoihin kävi ilmi jo tässä ensimmäisessä kokeessa. Samalla todettiin myös, että parakvattikäsitely aiheuttaa vedessä nopean hapen kulumisen.

Seuraava parakvatti-koe vesiruttokasvustossa järjestettiin Porlassa jo samana kesänä. Vertailumahdollisuuksien vuoksi otettiin kokeeseen mukaan myös dikvatti ja endotaali (kauppavalmiste Aquathol) eli 3,6-endoksoheksahydroftalaatti.

Porlan kalanviljelylaitoksen lammikoiden vesi koostuu pohjavedestä, jota johdetaan altaisiin kaivosta, sekä Lohjanjärven vedestä, jota pumputaan altaisiin pohjaveden lisäksi. Veden laatu vaihtelee jonkin verran eri ajankohtina ja riippuu myös sekoitussuhteista. Ei kuitenkaan tehtäne merkittävää virhettä, jos veden laadun kuvaamiseksi esitetään seuraavat, useihin analyyseihin perustuvat keskimääräiset arvot (vrt. SILVO 1967 b):

Väri	mg/l Pt	10
KMnO ₄ -kulutus	mg/l	20
(10 min.hapan keitto)		
Sähkönjohtokyky	μS	100
pH		6,6
Kokonaiskovuus	°dH	2,5
Alkaliniteetti	mval	0,8
(met.or)		
Rauta	mg/l Fe	0,5
Kloridi	mg/l Cl	8,0

Veden lämpötila oli kokeen alkamishetkellä +18,5°C. Koemateriaalina oli noin 1 m syvyydessä kasvava, rehevä ja lajipuhdas vesiruttokasvusto. Koeruudut sijoitettiin kahteen erilliseen lammikkoon. Ruudut sijaitsivat kaukana toisistaan ja niiden koko oli 4 × 4 m = 16 m². Kun veden syvyys oli ruutujen kohdalla 1 m, käsitti jokainen koeruutu noin 16 m² vettä. Ruudut valittiin niin, että jokainen niistä vastasi silmävaraisen arvioinnin perusteella toisiaan kasvuston rehevyyden suhteen. Koeruudut käsiteltiin kemikaaleilla ruiskuttamalla neste veden pinnalle karkeana suihkuna Ginge-reppuruiskua käyttäen. Kerranteita oli kaksi. Vertailukohteina pidettiin kaukana sijaitsevia, käsittelemättömiä alueita.

Kokeiden antamat tulokset käyvät ilmi taulukosta 1.

Tarkistuksen vuoksi koe toistettiin parakvatin osalta vuosina 1964, 1965 ja 1966 ja tarkistuskokeisiin käytettiin myös kokonaista kalalammikkoa yhtenä kokeena. Tulos oli aina sama. Suoritetut tutkimukset näyttävät oikeuttavan tekemään päätelmän, että parakvatti on tehokas

vesiruton torjuntakemikaali ainakin tietynlaisissa vesissä, jos ainetta käytetään 0,5—1,0 mg/l parakvatti-iona. Sensijaan parakvatin antamasta kesto vaikutuksesta vesiruton torjunnassa ei vielä ole saatu riittävää selvitystä. Kuitenkin on todettu, että käsittely allas saattaa pysyä vapaana kasvusta ainakin vielä seuraavan kasvukauden ajan.

III. PARAKVATIN AKUUTISTA MYRKYLLISYYDESTÄ ELÄIMILLE

Parakvatin akuutista myrkyllisyydestä lämminverisille eläimille ei tiettävästi ole tehty tutkimuksia Suomessa. Englantilaisen tutkimusten mukaan parakvatin LD₅₀-arvo lämminverisille eläimille vaihtelee eläinlajista riippuen 30—260 mg/kg (HOWE ja WRIGHT 1965). Verrattaessa näitä LD₅₀-arvoja vesiruton kemiallisessa torjunnassa kysymykseen tuleviin arvoihin (0,5—1,0 mg/vesilitra) jää varmuusraja suureksi.

Myöskään parakvatin akuutista myrkyllisyydestä selkärangattomille vesieläimille ei ole tiettävästi tehty tutkimuksia Suomessa. Englantilainen MOORE (1962) on tehnyt tällaisia toksikologisia tutkimuksia ainakin 26:lla selkärangattomalla vesieläinlajilla, ja hänen tutkimustulostensa perusteella parakvatti näyttää olevan ohjeiden mukaan käytettynä vaaraton ko. eläimille.

Parakvatin akuuttia myrkyllisyyttä kaloille ovat tutkineet mm. LEWIS (1959), AUSTIN ja CALDERBANK (1964), CARTER (1963), HOWE ja WRIGHT (1965) sekä MERCK (1964). Heidän tutkimustensa perusteella voidaan päätellä, että vesikasvien tehokkaaseen torjuntaan tarvittavat parakvattimäärät ovat huomattavasti pienempiä kuin ne, jotka ovat osoittautuneet akuutisti myrkyllisiksi kaloille, vaikka koekaloina ovat olleet paitsi karpit ja suutarit myös hyvin herkkinä pidetyt lohensukuiset lajit. AUSTIN ja CALDERBANK (1964) sekä HOWE ja WRIGHT (1965) ilmoittavat, että taimenen (*Salmo trutta* L.) keski-

määräinen parakvatin letaalikonsentraatio on noin 25 mg/l tehoainetta, joka väkevyys tappaa kalat 96 tunnissa.

Suomessa on parakvatilla tehty myrkyllisyyskokeita kaloilla vuodesta 1963 lähtien (SILVO 1967 b). Kokeita on toistaiseksi tehty pääasiassa nuorilla, noin ½ vuoden ikäisillä karpinpoikaisilla akvarioissa (*Cyprinus carpio* L.). Käytetty vesi on ollut Porlan kalanviljelylaitoksen vettä (ks. sivu 7). Kokeissa on sijoitettu 5—10 karpinpoikasta päältä avoimiin, 20 l vettä sisältäviin lasiastioihin. Vettä ei ole tuuletettu kokeen kestäessä, eikä sitä myöskään ole vaihdettu. Koe-eläimille ei ole tarjottu minkäänlaista ravintoa kokeen aikana. Veden lämpötila astioissa on vaihdellut 18—20°C, ja astiat ovat olleet sijoitettuina huoneeseen valoisan ikkunan alle. Koeastian sisältämän veden parakvattipitoisuus on saatettu halutun väkevyyseksi, minkä jälkeen koekalat on välittömästi siirretty astiaan. Havainnot ja asiaan kuuluvat merkinnät havainnoista on aina tehnyt sama henkilö. Vuosien 1963—65 kokeiden antamat tulokset on esitetty taulukossa 2.

Saadut tulokset osoittavat, että noin puolen vuoden ikäiset karpinpoikaset kestävät hyvin parakvattipitoisuutta 20 mg/l tehoainetta vedessä. Kun vesiruton torjuntaan tarvittava väkevyys on vain 0,5—1,0 mg/l tehoainetta, muodostuu parakvatin käytön turvallisuusmarginaali 20—40 kertaiseksi.

IV. PARAKVATIN VAIKUTUKSESTA KASVIPLANKTONIIN

AUSTIN ja CALDERBANK (1964) mainitsevat, että planktonkuva saattaa vaihdella vedessä, joka on käsitelty dikvatilla 0,5 mg/l tehoainetta. Toisinaan ei planktonin koostumuksessa tapahdu mitään havaittavia muutoksia, mutta joskus taas saattaa planktonin määrä vähetä kolmanneksi päivänä käsittelyn jälkeen, kohotakseen seuraavan seitsemän päivän kuluessa suuremmaksi kuin mitä se oli ennen kemikaalikäsittelyä.

Ensimmäinen koe Suomessa parakvatin vaikutuksesta kasviplanktoniin tehtiin Porlan kalanviljelylaitoksella kesällä 1966. Planktonnäytteitä otettiin kolme, ensimmäinen ennen käsittelyä, toinen syntyneen happiminimin aikana eli kolme päivää käsittelyn jälkeen, ja kolmas happipitoisuuden korjautumisen jälkeen eli kymmenen päivää parakvattikäsittelyn jälkeen. Näytteet otettiin samasta altaasta, jonka vedestä tehtiin jäljempänä (sivulla 12) selostettava happitutkimus. Näytteet konservoitiin formaliinilla ja tutkittiin myöhemmin. Tutkimuksen tulokset muodostuivat seuraavanlaisiksi:

Planktonkuva ennen parakvattikäsittelyä 11. 7. 1966
Planktonbild före paraquatbehandlingen 11. 7. 1966
Phytoplankton composition before paraquat treatment 1966
July 11

Kasviplankton Växtp plankton Phytoplankton	Kpl/100 ml Cells/100 ml Cells/100 ccm
CHLOROPHYTA	
<i>Schroederia judayi</i>	15 580
<i>Scenedesmus armatus</i>	38
(4-sol.kolonioita) (4 celler, kolonier) (4 cells, colonies)	
CHRYSTOPHYTA	
<i>Synura ovella</i> (soluja, celler, cells)	38
DIATOMAE	
<i>Achnantes sp.</i>	—
	38 kuoll. sol. döda celler dead cells
<i>Diploneis sp.</i>	380
<i>Gomphonema sp.</i>	—
<i>Melosira italica</i> (soluja, celler, cells)	—
<i>Navicula sp.</i>	—
<i>Synedra sp.</i>	516
PYRROPHYTA	
<i>Cryptomonas sp.</i>	532
CILIATA	
<i>Laboe sp.</i>	228

Näytteessä todettiin jonkin verran sekä pyöreitä että sauvamaisia bakteereita ja ruostesienten itiöitä. Detritusta siinä oli vain vähän.

Planktonkuva syntyneen happiminimin aikana 14. 7. 1966
Planktonbild under uppkommet syreminimum 14. 7. 1966
Phytoplankton composition the time of minimal oxygen content
1966 July 14

Kasviplankton Växtp plankton Phytoplankton	Kpl/100 ml Cells/100 ml Cells/100 ccm
CHLOROPHYTA	
<i>Schroederia judayi</i>	304
<i>Scenedesmus armatus</i>	38
(4-sol.kolonioita) (4 celler, kolonier) (4 cells, colonies)	
<i>Scenedesmus bijuga</i>	38
(4-sol.kolonioita) (4 celler, kolonier) (4 cells, colonies)	
CHRYSTOPHYTA	
<i>Diatomae</i>	
<i>Diploneis sp.</i>	38
	114 kuoll. sol. döda celler dead cells
<i>Melosira italica</i> (soluja, celler, cells)	—
<i>Navicula sp.</i>	76
<i>Synedra sp.</i>	266
PYRROPHYTA	
<i>Cryptomonas sp.</i>	76

Näytteessä esiintyi suuria määriä sauvabakteereita sekä yksittäisinä soluina että ketjuina. Detritusta oli näytteissä enemmän kuin edellisellä kerralla. Alussa valtalajina esiintynyt *Schroederia judayi* oli nyt vähentynyt huomattavasti, ja tässä näytteessä tavatut yksilöt näyttivät huonokuntoisilta, ikäänkuin ne olisivat olleet hajoamaisillaan. Näytteessä tavattiin epämääräisiä vihertäviä massoja, jotka saattoivat olla *Schroederia judayi*-kasvuston jätteitä.

Planktonkuva happipitoisuuden korjautumisen jälkeen
21. 7. 1966

Planktonbilden efter återställd syrebalans 21. 7. 1966

Phytoplankton composition after recovery of oxygen content
1966 July 21

Kasviplankton Växtplankton Pöytäplankton	Kpl/100 ml Cells/100 ml Cells/100 ccml
CHLOROPHYTA	
<i>Actinastrum hantzschii</i> (kolonioita, kolonier, colonies)	243 000
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	680
<i>Lagerheimia quadricauda</i>	444 000
<i>Scenedesmus armatus</i> (4-sol.kolonioita) (4 cells,kolonier) (4 cells,colonies)	3 400
<i>Scenedesmus dimorphus</i> »	2 040
<i>Scenedesmus quadricauda</i> »	21 080
<i>Kirchneriella obesa</i> (soluja, celler, cell'r)	29 240
EUGLENOPHYTA	
<i>Trachelomonas hispida</i>	114
CILIATA	
<i>Laboea</i> sp.	304
<i>Vorticella</i> sp.	76
<i>Ciliata</i> sp.	1 684

Tälle näytteelle oli kuvaavaa, että kuolleita tai kuolevia ja huonokuntoisia soluja ei esiintynyt lainkaan. Parakvatin myrkkövaikutus planktoniin näytti loppuneen, ja uusi planktonkasvuston rakennuskausi oli päässyt alkuun. Näyte oli hyvin selvästi viherlevävoittoinen piilevien ym. levälajien määrän ollessa hyvin vähäinen. Elinympäristön olosuhteet näyttivät muuttuneen huomattavasti. Tähän viittasivat mm. seuraavat seikat:

Schroederia judayi oli kadonnut täysin, kun sen sijaan vallalle päässeet viherlevät, *Actinastrum hantzschii* ja *Lagerheimia quadricauda* olivat lisääntyneet äkillisesti ja esiintyivät nyt morfologisesti sellaisina normaalista poikkeavina muotoina, mikä on ominaista levien puhtasviljelmille. Normaalista poikkeavaa oli myös mm. *Kirchneriella obesae* esiintyminen kolonioiden asemesta yksittäisinä soluina. *Scenedesmus*-lajit, jotka muodostavat tavallisesti 4-soluisia yhdyskuntia, esiintyivät nyt pääasiassa 8-soluisina yhdyskuntina. Lisäksi *Actinastrum hantzschii*-yhdyskunnissa olivat solut tavallista kookkaampia.

Eräänä selityksenä edellä kuvatulle ilmiölle

saattaa olla, että parakvatin tuhottua osan kasviplanktonista osallistuivat syntyneen biologisen tyhjiön täyttämiseen lähinnä ne lajit, joiden vaurioitumattomat lepoasteet sattuiivat olemaan valmiina paikalla suorittamaan ko. tehtävän. Mitä edellä on sanottu levien puhtasviljelmiin viittävistä ominaisuuksista, voitaneen selittää esim. siten, että veden sisältämien ravinteiden käytöstä parakvatin vaikutuksen jälkeen pääsivät nauttimaan tavallista harvemmat lajit ravinteiden määrän ollessa lisäksi normaalia suurempi. Viimeksi mainittu johtui ilmeisesti pääasiassa parakvatin tuhoamien leväsolujen hajoamisprosessissa vapautuneista ravinteista. Kenties myös parakvatin tuhoaman vesiruttomassan alkavalla hajoamisella oli oma osuutensa ravinteiden lisääntymiseen vedessä. Ravinteita saattoi kenties vapautua veteen pohjalietteestäkin vähähappisen kauden aikana.

Joskin edellä selostettu planktonitutkimus on vain suunnistava, voitaneen sen antamista tuloksista päätellä, että parakvattikäsittely saattaa aiheuttaa huomattavia muutoksia käsitellyn veden kasviplanktonin koostumuksessa. Käsitellyn tuhoaa ainakin osaksi entisen kasviplanktonikasvuston. Vaikka tässä tapauksessa kävi niin, että syntyneen biologisen tyhjiön täyttivät pääasiassa eräät viherlevät (*Chlorophyta*), saattanevat syntyneen tyhjiön täyttää tietyissä olosuhteissa myös esim. jotkut haitalliset sinilevät (*Cyanophyta*). Ainakaan tässä tapauksessa ei kasviplanktonin tuhoutunut täydellisesti. Planktonin massa, ns. standing crop palautui nopeasti elävän planktonmassan muodostuessa pian käsittelyn jälkeen ylimalkaisenkin tarkastelun perusteella jopa suuremmaksi kuin mitä se oli ennen käsittelyä.

Esillä olevan työn yhteydessä ei ollut mahdollista suorittaa näytteiden sisältämien planktonlevien täydellistä laskentaa. Tarkemman kuvan saamiseksi parakvattikäsittelyjen vaikutuksesta kasviplanktoniin tarvitaan näin ollen vielä jatkotutkimuksia.

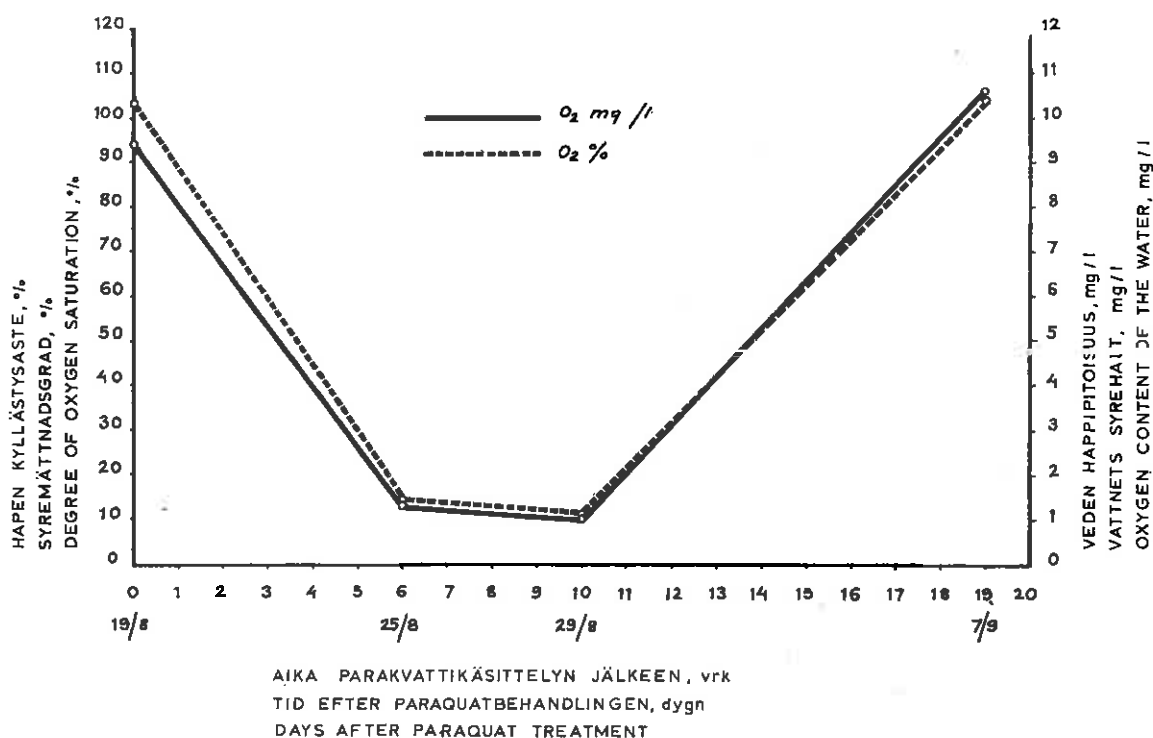
V. PARAKVATIN VAIKUTUKSESTA VEDEN HAPPIPITOISUUTEEN

Milloin jonkin kemikaalin käyttäminen aiheuttaa kasvien kuoleamisen vedessä, on tästä luonnollisena seurauksena, että kuollut ja hajoava kasvimassa kuluttaa veden happivarjoja. Jos hapen väheneminen on voimakas ja äkillinen, saattaa siitä koitua tuhoisia seurauksia kaloille. Vaikka kemikaali ei olisikaan kaloille akuutisti myrkyllistä, voi sen käyttö aiheuttaa kalojen kuoleman välillisesti riistämällä vedestä kaloille välttämättömän hapen. Ulkomaisessa kirjallisuudessa ovat tähän seikkaan kiinnittäneet huomiota mm. AUSTIN (1963) sekä HOWE ja WRIGHT (1965).

Parakvatatin vaikutusta vesiruttokasvustoissa kokeiltiin Suomessa ensi kerran 1963. Jo tällöin havaittiin, että kemikaali voi aiheuttaa veden

happipitoisuuden niin nopean alenemisen, että ainakin vaativat lohikalat (*Salmo spp.*) saattavat menestyä (vrt. sivu 6). Ensimmäinen happitilanteen kehitystä parakvatattikäsittelyn jälkeen koskeva koe tehtiin Lohjalla 19. 8. 1964 Porlan kalanviljelylaitoksella. Tässä tapauksessa oli tilaisuus käsitellä koko lammikko. Parakvaattia käytettiin 1,9 mg/l tehoainetta (9,6 ml/m³ Gramoxone-valmistetta).

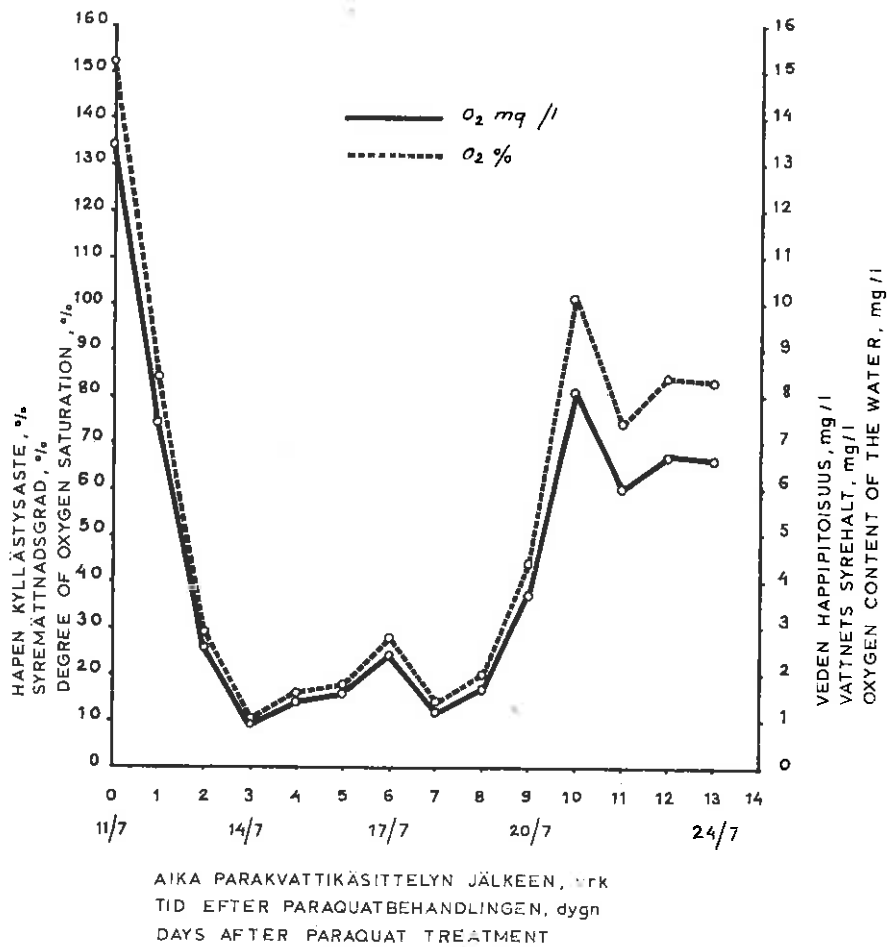
Tulokset nähdään taulukosta 3 ja kuvasta 2. Ne osoittavat, että vapaan hapen pitoisuus saattaa vähentyä parakvatilla käsitellyssä vedessä voimakkaasti ainakin kuuden vuorokauden kulluttua käsittelystä. Happianalyysit oli tässä koeksessa tehty pitkin väliajoin joten tulos antoi ilmiöstä vain suuntaa osoittavan kuvan.



Kuva 2. Happitilanteen kehitys parakvatilla käsitellyssä lammikossa Porlan kalanviljelylaitoksella Lohjalla vuonna 1964. Lammikon vesi oli käsitelty käyttämällä parakvaattia 1,9 mg/l tehoainetta.

Fig. 2. Syresituationens utveckling i en med paraquat behandlad damm vid fiskodlingen i Porla, Lojo år 1964. Vattnet i dammen hade tillförts 1,9 mg/l effektivt kemikalie.

Fig. 2. Changes in oxygen content in a pond at the fish-breeding establishment at Porla, Lohja, Finland in 1964. Paraquat concentration used was 1.9 mg/l a.i.



Kuva 3. Happitilanteen kehitys parakvatilla käsitellyssä lammikossa Porlan kalanviljelylaitoksella Lohjalla 1966. Lammikon vesi oli käsitelty käyttämällä parakvattia 1,9 mg/l tehoainetta.

Fig. 3. Syresituationens utveckling i en med paraquat behandlad damm vid fiskodlingen i Porla, Lojo år 1966. Vattnet i damm hade tillförts 1,9 mg/l effektivt kemikalie.

Fig. 3. Changes in oxygen content in a pond at the fish-breeding establishment at Porla, Lohja, Finland in 1966. Paraquat concentration used was 1.9 mg/l a.i.

Hapen kulumisen tarkempaa selvitystä varten suoritettiin toinen koe 11. 7. 1966. Käsitteilyyn käytettiin samaa parakvattivekevyyttä kuin vuonna 1964 tehdyssä kokeessa, ja happinäytteet otettiin vuorokauden välein, ensimmäinen näyte tuntia ennen käsittelyä ja viimeinen 13 vrk käsittelyn jälkeen, jolloin happitilanteen voitiin katsoa palautuneen normaaliksi. Näytteet otettiin aina noin klo 14.00 ja toimitettiin välittömästi analysoitaviksi.

Tulokset on esitetty taulukossa 4 ja kuvassa 3.

Ne osoittavat, että veden vapaan hapen pitoisuus voi tietyissä olosuhteissa pienentyä voimakkaasti jo 1—2 vuorokauden kuluttua parakvattikäsitteystä. Tässä tapauksessa syntyi happiminimi kolmen vuorokauden kuluttua käsittelystä, minkä jälkeen happitilanne alkoi hitaasti korjautua kunnes kymmenen vuorokautta käsittelyn jälkeen oli saavutettu kyllästysraja. Sen jälkeen todetut vaihtelut vapaan hapen pitoisuudessa johtuivat ehkä muista syistä, mutta ne saattavat merkitä myös toistaiseksi tuntematonta, parakvattikäsit-

telystä johtuvaa jälkivaikutusta. On joka tapauksessa pantava merkille, että kokeen puitteissa otetuissa näytteissä ei enää myöhemmin todettu niin suuria happipitoisuuksia kuin ensimmäisessä näytteessä, joka otettiin 11. 7. 1966 yhtä tuntia ennen parakvattikäsittelyä. Näin oli asianlaita siinäkin huolimatta, että tutkittavassa lammikossa todettiin 21. 7. 1966 voimakas viherlevätuotanto (vrt. sivut 9—10).

Edellä selostettujen, vuosina 1964 ja 1966 tehtyjen kokeiden antamat tulokset eivät ole keskenään aivan yhtäpitäviä. Edellisenä vuonna todettiin happiminimin syntyneen noin 10 päivän kulluttua parakvattikäsittelystä, kun taas v:n 1966 kokeessa happiminimi kehittyi jo 3 vrk käsittelyn jälkeen, ja 10 vrk:n kulluttua käsittelystä todettiin

hapan pitoisuuden saavuttaneen kyllästysarvonsa. Nämä eroavaisuudet saattavat johtua useista tekijöistä, mutta todennäköisesti veden lämpötilalla on tässä ollut tärkeä merkitys. Edellisen kokeen aikana oli veden lämpötila koko ajan ollut alhaisempi kuin jälkimmäisen. Sitäpaitsi veden lämpötila laski v:n 1964 kokeen kuluessa +18,8°C:sta +13,2°C:een, kun taas v:n 1966 kokeen kestäessä se nousi +20,3°C:sta +26,2° C:een. Näissä kokeissa vallinneiden veden lämpötilojen ääriarvojen, +26,2°C ja +13,2°C, erotus oli 13,0°C. Van't'Hoffin RGT-säännön (Reaktionsgeschwindigkeit-Temperatur-Regel) perusteella näin suuri lämpötilojen ero vaikuttaisi vähintään 2—3 kertaisesti vedessä tapahtuvien reaktioiden nopeuteen.

VI. PARAKVATIN JÄÄMÄTUTKIMUKSISTA

Englantilaisissa tutkimuksissa on käynyt ilmi, että parakvatti häviää vedestä miltei täydellisesti muutamassa päivässä (AUSTIN 1963). Häviämisenopeuteen vaikuttavat mm. käytetty väkevyys, veden virtaamisnopeus jne., mutta pääasialliset häviämisen aiheuttajat ovat joutuminen vesikasvien solukkoon ja pohjalietteeseen, adsorpoituminen veden suspendoituneisiin maahiukkasiin sekä fotokemiallinen hajoaminen (AUSTIN ja CALDERBANK 1964). Tämän mukaan parakvatin häviämisenopeus vedestä riippuu ratkaisevasti elävän vesikasvimassan, veden sisältämien suspendoituneiden aineiden sekä veteen pääsevän valon määristä.

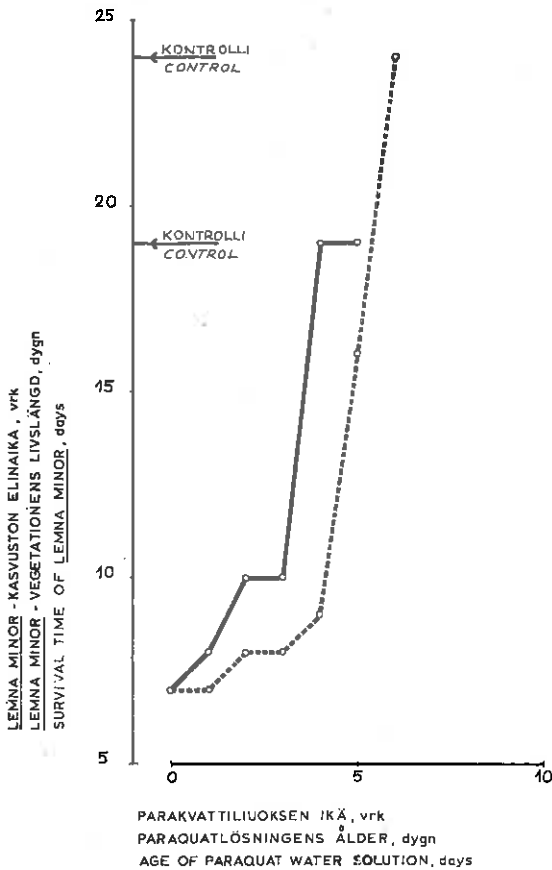
rakvatin alkuperäinen käyttöväkevyys oli 6 mg/l, mikä vastaa 0,03 ml/l Gramoxone-valmistetta. Kokeessa käytetty vesi oli peräisin Kirrisenjärvestä. Veden laatua luonnehtii (talviolosuhteissa) seuraava analyysi:

pH	6,9
Väri	mg/l Pt 40
Sähkönjohtokyky	μS 98
KMnO ₄ -kulutus (10 min. hapan keitto)	mg/l 20
Alkaliniteetti	mval 0,6
Kokonaiskovuus	°dH 2,2
Rauta	mg/l Fe 0,16
Kloridi	mg/l Cl 10

1. Biologiset jäämätutkimukset Suomessa

Länsi-Hahkialan opetus- ja koetilalla Hauholla tehtiin 1964 astiakoe pikkulimaskalla (*Lemna minor* L.), joka on osoittautunut herkäksi parakvatin vaikutukselle. Tarkoituksena oli selvittää, missä ajassa parakvatti menettää tehonsa *Lemnaan*, eli toisin sanoen, kuinka vanhaa pitää parakvattiliuoksen olla, jotta se ei enää pystyisi vaikuttamaan tappavasti *Lemna*-kasvustoon. Pa-

Koe tehtiin huoneessa, jonka lämpötila oli kokeen aikana 18—22°C. Parakvattiliuos valmistettiin erilliseen astiaan 25. 9. 1965. Muoviasia täytettiin sillä välittömästi ja veden pinnalle sijoitettiin järvestä otettua *Lemna*-kasvustoa taiseksi kerrokseksi: Tämä toistettiin 5 päivän aikana niin, että uutta *Lemna*-kasvustoa siirrettiin uusiin astioihin päivä päivältä vanhempaan parakvattiliukseen.



Kuva 4. *Lemna minor*-kasvuston elin aika eri-ikäisissä parakvattiliuoksissa.

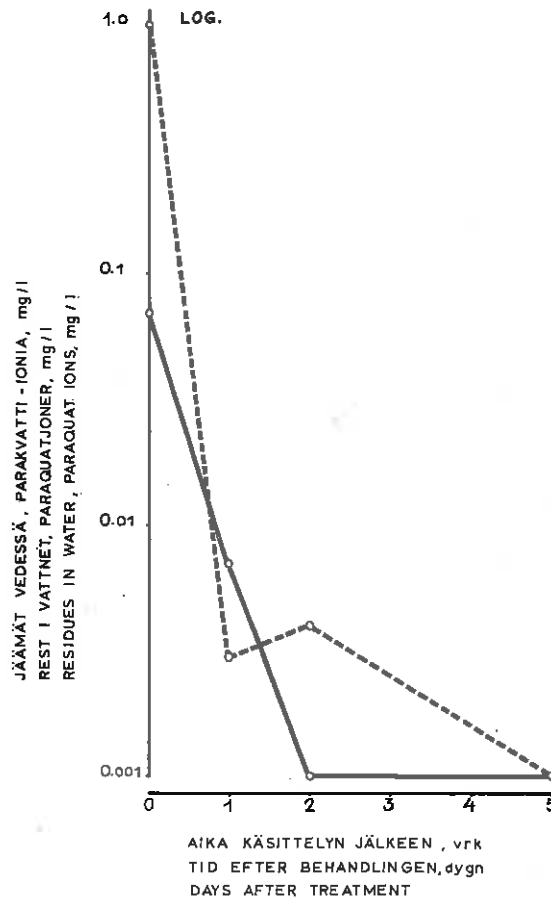
Fig. 4. *Lemna minor*-vegetationens överlevnad i paraquatlösningar av olika ålder.

Fig. 4. Survival time of *Lemna minor* in paraquat solution of various ages.

— = veden alkuperäinen tehoainemäärä 6 mg/l, veden lämpötila +18°–22°C.
= vattnets ursprungliga halt av effektivt kemikalie 6 mg/l, vattnets temperatur +18°–22°C.
= original paraquat concentration of water 6 mg/l a.i., temperature of water +18°–22°C

----- = veden alkuperäinen tehoainemäärä 20 mg/l, vaihteleva ulkolämpötila.
= vattnets ursprungliga halt av effektivt kemikalie 20 mg/l, varierende utetemperatur.
= original paraquat concentration of water 20 mg/l a.i., varying outdoor temperature.

Kokeen tulokset on esitetty taulukossa 5 ja kuvassa 4. Ne osoittavat, että parakvatin häviäminen vedestä alkaa pian sen jälkeen, kun se on saatettu veteen. Tässä tapauksessa voitiin todeta tehon *Lemna*-kasvustoihin pienentyneen jo yh-



Kuva 5. Parakvatin häviämisnopeus järivedessä.

Fig. 5. Förloppet av paraquatets försvinnande i insjövattnen.

Fig. 5. Rapidity of disappearance of paraquat in lake water.

— = alkuperäinen tehoainemäärä 1 000 g/ha
= ursprunglig mängd 1 000 g/ha av effektivt kemikalie
= original dose 1 000 g/ha a.i.

----- = alkuperäinen tehoainemäärä 10 000 g/ha, eli noin 1 mg/l
= ursprunglig mängd 10 000 g/ha effektivt kemikalie eller cirka 1 mg/l
= original dose 10 000 g/ha or abt. 1 mg/l a.i.

den vuorokauden kuluttua. Parakvattiliuksen tappava vaikutus *Lemna*-kasvustoihin hävisi kokonaan jo 4 vuorokauden kuluttua käsittelystä.

Toinen edellä selostetun kaltainen astiakoe tehtiin elokuussa 1966. Tällä kertaa valmistetun

(30. 8. 1966) parakvattiliuoksen tehoainekonsentraatio oli 20 mg/l (0,1 ml/l Gramoxone-valmistetta). Koe tehtiin lämmittämättömässä rakennuksessa, jossa lämpötila vaihteli ulkolämpötilan mukaan.

Kokeen tulokset on esitetty taulukossa 6 ja kuvassa 4. Ne osoittavat, että parakvatin häviämisen merkkejä alkoi näkyä vasta 2 vrk:n kuluttua käsittelystä. Kemikaalin tappava vaikutus *Lemna*-kasvustoon näytti kadonneen kokonaan 6 vrk:n kuluttua käsittelystä.

Edellä selostetut kaksi koetta *Lemna minor*-kasvustoissa viittaavat siihen, että parakvatti voi tietyissä olosuhteissa hävitä vedestä suureksi osaksi tai kokonaan 4—6 vrk käsittelyn jälkeen. Veden lämpötilalla on todennäköisesti huomattava vaikutus kemikaalin häviämisenopeuteen. Tulokset osoittavat lisäksi, että biologisilla tutkimusmenetelmillä voidaan saada ainakin karkea kuva parakvatin häviämisenopeudesta vedessä.

2. Kemialliset jäämätutkimukset Suomessa

Kemiallisia jäämätutkimuksia varten otettiin yksi näytesarja ennen käsittelyä, heti käsittelyn jälkeen sekä 1, 2 ja 5 vrk käsittelyn jälkeen koerudusta, jossa järviruoko-kasvusto (*Phragmites*

communis) oli käsitelty käyttämällä parakvattia 1 000 g/ha tehoainetta (Gramoxone-valmistetta 5 l/ha). Toinen näytesarja otettiin ennen käsittelyä, heti käsittelyn jälkeen sekä 1, 2 ja 5 vrk käsittelyn jälkeen koerudusta, jossa ulpukkasvusto (*Nuphar luteum*) oli käsitelty käyttämällä parakvattia 10 000 g/ha tehoainetta (Gramoxone-valmistetta 50 l/ha) 1 m syvyisessä vedessä. Veden parakvattipitoisuudeksi tuli tällöin noin 1 mg/l. Käytetyn veden laatua kuvaavat seuraavat analyysitulokset (syyskuun lopussa vallinneissa olosuhteissa):

pH	7,2
Väri	mg/l Pt 30
Sähkönjohtokyky	μS 67
KMnO ₄ -kulutus	mg/l 18
(10 min.hapan keitto)	
Alkaliniteetti	mval 0,55
Kokonaiskovuus	°dH 2,2
Rauta	mg/l Fe 0,72
Kloridi	mg/l Cl 9

Tutkimuksen tulokset on esitetty taulukossa 7 ja kuvassa 5. Ne osoittavat, että parakvatti saattaa hävitä tietyissä olosuhteissa vedestä noin 5 vrk:n kuluttua käsittelyn jälkeen, jos alkuperäinen tehoaineväkevyys on noin 1,0 mg/l.

VII. YHTEENVETO

Esillä olevassa tutkimuksessa on selostettu Suomessa 1963—66 suoritetuista kokeista parakvatin soveltuvuudesta vesiruton torjuntaan. Tärkeimmät tulokset olivat seuraavat:

Vesirutto tuhoutui käytettäessä parakvattia 0,5—1,0 mg/l tehoainetta. Käsitelty alue pysyi vapaana vesirutosta yhden vuoden ajan. Saadut tulokset ovat tässä kohden yhtäpitäviä ulkomaisen tietojen kanssa.

Noin 1/2 vuoden ikäiset karpinpoikaset kestivät hyvin parakvattiväkevyttä 20 mg/l tehoainetta, mutta väkevyttä 200 mg/l tehoainetta vain noin 1,6 vrk. Ulkomaisten tietojen mukaan tai-

menen keskimääräinen parakvatin letaalikonsentraatio on noin 25 mg/l tehoainetta, jossa väkevyydessä kalat kuolevat 96 tunnissa. Tähän mennessä tehdyt tutkimukset viittaavat siihen, että parakvatin akuutti letaalikonsentraatio kaloille on huomattavasti suurempi kuin mitä on tarpeen vesikasvien hävittämiseksi. Turvallisuusmarginaali on tässä noin 20—40-kertainen.

Parakvattikäsitely aiheutti huomattavia muutoksia kasviplanktonin koostumuksessa. Käsitely tuhosi entisen kasviplanktonikasvuston suureksi osaksi 3 vrk:n kuluessa. Syntynyt tyhjiö täyttyi uudelleen verrattain nopeasti, 10 vrk:n

kuluessa. Uuden planktonin kokoomus poikkesi kuitenkin suuresti alkuperäisestä. Samantapaisiin havaintoihin viitataan myös kirjallisuudessa.

Parakvattikäsittelyn todettiin kuluttavan veden happivaroja voimakkaasti. Hapen kulumisen aiheutti todennäköisesti kuolleen kasvimassan hajoaminen. Happiminimi syntyi 3—10 vrk:n kuluttua käsittelystä. Vapaan hapen pitoisuus palautui normaaliksi 10—19 vrk:n kuluttua käsittelystä. Näiden ja ulkomaisten tulosten perusteella näyttää siltä, että happiminimin muodostumisen ja happitilanteen korjautumisen nopeudet riippuvat mm. kuolleen ja hajoavan kasvimateriaalin määrästä ja ehkä myös laadusta, vallitsevista sääolosuhteista sekä ennen kaikkea veden lämpötilasta.

Parakvattijäämiä vedessä tutkittiin biologisin menetelmin käyttämällä koekasvina parakvatille herkkää pikkulimaskaa. Parakvattiliuoksen tappava vaikutus koekasviin hävisi täysin 4—6 vrk:n kuluessa. Tehon häviämisen nopeus näytti riippuvan paitsi alkuperäisestä parakvattikonsentraatiosta myös veden lämpötilasta.

Kemiallisissa jäämatutkimuksissa parakvatin

todettiin hävinneen vedestä noin 5 vrk:n kuluttua käsittelyn jälkeen, kun käyttömäärä oli 1 000—10 000 g/ha tehoainetta.

Tässä esitettyyn kemikaalikohtaiseen tutkimukseen liittyvät kokeet ovat luonteeltaan suuntaa antavia, eikä saatujen tulosten perusteella vielä voi tehdä pitkälle meneviä johtopäätöksiä parakvatin soveltuvuudesta vesiruton vaarattomaan torjuntaan. Parakvatin hyvä teho vesirutokasvustoihin on käynyt kokeista selvästi ilmi, mutta kemikaalin toksikologisiin ominaisuuksiin kohdistuvia tutkimuksia tulisi vielä jatkaa. Tutkimuksissa tulisi kiinnittää huomiota ennen kaikkea parakvatin häviämisen nopeuteen erilaisissa vesissä, sen absorpoitumiseen elävään kasvimaan, aineen jäämiin kaloissa ja kalojen ravintonaan käyttämissä pohjaeläimissä sekä pohjalietteenä ja myös sen adsorpoitumiseen veden sisältämiin kiinteisiin aineisiin. Myös olisi syytä selvittää valon merkitystä parakvatin fotokemiallisen hajoamisen nopeudelle erilaisissa vesissä. Lisäksi tulisi vielä selvittää jääminä tavattujen parakvattimäärien ominaisuudet, ennen kaikkea niiden aktiivisuus, vaarallisuusaste sekä mahdollisesti kemiallinen rakenne.

VIII. SAMMANDRAG: EFFEKTEN PÅ FISK, VÄXTPLANKTON OCH SYREHALT I VATTNET AV FÖR VATTENVEGETATIONSBEKÄMPNING ANVÄNT PARAQUAT SAMT DETTAS FÖRSVINNANDE UR VATTNET

I föreliggande undersökning redogörs för i Finland under åren 1963—66 utförda försök rörande paraquatets lämplighet för bekämpning av vattenpest. Viktigaste resultat:

Vid användningen av en paraquatkoncentration om 0,5—1,0 mg/l effektiv kemikalie uppnås full effekt på vattenpest. Behandlat område förblev fritt från vattenpest under ett års tid. Uppnådda resultat är på denna punkt överensstämmande med uppgifter från utlandet.

Cirka 1/2 år gamla yngel av karp tålde väl en paraquatkoncentration om 20 mg/l effektiv kemikalie, men koncentrationen 200 mg/l effektiv kemikalie bara under cirka 1,6 dygn. Utländska

uppgifter gör gällande, att letalkoncentration för öring i medeltal är cirka 25 mg/l effektiv substans, vid vilken koncentration fisken död inom 96 timmar. Hittills utförda försök tyder på, att den akuta letala koncentrationen för fisken är avsevärt högre än vad som behövs för bekämpningen av vattenvegetation. Säkerhetsmarginalen är cirka 20—40-dubbel.

Behandling med paraquat åstadkom avsevärda förändringar i växtplanktonets sammansättning. Behandlingen förstörde den tidigare växtplanktonmassan till stor del inom tre dygn. Det uppkomna tomrummet fylldes dock på nytt relativt snabbt, inom 10 dygn. Det nya planktonet hade

dock i hög grad annan sammansättning än det ursprungliga. Litteraturen ger antydning om liknande observationer.

Paraquatbehandlingen konstaterades inkränkta starkt på vattnets syreförråd. Syresvinnet föranleddes sannolikt av den döda växtmassans upplösning. Syreminimum inträdde inom 3—10 dygn efter behandlingen. Halten av fritt syre återställdes till normal nivå inom 10—19 dygn efter behandlingen. Dessa samt utländska observationer tyder på, att uppkomsten av syreminimum samt återställandet av syrebalansen bl.a. beror på mängden dött och sönderfallande växtmaterial samt möjligen även dettas kvalitet, rådande väderleksförhållanden samt framförallt vattentemperaturen.

Kvarvarande rester av paraquat i vattnet undersöktes med biologiska metoder med utnyttjande av den för paraquat känsliga andmaten (*Lemna minor*). Paraquatlösningens dödande effekt på försöksväxterna upphörde fullständigt inom 4—6 dygn. Hur snart effekten försvann syntes bero utom på den ursprungliga paraquatkoncentrationen också på vattentemperaturen.

Vid kemiska analyser av paraquatets kvardröjande konstaterades detta försvinna inom cirka 5

dygn efter behandlingen, då doseringen omfattat 1 000—10 000 g/ha effektiv substans.

De försök rörande den aktuella kemikalien som här presenterats är till sin natur vägvisande, men de erhållna resultaten motiverar ännu inte att långt gående slutsatser dras rörande paraquatets lämplighet för ofarlig bekämpning av vattenpest. Paraquatets goda effekt på bestånd av vattenpest har klart framgått av försöken, men kemikalien toxikologiska egenskaper bör bli föremål för vidare undersökningar. Vid undersökningarna bör uppmärksamhet särskilt fästas vid den hastighet med vilken paraquatet försvinner i olika vattendrag, dess absorption i levande växtmassa, ämnets förekomst i fisk och botten-djur som fisken utnyttjar som näringsobjekt samt i bottenlammet lika väl som ämnets adsorption på fasta ämnen i vattnet. Vidare borde utredas vilken betydelse ljuset har för snabbheten av paraquatets fotokemiska sönderfall i olika vattendrag. Ytterligare borde utredas egenskaperna hos det paraquat som vid analys påträffas i växter och djur, framförallt då ämnets aktivitet, farlighet och möjligen dess kemiska struktur.

IX. SUMMARY: THE INFLUENCE OF PARAQUAT, A HERBICIDE USED IN AQUATIC WEED CONTROL, UPON FISH, PHYTOPLANKTON AND THE OXYGEN CONTENT OF WATER, AND ITS DISAPPEARANCE FROM THE WATER

In this paper an account is given of some trials made in Finland in the years 1963—66 with paraquat as a means of controlling Canadian pondweed (*Elodea canadensis*, L. C. RICH.). The results are as follows:

Complete control of *Elodea* has been obtained by using paraquat at rates of 0.5—1.0 mg/litre a.i.

Some investigations on the acute toxicity of paraquat to fish have been made. Young carp (*Cyprinus carpio* L.) aged about 6 months seem well able to tolerate a paraquat concentration of 20 mg/l a.i., a concentration 20—40 times as

strong as is required for the effective control of *Elodea*. Paraquat in a concentration of 200 mg/l a.i. may kill the test animals within 1.6 days.

Special investigations have been made in Finland on the secondary effects of paraquat on water:

— The effect of paraquat on the character of the phytoplankton is obvious. The original phytoplankton may be partially or completely destroyed within three days after treatment, but recovery may take place ten days after treatment. The composition of the new phytoplankton may differ essentially from the original one.

— Paraquat treatment seems in general to lead to strong consumption of free oxygen in the water. The minimum oxygen content in the water tends to be reached 3 to 10 days after treatment. In all probability, the rate of oxygen consumption depends largely on the temperature of the water. The content of free oxygen in the water may revert to the normal level 10 to 19 days after treatment. In 1966, investigations carried out in Finland revealed that the free oxygen and the quantity of phytoplankton had recovered ten days after treatment.

— Investigations on paraquat residues in the water have been carried out in Finland using a biological method and chemical analysis. In the biological tests *Lemna minor* L. was used as test plant. The fatal effect of paraquat solution on

Lemna completely disappeared when the solution was 4—6 days old. Chemical analyses showed that the paraquat concentration in the water had fallen to less than 0.001 mg/litre a.i. 5 days after the solution was made up and this concentration was not detected by analysis. The original rates used in these investigations were 1 000 and 10 000 g/ha a.i. (1 mg/l a.i.).

The trials made in Finnish conditions are orientative in character. No final conclusions can be drawn from these results regarding to safety of using paraquat for control of Canadian pondweed in waters. The good effect of paraquat on *Elodea* has been verified, but further trials regarding the toxicological properties of this herbicide in water, in plants, in mud, in bottom animals and fish are necessary.

KIRJALLISUUS

- ANDERSSON, Å., 1965: Vegetationen i vattendrag, speciellt öppna diken, och dess bekämpning med kemiska medel. — Grundförbättring 1, Särtryck, 63 p.
- AUSTIN, W. G. L., 1963: Control of aquatic weeds. — Outlook on agriculture, VI, 1, 35—43.
- AUSTIN, W. G. L. & CALDERBANK, A., 1964: Diquat and paraquat: Residues in water and toxicity to fish and other aquatic fauna. — I.C.I. Ltd. and Plant Protection Ltd., Exp.Rep. PP/E/303. (Available at Inst. Limnol. Univ. Helsinki).
- CARTER, L., 1963: The toxicity to fish of paraquat & diquat formulations. — (A letter from L. Carter, Sept. 11. 1963, a copy available at Inst. Limnol. Univ. Helsinki).
- HIITONEN, I., 1933: Suomen Kasvio. — 771 p. Helsinki.
- HOWE, D.J.T. & WRIGHT, N., 1965: The toxicity of paraquat and diquat. — Repr. from Proc. of the 18 th N. Z. Weed & Pest Contr. Conf., 105—114. (Available at Inst. Limnol. Univ. Helsinki).
- LEWIS, R. H., 1959: Survival of Chinook Salmon in FB. 2 Bioassays. — (A letter from R. H. Lewis, July 28. 1959, a copy available at Inst. Limnol. Univ. Helsinki).
- MERCK, A., 1964: Gramoxone. Toxicity testing. Expert opinion. — (A letter from A. Merck, 24. 3. 1964, a copy available at Inst. Limnol. Univ. Helsinki).
- MOORE, N. W., 1962: Diquat and Paraquat, Tests on Aquatic Animals. — (A letter from N. W. Moore, 21. 12. 1962, a copy available at Inst. Limnol. Univ. Helsinki).
- MORTIMER, C. H., 1956: The oxygen content of air-saturated fresh waters, and aids in calculating the percentage saturation. — Mitt. intern. Ver. Limnol. 6.
- SILVO, O., 1962: Haitallisten vesikasvien torjunnasta. — Vesitalous 1, 16—17, 19, engl. ref. 33.
- 1963: Vesirikkakasvien torjunnasta. — Vesitalous 1, 22—25, engl. ref. 28.
- 1967 a: Vesikasvien käyttömahdollisuuksista jätevesien puhdistamiseksi. — Vesitalous 2, 26—27, engl. ref. 32.
- 1967 b: Alustavia tutkimuksia eräiden herbisidien myrkyllisyydestä nuotille karpin poikasille (*Cyprinus carpio* L.) — Suomen kalatalous 32, 1—28.
- YOUNGER, R. R., 1958: A preliminary report on controlling aquatic vegetation in New Jersey with Kuron. — Down to Earth, Spring, 2—3.

Taulukko 1. Endotaalin, dikvatin ja parakvatin teho vesiruttokasvustossa. Vertaileva tehokoe Lohjalla, Porlan kalanviljelylaitoksella 22. 8. 1963.

Tabell 1. Effekten på vattenpestvegetationen av endotal, diquat och paraquat. Jämförande prov av effekten vid Porla fiskodling i Lojo 22. 8. 1963.

Table 1. Effects of endotal, diquat and paraquat on Canadian pondweed. Comparison of three chemicals in a trial at Porla fish-breeding establishment, Lohja, Finland, 22. 8. 1963.

Kemikaali ja käyttöväkevyys, mg/l tehoainetta Kemikalie och koncentration av effektiv substans, mg/l Chemical and rate, mg/l a.i.	Valmiste ja käyttö-määrä, l/ha 1 m syvyydessä edessä Preparat och dosering, l/ha vid vattendjupet 1 m Product and dosage, lbs/ha in water 1 m deep	Teho-% Effektivi- vitets-% Control % 29. 9. 1963	Teho-% Effektivi- vitets-% Control % 5. 6. 1964
diquat 0,5	Reglone 25	100	100
» 1,0	» 50	100	100
endotal 0,6	Aquathol 25	0	0
» 1,2	» 50	0	0
paraquat 0,5	Gramoxone 25	100	100
» 1,0	» 1) 50	100	100

1) Tyhjennettäessä lammikko syksyllä 1963 oli vesirutto hävinnyt täysin noin 1 aarin laajuiselta alueelta, vaikka käsitelty koeruutu oli laajuudeltaan vain 16 m².

1) Vid tömningen av dammen hösten 1963 hade vattenpesten fullständigt försvunnit inom ett område om cirka 1 ar, ehuru den behandlade försöksrutan mätte bara 16 m².

1) The width of the treated plots in this trial was only 16 m². When the fish-pond was emptied in autumn 1963, the Canadian pondweed had completely disappeared from an area of about 100 sq.m.

Taulukko 2. Noin 1/2 vuoden ikäisten karpin poikasten (*Cyprinus carpio* L.) parakvatinkestävyyks vedessä.

Tabell 2. Toleransen för paraquat i vatten hos cirka halvårs gammalt yngel av karp (*Cyprinus carpio* L.).

Table 2. The tolerance of 1/2 years old carp (*Cyprinus carpio* L.) to paraquat in water.

Parakvatti-ionia mg/l Paraquatjoner mg/l Paraquat ions mg/l	Gramoxone-valmistettu ml/l Preparatet Gramoxone ml/l Gramoxone ml/l	Karpin poikasten keskimääräinen elinaika, vrk Karpynglens överlevnad i medeltal, dygn Survival time of young carp approximately, days
10	0,05	29
20	0,10	29
100	0,50	3,4
200	1,00	1,6
2 000	10,00	24 min.
Kontrolli		
Kontroll	0,00	29 1)

1) Koe lopetettiin 29 vrk:n kuluttua

1) Försöket avslutades efter 29 dygn

1) Test interrupted after 29 days

Taulukko 3. Happitilanteen kehitys eräässä Porlan kalanviljelylammikossa Lohjalla 1964. Lammikon vesi oli käsitelty käyttämällä parakvattia 1,9 mg/l tehoainetta.

Tabell 3. Syresituationens utveckling i en med paraquat behandlad damm vid fiskodlingen i Porla, Lojo år 1964. Vattnet i dammen hade tillförts 1,9 mg/l effektiv kemikalie.

Table 3. Changes in oxygen content in a pond at the fish-breeding establishment at Porla, Lohja, 1964. The water of the pond was treated with paraquat at a rate of 1.9 mg/l a.i.

Päivämäärä Datum	Vrk käsitellyttä Dygn efter behandlingen Days after treatment	C°	O ₂ mg/l	Kyllästysaste, % ¹⁾ Mättnadsgrad, % ¹⁾ Degree of oxygen saturation, % ¹⁾
19. 8. 1964	0	18,8	9,4	103
25. 8. 1964	6	17,0	1,3	14
29. 8. 1964	10	16,9	1,0	11
7. 9. 1964	19	13,2	10,6	104

1) (MORTIMER 1965)

Taulukko 4. Happitilanteen kehitys parakvatilla käsitellyssä lammikossa Porlan kalanviljelylaitoksella Lohjalla 1966. Lammikon vesi oli käsitelty käyttämällä parakvattia 1,9 mg/l tehoainetta.

Tabell 4. Syresituationens utveckling i en med paraquat behandlad damm vid fiskodlingen i Porla, Lojo år 1966. Vattnet i dammen hade tillförts 1,9 mg/l effektiv kemikalie.

Table 4. Changes in oxygen content in a pond at the fish-breeding establishment at Porla, Lohja, Finland in 1966. The water of the pond was treated with paraquat at a rate of 1.9 mg/l a.i.

Päivämäärä Datum	Vrk käsitellyttä Dygn efter behandlingen Days after treatment	C°	O ₂ mg/l	Kyllästysarvo, % ¹⁾ Mättnadsgrad, % ¹⁾ Degree of oxygen saturation % ¹⁾
11. 7. 1966	0	20,3	13,4	152
12. 7. 1966	1	20,0	7,4	84
13. 7. 1966	2	19,8	2,6	29
14. 7. 1966	3	19,6	0,9	10
15. 7. 1966	4	20,6	1,4	16
16. 7. 1966	5	20,6	1,6	18
17. 7. 1966	6	21,8	2,4	28
18. 7. 1966	7	20,9	1,2	14
19. 7. 1966	8	22,2	1,7	20
20. 7. 1966	9	22,4	3,7	44
21. 7. 1966	10	25,7	8,1	101
22. 7. 1966	11	24,9	6,0	74
23. 7. 1966	12	25,5	6,7	84
24. 7. 1966	13	26,2	6,6	83

1) (MORTIMER 1956)

Taulukko 5. *Lemna minor*-kasvuston elinaika eri-ikäisissä parakvattiliuoksissa.Tabell 5. *Lemna minor*-vegetationens överlevnad i paraquatlösningar av olika ålder.Table 5. *Survival time of Lemna minor in paraquat solutions of various ages.*

Parakvattiliuksen (6 mg/l tehoainetta) ikä, vrk Paraquatlösningens (6 mg/l effektivt kemikalie) ålder, dygn Age of paraquat solution (6 mg/l a.i.), days	<i>Lemna minor</i> -kasvuston elinaika, vrk (18–22° C:n lämpötilassa) <i>Lemna minor</i> -vegetationens livslängd, dygn (temperaturen 18°–22°C) <i>Survival time of Lemna minor (at a temperature of 18–22°C), days</i>
0	7
1	8
2	10
3	10
4	19 ¹⁾
5	19 ¹⁾
kontrolli — kontroll — kontrol	19 ¹⁾

1) Koe lopetettiin 19 vrk:n kuluttua

1) Försöket avslutades efter 19 dygn

1) The test was discontinued after 19 days

Taulukko 6. *Lemna minor*-kasvuston elinaika eri-ikäisissä parakvattiliuoksissa.Tabell 6. *Lemna minor*-vegetationens överlevnad i paraquatlösningar av olika ålder.Table 6. *Survival time of Lemna minor in paraquat solutions of various ages.*

Parakvattiliuksen (20 mg/l tehoainetta) ikä, vrk Paraquatlösningens (20 mg/l effektivt kemikalie) ålder, dygn The age of paraquat solution (20 mg/l a.i.), days	<i>Lemna minor</i> -kasvuston elinaika, vrk (ulkolämpötilassa) <i>Lemna minor</i> -vegetationens livslängd, dygn (i utetemperatur) <i>Survival time of Lemna minor (at outdoor temperature), days</i>
0	7
1	7
2	8
3	8
4	9
5	16
6	24 ¹⁾
kontrolli — kontroll — kontrol	24 ¹⁾

1) Koe lopetettiin 24 vrk:n kuluttua

1) Försöket avslutades efter 24 dygn

1) The test was discontinued after 24 days

Taulukko 7. Parakvatin häviämisenopeus järvi vedessä.

Tabell 7. Förloppet av paraquatets försvinnande i insjövattnet.

Table 7. *Rapidity of disappearance of paraquat in lake water.*

Aika parakvattikäsittelyn jälkeen, vrk Tid efter paraquatbehandlingen, dygn Time after paraquat treatment, days	Jäämät vedessä, parakvatti-ioniä mg/l Rest i vattnet, paraquatjoner mg/l Residues in the water, paraquat ions mg/l	
	1 000 g/ha tehoainetta 1 000 g/ha effektiv substans 1 000 g/ha a.i.	10 000 g/ha tehoainetta (n. 1 mg/l) 10 000 g/ha effektiv substans (cirka 1 mg/l) 10 000 g/ha a.i. (abt. 1 mg/l a.i.)
Ennen käsittelyä — Före behandlingen — Before treatment	0	0
Heti käsittelyn jälkeen — Omedelbart efter behandlingen — Immediately after treatment	0,07	10,0 ¹⁾
1	0,007	0,003
2	0,001	0,004
5	0,001 ²⁾	0,001 ²⁾

1) Teoreettinen konsentraatio 1 mg/l

1) Teoretisk koncentration 1 mg/l

1) Theoretical concentration 1 mg/l

2) Ei todettu

2) Ej påvisad

2) Not detected