MAATALOUDEN AIHEUTTAMAN KUORMITUKSEN JA SEN VESISTÖVAIKUTUSTEN OPTIMAALINEN MITTAAMINEN

Juhani Kettunen
Teknillinen korkeakoulu,
Vesitalouden laboratorio

Tiivistelmä

Hankkeessa tutkittiin hajakuormituksen ja sen vesistövaikutusta selvittävien mittausohjelmien suunnittelua. Tavoitteena oli kehittää laskentamenetelmiä riittävän näytekoon, näytteenoton ajoituksen sekä mittarien sijoittelun optimointiin. Ongelmaa lähestyttiin klassisen ja optimaalisen koesuunnittelun sekä tilastollisen päätösteorian näkökulmista. Hankkeessa laadittiin suunnittelukriteerit näytekoon laskemiseksi tapauksissa, joissa koeyksiköiden määrä on rajallinen. Menetelmää soveltaen suunniteltiin vaihtoehtoiset koesuunnitelmat Turussa sijaitsevalle koekentälle, jonka tarkoituksena on jatkossa mitata erilaisten viljelytekniikoiden aiheuttamaa vesistöeroosiota. Tutkimuksessa päädyttiin johtopäätökseen, jonka mukaan pilot-kokeiden suunnittelussa kannattaa klassisen koesuunnittelun sijaan käyttää optimaalista koesuunnittelua, jolloin tutkittavien tekijöiden määrää voidaan kasvattaa. Hankkeessa laadittiin menetelmä mittausten optimaalisen ajoituksen laskemiseen. Sitä käytettiin optimoitaessa suunnitelma järven rehevöitymismekanismien empiiriselle havainnoinnille. Mittausten ajoituksen ja mittareiden sijoittamisen yhtäaikaiseen optimointiin kehitettiin optimointikriteeri ja binäärigenetiikkaan perustuva optimointialgoritmi. Algoritmia testattiin tutkittaessa veden liikkumista vedellä kyllästymättömässä maaperässä. Tutkimustuloksia käytettiin hyväksi muissa MAVERO-tutkimuksissa. Suurin hyöty niistä saadaan kuitenkin jatkossa tehtävissä hajakuormitusta koskevissa hankkeissa, joiden kenttätyöt voidaan kehitetyin menetelmin suunnitella taloudellisimmiksi. Tulokset ovat helposti laajennettavissa myös muuhun ympäristötutkimukseen.

Tausta ja tarkoitus

Maatalouden aiheuttaman vesistökuormituksen ja sen vaikutusten arviointi pohjautuvat yleensä laajojen kenttäaineistojen antamaan informaatioon. Laajatkaan havaintoaineistot eivät kuitenkaan suunnittelemattomasti kerättyinä välttämättä tue arviointiongelmien luotettavaa ratkaisua. Tässä projektissa tutkittiin kenttämittausten suunnittelua klassisen ja optimaalisen koesuunnitettelun sekä tilastollisen päätösteorian näkökulmasta. Päätarkoituksena oli kehittää laskentamenetelmiä aineiston informaatioarvon maksimointiin. Erityisesti hankkeessa tutkittiin näytteenoton suunnittelua kuten optimaalisen näytekoon valintaa, näytteenoton ajoitusta ja näytteenottimien sijoittamista tutkimusalueella. Lisäksi hankkeen aikana kerättiin intensiivisesti havaittu aineisto [3] korreloivien mittausten koesuunnittelumenetelmien tutkimuksen käyttöön.

Tärkeimmät tulokset

Klassinen koesuunnittelu perustuu hypoteesin testaukseen. Sen mukaisesti tutkittaessa eri tekijöiden vaikutuksia systeemiin, tulee koe järjestää siten, että niiden osuus on (tilastollisesti) merkitsevästi osoitettavissa. Kokeen onnistuminen riippuu kolmesta

tekijästä eli siitä, että käytössä on riittävästi rinnakkaismäärityksiä (kerranteita), siitä, että koe on eri tekijöiden suhteen oikein ositettu ja siitä, että se on satunnaistettu. Hankkeessa tutkittiin erityisesti riittävän näytekoon määrittämistä [11] sellaisissa kenttäkokeissa, joissa koeyksiköiden määrä on rajallinen ja mittausten määrän kasvattaminen kallista. Näytemäärän valintaan laadittiin laskentamenetelmä, jota sovellettiin määritettäessä sopivia koesuunnitelmia erilaisten viljelytekniikoiden aiheuttaman eroosion mittaamiseksi Turussa, Aurajoen rannalla sijaitsevalla koekentällä. Näytemäärän, tekijöiden suhteellisen vesistövaikutuksen tilastollisen merkitsevyyden välisiä yhteyksiä tutkittiin myös tapauksissa, joissa tutkimuksen tavoitteena on selvittää mahdollisen trendin esiintymistä vesistössä tai vesistökuormituksessa [2, 4]. Erityisen ongelmalliseksi käytännön vesistövaikutusarvioissa todettiin havaintojen välinen autokorrelaatio ja epätasavälisyys, joiden takia useiden perinteisten tilastomenetelmien käyttö on mahdotonta. Ratkaisuksi hankalimpiin tilanteisiin esitettiin mm. ei-parametrisia menetelmiä, joiden käyttöä analysoitiin trenditutkimuksen apuvälineenä [4]. Toisena lähestymistapana esitettiin aineiston riippumattomuusoletuksesta luopumista ja analyysin tukeutumista havaintojen korrelaatiorakenteeseen. Menettelyä sovellettiin tutkittaessa aineiston erotuskyvyn ja saatavien johtopäätösten epävarmuuden välistä yhteyttä [6]. Kolmanneksi, tutkimuksessa päädyttiin johtopäätökseen, jonka mukaan erityisesti pilot-kokeiden ja vaikutusmekanismien mittaamisen suunnittelussa kannattaa klassisen koesuunnittelun sijaan usein käyttää optimaalista koesuunnittelua, jolloin tutkittavien tekijöiden määrää voidaan kasvattaa, joskin subjektiivisuuden lisääntyessä. Hankkeessa laadittiin menetelmä mittausten optimaalisen ajoituksen laskemiseen [9]. Sitä käytettiin optimoitaessa suunnitelmaa järven rehevöitymismekanismien empiiriseksi havainnoimiseksi Kuortaneenjärvessä. Myös laaditun koesuunnitelman herkkyyttä tutkittiin ja se todettiin varsin vakioksi huolimatta siitä, että itse mekanismien voidaan saatujen tulosten perusteella odottaa reagoivan hyvinkin voimakkaasti esimerkiksi vaihteleviin säätyyppeihin ja etukäteisoletuksiin. Mittausten ajoituksen ja mittareiden sijoittamisen yhtäaikaiseen optimointiin laadittiin optimointikriteeri ja optimointialgoritmi [1, 10]. Algoritmi perustuu yksinkertaisiin genetiikan periaatteisiin, joita on sovellettu binaariavaruudessa optimaalisen ratkaisun hakuun. Algoritmia testattiin tutkittaessa veden liikkumista vedellä kyllästymättömässä maaperässä. Sen todettiin soveltuvan erityisen hyvin mm. maaperässä kulkeutuvia aineita selvittävien mittausohjelmien optimointiin. Vesistövaikutusten arviointia tarkasteltiin päätösteoreettisena ongelmana. Osatutkimuksessa [5] osoitettiin, että aineistolle voidaan laskea arvo. Se muodostuu niistä kustannussäästöistä, joita saavutetaan sillä, että käytettävissä on päätöshetkellä enemmän (mitattua) informaatiota. Laskentatekniikkana tutkimuksessa käytettiin päätöspuita, joiden yleistettyä versiota, vaikutuskaavioita, tutkittiin osastutkimuksessa [8] analysoitaessa päätöksentekijän asenteen merkitystä siihen, mikä on paras vaihtoehtoinen ratkaisu.

Johtopäätökset

Riittävän näytekoon arviointiin kiinnitetään nykyisin niin hajakuormitus- kuin myös muussa ympäristötutkimuksissa vain vähän huomiota. Seurauksena tästä on se, että useat havaintoaineistoihin perustuvat päätelmät kuormitusmuutoksista ja vesistövaikutuksista sisältävät kohtuuttoman suuren määrän tiedostamatonta epävarmuutta. Tutkimuksen perusteella voidaan suositella optimaalisen koesuunnittelun menetelmien laajentamista hajakuormitushankkeisiin. Tällöin tutkijalla tulee olla selkeä hypoteesi tai vaihtoehtoisia hypoteeseja systeemin käyttäytymisestä. Hypoteesit puetaan yhdeksi tai useammaksi malliksi ja havainnoinnin tehtäväksi asetetaan joko mallin valinta kilpailevien hypoteesien joukosta tai mallin estimointi. Tällä tavoin aineiston keruuta voidaan oleellisesti rajoittaa ja suhteellisen pienillä mittauspanostuksilla voidaan

hankkia ongelmien kannalta oleellista havaintomateriaalia. Samankaltaiseen päämäärään päästään toteuttamalla aineiston arvoanalyysi ja tutkimalla aineiston merkitystä päätösteoreettiselta kannalta. Tässä hankkeessa syntyneitä tutkimustuloksia on käytetty hyväksi muissa MAVERO-tutkimuksissa. Suurin hyöty niistä saadaan kuitenkin jatkohankkeissa, joiden kenttätyöt voidaan suunnitella taloudellisimmiksi. Tulokset ovat helposti laajennettavissa myös muuhun ympäristötutkimukseen.

Kirjallisuus

[1] Jalava, M., Kettunen J. & Sirviö H. 1992. Genetic algorithms and operators in environmental optimization, parameter estimation and experimental design. Käsikirjoitus

[2] Kettunen, J. 1989. Vedenlaatumuutosten ja lupaehtorikkomusten havaitseminen visuaalisin ja ei-parametrisin menetelmin. Vesitalous XXX:29-35.

[3] Kettunen, J. Sirviö, H. & Arola A. 1989 Vedenlaatuaineisto, Tuusulanjärvi - Kesä 1989. TKK, Vesitalouden laboratorion monistesarja 1989:6

[4] Kettunen, J., Mutanen, J. & Sirviö H. 1990: Tuusulanjärven veden laadun tilastollisesti merkitsevät muutokset vuosina 1960-1988. TKK, Vesitalouden laboratorion monistesarja

[5] Kettunen, J. 1991. Vesistöseurannat ja päätöksenteko. Vesitalous XXXII (2):45-51.

[6] Kettunen, J. 1991 Estimates and forecasts of water quality: Compromises between uncertainty and resolution. Verh.Internat.Verein.Limnol. 24:2133-2137.

[7] Varis, O. & Kettunen, J. 1990. Water quality modelling of Lake Tuusulanjärvi. Aqua Fennica 20: 43-54.

[8] Varis, O., Kettunen, J. & Sirviö, H. 1990. Bayesian influence diagrams in complex environmental management including observational design. Comput. Stat. Data Anal. 9: 77-91.

[9] Kettunen, J. Sirviö H. & Varis, O. 1992. Evaluation of a model-based method for designing water quality observations. Hyväksytty julkaistavaksi sarjassa Hydrobiologia, Junk.

[10] Kettunen, J. Paasonen-Kivekäs, M., Karvonen T. & Sirviö H., 1992. A comparison of experiments and design of sampling for a model of soil water flow. Käsikirjoitus

[11] Kettunen, J. & Sirviö H. 1992. Riittävän näytekoon valinta. Käsikirjoitus. Julkaistaan Vesitalous-lehdessä.