

Yhteiskunnallisesti optimaalinen ravinteiden käyttö viljantuotannossa

Matti Sihvonen

Globaalit ruoantuotantojärjestelmämme ovat merkittävien haasteiden edessä. Ennustettu väestön kasvu, ja odotetut, tulostason noususta johtuvat muutokset ruokavalioidessa, tarkoittavat että ruoantuotannon pitäisi kaksinkertaistua vuoteen 2050 mennessä. Aiemmin kasvavan väestön ruoan kysyntään on vastattu lisäämällä kemiallisten lannoitteiden käyttöä. Tästä huolimatta maatalousmaiden kyky tuottaa kasveja on heikentynyt useilla pelloilla. Maaperän ravinteikkuuden köyhtyminen on merkittävä globaali haaste maataloudelle. Jos maaperän ravinteikkuuden laskevaa trendiä ei saada käännettyä, menetämme ruoantuotannon perustana toimivan luonnonvaran. Täten pitkän aikavälin perspektiivi, sekä maaperän ravinne- ja hiilidynamiikka, ovat oleellisia pohtiessamme ratkai-

suja kestäväen maatalouden edistämiseksi. Lannoitteilla on myös merkittäviä paikallisia ja globaaleja ympäristövaikutuksia, jos ne joutuvat pelloilta ympäröiviin vesistöihin ja ilmakehään. Maailmanlaajuisesti maatalous on merkittävin typpi- ja fosforihuuhtouman lähde vesistöihin, ja maataloussektori on yksi maailman merkittävimpiä ihmisperäisten kasvihuonekaasupäästöjen (KHK-päästöjen) lähteitä. Toisaalta sopivien tuotantotapojen muutosten avulla maatalous voi myös mahdollisesti ehkäistä ilmastonmuutosta.

Väitöskirjassani tarkastelen näitä maatalouden tyypillisiä haasteita. Keskityn tarkastelussani viljanviljelyyn Suomessa, jossa tuotantotilat vastaavat tyypillisiä boreaalisen *agroekosysteemin* oloja. Väitöskirjan päätavoite on

Kirjoitus perustuu Helsingin yliopistossa 16.10.2020 tarkastettuun väitöskirjaan *Essays on the Socially Optimal Management of Nutrients in Crop Production in a Boreal Agroecosystem: A Long-Term Perspective*. Vastaväittäjänä toimi professori Dayton Lambert (Oklahoma State University) ja kustoksena professori Kari Hyytiäinen Helsingin yliopistosta. Matti Sihvonen (matti.sihvonen@helsinki.fi) on yliopisto-opettaja HY:n maatalous-metstatieteellisen tiedekunnan taloustieteen osastolla.

kasvattaa tietämystä yhteiskunnallisesti optimaalisesta ravinteiden käytöstä viljantuotannossa. Yhteiskunnallinen optimaalisuus tarkoittaa tässä sitä, että yritämme määrittää tapoja käyttää lannoitteita siten, että viljantuotannon pitkän aikavälin taloudelliset tuotot maksimoidaan, ja samalla tuotannon ulkoisvaikutukset minimoidaan. Väitöskirjan artikkelit tarkastelevat lannoitteiden käytön kestävyyttä erilaisista näkökulmista. Kaikissa artikkeleissa tarkastelun aikahorisontti on pitkä, minkä takia tulokset on johdettu dynaamisen optimoinnin avulla.

Aloitimme tilanteesta, jossa ulkoisvaikutuksia ei huomioida. Ensimmäisessä artikkelissa hyödynsimme laajoja, typpi- ja fosforilannoituskokeita kuvaavia aineistoja estimoidaksemme ja validoidaksemme epälineaarisia satovastemalleja. Tarkastelimme mallien avulla, kuinka maaperän fosforidynamiikka ja maaperätyyppi vaikuttavat optimaalisiin typpi- ja fosforitasoihin pitkällä aikavälillä. Artikkelin kontribuutio on uudenlainen malli, ja mallinustapa, jossa hyödynnetään erillisiä aineistoja johtamaan satovastemalli, jossa muuttujina ovat sekä typpi- että fosforilannoite ja maaperän fosfori. Malli soveltui hyvin lannoitepanosten dynaamiseen optimointiin.

Toisessa artikkelissa laajensimme tarkastelua lisäämällä vesitöihin ja ilmaan kohdistuvat ulkoisvaikutukset, sekä maaperän tyypin dynamiikan. Keskityimme tarkastelussa optimaalisiin maatalouden ympäristöpolitiikan instrumentteihin. Tarkastelimme yhteiskunnallisia hyvinvointitappioita, jotka aiheutuvat erilaisten epäoptimaalisten vero-tukikehikoiden käytöstä. Työn kontribuutio on se, että mallissa huomioidaan maaperän typpi- sekä fosforidynamiikka. Vaikka näiden ravinteiden perustavanlaatuisuus merkitys sadon kannalta on tiedetty

jo pitkään, ei niitä molempia ole sisällytetty dynaamisiin optimointimalleihin aiemmin. Kolmannessa artikkelissa lisäsimme analyysiin maan hiilidynamiikan sekä kasvihuonekaasujen päästöt. Esittelimme mallin, jonka avulla voidaan tarkastella maaperän typpi- ja hiilidynamiikan sekä vesistö- ja ilmastopäästöjen vaikutusta optimaaliseen lannoitukseen. Malli perustui laajaan simuloituun aineistoon, jonka pohjalta muodostettiin useasta yhtälöstä koostuva dynaamiseen optimointiin soveltuva systeemimalli. Tarkastelimme mallin avulla minikälaisia synergioita ja ristiriitoja erilaisten maatalouden tavoitteiden välillä esiintyvä, sekä minikälaisia yhteiskunnallisia kustannuksia seuraava jättää huomioimatta tuotannon ulkoisvaikutukset osittain tai kokonaan. Vastaavasti tarkastelimme yksityisiä kustannuksia, jotka seuraavat ulkoisvaikutusten huomioimisesta vuotuissa lannoituspäätöksissä.

Väitöskirjan teoreettinen pohja on ympäristö- ja luonnonvarataloustieteessä. Täten artikkelit keskittyvät yksityisen ja yhteiskunnallisen optimin eroihin. Yksityisen optimin johtaminen alkaa tavoitefunktioista, joka ei sisällä tuotannon ulkoisvaikutuksia. Yhteiskunnallinen tavoitefunktio puolestaan sisältää ulkoisvaikutukset. Toisessa artikkelissa keskityimme yksityisen ja yhteiskunnallisen optimin eron lisäksi johtamaan politiikkainstrumenttia, jonka avulla yksityiset tuotantopanospäätökset saadaan yhtäläisiksi yhteiskunnan kannalta optimaalisten tuotantopanospäätösten kanssa. Johdettu instrumentti oli suhteellisen monimutkainen, ja siksi tarkastelimme myös yksinkertaisempia instrumentteja, jotka kuitenkin eivät johda täysin yhteiskunnallista optimia vastaavaan tilanteeseen. Yhteiskunnalliset hyvinvointitappiot saadaan optimaalisen ja epäoptimaalisen politiikan avulla saatujen yhteis-

kunnallisten nettonykyarvojen erotuksena. Kolmannessa artikkelissa keskityimme erilaisiin tavoitefunktioihin, joissa huomioidaan joko kaikki ulkoisvaikutukset (yhteiskunnallinen optimi), tai osittaiset ulkoisvaikutukset (epätäydellinen yhteiskunnallinen optimi), tai jätetään ulkoisvaikutukset huomioimatta kokonaan (yksityinen optimi). Tässä tapauksessa yhteiskunnalliset hyvinvointitappiot saadaan yhteiskunnallisen optimin ja epätäydellisen sekä yksityisen optimin välisenä erotuksena.

Saamiemme tulosten valossa voimme todeta, että maaperän ravinnedynamiikalla on suuri merkitys optimaalisen ravinteiden käytön kannalta. Maaperän fosforivaranto vaikutti merkittävästi yhteiskunnallisesti ja yksityisesti optimaalisiin typen ja fosforin vuotuisiin lannoituspäätöksiin. Sen sijaan maaperän typpivarannon vaikutus oli suhteellisen vähäinen. Maaperän hiilivaranto vaikutti enemmän tuotannon ulkoisvaikutuksiin kuin vuosittaisiin lannoituspäätöksiin. Lisäksi teoreettiset ja empiiriset tulokset osoittivat, että jos hyödyt sadosta saatavista tuotoista ylittävät maaperän ravinnevarannoista johtuvat ulkoisvaikutukset, yhteiskunnallinen nettonykyarvo on maaperän ravinnevarannon nouseva funktio. Tämä tarkoittaa, että korkea ravinnevaranto ei ole automaattisesti huono asia.

Politiikkainstrumenttia koskeva analyysimme osoitti, että dynaaminen vero-tukikehikko, joka mukautuu vuosittain maaperän ravinnevarantojen muuttuessa, ja joka huomioi maaperätyypin, johtaa yhteiskunnalliseen optimiin. Lisäksi yhtäaikainen typen ja fosforin optimointi mahdollisti yksinkertaisimman, staattisten ja maaperätyypin sivuuttavan vero-tukikehikon käytön ilman mainittavia hyvinvointitappioita. Jos kipsin käyttöä tuettaisiin korkean fosforiluvun mailla, tämän kaltainen yksinker-

tainen vero-tuki-instrumentti ei aiheuttaisi käytännössä laisinkaan hyvinvointitappioita. Mikäli kohdealue kuitenkin koostuu maista, joilla on huomattavan korkeat ravinnevarannot ja vallitseva maaperätyyppi pidättää hyvin ravinteita, voi staattisesta ja maaperätyypin sivuuttavasta politiikkainstrumentista seurata merkittävät yhteiskunnalliset hyvinvointitappiot.

Tuloksemme osoittivat myös, että hiilensidonta maatalousmailla karjanlannan avulla voisi johtaa laskevaan yhteiskunnalliseen hyvinvointiin mailla, joissa päästöt vesistöihin ja ilmakehään ovat suuret. Tästä huolimatta karjanlannan ja epäorgaanisen lannoitteen yhtäaikainen käyttö oli parempi vaihtoehto kuin vain toisen ravinnelähteen käyttö yksinään. Voimme täten todeta, että karjanlanta on hyvä sadon kannalta, mutta se ei ole ratkaisu maatalouden kasvihuonekaasujen päästöongelmaan. Tulokset osoittivat lisäksi, että ilmastonmuutoksen torjumisen ja vesiensuojelun välillä on synergioita, kun taas päästöjen vähentämisen ja ruoantuotannon tavoitteiden välillä on ristiriitoja. Lisäksi hiilen sidonnan ja vesiensuojelun tavoitteiden välillä oli ristiriitoja. Kolmas artikkeli osoitti myös, että jos maaperä on huomattava KHK-päästöjen lähde ja suhteellisen merkityksetön vesistö päästöjen lähde, ilmakehään kohdistuvat ulkoisvaikutukset dominoivat vesistöihin kohdistuvia ulkoisvaikutuksia, jopa suhteellisen matalilla hiilen hinnan estimateilla.

Voimme esittää joitakin politiikkasuosituksia tulosten valossa.

Ensinnäkin, jos maatalouden ympäristövaikutusten vähentämiseen tähtäviä toimenpiteitä voidaan kohdentaa alueellisesti, maaperätyypin pitäisi olla yksi kohdentamisen peruste.

Toiseksi, Suomen maatalouden vapaaehtoisien ympäristötukijärjestelmän määrittämät,

maaperän fosforivarannot huomioivat lannoituspanosten ylärajat vaikuttavat järkeviltä taloudellisesta/agronomisesta perspektiivistä tarkasteltuna, jos tuotannon ulkoisvaikutuksia ei huomioida. Jos tukijärjestelmän määrittämällä lannoituksen ylärajoilla tähdätään ympäristötavoitteiden saavuttamiseen, rajojen pitäisi olla alhaisemmat, jolloin viljelijän pitäisi saada kompensatiota alentuneista sadoista johtuvista taloudellisista tappioista. Toisaalta jos ylärajat pidetään nykyisellä tasolla, kompensatio ei ole perusteltua, koska taloudelliset tappiot ovat lähes olemattomat.

Kolmanneksi, tällä hetkellä on tarpeeksi tietoa, jotta voidaan kehittää vero-tukikehikoita, jotka huomioivat maaperän fosforivarannon ja maaperätyypin. Yhteiskunnallisen optimin saavuttamiseksi pitäisi kerätä tietoa myös maaperän tyyppitasoista. Joka tapauksessa, dynaamisen, vuosittain muuttuvan vero-tuki-instrumentin hallinnolliset kustannukset voisivat olla merkittävät. Tämän kaltaisen politiikkainstrumentin johtaminen on silti hyödyllistä, koska sen avulla voidaan johtaa yksinkertai-

sempia staattisia politiikkainstrumentteja, ja arvioida niistä aiheutuvien yhteiskunnallisten tappioiden suuruutta.

Neljänneksi, ilmastonmuutoksen lieventäminen on tärkeä tavoite maataloudelle, mutta myös vesistöihin kohdistuvat ulkoisvaikutukset pitäisi huomioida, koska niiden sivuuttaminen voi johtaa merkittäviin yhteiskunnallisiin tappioihin.

Väitöskirjan artikkelit pyrkivät tarjoamaan joitakin vastauksia maatalouden suuriin haasteisiin. Väitöskirja keskittyi erityisesti ravinteiden käyttöön, koska optimaalista ravinteiden käyttöä on usein pidetty keskeisenä lähtökohdaksi siirtymässä kohti kestävästä maataloutta. Väitöskirjan tärkein kontribuutio on läpinäkyvä teoreettinen ja empiirinen mallinnuksen viitekehys, jonka avulla voidaan analysoida maaperän ravinteiden ja hiilen dynamiikan, sekä tuotannon ulkoisvaikutusten vaikutusta yhteiskunnan kannalta optimaaliseen ravinteiden käyttöön viljantuotannossa. Tätä viitekehystä voidaan laajentaa monella tapaa erilaisien ongelmien tarkasteluun. □