

Kustannustehokas ravinnepäästöjen vähentäminen jätevedenpuhdistamoissa

Sami Hautakangas

Rehevöityminen on tunnustettu ongelma Itämerellä ja sitä vastaan taisteleminen vaatii merkittäviä vähennyksiä ravinnepäästöihin (HELCOM 2007). Rehevöitymisen näkyy esimerkiksi veden sameutena ja toisinaan sinilevien massaesiintyminä. Rehevöityminen vaikuttaa vesien käyttömahdollisuuksiin, kuten kalastukseen ja virkistyskäyttöön ja näin ollen myös talouteen.

Rehevöitymisen merkittävimpiin aiheuttajiin kuuluvat typpi ja fosfori (Nixon 1995). Näitä ravinteita esiintyy vesistöissä luonnostaankin, mutta rehevöitymisen vähentämisessä ovat ihmisen tuottamat ravinnepäästöt merkittävämmässä roolissa, sillä niihin on helpompi puuttua.

Kaksi suurinta ravinnelähdettä Itämerellä ovat maatalous ja yhdyskuntien jätevedet. Ensimäinen näistä on hajakuormituslähde ja

toinen pistekuormituslähde. Itämeren suojelukomissio HELCOM on jäsenmaineen asettanut tavoitteeksi vähentää Itämereen päätyviä typpipäästöjä noin 10 prosentilla ja fosforipäästöjä yli kolmasosalla (HELCOM 2013). Tähän Baltic Sea Action Planiin (BSAP) kuuluvaan tavoitteeseen pääsemiseksi on päästöjä vähennettävä monessa lähteessä. Yksi niistä on yhdyskuntien jätevedenpuhdistamot.

Väitöskirjassani tutkin yhdyskuntajätevesien ravinnepäästöjen vähentämistä BSAP:n tavoitteiden saavuttamiseksi. Se koostuu kolmesta artikkelista, joista ensimmäisessä selvitetään Itämeren alueen yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoiden typen ja fosforin vähennyspotentialit ja lasketaan vähentämisen kustannukset. Toisessa artikkelissa tutkitaan jätevedenpuhdistamoiden välisen ravinnepäästökaupan mahdollisuuksia Itämeren alueella.

Kirjoitus perustuu Helsingin yliopistossa 17. huhtikuuta 2020 tarkastettuun väitöskirjaan *Cost-Efficient Nutrient Load Reduction in Wastewater Treatment Plants*. Vastaväittäjänä toimi dosentti, ylijohtaja Anni Huhtala (Valtion taloudellinen tutkimuskeskus) ja kustoksena professori Kari Hyytiäinen (Helsingin yliopisto). MMT Sami Hautakangas (shautaka@hotmail.com) toimii Tilastokeskuksessa ympäristötilinpidon yliaktuaarina.

Kolmannessa artikkelissa tarkastellaan, miten eri ympäristöpoliittiset ohjaukeinot ravinnepäästöjen vähentämiseksi vaikuttavat vesiläytösten toimintaan.

Väitöskirjan ensimmäisessä artikkelissa (Hautakangas ym. 2014) määritetään typen ja fosforin päästöt ja puhdistustasot Itämeren alueen rantavaltioiden jätevedenpuhdistamoissa, joiden asukasvastineluku (AVL) on vähintään 10 000. Puhdistamoista kerätyn aineiston perusteella arvioidaan ravinteiden vähentämisen potentiaali eli se, kuinka paljon ravinnepäästöjä on vielä mahdollista vähentää. Typen ja fosforin vähentämiselle johdetaan kokonais- ja rajapuhdistuskustannusfunktiot, jotka perustuvat jätevedenpuhdistamoiden investointi- ja operatiivisiin kustannuksiin. Näiden funktioiden avulla arvioidaan ravinteiden vähentämisen kustannuksia vähennyspotentiaalinsaavuttamiseksi Itämeren alueella.

Ravinteiden vähennyspotentiaali jätevedenpuhdistamoissa on Itämeren alueella suuri. Puhdistamoista tulevat typpipäästöt ovat 110 000 tonnia ja fosforipäästöt 11 000 tonnia vuodessa. Nostamalla typen keskimääräinen puhdistustaso puhdistamoissa 60 prosentista 90 prosenttiin typpipäästöt vähenisivät 83 000 tonnilla vuodessa. Vastaavasti fosforipäästöt vähenisivät 9 400 tonnilla vuodessa, jos puhdistustaso nousisi 75 prosentista 95 prosenttiin. Merkittävin vähennyspotentiaali Itämeren alueella on Puolan jätevedenpuhdistamoissa. Siellä puhdistustason nostaminen aiemmin mainituille tasoille vähentäisi typpipäästöjä 53 000 tonnia ja fosforipäästöjä 7 500 tonnia vuodessa.

Kustannusfunktioiden johtamiseksi puhdistamot jaettiin neljään eri kokoluokkaan niiden AVL:n perusteella. Mitä suurempi puhdistamo, sitä alhaisempi on rajapuhdistuskustan-

nus jokaisella puhdistustasolla. Suurimpien, yli 500 000 AVL:n, puhdistamoiden typen rajapuhdistuskustannus 90 prosentin puhdistustasolla on 6,5 €/kg, kun se pienimmillä, enintään 80 000 AVL, on 12 €/kg. Fosforin rajapuhdistuskustannus 95 prosentin puhdistustasolla on suurimmissa puhdistamoissa 11 €/kg ja pienimmässä 17,5 €/kg. Nämä ovat selvästi alhaisemmat kuin aiemmissa tutkimuksissa on arvioitu (ks. esim. Gren 2008, Hassler ym. 2012, Ahlvik ym. (2014), Wulff ym. (2014)). Kun puhdistustasoa nostetaan, fosforin puhdistuksen rajakustannukset nousevat selvästi hitaammin kuin typen, mikä johtuu käytetystä puhdistusteknologiasta. Fosforin puhdistamisen lisääminen hoituu pääasiassa kemikaaleilla, kun taas typen puhdistuksessa tarvitaan suurempia investointeja muun muassa altaisiin.

Väitöskirjan toisessa artikkelissa (Hautakangas ja Ollikainen 2019) tarkastellaan jätevedenpuhdistamoiden välistä ravinnepäästökauppaa Itämerellä. Malli perustuu cap-and-trade-lähestymistapaan, jossa asetettaisiin haluttu katto ravinnepäästöille Itämerellä, mikä ilmenisi asetettuna päästövähennystavoitteena. Artikkelissa lasketaan päästökauppapotentiaali ravinteille ja kustannusten jakaantuminen maittain ja kokoluokittain puhdistamoiden kesken. Lisäksi tutkitaan, kuinka lupien alkujako vaikuttaa kaupankäyntiin. Lopuksi tarkastellaan vielä ravinnepäästökauppaa typpiekvivalenteilla ja transaktiokustannusten vaikutusta kaupankäyntiin.

Jätevedenpuhdistamoiden välisen ravinnepäästökaupan tasapainotilassa, kun vaadittu typen puhdistustaso on kokonaisuudessaan Itämeren alueella 90 prosenttia ja fosforin puhdistustaso 95 prosenttia, typpiluvan hinnaksi tulee n. 11 €/kg ja fosforiluvan n. 17 €/kg. Luvut heijastelevat jo ensimmäisessä artikkelissa

mainittuja rajapuhdistuskustannuksia. Typen puhdistuksen lisäys olisi kaikkiaan 85 000 tonnia ja fosforin 9 600 tonnia. Luvut ovat aineiston päivittymisen vuoksi hieman suuremmat kuin ensimmäisessä artikkelissa.

Kustannustehokas ratkaisu näihin tavoitteisiin pääsemiseksi tulisi maksamaan vuositasolla koko Itämeren alueella 730 miljoonaa euroa nykyistä enemmän, mistä typen puhdistuksen osuus on 600 miljoonaa euroa ja fosforin osuus 130 miljoonaa euroa. Yhteensä päästökaupparjestelmän kustannukset ovat n. 50 miljoonaa euroa pienemmät kuin asettamalla puhdistamoille määrärajoitteet, joilla päästäisiin samaan kokonaisvähennykseen. Huutokaupattujen lupien hinnat huomioiden kokonaiskustannukseksi tulisi kaikkiaan 1,1 miljardia euroa vuodessa. Huutokaupasta saatava 360 miljoonaa euroa voitaisiin esimerkiksi jakaa osallistujien kesken tasoittamaan epätasaista taakanjakoa, koska esim. Puolan puhdistamoille kohdentuisi reilusti yli puolet kaikista päästöoikeuksien kustannuksista. Epätasainen taakanjako voikin vaikeuttaa oleellisesti ravinnepäästökaupan käyttöönottoa Itämerellä (Ahlvik ja Pavlova 2013).

Toinen tapa tasoittaa kustannustaakkaa on *grandfathering* -tyyppinen alkujako, jossa luvat jaetaan osallistujille jollakin alkutilannetta heijastelevalla tavalla. Artikkelissa tarkastellaan tilannetta, jossa 90 prosenttia luvista jaettaisiin puolalaisille puhdistamoille. Tämä lähestymistapa toisi niille 140 miljoonaa euroa lupien myynnistä, minkä vuoksi Puolan kustannukset laskisivat hieman alle puoleen kokonaissummasta.

Jos kaupankäyntiin lisätään 1 euron lupakohtainen (1 kg/lupa) transaktiokustannus lupien myyjille eli tässä tapauksessa Puolalle, sen kokonaiskustannukset kasvavat n. 60 mil-

joonalla eurolla. Transaktiokustannuksilla voisi olla merkittävä rooli ravinnepäästökaupassa Itämerellä. Ravinnepäästökauppa Redfield-suhteeseen (ks. Lankoski ym. 2006) perustuvilla typpiekvivalenteilla lisäisi fosforin puhdistusta typen puhdistuksen sijaan, sillä fosforin puhdistuksen rajakustannukset ovat alhaisemmat typpiekvivalenteina kuin typellä.

Väitöskirjan kolmannessa artikkelissa, joka on kirjoitettu yhdessä Markku Ollikaisen kanssa, tarkastellaan miten ravinnevero ja määrärajoite vaikuttavat vesilaitoksen käyttäytymiseen ja kotitalouksien käyttöveden hinnoitteluun. Kysymyksiä tarkastellaan sekä analyttisen mallin avulla että kahden edustavan vesilaitoksen numeerisen mallin avulla. Vesilaitosten katsotaan olevan luonnollisia monopoleja, jotka sekä myyvät käyttövedtä kotitalouksille että puhdistavat näiden jätevedet ja hinnoittelevat nämä erikseen sekä laskuttavat lisäksi kiinteän maksun asiakkuudesta.

Analyttisessä mallissa osoitetaan, että sääntelijän asettaessa ravinneveron tai ravinteille määrärajoitteen, vesilaitokset nostavat jäteveden hintaa, mutta laskevat käyttöveden hintaa. Yhtä kaikki kotitalouksien kohtaama veden hinta kokonaisuudessaan nousee. Numeerisessa mallissa verrataan veden Ramsey-hinnoittelua luonnollisen monopolin tapauksessa pienessä (80 000–220 000 AVL) ja suuressa (yli 500 000 AVL) vesilaitoksessa. Ilmeistä jo aiempien artikkelien perusteella on, että pienemmän vesilaitoksen alueella kotitaloudet maksavat vedestä enemmän.

Vertailtaessa miten ravinnevero ja määrärajoite vaikuttavat hinnoitteluun havaitaan, että alhaisemmilla puhdistustasoilla ravinnevero nostaa veden hintaa selvästi enemmän kuin määrärajoite. Kiristettäessä ympäristöpolitiikkaa veden hinta luonnollisesti nousee, mutta

ravinneveron ja määrärajoitteen välinen ero pienenee. Tämä johtuu siitä, että yhä pienempi osa kustannuksista menee veron maksamiseen ja suurempi osa ravinteiden puhdistamiseen.

Sen lisäksi että veden hinta on jo valmiiksi korkeampi pienen vesilaitoksen alueella, ravinnevero tai määrärajoite lisäävät eroa entisestään. Nostettaessa typen puhdistustaso 90 prosenttiin ja fosforin puhdistustaso 95 prosenttiin samalta määrättyltä lähtötasolta, suuren vesilaitoksen kotitalouksilta perimä veden hinta nousee mallissa 30 prosenttia, kun pienen vesilaitoksen alueella se nousee yli 50 prosenttia.

Ravinteiden poistoa Itämeren alueen yhdyskuntajätevedenpuhdistamoissa on mahdollista lisätä huomattavasti nykyisestä. Ravinteiden vähentäminen on myös halvempaa kuin aiemmin on esitetty, ja erityisesti fosforin vähentäminen yhdyskuntien jätevesistä on edullisempaa kuin maataloudesta (Ollikainen ym. 2012). Oikein suunnitelluilla lupien alkujaoilla voidaan ravinnepäästökauppajärjestelmällä tasoa jättevedenpuhdistamoiden välistä kustannustaakkaa, vaikkakin transaktiokustannukset voivat näytellä tässä merkittävää roolia.

Ympäristöpolitiikka kohtelee eri ihmisiä eri tavoin riippuen siitä, minkä kokoisen vesilaitoksen alueella he asuvat. Pienten vesilaitosten alueella on korkeammat hinnat ja suuremmat hinnannousut ravinnepolitiikan kiristyessä kuin suurten vesilaitosten alueella. Ravinteiden puhdistuksen tason noustessa huippuunsa, vesilaitosten kohtaamat kustannukset eivät enää riipu käytetystä ympäristöpolitiikan ohjauksesta, mutta taloudelliset ohjaukset, kuten päästövero, mahdollistavat investointien ajoittamisen optimaalisesti verrattuna määrärajoitteeseen.

Merkittävä osuus BSAP:n tavoitteista voidaan saavuttaa puhdistamalla yhdyskuntajäte-

vesistä typpeä ja fosforia nykyistä enemmän. Nostamalla typen puhdistustaso Itämeren alueen jätevedenpuhdistamoissa 90 prosenttiin typpipäästöjen vähennys vastaisi 40 prosenttia BSAP:n tavoitteista. Fosforin puhdistustason nostaminen 95 prosenttiin johtaisi fosforin vähenemiseen 20 prosentilla BSAP:n tavoitteista. □

Kirjallisuus

- Ahlvik, L., Ekholm, P., Hyytiäinen, K. ja Pitkänen, H. (2014), „An economic-ecological model to evaluate impacts of nutrient abatement in the Baltic Sea”, *Environmental Modelling & Software* 55: 164–175.
- Ahlvik, L., ja Pavlova, Y. (2013), „A Strategic Analysis of Eutrophication Abatement in the Baltic Sea”, *Environmental and Resource Economics* 56: 353–378.
- Gren, I.-M. (2008), „Cost-effectiveness and Fairness of the HELCOM Baltic Sea Action Plan Against Eutrophication”, *Vatten* 63: 273–281.
- Hasler, B., Smart J. C. R. ja Fønnesbech-Wulff, A. (2012), „Structure of BALTCOST drainage basin scale abatement cost minimisation model for nutrient reductions in Baltic Sea regions”, Deliverable 8.1, RECOCA.
- Hautakangas, S. ja Ollikainen, M. (2019), „Nutrient trading between wastewater treatment plants in the Baltic Sea region”, *Environmental and Resource Economics* 73: 533–556.
- Hautakangas, S., Ollikainen, M., Aarnos K. ja Rantanen, P. (2014), „Nutrient abatement potential and abatement costs of waste water treatment plants in the Baltic Sea region”, *Ambio* 43: 352–360.

- HELCOM (2013), "Summary notes for the 2013 HELCOM Ministerial Declaration", HELCOM Ministerial Meeting, Copenhagen, Denmark, 3 Oct. 2013.
- HELCOM (2007), "HELCOM Baltic Sea Action Plan", HELCOM Ministerial Meeting, Krakow, Poland, 15 Nov. 2007.
- Lankoski, J., Lichtenberg, E. ja Ollikainen, M. (2008), "Point/nonpoint effluent trading with spatial heterogeneity, *American Journal of Agricultural Economics* 90: 1044–1058.
- Nixon, S. W. (1995), "Coastal marine eutrophication: A definition, social causes and future concerns", *Ophelia*, 41: 199–219.
- Ollikainen, M., Hautakangas, S, Honkatukia, J. ja Lankoski, J. (2012), "Uusia analyyseja ja välineitä Itämeren suojeluun", teoksessa Hyttiäinen, K. ja Ollikainen, M. (toim.), *Taloudellinen näkökulma Itämeren suojeluun*, Ympäristöministeriön raportteja 22/2012, Helsinki: 1101–131.
- Wulff F., Humborg C., Andersen H. E., Blicher-Mathiesen G., Czajkowski M., Elofsson K., Fonnesbech-Wulff A., Hasler B., Hong B., Jansons V., Mörrth C.-M., Smart J. C. R., Smedberg E., Stålnacke P., Swaney D. P., Thodsen H., Was A. ja Zylicz T. (2014), "Reduction of Baltic Sea Nutrient Inputs and Allocation of Abatement Costs Within the Baltic Sea Catchment", *Ambio* 43: 11–25.