

REHEVYYSTASON RIIPPUVUUS KUORMITUKSESTA KAHDESSA MAATALOUDEN KUORMITTAMASSA JÄRVESSÄ

Kari Kallio
Vesien- ja ympäristöntutkimuslaitos

Johdanto

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää maatalouden kuormittamien järvien rehevyystason muuttumista, kun ulkoista ravinnekuormitusta vähennetään. Arviointi tehtiin sekä matalassa järvessä että syvässä, selvästi kerrostuvassa järvessä. Arvioinnissa käytettiin simulointimallia, jolla kuvataan järven hydrodynamiikkaa ja veden laatua. Tässä lähestymistavassa malli sovitetaan ensin kohdejärveen sisällyttämällä mallin rakenteeseen oleelliset järven tilaan vaikuttavat prosessit ja säätämällä mallikertoimet. Tämän jälkeen mallilla voidaan arvioida yksittäisen tekijän merkitystä järven nykytilan säätelijänä ja jonkin tekijän, esimerkiksi kuormituksen, muuttamisen vaikutusta järven tilaan.

Kohdejärvet

Tutkimusjärvinä oli kaksi MAVERO-tutkimuksen järveä: Villikkalanjärvi ja Pyhäjärvi. Järvet sijaitsevat Artjärven kunnassa itäisellä Uudellamaalla ja Villikkalanjärvi laskee Pyhäjärveen. Molemmat järvet ovat savisameita ja reheviä, mutta ne poikkeavat hydrografisilta ominaisuuksiltaan selvästi toisistaan (taulukko 1). Villikkalanjärvi edustaa matalaa järveä, joka kerrostuu kesällä vain ajoittain. Pyhäjärven läntinen pää on poikkeuksellisen syvä ja itäosa on puolestaan matala. Keskisyyvydeltään Pyhäjärvi on Suomen syvin järvi. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan järven syvää osaa.

Taulukko 1. Tutkimusjärvien ominaisuuksia.

	Pinta- ala km ²	Suurin syvyys m	Keski- syvyys m	Teor. viipymä a	Kok. fosfori- pitoisuus µg l ⁻¹
Villikkalan- järvi	7,1	10	3,2	0,2	115
Pyhäjärvi	12,9	68	21	2	75

Järvien kokonaisfosforin kuormituksesta on noin 70 % peräisin peltoviljelystä. Järviin ei ole kohdistunut missään vaiheessa merkittävää jätevesikuormitusta.

Järvien ominaisuuksia, kuormitusta ja eri prosessien merkitystä on tarkemmin kuvattu MAVERO-tutkimuksessa 'Ravinnetaseet ja rehevöityminen maatalouden kuormittamissa järvissä'.

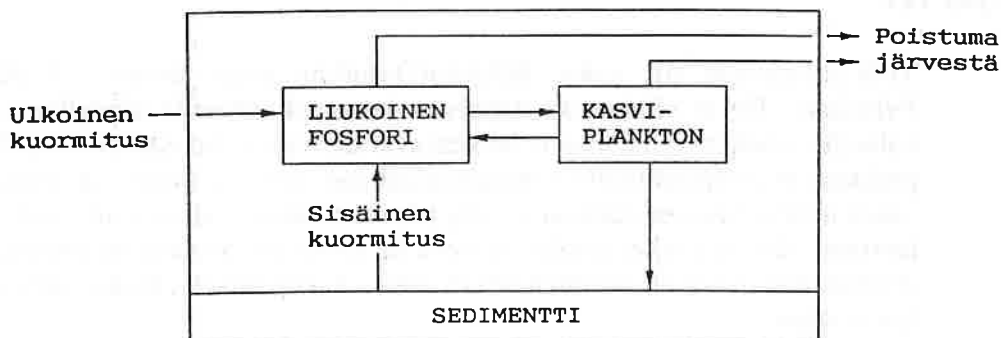
Mallin kuvaus ja sovittaminen kohdejärviin

PROBE-malli

Tutkimuksessa käytettiin Ruotsissa kehitettyä hydrodynaamista PROBE-mallia (Svensson 1978), johon on Suomessa liitetty vedenlaatuosa (Malve ym. 1991). Mallissa järvi jaetaan tasapaksuihin kerroksiin, jotka oletetaan horisontaalisuunnassa tasalaatuisiksi. Malli tulostaa lämpötilan ja vedenlaadun jakautumisen vertikaalisuunnassa kerran päivässä. Tarvittavat syöttötiedot ovat sää-, virtaama- ja allastiedot sekä järveen tuleva kuormitus.

Hydrodynaaminen osa laskee yksityiskohtaisesti järven lämpötiloutta ja vertikaalista sekoittumista, jotka ovat oleellisia veden laadun kannalta.

Vedenlaatuosa sisältää seuraavat muuttujat: liukoinen fosfori ja kasviplanktonbiomassaa kuvaava a-klorofylli ja happi. Mallissa klorofyllipitoisuus riippuu mm. liukoisesta fosforista ja lämpötilasta. Liukoiseen fosforiin vaikuttaa ulkoinen kuormitus, sitoutuminen kasviplanktoniin sekä aerobinen ja anaerobinen vapautuminen sedimentistä (kuva 1).



Kuva 1. Kasviplanktoniin ja liukoiseen fosforiin vaikuttavat päätekijät mallissa.

Se kumpaa vapautumismuotoa tapahtuu tietyllä hetkellä riippuu ns. kriittisestä happipitoisuudesta, joka annetaan mallissa syöttötietona. Aerobisen vapautumisen katsotaan kuvaavan resuspensiossa, bioturbaatiossa ja aerobisissa oloissa kemiallisesti vapautuvaa liukoisen fosforin kokonaismäärää. Molempien vapautumismuotojen nopeudet annetaan mallissa syöttötietoina.

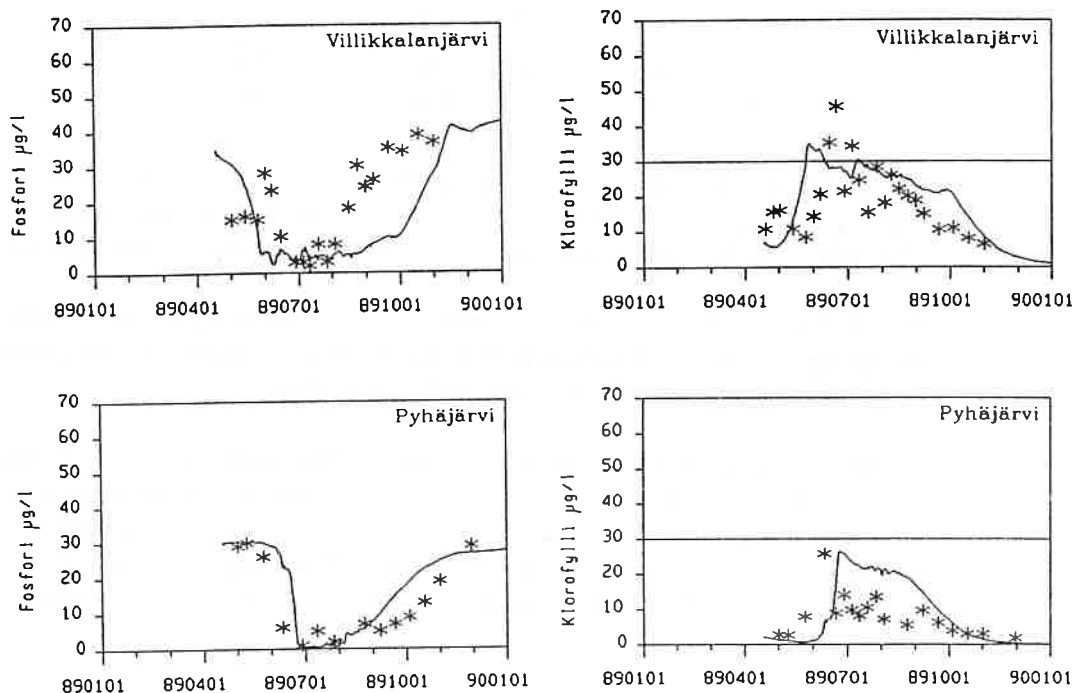
Sovittaminen järviin

Mallia sovellettiin kohdejärviin vuosien 1989 ja 1990 aineistoilla. Hydrodynaaminen malli kuvasi molemmissa järvissä hyvin lämpötilaa ja kerrostuneisuutta. Vedenlaatu-mallissa tarvittavien kertoimien vaihtelurajat määritettiin kirjallisuudesta. Tämän

jälkeen säädettiin kertoimet vaihtelurajojen puitteissa siten, että simuloitujen tulokset vastasivat mahdollisimman hyvin havaintoja. Lisäksi klorofyllin laskentaan liittyvien kertoimien ei annettu oleellisesti poiketa eri järvissä, jotta riippuvuus liukoisesta fosforista olisi sama.

Matalassa järvessä on erityisenä vaikeutena fosforin sisäisen kuormituksen määrittäminen, sillä sen mittaaminen järvessä on hankalaa. Villikkalanjärven sovelluksessa sisäinen kuormitus määritettiin lisäämällä sitä, kunnes simuloitujen klorofyllipitoisuudet vastasivat havaintoja.

Havaittuja ja mallilla laskettuja pitoisuuksia on vertailtu kuvassa 2. Villikkalanjärvellä simuloitujen klorofyllipitoisuudet vastaavat kohtuullisesti havaintoja. Liukoinen fosforin laskennassa on ongelmana se, että malli ei pysty kuvaamaan havaittua pitoisuuden nousua noin $35 \mu\text{g l}^{-1}$:n perustasolle elo-lokakuussa. Tälle fosforitason aikaiselle nousulle ei tutkimuksissa löytynyt selitystä.



Kuva 2. Havaitut (*) ja mallilla lasketut (—) liukoisen fosforin ja a-klorofyllin pitoisuudet tutkimusjärvissä vuonna 1989. Vertailun helpottamiseksi klorofyllikuviin on merkitty $30 \mu\text{g l}^{-1}$:n pitoisuustaso.

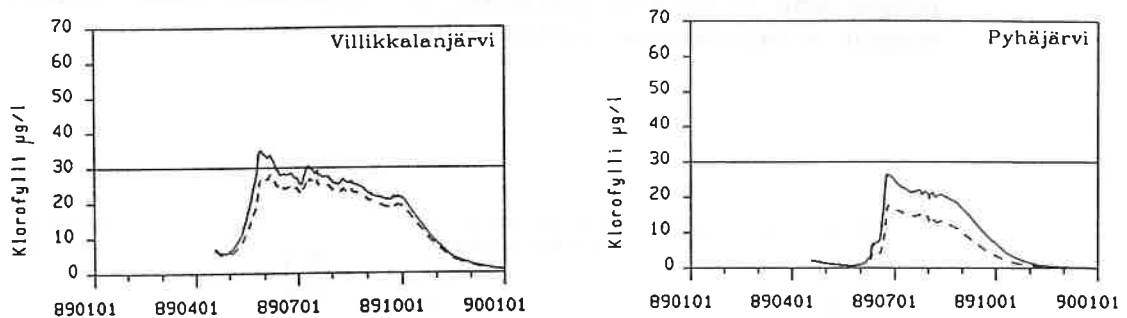
Pyhäjärvellä on klorofyllin laskennassa ongelmana pitoisuushuipun ajoituksen myöhästymisen ja että pitoisuus ei laske huipun saavuttamisen jälkeen yhtä nopeasti kuin havaintojen perusteella. Mallin sovittamista Pyhäjärveen ei ollut tutkimuksen aikataulun puitteissa mahdollista jatkaa pidempään. Malli tulostaa kuitenkin pitoisuushuipun tason hyvin.

Yhteenvedona voidaan todeta, että malli kuvaa järvien rehevyyttä kohtuudella tarkkuudella.

Rehevyytason riippuvuus kuormituksesta

Ulkoisen kuormituksen vähentäminen

Rehevyytason muuttumista järvissä arvioitiin tilanteessa, jossa ulkoinen liukoisen fosforin kuormitus vähenisi 35 % (kuva 3). Tämä vastaisi peltokuormituksen vähenemistä järvien valuma-alueella 50 %:lla, kun liukoisen fosforin kuormituksen oletetaan jakautuvan eri kuormituslähteiden kesken samalla tavoin kuin kokonaisfosforin.



Kuva 3. Klorofyllipitoisuus Villikkalanjärvessä ja Pyhäjärvässä nykytilassa vuonna 1989 (—) ja jos liukoisen fosforin ulkoinen kuormitus vähenisi 35 % (----). Vertailun helpottamiseksi kuviin on merkitty 30 µg l⁻¹:n pitoisuustaso.

Villikkalanjärven rehevyytason suhteellisesti pienempi väheneminen Pyhäjärveen verrattuna johtuu sisäisestä kuormituksesta: sedimentistä vapautuu pitkin kasvukautta fosforia, jota kasviplankton käyttää kasvuunsa.

Uuden tasapainon saavuttamiseen kuluva aika uudessa kuormitustilanteessa eroaa huomattavasti järvien välillä. Villikkalanjärvi koko vesimassa vaihtuu yleensä syys- tai kevättulvan aikana. Pyhäjärven teoreettinen viipymä on kaksi vuotta. Mallilla arvioituna Pyhäjärvi saavuttaa kuitenkin uuden tasapainotilan vasta noin 6 vuoden kuluttua, sillä järven koko vesimassa sekoittuu vain kevät- ja syystäyskiertojen aikana.

Sisäisen kuormituksen merkitys

Villikkalanjärvessä sisäinen kuormitus oli vuosina 1989–90 pääasiassa aerobista ja se oli noin 40 % ulkoisesta kuormituksesta (taulukko 2). Pyhäjärvässä on sisäinen kuormitus havaintojen perusteella niin vähäistä, että sillä ei ole merkitystä rehevyytason kannalta.

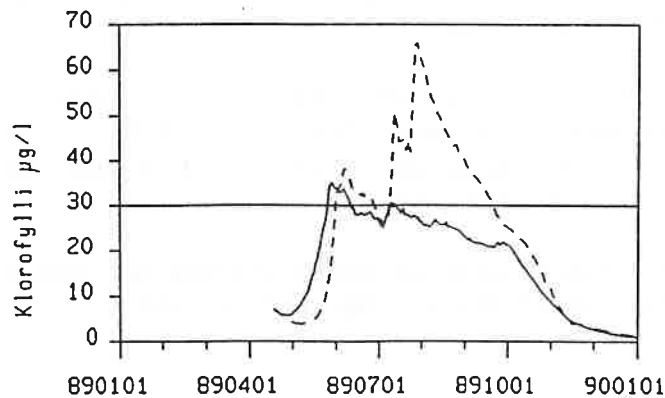
Taulukko 2. Liukoisen fosforin sisäisen kuormituksen jakautuminen malliajojen mukaan ja ulkoinen kuormitus Villikkalanjärvessä vuonna 1989.

	Nopeus mg m ⁻² d ⁻¹	Kokonaiskuormitus kg a ⁻¹
Aerobinen	1,2	1 610
Anaerobinen	40	65
Ulkoinen kuormitus	–	4 130

Anaerobisen kuormituksen intensiteetti on matalissa rehevissä järvissä yleensä suurempaa kuin aerobisen. Mikäli tällainen järvi kerrostuu kesällä tavallista pidemmäksi aikaa lämpimästä säästä johtuen, kuluu happi alusvedessä loppuun eikä sedimentti kykene pidättämään fosforia. Tällöin sedimentistä voi vapautua nopeasti huomattavia määriä fosforia.

PROBE-malli soveltuu yksityiskohtaisen hydrodynaamisen kuvauksen vuoksi hyvin tutkimuksiin, joissa arvioidaan säätilan vaikutusta järven veden laatuun. Kesäsään ja anaerobisen kuormituksen merkityksen osoittamiseksi mallilla simuloitiin Villikkalanjärveä vuoden 1988 säätiedoilla. Kaikki muut syöttötiedot olivat vuodelta 1989. – Vuoden 1988 kesä oli poikkeuksellisen lämmin ja keskikesällä oli kaksi 15 ja 10 päivää kestänyttä hellejaksoa, joiden aikana vuorokauden keskilämpötila oli vähintään 20 °C. Vuonna 1989 vastaavia jaksoja oli kolme, mutta niiden pituus oli enimmillään vain kolme päivää.

Simulointitulosten mukaan Villikkalanjärvi kerrostui vuonna 1988 tavallista pidemmäksi aikaa. Seurauksena oli happipitoisuuden lasku laajalla alueella alle kriittisen arvon ja anaerobista vapautumista tapahtui suuressa määrin. Tämä sai aikaan järven jälleen sekoittuessa tavallista korkeamman klorofylli-pitoisuuden (kuva 4). Anaerobinen vapautuminen oli simuloinnin mukaan v. 1988 noin 740 kg a⁻¹ ja aerobinen 1420 kg a⁻¹. Anaerobinen vapautuminen aiheutti kuitenkin suuremmat klorofyllihuiput, koska vapautunut fosfori tulee hetkessä kasviplanktonin käyttöön järven sekoittuessa pitkän hellejakson jälkeen. Anaerobinen vapautuminen jakautuu tasaisemmin koko kasvukaudelle.



Kuva 4. Mallilla laskettu klorofyllipitoisuus Villikkalanjärvessä vuonna 1989 (—) ja jos vuonna 1989 olisi ollut vuoden 1988 sää (----). Vertailun helpottamiseksi kuvaan on piirretty 30 µg l⁻¹ :n pitoisuustaso.

Mallilla simuloitu tilanne vuoden 1988 säätiedoilla kuvanee realistisesti todellisuutta, sillä Villikkalanjärvellä oli v. 1988 näköhavaintojen mukaan leväkukinta. Vesinäytteitä ei järveltä kyseiseltä vuodelta ole käytettävissä. MAVERO-tutkimuksiin kuulunut Vihdin Kotojärvi kerrostui myös samana kesänä tavallista pidemmäksi aikaa. Seurauksena oli poikkeuksellisen raju leväkukinta ja klorofyllipitoisuus nousi tasolle 90 µg/l.

Johtopäätökset

Tarkastelu osoittaa selvästi, että matalan rehevän järven rehevyystaso laskee sisäisestä kuormituksesta johtuen vain vähän ulkoisen kuormituksen pienentyessä. Syvässä järvestä muutos on suurempi, mutta tasapainon saavuttaminen uuden ulkoisen kuormituksen kanssa vie pidemmän ajan.

Matalan järven tapauksessa ei ole otettu huomioon mahdollista sisäisen kuormituksen vähenemistä ulkoisen kuormituksen pienentyessä. Sedimentin fosforivarasto on kuitenkin rehevässä järvestä niin suuri, että sisäisen kuormituksen väheneminen on hyvin hidasta ja se on todennäköisesti merkityksetöntä ainakin 10–20 ensimmäisen vuoden aikana.

Matalassa rehevässä järvestä, joka ei kerrostu pysyvästi, on yksittäisen kesän säätilalla huomattava merkitys rehevyystason kannalta. Lämpiminä kesinä voi sisäinen kuormitus aiheuttaa huomattavasti tavallista suuremman kasviplanktonbiomassan. Tämä merkitsee mm. sitä, että jonain kesänä voi rehevyystaso olla ulkoisen kuormituksen vähentämisen jälkeen korkeampi kuin ennen kuormituksen vähentämistä.

Maatalouden kuormittamissa matalissa rehevissä järvissä on siis sedimentillä hyvin ratkaiseva merkitys rehevyystason säätelyssä. Monissa tapauksissa pelkkä ulkoisen kuormituksen vähentäminen ei riitä, vaan tarvitaan myös sisäistä kuormitusta vähentäviä kunnostustoimenpiteitä.

Kirjallisuus

- Kallio, K. 1992. The effect of phosphorus load on the eutrophication of two lakes loaded by agriculture. Manuscript.
- Malve, O., Huttula, T. & Lehtinen, K. 1991. Modelling of eutrophication and oxygen depletion in Lake Lappajärvi. Teoksessa: Wrobel, L.C. & Brebbia, C.A.(eds.). Water Pollution: Modelling, Measuring and Prediction. Computational Mechanics Publications. Southampton. pp. 111–124.
- Svensson, U. 1978. A mathematical model for the seasonal thermocline. Ph.D. dissertation. Report 1002. Dep. Water Resour., Univ. of Lund. 187 p.