

MAATALOUESTA TULEVAN RAVINNEHUUHTOUMAN VAIKUTUS JÄRVIEN SINILEVÄONGELMAAN

Olli Varis
Teknillinen korkeakoulu,
Vesitalouden laboratorio

Tiivistelmä

Maataloudesta tulevan ravinnehuuhtouman ja sen vähentämisen vaikutusta tarkasteltiin järvien sinileväongelman kannalta. Tutkimus painottui kolmeen suomalaiseen järveen, Tuusulanjärveen, Vihdin Enäjärveen ja Kuortaneenjärveen, jotka kaikki sijaitsevat maatalousalueilla. Pääpaino oli typen ja fosforin merkityksen tutkimisella, mutta joukko^a muita tekijöitä, sekä fysiologisia kasvutekijöitä että ekosysteemeihin ulkopuolelta vaikuttavia tekijöitä tarkasteltiin. Työssä pohdittiin myös, kuinka ympäristömalleja ja laskennallisia menetelmiä voitaisiin kehittää vesiensuojelullisia päämääriä silmälläpitäen. Sinileväongelmien vähentämisen kannalta näyttää ilmeiseltä, että fosforikuormituksen, erityisesti kevätaikaisella, alentamisella on yhä keskeinen merkitys maassamme.

Johdanto

Eräs suurimmista maatalouden ravinnekuormituksen aiheuttamista järvien vedenlaatuongelmista ovat sinilevien kesäiset massaesiintymiset. Sinilevät eroavat muista suomalaisissa järvissä elävistä perustuotantoon kykenevistä planktisista eliöistä fysiologisesti erittäin paljon. Lisäksi sinilevät ovat taksonomisena ryhmänä erittäin laaja käsittäen kasvuvaatimuksiltaan hyvinkin erilaisia sukuja. Pyrittäessä torjumaan sinileväkukintoja maatalouden kuormitusta vähentämällä, on ongelmia tuottavien levien massaesiintymisiin vaikuttavista tekijöistä oltava tietämystä. Kyseisessä projektissa keskeisinä ravinteina tarkasteltiin typpeä ja fosforia, ja niiden lisäksi tarkasteltiin lukuisia muita kasvutekijöitä ja järven ekologian vaikuttavia tekijöitä.

Järvien kasviplanktonyhteisöt muodostavat ekologisesti varsin monimutkaisia ja monimuotoisia järjestelmiä. Tämä onkin otettu monitoroinnissa vuosikymmeniä huomioon kasviplanktonmääritysten muodossa. Planktonnäytteet mikroskopoidaan ja määritetään suurella taksonomisella erotuskyvyllä. Yhden järven monitorointiaineistossa on tyypillisesti muutama sata erikseen ilmoitettavaa taksonomista nimikettä: lajia, sukua yms. Projektissa on tutkittu myöskin, kuinka näiden, nyttemmin hyvin mittavien aineistojen laskennallista analysointia voitaisiin kehittää vesiensuojelullisia päämääriä silmälläpitäen.

Kohdejärvet

Projektissa keskityttiin tarkastelemaan kolmea suomalaista järveä. Kaksi järvistä, Vihdin Enäjärvi ja Tuusulanjärvi ovat reheviä, savisameita ja matalia, ja sijaitsevat keskeisellä Uudellamaalla. Kuortaneenjärvi on ruskeavetinen, rehevätkö ja matalahko Etelä-Pohjanmaalla sijaitseva läpivirtausjärvi. Kesäiset sinileväkukinnat aiheuttavat

ongelmia kunkin järven käytölle. Kunkin järven pääasiallinen kuormituslähde on hajakuormitus.

Enäjärveltä käytettävissä ollut aineisto koostui Vesitalouden laboratorion vuosina 1977–1981 keräämästä vedenlaatu- ja kasviplanktonhavaintosarjasta. Tuusulanjärveltä hankittiin käyttöön Helsingin kaupungin vesi- ja viemärlaitoksen ja Vesi- ja ympäristöhallinnon laajat aineistot vuosilta 1968–87, ja Kuortaneenjärveltä oli käytössä Vesi- ja ympäristöhallinnon ja Vesitalouden laboratorion aineisto vuodelta 1980 (ks. Varis 1991c). Enäjärvi ja Tuusulanjärvi muistuttavat kasviplanktonin koostumuksen suhteen paljon toisiaan, mutta Kuortaneenjärvi poikkeaa näistä huomattavasti.

Leväyhteisöanalyysit

Kasviplanktonin monitorointiaineistojen tilastollisen analysoinnin kannalta ovat seuraavat kolme asiaa keskeisiä, varsinkin jos halutaan hyödyntää levälaskentojen taksonomista informaatiota.

- (1) Vedenlaatututkimuksissa, kuten monissa muissakin ympäristötutkimuksissa, joudutaan käsittelemään **suurta muuttujamäärää**. Suuruusluokka 10^2 tai 10^3 on hyvin tavallinen. Esimerkiksi Tuusulanjärven leväaineistossa oli noin 500 nimikettä, ja lisäksi tarkasteltiin fysikaalis-kemiallisia vedenlaatu-muuttujia ja hydrometeorologista aineistoa.
- (2) Muuttujat ovat tavallisesti **voimakkaasti korreloituneita** keskenään. Käytettäessä (monimuuttuja)regressiota, törmätään multikollineaarisuusongelmaan, jos (yleensä kun) riippumattomat muuttujat ovat keskenään korreloituneita. Tällöin mallit ovat harhaisia.
- (3) Valtaosa suomalaisista monitorointiaineistoista on kerätty ei-tasavälisesti ajan suhteen. Lisäksi **havaintovälit** ovat erikoistapauksia lukuunottamatta niin **pitkiä**, ettei prosessien mallintamiseen päästä käsiksi.

Edellä mainituista seikoista johtuen päädyttiin leväyhteisöjen ja monitoroitujen kasvutekijöiden analysoinnissa käyttämään monimuuttuja-analyysiä. Tutkituista, muutamasta kymmenestä tilastoanalyysistä kanoninen korrelaatio soveltui tarkoitukseen parhaiten. Alkuperäisissä julkaisuissa (Varis 1990, 1991a,b,c,e, Varis ym. 1990b) dokumentoidaan tutkimukset yksityiskohtaisesti. Suppeampi yhteenveto esitetään MAVERO-loppuraportissa.

Simulointitutkimukset

Mekanististen vedenlaatumallien käyttö vesiensuojelun apuna lisääntyy jatkuvasti. Mekanistisilla malleilla tarkoitetaan tavallisesti dynaamisia, differentiaali- tai differenssiyhtälöistä koostuvia malleja, joilla pyritään jäljittelemään luonnossa tapahtuvia fysikaalisia prosesseja. Sekä muuttujilla että parametreilla on tavallisesti fysikaalinen tulkinta. Lähestymistapa on tyypillisesti laskennallisesti tehokas, sillä kyetään syy-seuraussuhteiden ja taseiden analyysiin, mutta tulosten luotettavuuden kvantitatiivinen esittäminen on suurempi ongelma kuin klassisissa tilastomalleissa. Rehevöitymissovelluksissa mallien taksonominen kuvaustarkkuus rajoittuu tavallisesti enimmillään 2–3 leväryhmään.

Kuortaneenjärven leväongelman analysointia varten on aiemmin muodostettu 15 differentiaaliyhtälöstä koostuva malli, jossa kasviplankton on jaettu sinileviin ja muihin leviin (Varis 1984). Levien lisäksi simuloidaan typen ja fosforin kiertoa. Mallin avulla on tehty kolme skenarioanalyysiä, joiden tuloksia on käytetty myös projektin aineistona:

- (1) Typpi- ja fosforikuormitusten, veden lämpötilan ja tulosäteilyn vaikutus levien kilpailutilanteeseen (Varis 1992).
- (2) Edellä mainittujen herätteiden aiheuttamien palautteiden viiveiden analyysi ekosysteemitasolla (Varis 1988).
- (3) Säännöstelyn aiheuttama ajallinen herkkyys ja vaikutus järven sinileväongelmaan (Varis 1989).

Ensimmäisestä analyysistä MAVEROn kannalta olennaisimmat tulokset ovat kasvutekijöiden suhteellinen merkitys rajoittavina tekijöinä ja laskennallisesti muutettujen ravinnekuormitusten vaikutus sinilevien ja muiden levien kilpailutilanteeseen. Toisessa tarkastelussa muutettiin edellä mainittujen tekijöiden arvoja vuorotellen joka neljäntenä päivänä koko laskentavuoden ajan, ja leväbiomassojen herkkyys kullekin muutokselle tallennettiin. Kolmas analyysi oli laskennallisesti analoginen toisen kanssa. Tarkasteltuna ja muuteltuna muuttujana oli menovirtaama. Juoksutuksen lisäys ennen tulvahuippua heikensi sinilevien kilpailuedellytyksiä, ja tulvahuipun jälkeinen juoksutuksen lisäys lisäsi sitä. Tämä johtuu pääasiassa kahden tekijän yhteisvaikutuksesta. Ne ovat toisaalta järven lyhyt viipymä tulva-aikana suuruusluokkaa yksi viikko ja toisaalta voimakkaat muutokset tulvaveden pitoisuuksissa tulvan kuluessa, joista merkittävin on N:P-suhteen aleneminen.

Keskeiset johtopäätökset

Pohdittaessa kannattaako tutkitun tyyppisissä, maatalousalueille tyypillisissä järvissä keskittyä typpi- vai fosforihuuhtouman vähentämiseen järvien sinileväongelmien kannalta katsottuna, voidaan saatujen tulosten perusteella todeta, että typpikuormituksen vähentämisen edut vaikuttavat vähintäänkin epäselviltä. Siitä voi olla vesiensuojelun kannalta jopa haittaa, ainakin jos kysessä on mesotrofinen tai eutrofinen järvi, kuten kaikki tutkitut järvet ovat. Sinileväongelman lisäksi voidaan typpikuormituksen, erityisesti nitraattikuormituksen, positiivisena piirteenä mainita hapen määrän lisääminen vesiekosysteemiin.

Näin ollen olisikin mainitun tyyppisten järvien rehevyshaittojen vähentämisessä yhä keskityttävä fosforikuormitukseen. Tämä tarkoittaa kyseisten järvien tapauksissa paneutumista hajakuormituksena tulevan fosforin vähentämiseen. Kuortaneenjärven tutkimusten mukaan keskeinen huomio olisi suunnattava kevättulvien aikaisiin ainevirtoihin, erityisesti tulva-ajan loppupuolen aikana tulevaan fosforihuuhtoumaan.

Karummissa järvissä, joissa sinileväongelmat eivät ole vesiensuojelullinen ongelma, voi typen merkitys rehevöittäjänä olla keskeisempi, ja varmasti onkin useissa tapauksissa. Saadut tulokset eivät myöskään sovellu kuin hyvin rajallisessa määrin Itämeren rehevöitymisen tarkasteluun. Murto- ja merivesissä typen ja fosforin suhteet ovat tunnetusti järvistä poikkeavia. Näin ollen tässä yhteydessä ei oteta kantaa Itämeren suojeluun, eikä myöskään karujen sisävesistöjen rehevyysongelmien hoitoon.

On selvää, että rationaaliseen päätöksentekoon on sisällytettävä kaikkien ravinnepäästölähteiden tarkastelu yhdessä. Lisäksi on otettava huomioon eri vesiensuojelutoimien odotettavissa olevat kustannukset ja hyödyt. Vesiensuojelu ei suinkaan ole ilmaista puuhaa. Päätöksenteossa törmätään ikävä kyllä myös siihen tavalliseen ongelmaan, että eri toimenpiteistä koituvat hyödyt ja haitat kohdistuvat eri kohderyhmille, eikä voida välttää poliittisesti ratkaistavaa tulonjako-ongelmaa.

Vesistö- tai muu tapauskohtainen harkinta ja suunnittelu vesiensuojelustrategioiden suhteen on varmasti mielekästä verrattuna sapluunaratkaisuihin. Päätösanalyysin tarve alalla on suuri. Vesiensuojeluratkaisuja kuten typenpoistoa ja hajakuormitusta kannattaisi tutkia myös päätösteorian keinoin käyttämällä esimerkiksi riskianalyysiä ja kustannus-hyötyanalyysiä: miten saadaan sovitettua yhteen kustannukset, odotettavissa olevat hyödyt ja erityisesti jälkimmäiseen liittyvät epävarmuudet (vrt mm. 1990, Kettunen 1991, Varis 1991c,d, Kylmälä 1992).

Kirjallisuus

- Kettunen, J. 1991. Vesistöseurannat ja päätöksenteko. *Vesitalous* XXXII (2): 45–51.
- Kylmälä, P. 1992. Diplomityö. TKK, Vesitalouden laboratorio, Otaniemi. Valmistumassa.
- Varis, O. 1984. Water quality model for Lake Kuortaneenjärvi, A polyhumic Finnish lake. *Aqua Fennica* 14: 179–187.
- Varis, O. 1988. Temporal sensitivity of Aphanizomenon flos-aquae dominance – A whole-lake simulation study with input perturbations. *Ecol. Modelling* 43: 137–153.
- Varis, O. 1989. Simulated impacts of flow regulation on blue-green algae in a short retention time lake. *Arch. Hydrobiol., Beih. Ergebn. Limnol.* 33: 181–189.
- Varis, O. 1990. Development of phytoplankton community in a restored eutrophic lake. A multivariate analysis. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 24: 693–697.
- Varis, O. 1991a. A canonical approach to diagnostic and predictive modelling of phytoplankton communities. *Arch. Hydrobiol.* 122: 147–166.
- Varis, O. 1991b. Associations between lake phytoplankton community and growth factors – a canonical correlation analysis. *Hydrobiologia* 210: 209–216.
- Varis, O. 1991c. Computational Modeling of the Environment with Applications to Lake Eutrophication. Väitöskirja, TKK, Vesitalouden laboratorio, Otaniemi.
- Varis, O. 1991d. Influence diagrams in the analysis of water resources decisions under high uncertainty and varying risk attitudes. Teoksessa: Yu, S.L. & Shih, K.-K. (toim.): Proc. Int. Conf. on Computer Applications in Water Resources, Tamkang Univ., Tamsui, Taiwan, ROC, July 3–6, 1991: 928–935.
- Varis, O. 1991e. Diagnostic and predictive canonical water quality modelling. Teoksessa: Yu, S.L. & Shih, K.-K. (toim.): Proc. Int. Conf. on Computer Applications in Water Resources, Tamkang Univ., Tamsui, Taiwan, ROC, July 3–6, 1991: 1262–1269.
- Varis, O. 1992. Impacts of growth factors on competitive ability of blue-green algae analyzed with whole-lake simulation. Teoksessa: Straskraba, M., Tundisi, J. & Duncan, A. (toim.):

Comparative Limnology and Water Quality Modelling of Reservoirs. Painossa.

- Varis, O. & Kettunen, J. 1990. Water quality modelling of Lake Tuusulanjärvi. *Aqua Fennica* 20: 43–54.
- Varis, O., Kettunen, J. & Sirviö, H. 1990a. Bayesian influence diagrams in complex environmental management including observational design. *Comput. Stat. Data Anal.* 9: 77–91.
- Varis, O., Sirviö, H. & Kettunen, J. 1990b. Multivariate analysis of lake phytoplankton and environmental factors. *Arch. Hydrobiol.* 117: 163–175.

