

# MAATALOUDEN KUORMITUKSEN REHEVÖITTÄVÄ VAIKUTUS PIENESSÄ JÄRVESSÄ

Lea Kauppi, Olli-Pekka Pietiläinen ja Seppo Knuuttila  
Vesien- ja ympäristöntutkimuslaitos

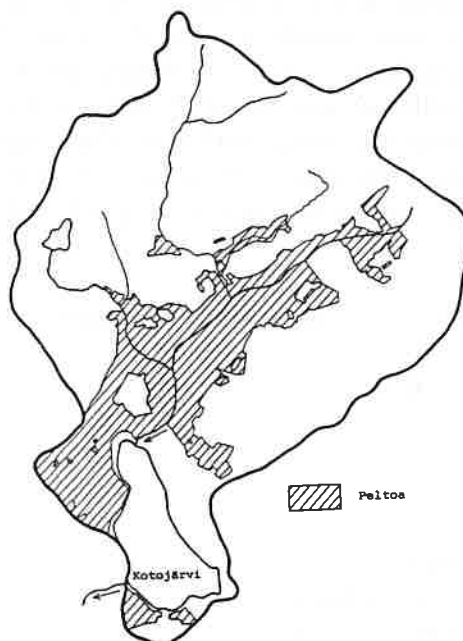
## Johdanto

Maatalouden ravinnekuormituslaskelmia on arvosteltu erityisesti siitä, että kuormituksen vastetta vesistössä ei tunneta; toisin sanoen, ei tiedetä, millaisen rehevyytason tietty kuormitus saa aikaan. Kaksi pääasiallista perustelua sille, että maatalouden rehevöittävä vaikutus suhteessa kuormituksen määrään poikkeaa jätevesikuormituksen vaikutuksista, ovat maatalouden kuormituksen ajoittuminen pääosin kasvukauden ulkopuolelle ja pelloilta tulevan fosforin vähäinen käyttökelpoisuus leville.

Maatalouden kuormituksen vaikutuksia tutkittiin Vihdin Kotojärvessä vuosina 1987 ja 1988. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää järveen tulevan kuormituksen suuruus, kuinka suuri osa siitä pidättyy järveen ja mikä on kuormituksen järveä rehevöittävä vaikutus.

## Tutkimusalue

Kotojärvi on tutkimuskohteena selväpiirteinen, koska kuormitusta tulee lähivaluma-alueen lisäksi vain yhtä puroa myöten (Kuva 1). Koko valuma-alueesta on 19 % viljeltyä. Peltojen pääasialliset maalajit ovat savi ja hiesu (Taulukko 1). Pistemäistä kuormitusta ei valuma-alueella ole.



Kuva 1. Kotojärvi valuma-alueineen.

Taulukko 1. Kotojärven ja sen valuma-alueen ominaisuuksia.

Kaukovaluma-alue	4,69 km <sup>2</sup>
- josta peltoa	15,5 %
Lähivaluma-alue	0,66 km <sup>2</sup>
- josta peltoa	45,5 %
Järven pinta-ala	0,30 km <sup>2</sup>
Tilavuus	7 · 10 <sup>5</sup> m <sup>3</sup>
Keskisyvyys	2,5 m
Suurin syvyys	4,1 m

## Aineisto ja menetelmät

Järveen tuleva vesimäärä laskettiin Vihdissä lähellä Kotojärveä sijaitsevan Kylmänojan hydrologisen havaintoalueen valumien perusteella. Kyseinen valuma-alue on kooltaan, maaperältään ja maankäytöltään hyvin samanlainen kuin Kotojärven valuma-alue. Kalibrointimittaukset osoittivat, että Kylmänojan valumat vastaavat erittäin hyvin Kotojärven alueen valumia. Järven luusuassa olevalla mittapadolla mitattiin vedenkorkeus näytteenottojen yhteydessä. Purkautumiskäyrän avulla laskettiin lähtevät vesimäärät näytteenottopäivien välisille jaksoille kertomalla jakson alku- ja loppupäivän virtaamien keskiarvo jakson pituudella. Haihdunta järven pinnasta arvioitiin Vihdin Class A- astiahaihduntahavaintojen ja Tuusulanjärven haihduntahavaintojen perusteella. Edellä selostettujen menetelmien avulla laskettiin järven vesitase.

Järvelle laskettiin kiintoaineen, kokonaisfosforin, liukoisen fosforin ja kokonaistyppien taseet. Järveen tulevien ainemäärien arvioimiseksi seurattiin tulevan veden laatua ottamalla näytteet automaattisella näytteenottimella virtaamapainotteisesti. Järvestä lähtevästä vedestä otettiin näytteet manuaalisesti keskittyen suuriin virtaamiin. Veden laatua itse järvessä seurattiin ottamalla näytteitä järven syvänteestä 1 ja 3 metrin syvyydestä talvella kerran kuukaudessa, kevättulvan aikana 2 kertaa viikossa sekä kesällä ja syksyllä kerran viikossa. Näytteistä määritettiin lämpötila, happi, pH, kiintoaine sekä fosforin ja typen yhdisteet. Kasviplanktonin biomassan määrittämistä varten otettiin kasvukauden aikana kokoomanäytteet pintakerroksesta, jonka paksuus oli 2 x näkösyvyys. Biomassa määritettiin sekä mikroskopoimalla että a-klorofyllipitoisuusmittauksena.

Sekä tulevat että lähtevät ainemäärät laskettiin seuraavalla yhtälöllä (1):

$$L = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot C_i \cdot dt_i \quad (1)$$

, missä

L = ainekuorma

Q<sub>i</sub> = keskivirtaama jaksolla i

C<sub>i</sub> = pitoisuus jakson i alussa

dt<sub>i</sub> = jakson i pituus näytteenottohetkestä seuraavaan näytteenottohetkeen

n = näytemäärä

Lähivaluma-alueelta tuleva kuormitus arvioitiin olettamalla, että kiintoaineen ja fosforin kuorma peltohehtaarilta on kymmenkertainen metsähehtaarilta tulevaan tulevaan kuormaan verrattuna. Tyypellä vastaava kerroin oli 4,8. Näiden suhdelukujen avulla laskettiin kaukovaluma-alueelta tulevasta ainemäärästä ominaiskuormat pelto- ja metsähehtaarille. Samoja ominaiskuormia käytettiin lähivaluma-alueelle.

## Tulokset ja tulosten tarkastelu

Tutkimusvuodet poikkesivat toisistaan hydrologisesti varsin paljon. Vuonna 1988 keskivaluma oli noin 50 % suurempi kuin vuonna 1987. Tämä heijastui odotetusti myös ainevirtaamissa, erityisesti typpimäärissä.

### Fosforitase

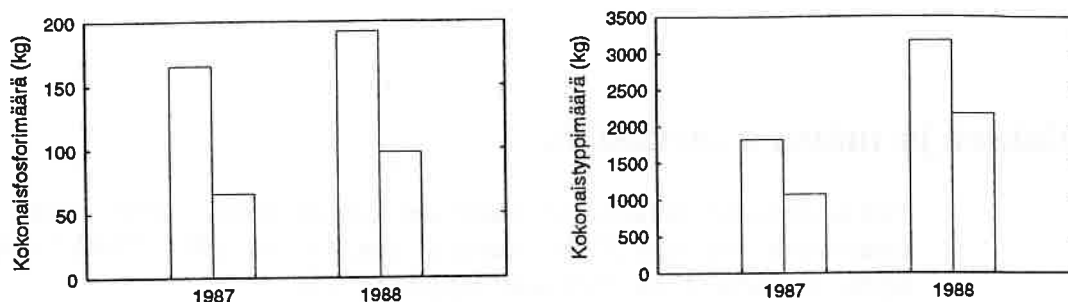
Kotojärveen tuli valuma-alueelta fosforia vuonna 1987 160 kg ja vuonna 1988 190 kg. Keskimäärin peltohehtaarilta huuhtoutui tänä aikana 1,2 kg fosforia vuodessa, mikä vastaa hyvin Rekolaisen (1989) pienille valuma-alueille esittämää arviota. Kuormitus painottui kevääseen ja syksyyn eli noudatti melko tarkkaan virtaaman vaihtelua. Noin kymmenesosa fosforikuormasta oli liukoista fosfaattifosforia.

Järveen pidättyi taselaskelmien mukaan keskimäärin 54 % tulevasta kokonaisfosforikuormasta (Kuva 2). Tämä on hieman enemmän kuin kahdessa muussa MAVERO-tutkimusjärvessä (Knuutila 1992). Kiintoaineen pidättymisessä erot olivat paljon suuremmat: Kotojärveen kiintoaineesta pidättyi 90 %, Villikkalanjärveen ja Pyhäjärveen alle puolet tulevasta kiintoainekuormasta. Tämä osoittaa, että Kotojärveen tuleva kiintoaine on karkeampaa ja sisältää vähemmän fosforia kuin muissa MAVERO-järvissä. Myös sedimenttien ravinnepitoisuudet viittasivat samaan. Kotojärven valuma-alue on paljon pienempi kuin Villikkalan- ja Pyhäjärven valuma-alue eikä karkeakaan maa-aines välttämättä pidäty lyhyen kulkeutumisen aikana.

Liukoisen reaktiivisen fosforin tulevasta kuormasta pidättyi Kotojärveen taselaskelmien mukaan 48 %. Pääasiallinen pidättymismekanismi lienee sitoutuminen kasviplanktonbiomassaan ja sedimentoituminen sen mukana. Vedessä oleva kiintoaine voi myös sitoa valuma-alueelta tulevaa liukoista fosforia, mikäli liukoisen ja sitoutuneen fosfaatin määrät eivät ole vielä tasapainottuneet valuma-alueella.

Järven vesimassan fosforisisältö ei oleellisesti muuttunut tutkimusjakson aikana. Järveen pidättynyt fosfori on näin ollen sitoutunut pohjasedimenttiin. Sedimentti muodostaakin merkittävän potentiaalisen fosforilähteen Kotojärvässä. Sen aiheuttama sisäinen kuormitus voi olla sopivissa olosuhteissa erittäin suuri. Kotojärven kaltaisissa, matalissa, rehevissä järvissä kasviplanktonituotanto voi kesäaikana nostaa pH:n jopa yli 9:ään. Tällöin fosforia vapautuu desorptioprosessin kautta. Vuonna 1988, jolloin tuotanto oli korkea, arvioitiin pH:n nousun voineen vapauttaa jopa yli 100 kg liukoista fosforia. Määrä on viisinkertainen liukoisen fosforin ulkoiseen kuormitukseen verrattuna ja tulee lisäksi järveen keskellä kasvukautta.

Erityisen intensiivistä fosforin vapautuminen voi olla, jos pohjanläheisestä vesikerroksesta loppuu happi. Näin tapahtui heinäkuussa 1988, jolloin Kotojärvi kerrostui noin kolmen viikon ajaksi. Veden fosfaattipitoisuuksien perusteella arvioitiin tänä aikana vapautuneen 20 kg liukoista fosforia. Pääosa tästä vapautui viimeisen viikon aikana, jolloin hapettomuus ulottui laajimmalle.



Kuva 2. Kotojärveen tuleva (vasen pylväs) ja sieltä lähtevä (oikea pylväs) fosfori- ja typpimäärä vv. 1987–1988.

## Typpitase

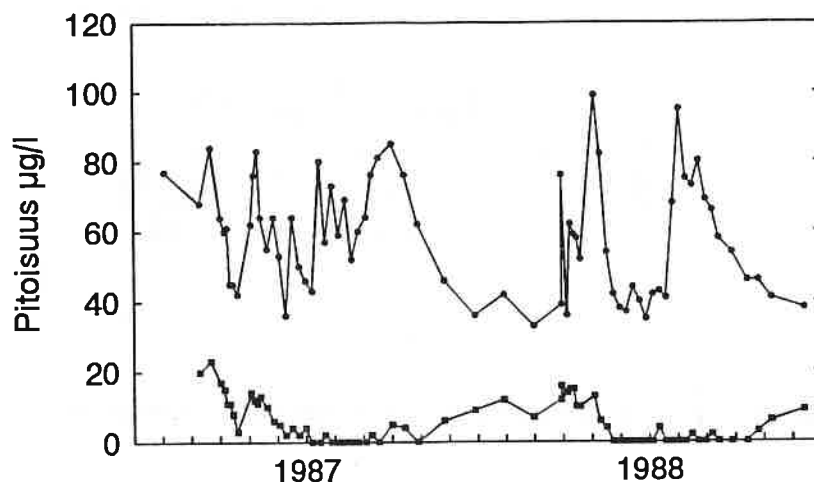
Kotojärveen tuleva typpikuorma oli vuonna 1988 3200 kg, eli lähes kaksinkertainen verrattuna vuoden 1987 kuormaan (1800 kg). Alkutilan suuret valumat toivat huomattavan osan vuoden 1988 kuormasta. Järveen pidättyi keskimäärin vain 35 % sinne tulleesta typpimäärästä (Kuva 2). Koska vesimassan typpisisältö ei juurikaan muuttunut tutkimusjakson aikana, suurin osa pidättyneestä tpestä todennäköisesti vapautui denitrifikaation kautta ilmakehään. Esimerkiksi Villikkalanjärvessä arvioitiin denitrifikaation vastanneen lähes 90 %:sta vuotuisesta typen vähenemästä (Knuutila ym. 1992).

## Ravinnepitoisuudet

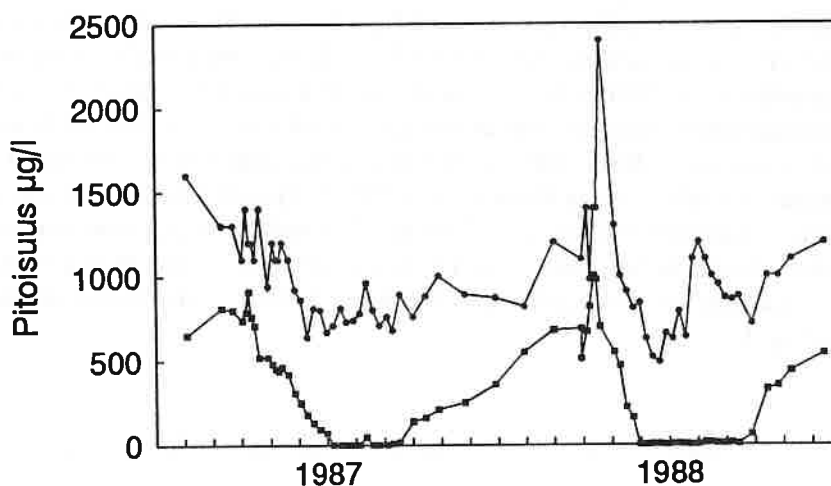
Järven ravinnepitoisuudet eivät vaihdelleet syvyyden suhteen, lukuunottamatta lyhyttä jaksoa heinäkuussa 1988, jolloin järvi kerrostui. Tästä aiheutunut pohjan läheisen vesikerroksen hapettomuus sai aikaan liukoisen fosforin vapautumista sedimentistä, mikä näkyi kohonneina fosforipitoisuuksina 3 m:n näytteissä.

Fosforipitoisuuksien perusteella Kotojärvi voidaan luokitella reheväksi esimerkiksi OECD:n (1982) luokituksen mukaan: pintakerroksen kokonaisfosforipitoisuus vaihteli välillä 33–99  $\mu\text{g l}^{-1}$ , mediaanin ollessa 59  $\mu\text{g l}^{-1}$ . Selvää vuodenaikaisvaihtelua ei esiintynyt (Kuva 3). Sen sijaan liukoisen fosforin pitoisuus oli kasvukauden ulkopuolella selvästi korkeampi kuin kesällä, jolloin kasviplankton sitoi sen tehokkaasti biomassaan. Tällöin pitoisuus oli lähes jatkuvasti alle määritystarkkuuden alarajan.

Kokonaistypen pitoisuudet olivat yleensä korkeimmillaan keväällä ja syksyllä suurten valumien aikana. Vaihteluväli oli 490–2400  $\mu\text{g l}^{-1}$  ja mediaani 940  $\mu\text{g l}^{-1}$  (Kuva 4). Nitraattityppi kului nopeasti loppuun kasvukauden alussa. Vuonna 1987 tämä tapahtui kesä–heinäkuun vaihteessa, vuonna 1987 jo kuukautta aikaisemmin. Vasta syyskuussa nitraattia alkoi taas esiintyä mitattavia määriä.



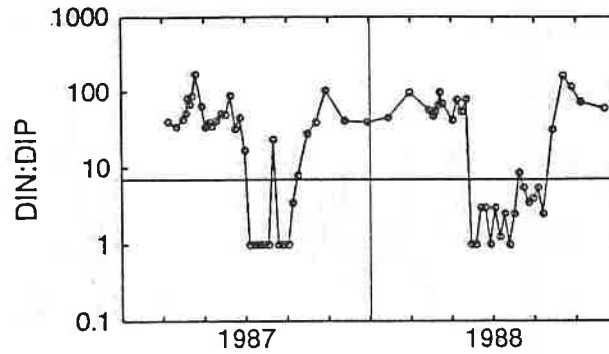
Kuva 3. Kokonaisfosforin (●) ja liukoisen reaktiivisen fosforin (■) pitoisuudet Kotojärven pintakerroksessa vuosina 1987 ja 1988.



Kuva 4. Kokonaistypen (●) ja nitraattitypen (■) pitoisuudet Kotojärven pintakerroksessa vuosina 1987 ja 1988.

Leväsolut sisältävät typpeä ja fosforia painosuhteessa 7:1, kun kumpaakin ravinnettä on riittävästi tarjolla. Veden liukoisten epäorgaanisten ravinteiden suhteen katsotaankin kuvaavan suhteellisen hyvin sitä, kumpi ravinne rajoittaa kasviplanktonin kasvua. Typen oletetaan rajoittavan kasvua, kun suhde on alle 7.

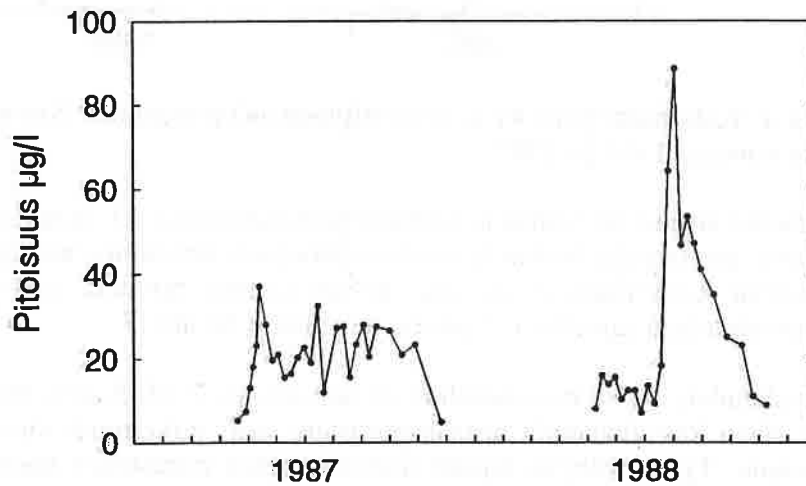
Kasvukauden alussa ravinnesuhde oli selvästi yli 7, eli fosfori rajoitti levien kasvua. Sen sijaan kasvukaudella nitraattipitoisuus laski jyrkemmin kuin liukoisen fosforin pitoisuus. Typen vähyys rajoitti ravinnesuhteen perusteella kasviplanktonin kasvua vuonna 1987 heinäkuun alusta ja vuonna 1988 kesäkuun alusta syyskuun puoliväliin (Kuva 5).



Kuva 5. Epäorgaanisen typen ja fosforin suhde Kotojärnessä vuosina 1987 ja 1988.

### Kasviplanktonin biomassa ja lajikoostumus

Kasviplanktonbiomassojen perusteella Kotojärvi sijoittuu OECD:n (1982) luokituksessa erittäin rehevään luokkaan. Kahden tutkimusvuoden a-klorofyllipitoisuuksien keskiarvo oli  $26 \mu\text{g l}^{-1}$ . Vuonna 1987 suurimmat biomassat havaittiin toukokuussa, jolloin a-klorofyllipitoisuus oli  $37 \mu\text{g l}^{-1}$ . Kesällä ei selviä biomassahuippuja esiintynyt (Kuva 6). Sen sijaan vuonna 1988 havaittiin erittäin voimakas biomassamaksimi heinäkuussa. Tällöin lajisto koostui suureksi osaksi tyypeä sitovista sinilevistä. Sääolot poikkesivat tutkimusvuosina selvästi toisistaan: kesä 1987 oli keskimääräistä kylmempi ja sateinen, kesä 1988 puolestaan ennätysellisen lämmin ja kuiva. Kesällä 1988 esiintyi lisäksi useita suhteellisen pitkiä, tyyniä jaksoja, jolloin järveden lämpötila nousi korkeimmillaan  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ :seen. Kun sedimentistä samanaikaisesti vapautui runsaasti fosforia hapettomuuden seurauksena (ks. Fosforitase), olosuhteet muodostuivat sinileväkukinnalle edullisiksi. Korkein mitattu klorofyllipitoisuus oli tällöin  $89 \mu\text{g l}^{-1}$ .



Kuva 6. Kotojärven a-klorofyllipitoisuus vuonna 1987 ja 1988.

## Johtopäätökset

Kotojärvi pidätti tehokkaasti valuma-alueelta tulevaa kiintoainetta ja fosforia. Koska fosfori pidättyi tehokkaammin kuin typpi, järvi muutti ravinnesuhdetta typpirajoitteeseen suuntaan.

Järven rehevyydystason kannalta liukoisen fosforin kuormituksella on ratkaiseva merkitys. Valuma-alueelta tulevan ulkoisen kuormituksen lisäksi sisäinen kuormitus oli Kotojärvessä kesäaikana erittäin merkittävää. Sedimentistä vapautuva fosfori muutti olosuhteet sinileväkukinnalle suotuisiksi.

Veden sameus on tyypillistä maatalouden kuormittamille vesistöille. Erityisesti hienojakoinen kiintoaine säätelee fosforin käyttökelpoisuutta sitomalla tai vapauttamalla fosfaattifosforia olosuhteista riippuen. Todennäköisesti savisameassa järvessä liukoisen fosforin pitoisuuden perustaso määräytyykin kuormituksen lisäksi pitkälti kiintoaineen määrän ja ominaisuuksien perusteella.

Kotojärven tapaisissa järvissä, joissa sisäisen kuormituksen merkitys on suuri, ulkoisen kuormituksen vähentäminen ei välttämättä paranna vesistön tilaa oleellisesti ainakaan lyhyellä aikavälillä. Samanaikaisesti olisikin vähennettävä myös sisäistä kuormitusta esimerkiksi estämällä alusveden hapettomuus.

## Kirjallisuus

- Knuuttila, S., Kallio, K. & Salo, S. 1992. Ravinnetaseet ja rehevöityminen maatalouden kuormittamissa järvissä. Rekolainen, S. & Kauppi, L.(toim). Maatalous ja vesien kuormitus. Yhteistutkimusprojektin tutkimusraportit. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 359.
- OECD 1982. Eutrophication of waters: monitoring, assessment and control. Pariisi. 154 s.
- Rekolainen, S. 1989. Phosphorus and nitrogen load from forest and agricultural areas in Finland. Aqua Fennica 19,2: 95-107.

Faint paragraph of text at the top left of the page.

Second faint paragraph of text in the upper section.

Third faint paragraph of text in the upper section.

Fourth faint paragraph of text in the upper section.

Faint paragraph of text at the top left of the lower section.

Second faint paragraph of text in the lower section.