

Kustavin merialueen taustakuormitus ja ainevirta-analyysin kehittäminen

ILKKA RATINEN

Opettajankoulutuslaitos, Jyväskylän yliopisto¹

Itämeren rehevöitymisestä on keskusteltu runsaasti. Meren vedenlaatu on heikentynyt viime vuosikymmeninä huolestuttavasti. Saaristomerellä tämä näkyy meriveden ravinneisuuden kasvuna. Näin on käynyt, vaikka ravinnelähteiden, kuten teollisuuden, maatalouden ja kalankasvatuksen kuormitus on pienentynyt (Suomala 2001). Saaristomeri on hyvin sokkeloinen ja verrattain matala merialue, jossa on paikoin heikkoja merivirtoja. Lounaisaaris- reagoi herkästi vedenlaadun muutoksille, sillä se suodattaa ravinteita eteläisen Itämeren ja Selkämeren välisestä virtauksesta (Hänninen ym. 2000).

Saaristomerien tulevaisuuden ennustamisen tulee perustua vankaan tutkimukseen. Vaikka uusia menetelmiä, kuten kaukokartoitusta (Erkkilä & Kalliola 2003) kehitetään vesistötarkkailussa, myös vedenlaadun empiiriset monitoroinnit ovat tärkeitä luotettavan kokonaiskuvan saamiseksi. Alueellisessa tarkastelussa empiiristä aineistoa tarvitaan esimerkiksi vedenlaatumallien lähtöarvoiksi ja tulosten vertailuaineistoksi.

Vesiekosysteemeille on tyypillistä hyvin moniulotteinen ja monimutkainen rakenne sekä epälineaarinen kehitys (Metternicht 2001), joka voi tarkoittaa vaikkapa sinileväkukintojen voimasta kasvua. Valitettavasti näytteenoton korkeista kustannuksista johtuen laajan ja edustavan aineiston kerääminen on vaikeaa ja sen luotettavuus voi olla heikkoa. Vesiekosysteemien luonne ja niiden tutkimiseen liittyvä pisteittäinen näytteenotto tekevät numeerisista malleista hyvin vaikeasti kalibroitavia ja monesti alueellisesti epävarmoja.

Ympäristömallinnuksessa voidaan käyttää apuna erilaisia ainevirta-analyysijä (ks. Antikainen 2007) esimerkiksi skenaarioanalyyseissa, potentiaalisten saastelähteiden ennustamisessa, puuttuvien virtojen määrittämisessä ja muiden menetelmien tukemisessa (Udo de Haes ym. 1998). Maantieteessä menetelmiä voidaan hyödyntää alueellisten virtojen analyysissä sekä nykyistä luotettavampien, geospaatialisten mallien luotettavuuden parantamisessa.

Tarkastelen katsauksessani ainevirta-analyysillä kokonaistyyppi- ja fosforivirtoja Kustavin kunnassa (kuva 1). Tarkastelu osoittaa, että merisysteemin mallintaminen on vaikeaa sekä menetelmällisesti että fyysis-ekologisten prosessien puutteellisen ymmärtämisen vuoksi (ks. Suominen & Helminen 2003). Ainevirta-analyysia kehittämällä voitaisiinkin paikata aukkoja tietämyksessä ja vähentää olemassa olevan tiedon ristiriitaisuuksia.

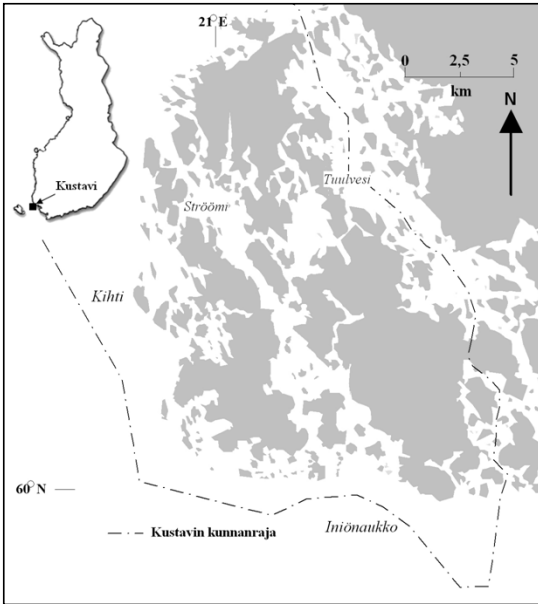
Ainevirta-analyysi

Ainevirta-analyysissä tutkittava ainevirta kulkeutuu luonnossa ilman ihmisten tekemiä rajoja. Sen vuoksi tutkittavan järjestelmän rajat on määriteltävä erittäin harkitusti tutkimusongelmaan perustuen. Rajojen on oltava mahdollisimman aukottomat, sillä niiden perusteella määritetään ainevirta-analyysin alueellinen luotettavuus (van der Voet 1996; Van Holderbeke & Timmermans 2002).

Rajasin systeemin Kustavin kunnan hallinnollisiin rajoihin ja tutkin kunnan alueelle tulevaa, sieltä poistuvaa ja siellä varastoituvaa tyypeä ja fosforia. Määritin merisysteemin ruudukkomenetelmällä. Menetelmässä Kustavin merialueen yhteyttävästä kerroksesta (1–8 m) kerätyt havainnot muodostivat tarkasteltavan systeemin, jonka ravinnearvojen keskiarvoja vertasin Kustavin ulkopuolella sijaitsevien havaintopisteiden ravinnearvojen keskiarvoihin. Tarkasteltavasta systeemistä muodostui kohtalaisen monitasoinen. Se voidaan jakaa talous- ja ympäristöalasysteemiin, joista jälkimmäiseen kuuluivat luonnonvalunnasta, ilmalaskeumasta ja taustakuormituksesta tulevat ravinteet (kuva 2, taulukko 1). Talus- ja ympäristöalasysteemiin kuuluivat kalankasvatuksessa, kalanjalostuksessa, maametsätaloudessa, jätevedenpuhdistuksessa sekä haja- ja loma-asutuksesta syntyneet ravinnearvot (taulukko 1). Meriveden ravinteiden suhdetta biologisiin prosesseihin en ottanut huomioon tutkimuksessani.

Ainevirta-analyysieihin on kehitetty erilaisia lasentamenetelmiä mittakaavasta, aineistosta ja käyttötarkoituksesta riippuen (van der Voet 1996;

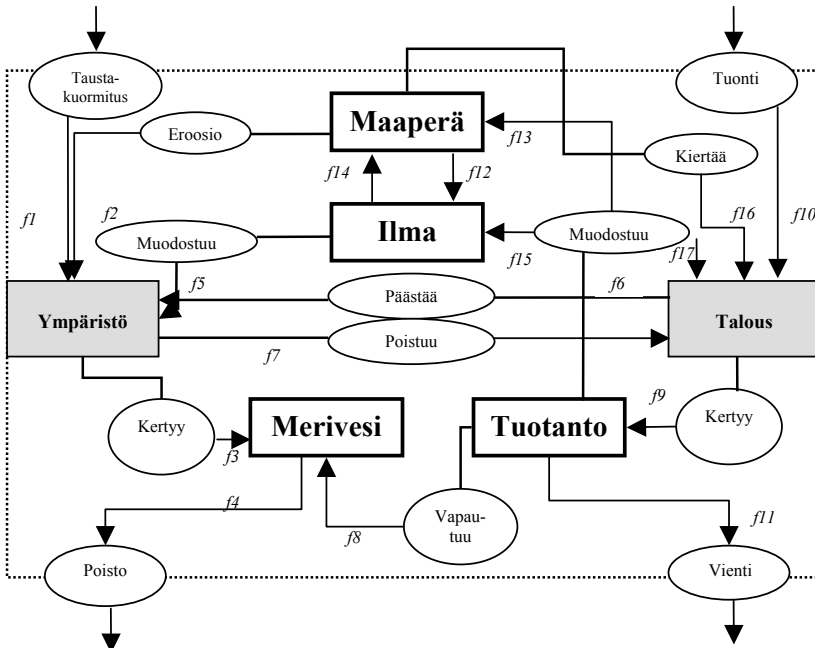
¹ E-mail: <iratine@edu.jyu.fi>



Kuva 1. Kustavin kunta.

Udo de Haes 1998; Van Holderbeke & Timmermans 2002; Ratinen 2005; Antikainen 2007). Lasikin staattisella ainevirtamallilla tietystä lähteestä systeemiin virtaavia ravinteita, jotka varastoituvat sinne tai kulkeutuvat muualle seuraavasti (ks. kertoimet taulukosta 2):

- $f1 = (a1 \times 7\,200\,000\,000/1\,000\,000) - (a2 \times 7\,200\,000\,000/1\,000\,000)$
- $f2 = b \times 165 + (c \times 100\,000\,000/1000) + (c \times 149\,300\,00/1000) + p \times 1\,493$
- $f3 = (f1 + f2 + f5 + f6) - f7$
- $f4 = (f3 + f8) \times 0,1$
- $f5 = c \times 357\,000$
- $f6 = f + g$
- $f7 = p \times 1\,493 + (c \times 100\,000\,000/1000) + (c \times 149\,300\,00/1000)$
- $f8 = f9 - f11 - f13 (d \times 100 + e + m4 + h + i + j + k)$
- $f9 = d \times 100 + e + h + i + j + k + l \times 373 + l \times 963,736 + m1 \times 189 + m2 \times 40 + w \times 1493 + x \times 1\,493 + m3 \times 94,2 + m4 + n + o$
- $f10 = q + r + s$
- $f11 = f9 - f8 - f13 (l \times 373 + l \times 963,736 + m1 \times 189 + m2 \times 40 + m3 \times 94,2 + n + o)$
- $f12 = (t + u) \times 1\,493$
- $f13 = f9 - f8 - f11 (t \times 1\,493 + u \times 1\,493 + x \times 1\,493 + w \times 1\,493)$
- $f14 = c \times 165\,000$
- $f15 = ei \text{ mukana mallissa (epätarkan datan vuoksi noin } 160 \text{ kg/v)}$
- $f16 = w \times 1\,493$
- $f17 = y$



Kuva 2. Ainevirtadiagrammi. *f* = ravinnevirrat, prosessit kuvataan varjostetulla suorakaiteella, ravinnevarastot paksuviivaisella suorakaiteella. Tuotanto tarkoittaa maa- ja metsätaloutta, kalankasvatusta ja -jalostusta, jätevedenpuhdistusta ja siitä syntyvän lietteeseen varastoituneita ravinteita. Huomaa, että maaperä, ilma ja merivesi virtaavat ympäristöosasynteen kautta.

| | Talous | Ympäristö | Aineisto |
|------------------------------|--------|-----------|--|
| Taustakuormitus | | x | Kustavi-Taivassalon... 2003; Suominen & Helminen 2003 |
| Luonnonvalunta | | x | Räike 2003 (Syke) |
| Ilmalaskeuma | | x | Vuorenmaa 2003 (Syke) |
| Kalankasvatus | x | | Wideskog 2000; Kustavi-Taivassalon... 2003; Latvala 2003 |
| Kalanjalostus | x | | Ratinen 1999; Sopanen 2003 |
| Maatalous | x | | Rekolainen ym. 1992; Bileletdin ym. 1992; Wallenius & Sihvonen 2000; Väkilannoitteissa... 2002; Mäenpää & Vanhala 2002; Cattle...2003; Kanamunan... 2003; Mikkola 2003; Poultry...2003 |
| Metsätalous | x | | Kärkkäinen 1985; Metinfo 2003; Mäntynen 2003 |
| Jäteveden puhdistamot | x | | Aaltonen 2001 a; Aaltonen 2001b |
| Loma-asutus | x | | Töykkylä 2003 |
| Haja-asutus | x | | Krogerus ym. 1996; Työryhmänmietintö 2001; Töykkylä 2003 |

Taulukko 1. Ainevirtamallin talous- ja ympäristöosasysteemien kuvaus ja laskennassa käytettyjen aineistojen lähteet.

Ainevirtamallin dynamiikka voidaan yksinkertaisimmillaan esittää seuraavasti:

$$\frac{dN}{dt} = I - kN(t)$$

jossa I on panos ja $N(t)$ varasto. Systeemin tuotos $O(t)$ on suhteessa varastoon (N), eli $O = kN(t)$. k on vakio, joka kuvaa aineen varastoitumisaikaa. Jos $O(t)$ ei ole samansuuruinen kuin I , $N(t)$ muuttuu ajan suhteen.

Kustavin merialueen taustakuormitus

Meriveden ravinnepitoisuudet ovat nousseet viime vuosien aikana Kustavissa (Suomala 2001). Kustavin merialueella runsasravinteista vettä virtaa osittain sokkeloisten salmien kautta pohjoiseen. Veden virtaukset ovat heikkoja matalilla ja rantaviivaltaan rikkonaisilla merialueilla, joten ne suodattavat ulkopuolelta tulevia ravinteita. Ylimääräiset ravinteet lisäävät levien perustuotantoa, mikä näkyy muun muassa veden sameutena ja α -klorofyllin lisääntymisenä. Osa Saaristomeren ylimääräisistä ravinteista varastoituu meren pohjalle (Jump-panen & Mattila 1994). Pohjan happipitoisuuden laskiessa ravinteita voi vapautua sedimenteistä. Sisäisellä kuormituksella on kuitenkin varsin pieni merkitys Kustavin merialueella (Ratinen 2005). Määritin ainevirtamallini taustakuormituksen seuraavasti:

$$\text{tot-P}_{\text{bl}} = (C_S \times f_1) + (C_N \times f_2) - C_K$$

ja

$$\text{tot-N}_{\text{bl}} = (C_S \times f_1) + (C_N \times f_2) - C_K,$$

joissa tot-P_{bl} = taustakuormituksen kokonaisfosfori ($\mu\text{g/l}$), tot-N_{bl} = tot-N taustakuormituksen kokonaistyyppi ($\mu\text{g/l}$), C_S = Kustavin eteläisen merialueen ravinnepitoisuus (kok-P 25,3 $\mu\text{g/l}$, kok-N 350,3 $\mu\text{g/l}$), f_1 = virtauskerroin eteläistä pohjoiseen (0,65), C_N = Kustavin pohjoisen merialueen ravinnepitoisuus (kok-P 20,5 $\mu\text{g/l}$, kok-N 282 $\mu\text{g/l}$), f_2 = virtauskerroin pohjoisesta etelään (0,35) ja C_K = Kustavin merialueen ravinnepitoisuus (kok-P 21,7 $\mu\text{g/l}$, kok-N 294,2 $\mu\text{g/l}$). Suhteutin taustakuormituksen Kustavin merialueen tilavuuteen, joka on 7,2 kuutiokilometriä.

Ainevirtamallini mukaan taustakuormitus lisää kokonaisfosforia vuosittain 13 700 kiloa (44 % kuormituksesta) ja kokonaistyyppä 231 700 kiloa (38 % kuormituksesta) (taulukko 3). Tuloksia voidaan verrata biologien Tapio Suomisen ja Harri Helminen (2003) tutkimukseen, jonka mukaan jokivesien aiheuttama Kustavin merialueen pintavesien kokonaisfosforilisäys on 0,05–1 mikrogrammaa litrassa ja kokonaistyyppilisäys 0,1–4 mikrogrammaa litrassa. Täten jokien fosforikuorma on Kustavin merialueella enimmillään 7 200 kiloa ja tyyppikuorma 28 800 kiloa. Valuma-alueilta tuleva kuormitus näyttäisi siis olevan verrattain pientä Kustavissa.

| Kerroin | Ravinnevirta | Kok-P | Kok-N | Yksikkö |
|---------|---|--------|---------|--------------------|
| a1 | taustakuormituksesta | 23,6 | 326,4 | kg/m ³ |
| a2 | Kustavin merialueen sisällä | 21,7 | 294,2 | kg/m ³ |
| b | luonnonvalunnasta | 6 | 200 | kg/km ² |
| c | ilmalaskemasta | 0,01 | 0,7 | g/m ² |
| d | metsätaloudesta | 0,783 | 8,522 | kg/km ² |
| e | maataloudesta | 3075 | 20 871 | kg/km ² |
| f | kesämökeistä | 524 | 3 227 | kg/v |
| g | haja-asutuksesta | 130 | 873 | kg/v |
| h | kalanjalostuksesta | 27,5 | 119 | kg/v |
| i | kalankasvatuksesta | 8 661 | 65 016 | kg/v |
| j | Kärtyn jäteveden puhdistamosta | 51 | 832 | kg/v |
| k | Lomakeskuksen jäteveden puhdistamosta | 1,9 | 118 | kg/v |
| l | kaloista ja kalatuotteista | 4 | 27,5 | kg/t |
| m1 | Kärtyn lieteestä | 0,91 | 2,75 | kg/m ³ |
| m2 | Lomakeskuksen lieteestä | 0,48 | 1,68 | kg/m ³ |
| m3 | kalanjalostuksen orgaanisesta jätteestä | 4 | 27,5 | kg/t |
| m4 | kalanperkauksesta | 27,9 | 337 | kg/v |
| n | hakkuista | 1 240 | 12 396 | kg/v |
| o | maataloustuotteista | 6 206 | 74 471 | kg/v |
| p | typen sidonnasta | – | 4 | kg/ha |
| q | kotieläinten ja kalojen rehusta | 12 653 | 93 162 | kg/v |
| r | kalanpoikasista ja kalafileistä | 1 951 | 13 339 | kg/v |
| s | lannoitteista | 16 123 | 124 218 | kg/v |
| t | denitrifikaatiosta | – | 15 | kg/ha |
| u | NH ₄ hävikeistä | – | 14 | kg/ha |
| v | jäteveden denitrifikaatiosta | – | 0 | kg/m ³ |
| w | rehusta | 8 | 24 | kg/ha |
| x | peltoviljelyssä maaperään varastoitumisesta | 12,7 | 24 | kg/ha |
| y | Kustavin sisäsyntyisestä jätevedestä | 900 | 5 600 | kg/v |

Taulukko 2. Ainevirtamallin kertoimet Kustavin kunnan fosfori- ja typpivirtojen määrittelyssä.

Suomisen ja Helmisen (2003) mukaan kymmenen prosenttia ravinteista virtaa ulos Kustavin merialueelta. Siten noin 3 100 kiloa kokonaisfosforia ja noin 60 700 kiloa kokonaistyppeä virtaa Kustavin merisysteemin ulkopuolelle ($(f3+f8) \times 0,1$; taulukko 3). Ainevirtamallini mukaan alueelle jää vuosittain 27 700 kiloa kokonaisfosforia ja 546 100 kiloa kokonaistyppeä.

Taustakuormitus pois lukien Kustavin merialueelle virtasi 14 000 kiloa kokonaisfosforia ja 314 400 kiloa kokonaistyppeä, eli ravinteita syntyi systeemin sisällä enemmän kuin ulkopuolelta kulkeutui. Kustavissa merkittävä meriveden kuormittaja on kalankasvatus, varsinkin fosforin osalta. Suomisen ja Helmisen mukaan (2003) kalankasvatuksen osuus on noin 20–90 prosenttia alueen kokonaiskuormituksesta. Arvion suuri vaihteluvä-

li osoittaa merivesisysteemin mallintamisen ja aineiston luotettavuuden ongelmallisuuden. Suurten ravinnemäärien vaikutukset näkyvät joka tapauksessa muun muassa veden sameutena etenkin suojaisissa lahdissa.

Ainevirtamallin mukaan ympäristöosasysteemi kuormittaa merivettä Kustavin alueella talousosasysteemiä enemmän. Ihminen vaikuttaa ympäristöosasysteemin ravinnevirtoihin epäsuorasti vaikuttamalla ilmakehän, maa- ja metsätalouden, teollisuuden ja asutuksen sekä liikenteen ravinnevirtoihin, jotka leviävät laajalle alueelle.

Keskustelua

Saaristomeren tulevaisuuden kannalta olisi kehitettävä luotettavampia ja laskennallisesti helpompia

| Virta | Määritelmä | Kok-P | Kok-N |
|--------------|--|--------------|--------------|
| f1 | Taustakuormitus | 13 700 | 231 700 |
| f2 | Luonnonvalunta, N-sidonta ja ilmalaskeuma metsiin ja pelloille | 2 100 | 119 400 |
| f3 | Ravinnevirta ympäristöprosesseista meriveteen | 18 900 | 518 700 |
| f4 | Ravinteiden ulosvirtaus | 3 100 | 60 700 |
| f5 | Ilmalaskeuma mereen | 3 600 | 249 900 |
| f6 | Ravinteet talousyksiköistä luonnonyksikköihin | 700 | 4 100 |
| f7 | Ravinteet luonnonyksiköistä talousyksiköihin | 1 100 | 86 400 |
| f8 | Ravinnevirta ihmistuotannosta meriveteen | 11 900 | 88 100 |
| f9 | Ravinteet taloudellisista prosesseista | 56 200 | 329 900 |
| f10 | Tuodut ravinteet | 30 700 | 230 700 |
| f11 | Tuotteiden mukana viedyt ravinteet | 13 400 | 126 800 |
| f12 | Denitrifikaatio ja NH ₄ hävikit | – | 43 300 |
| f13 | Ravinteet viljellyssä maaperässä | 30 900 | 115 000 |
| f14 | Ilmalaskeuma maaperään | 1 700 | 115 500 |
| f15 | Jäteveden puhdistuksen ravinteet | – | ei huomioitu |
| f16 | Ravinteet kierrätetyssä rehussa | 12 000 | 35 800 |
| f17 | Ravinteet jätevedessä | 900 | 5 600 |

Taulukko 3. Kustavin alueella syntyvät ravinnevirrat (kg/vuosi).

malleja, jotta voitaisiin kertoa päättäjille ja kansalaisille tarkkaa sekä ymmärrettävää tietoa merisysteemiin kohdistuvien osajärjestelmien vedenlaatuvaikutuksista. Yksi mahdollisuus kehittää malleja on analysoida esimerkiksi kalankasvatuksen aiheuttama rehevyys ja visuaalisen haitta pääkomponenttianalyysin avulla, jota käytetään heuristisen päättelyn perustana (Chen & Mynett 2003; Ratinen 2009).

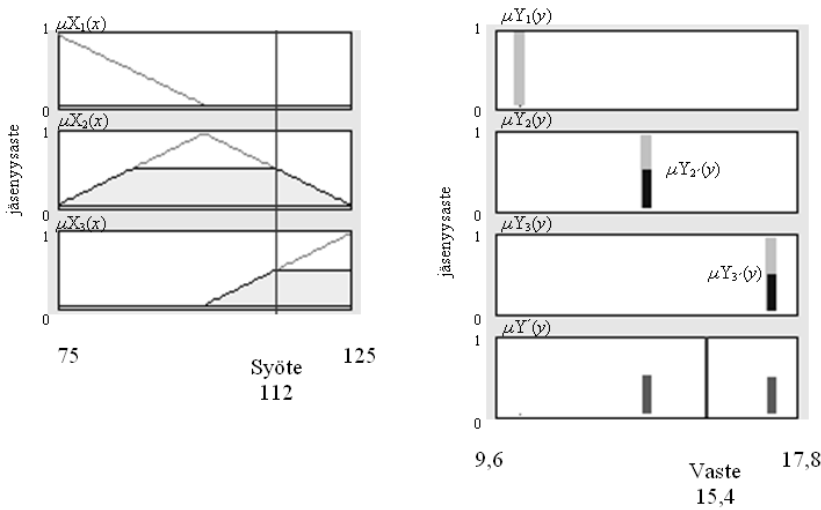
Taustakuormituksella on huomattava vaikutus Kustavin merialueen ravinnevirtoihin. Meressä veden mukana kulkeutuvien ravinteiden alueellinen mallintaminen on vaikeaa, jota voisi helpottaa dynaaminen ainevirta-analyysi staattisen mallinnuksen sijasta. Merialueen ravinnehallinnuksen suurin ongelma on mielestäni taustakuormituksen monimutkaisuus ja fyysis-ekologisten parametrien kalleus sekä fyysis-ekologisten prosessin mallintamisen vaikeus.

Tutkimukseni osoittaa, että myös kalankasvatusta lisää paikallisesti tuntuvasti veden ravinteisuutta. Jotta kalankasvatuksen vedenlaatuvaikutukset saataisiin alueellisesti minimoitua, elinkeinon sijainninhajauksessa tulisi kehittää sekä ravinnevirtaus- että päätöksentekomalleja. Tällaisista malleista esimerkiksi käy sumean logiikan avulla mallinnettu sinileväkukintojen esiintyminen Suomenlahdella (Laanemets ym. 2004).

Maantieteen panos ainevirtamallien rakentamisessa voisi olla luotettavien sumeiden geospatiaa-

listen mallien kehittäminen ja tulosten esittäminen uudella tavalla (kuva 3). Esitän kuvassa 3 sumealla logiikalla lasketun Kustavin merialueen 12 prosenttia kasvaneen taustakuormituksen, joka olisi jo yli 50 prosenttia Kustavin merialueen kokonaiskuormituksesta. Sumeat mallit sisältävät usein kielellisiä muuttujia, jotka voisivat tukea päätöksentekoa numeerisia malleja paremmin. Esimerkiksi puutteellisesti tunnettujen ilmiöiden, kuten sinileväkukintojen dynamiikan sumea mallintaminen on osoittautunut käyttökelpoiseksi, sillä sumeat mallit noudattavat ihmisen arkipäivän logiikkaa, jossa tarvitaan vähän muuttujia ja jossa epävarmuus sisältyy malliin. Yksinkertaisista sumean logiikan malleista löytyy verkkoversioita (esim. Ecofuzz), joita esimerkiksi päättäjät ja kansalaiset voisivat helposti hyödyntää ympäristökysymysten käsittelyssä.

Sumea logiikka voisi auttaa ratkomaan ympäristövaikutusten arvioinnin pulmia, kuten monia ympäristöllisissä ja yhteiskunnallisissa yhteyksissä olevien ympäristövaikutusten tulkintoja (Graham ym. 2007; ks. Hokkanen 2008). Toisaalta alueelliset geosumeat päätöksentekomallit auttaisivat kustannustehokkaasti löytämään sellaisia päästölähteitä, joiden kuormitusta vähentämällä saavutettaisiin ympäristön kannalta parhaat tulokset. Tällöin esimerkiksi vesiensuojelutyössä voisi ottaa huomioon ylipaikalliset tekijät ja keskittyä merkittävien vesistökuormittajien, esimerkiksi maatalouden, aiheuttamiin haittoihin.



Kuva 3. Fosforin taustakuormituksen sumea sääntöpohjainen päättelymalli (ruudukkoperiaate, 1. kertaluvun Takagin ja Sugenen päättely). Syötteen 112 vaste lasketaan seuraavasti: $(13\,700 \times 0,5) + (17\,100 \times 0,5)/(0,5 + 0,5)$.

Kiitokset

Kiitän kolmea nimetöntä arvioitsijaa ja *Terran* päätoimittajaa käsikirjoitusta koskevista parannusehdotuksista.

KIRJALLISUUS

- Aaltonen, M. (2001a). *Kustavin kunnan jätevedenpuhdistamon tarkkailututkimus vuonna 2000*. 9 s. Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus, Turku.
- Aaltonen, M. (2001b). *Kustavin Lomakeskuksen jätevedenpuhdistamon tarkkailututkimus vuonna 2000*. 7 s. Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus, Turku.
- Antikainen, R. (2007). *Substance flow analysis in Finland: Four case studies on N and P flows*. 48 s. + artikkelit. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.
- Bilaletdin, Ä., T. Frisk, K. Koskinen & H. Wirola (1992). Längelmäveden reitin vesiensuojelututkimus. *Vesija ympäristöhallituksen monistesarja* 348. 70 s.
- Cattle slaughterings 2000 (2003). Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. Tilastoryhmä, Helsinki. 19.08.2003. <www.matilda.fi/servlet/>
- Chen, Q. & A. E. Mynett (2003). Integration of data mining techniques and heuristic knowledge in fuzzy logic modelling of eutrophication in Taihu lake. *Ecological Modelling* 162: 1–2, 55–67.
- Erkkilä, A. & R. Kalliola (2003). Patterns and dynamics of coastal waters in multi-temporal satellite images: support to water quality monitoring in the Archipelago Sea, Finland. *Coastal and Shelf Science* 60: 2, 165–177.
- Graham, W., A. Rodriguez-Bachiller & J. Becker (2007). Fuzzy sets and simulated environmental change: evaluating and communicating impact significance in environmental impact assessment. *Environment and Planning A* 39: 4, 810–829.
- Hokkanen, P. (2008). Kansalaisosallistuminen ympäristövaikutusten arviointimenettelyssä. *Acta Universitatis Tamperensis* 1285. 323 s.
- Hänninen, J., I. Vuorinen, H. Helminen, T. Kirkkala & K. Lehtilä (2000). Trends and gradients in nutrient concentrations and loading in the Archipelago Sea, Northern Baltic, in 1970–1997. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 50: 2, 153–171.
- Jumppanen, K. & J. Mattila (1994). Saaristomeren tilan kehitys ja siihen vaikuttavat tekijät. *Lounais-Suomen vesiensuojeluyhdistyksen julkaisu* 82. 206 s.
- Kananmunantuotanto 2002. (2003). Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. Tilastoryhmä, Helsinki. 19.08.2003. <www.matilda.fi/servlet/>
- Krogerus, K., Ä. Bilaletdin, R. Kiukas, R. Saxen & M. Karling (1996). Vesijärven kuormitusselvitys. Kangasala. *Alueelliset ympäristöjulkaisut* 10. 56 s.
- Kärkkäinen, M. (1985). *Puutiede*. 415 s. Karisto, Hämeenlinna.
- Kustavi-Taivassalon ja Iniön merialueiden vedenlaatu-tutkimusaineisto vuosilta 1980–2003 (2003). Ilkka Ratisen ostama CD-rom-aineisto. Lounais-Suomen ympäristökeskus, Turku.
- Laanemets, J., M. Lilover, E. Nyman, R. Autio & U. Raudsepp (2004). Pilot Gulf of Finland. *Teoksessa: HABES. Harmful Algal Blooms Expert System*. 5.3.2009. <<http://www.habes.net/about/HABES-final-report.pdf>>
- Latvala, A. (2003) Kalanperkaamojen jätevesiprojekti. *Ympäristö ja Terveys* 1/2003, 39–42.
- Metinfo (2003). Metsäntutkimuslaitos, Helsinki. 08.07.2003. <www.metla.fi/metinfo>
- Metternicht, G. (2001). Assessing temporal and spatial changes of salinity using fuzzy logic, remote sensing and GIS. Foundations of an expert system. *Ecological modelling* 144: 2–3, 163–179.

- Mikkola, E. (2003). Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus, informaattikko. Sähköpostitiedonanto 25.9.2003.
- Mäenpää, I. & P. Vanhala. (2002). Biologinen aineenvaihdunta ja elintarvikkeiden ainevirrat Suomessa 1995. *Teoksessa Risku-Norja*, H. (toim.): Maatalouden materiaalivirrat, ekotehokkuus ja ravinnontuotannon kestävä kilpailukyky. Aineiston ja menetelmän kuvaus. *Maa- ja metsätalousministeriön selvityksiä 27*, 33–97.
- Mäntynen, J. Lounametsän metsänhoitoyhdistys, alue-
neuvoja. Sähköpostitiedonanto 27.8.2003.
- Poultry, sheep, lamb and horse slaughterings 2000. (2003). Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. Tilastoryhmä, Helsinki. 19.08.2003. <www.matilda.fi/servlet/>.
- Ratinen, I. (1999). Ympäristönäkökulmia kalatalouteen. Kalanjalostus. Tapaustutkimuksena TreskoFish Oy. Julkaisseman Teollisuuden ympäristötalouden moniste. 32 s. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo.
- Ratinen, I. (2005). Fish farming as a local geographical system. The case of Kustavi, Finland. *University of Joensuu, Department of Geography, Publications 11*. 278 s.
- Ratinen, I. (2009). Using fuzzy logic in the complex systems analysis. Julkaisseman käsikirjoitus. Opettajankoulutuslaitos, Jyväskylän yliopisto.
- Rekolainen, S., L. Kauppi & E. Turtola (1992). Maatalous ja vesien tila. *Maa- ja metsätalousministeriön luonnonvarajulkaisuja 15*. 61 s.
- Räike, A. 2003. Suomen ympäristökeskus, vanhempi tutkija. Sähköpostitiedonanto 18.08.2003.
- Sopanen, J. (2003). TreskoFish, toimitusjohtaja. Sähköpostitiedonanto 21.3.2003.
- Suomala, J. (2001). Saaristomeren tila vuosituhannen vaihteessa. *Lounais-Suomen ympäristökeskuksen moniste 20*. 99 s.
- Suominen, T. & H. Helminen (2003). Kustavin kalankasvatuksen sijainninhajausmalli. *Alueelliset ympäristöjulkaisut 322*. 54 s.
- Työryhmämietintö (2001). Talusjäteveden käsittely vesihuoltolaitosten viemäriverkostojen ulkopuolisilla alueilla. *Ympäristöministeriön moniste 84*. 27 s.
- Töykkylä, I. (2003). Suullinen tiedonanto 23.7.2003. Kustavin kunta.
- Udo De Haes, H., G. Huppel & G. De Snoo (1998). Analytical tools for chain management. *Teoksessa Vellinga, P. F. Berkout & J. Gupta (toim.): Managing a material world*. 348 s. Kluwer Academic, Dordrecht.
- Van der Voet, E. (1996). *Substances from cradle to grave*. 348 s. Centre of Environmental Science, Leiden University.
- Van Horderbeke, M. & V. Timmermans (2002). Integrated chain management by applying substance flow analysis in the Flemish region of Belgium. *Corporate Environmental Strategy 9*: 1, 1–8.
- Vuorenmaa, J. (2003). Suomen ympäristökeskus, vanhempi tutkija. Sähköpostitiedonanto 19.8.2003.
- Väkilannoitteissa myytyjen kasviravinteiden määrä viljeltyä pellohehtaaria kohden 1990/91–2001/02 (2003). Kemira, Helsinki. 02.09.2003. <www.luonnontila.fi/beta/fi/maatalous/taulukkosivut/MA3_taulukot.html>
- Wallenius, S. & T. Sihvonen (2000). *Ympäristötukiopas*. 28 s. Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki.
- Wideskog, M. (2000). Kalankasvatuksen kuormitustilastoinnin luotettavuus vuosina 1997–1998. *Lounais-Suomen ympäristökeskuksen moniste 3*. 28 s.